



RICARDO TAYAROL MARQUES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE APP RIPÁRIAS DA MATA
ATLÂNTICA: INSTRUMENTO PARA GESTÃO DE POLÍTICAS
AMBIENTAIS**

**LAVRAS – MG
2020**

RICARDO TAYAROL MARQUES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE APP RIPÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA:
INSTRUMENTO PARA GESTÃO DE POLÍTICAS AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ecologia Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Luis Antônio Coimbra Borges
Orientador

Profa. Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Marques, Ricardo Tayarol.

Avaliação ambiental de APP ripárias da Mata Atlântica:
instrumento para gestão de políticas ambientais / Ricardo Tayarol
Marques. – 2020.

108 p. : il.

Orientador: Luis Antônio Coimbra Borges.

Coorientadora: Ana Carolina Maioli Campos Barbosa

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Indicadores ambientais. 2. Protocolo de avaliação rápida. 3.
Bacia hidrográfica. I. Borges, Luis Antônio Coimbra. II. Barbosa, Ana
Carolina Maioli Campos. III. Título.

RICARDO TAYAROL MARQUES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE APP RIPÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA:
INSTRUMENTO PARA GESTÃO DE POLÍTICAS AMBIENTAIS**

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF APP RIPARY THE ATLANTIC FOREST:
INSTRUMENT FOR ENVIRONMENTAL POLICY MANAGEMENT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ecologia Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 26 de agosto de 2020.

Prof. Dr. Luis Antônio Coimbra Borges	UFLA
Profa. Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa	UFLA
Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior	UFLA
Prof. Dr. Frederico Cássio Moreira Martins	IF Sudeste MG
Dra. Josina Aparecida de Carvalho	ARPA Rio Grande

Prof. Dr. Luis Antônio Coimbra Borges
Orientador

Profa. Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar e dar-me forças ao longo desta conquista.

Aos meus pais, Italo e Aracy, pelos ensinamentos, orientações e apoio que me permitiram a realização de meus sonhos; ao meu irmão Fábio e aos meus familiares pelo apoio ao longo desta jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), Campus Barbacena pela concessão do afastamento e pelo suporte para a realização do Doutorado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao meu orientador, professor Luís Antônio e à minha coorientadora, professora Ana Carolina, pelos ensinamentos e, sobretudo, pela amizade e confiança durante a execução deste trabalho.

Ao professor Fausto pelo apoio e suporte durante a construção deste estudo.

Aos membros da banca, professor Frederico e Dra. Josina, pelas contribuições à melhoria do trabalho.

Aos professores e servidores do DCF pelos ensinamentos passados, colaboração no trabalho, amizade e momentos de descontração durante os cafezinhos diários.

Aos professores e servidores do IF Sudeste MG, em especial, aos amigos Aquiles, Alexandrino, Eduardo Borges, Elisa, Graça, Hércio e Vanessa pelo incentivo à realização do Doutorado.

À professora e amiga Elisângela pelas ideias e incentivo à realização do Doutorado em Lavras.

Aos amigos de laboratório Eliandra, José Edmar, Luis Otávio e Sarita pela convivência e amizade e, em especial, à Vanessa pelo incentivo e companheirismo, durante o todo o curso; sua ajuda foi fundamental para a concretização desta tese.

Às amigas Amanda e Patrícia pela companhia, nas muitas viagens entre Barbacena e Lavras e aos amigos da pós-graduação e das cidades de Antônio Carlos, Barbacena e Lavras por tornarem estes quatro anos mais alegres e divertidos.

Meu muito obrigado!

RESUMO GERAL

O uso do solo no Brasil, ao longo dos tempos, caracterizou-se pela intensa utilização dos recursos naturais e pela conversão de terras com vegetação nativa em áreas, para a expansão das fronteiras agrícolas, o que ocasionou a ocupação de regiões de grande importância ecológica, como as regiões marginais aos cursos d'água. Atualmente, estas áreas encontram-se protegidas pela legislação ambiental brasileira, na forma da Área de Preservação Permanente (APP), contudo muitas foram convertidas ao uso antrópico anteriormente à entrada em vigor das leis florestais ou mesmo de forma irregular, principalmente, na região da Mata Atlântica, encontrando-se degradadas em relação à sua cobertura vegetal original. Este trabalho tem como objetivo desenvolver ferramentas práticas, baseadas em critérios técnicos e científicos, a fim de avaliar e classificar o gradiente de qualidade ambiental das APP ripárias, no ambiente da Mata Atlântica, com a função de auxiliar na gestão de políticas públicas para a conservação e restauração desses ambientes. Por meio de pesquisa bibliográfica de indicadores ambientais, foi elaborado um Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), para regiões ripárias, que foi testado e validado em condições de campo. Posteriormente, foram lançadas amostras, nos principais cursos d'água, para avaliação da qualidade ambiental das APP ripárias da bacia hidrográfica do rio das Mortes – MG. Os resultados obtidos foram extrapolados para as APP ripárias de toda a bacia utilizando a interpolação espacial do *Inverse Distance Weighted* (IDW). Essas informações, juntamente com outros indicadores ambientais, permitiram classificar a sustentabilidade dos municípios da bacia pela metodologia do Barômetro da Sustentabilidade (BS). Os resultados mostraram que o PAR desenvolvido possui a capacidade de avaliar a qualidade ambiental das APP ripárias, mostrando que 57% das APP ripárias encontram-se em condições insatisfatórias, sendo classificadas como razoáveis e ruins e dos 26 municípios inseridos, na bacia do rio das Mortes, apenas um município foi classificado como potencialmente sustentável, quatro como intermediários, vinte como potencialmente insustentáveis e um como insustentável. A metodologia desenvolvida, para a avaliação ambiental das APP ripárias, mostrou-se eficiente, ao possibilitar agilidade e baixo custo nas avaliações da qualidade ambiental das APP as quais, quando associadas à geotecnologia, possibilitam a ampliação da região estudada, podendo também tornar-se um indicador ambiental a metodologias de avaliação da sustentabilidade, auxiliando na gestão de políticas ambientais à conservação e restauração dos sistemas ripários e gestão dos recursos hídricos, podendo ser replicadas, nas mais variadas regiões e biomas, desde que sejam realizadas as adequações dos indicadores ambientais.

Palavras-chave: Indicadores ambientais. Protocolo de avaliação rápida. Bacia hidrográfica.

GENERAL ABSTRACT

Land use in Brazil has been characterized over time by the intense use of natural resources and the conversion of land with native vegetation into areas for the expansion of the agricultural frontier, which has led to the occupation of regions of great ecological importance, such as regions marginal to watercourses. These areas are currently protected by Brazilian environmental legislation as Permanent Preservation Areas (PPA). However, many of these areas were converted to human use before the forest laws came into force or even irregularly, especially in the Atlantic Forest region, which had its original vegetation cover degraded. Thus, this paper aimed to develop practical tools based on technical and scientific criteria to assess and classify the gradient of environmental quality of riparian PPAs in the Atlantic Forest, to assist in managing public policies for the conservation and restoration of these environments. A Rapid Assessment Protocol (RAP) for riparian regions was elaborated through a bibliographic survey of environmental indicators tested and validated under field conditions. Samples were launched into the main watercourses to assess the hydrographic basin of the Rio das Mortes, in the state of Minas Gerais, Brazil. The results were extrapolated to the entire basin using the spatial interpolation of the Inverse Distance Weighted (IDW). This information, along with other indicators, allowed us to classify the municipalities' sustainability in the basin using the Sustainability Barometer (SB) methodology. The results showed that the RAP could assess the environmental quality of the riparian PPAs, showing that 57% were under unsatisfactory conditions, classified as reasonable and inadequate. Of the 26 municipalities in the Rio das Mortes basin, only one was classified as potentially sustainable, four as intermediate, 20 as potentially unsustainable, and one as unsustainable. The methodology developed enabled a fast and low-cost assessment of the environmental conditions of the riparian PPAs. Associated with geo-technology, the RAP expanded the studied region and can become an environmental indicator aiding in the management of environmental policies directed at the conservation and restoration of riparian systems. The protocol can also assist in managing watercourses and be replicated in many regions and biomes provided that the environmental indicators be adjusted.

Keywords: Environmental indicators. Rapid Assessment Protocol. Hydrographic basin.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 – Representação esquemática de uma bacia hidrográfica.	26
Figura 2 – Aspectos e indicadores de sustentabilidade utilizados pela CDS da ONU.....	29
Figura 3 – Hierarquia utilizada para a organização dos indicadores de sustentabilidade pelo método do BS.....	31
Figura 4 – Gráfico bidimensional utilizado para a determinação da sustentabilidade de um sistema pela metodologia do BS.....	32
Figura 5 – Localização da bacia do rio das Mortes, em relação ao estado de Minas Gerais, à bacia do rio Grande e à UPGRH – GD2.....	33
Figura 6 – Municípios inseridos na bacia do rio das Mortes.	34
Figura 7 – Uso do solo na bacia do rio das mortes.	37

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Figura 1. Localização dos pontos de avaliação de campo e situação do município de Lavras – MG – no bioma da Mata Atlântica.	51
Figura 2. Esquema da área amostral a ser utilizada na avaliação de regiões ripárias da Mata Atlântica pelo PAR proposto.....	52
Figura 3. Resultados das avaliações de campo com a média e desvio-padrão obtidos pelos avaliadores não treinados, treinados e autores realizadas no ponto 1 (A) e ponto 2 (B).....	59

ARTIGO 2

Figura 1 – Localização, uso do solo e principais cursos d’água na bacia do rio das Mortes, MG.....	69
Figura 2 – Localização dos pontos avaliados pelo PAR ripário nos principais cursos d’água da bacia do rio das Mortes.	71
Figura 3 – Mapeamento do uso do solo na faixa de 30 metros das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.	73
Figura 4 – Resultados da avaliação ambiental dos pontos amostrados nas APP ripárias da bacia do rio das Mortes e sua classificação ambiental.....	74

Figura 5 – Estimativa da classe ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes por uso do solo utilizando o interpolador IDW, em que: A: agropecuária, B: campo nativo, C: floresta nativa; D: outros usos.....	78
Figura 6 – Pontuação ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.....	78

ARTIGO 3

Figura 1 – Municípios e localização da bacia do rio das Mortes no estado de Minas Gerais.....	87
Figura 2 – Fluxograma da metodologia do BS utilizada na avaliação da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.	88
Figura 3 – Metodologia para a interpolação dos valores da EDL para os valores da EBS.....	91
Figura 4 – Gráfico do BS dos municípios da bacia do rio das Mortes-MG.....	94
Figura 5 – Classificação da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes-MG pelo método do BS, com a classificação dos municípios nos eixos bem-estar ecológico e bem-estar humano.....	95

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 – Largura das APP ripárias em relação à largura do curso d'água.....	22
Tabela 2 – Largura das APP ripárias a serem recuperadas em áreas rurais consolidadas em relação ao tamanho do imóvel rural em módulo fiscal.....	22
Tabela 3 – Distribuição do território e da população dos municípios inseridos na bacia do rio das Mortes.....	34
Tabela 4 – Quantificação do uso do solo na bacia do rio das Mortes.....	37

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1. Indicadores ambientais com o número de parâmetros por indicador com suas respectivas pontuações.....	53
Tabela 2. Parâmetros com a sua descrição e escore de pontuação desenvolvidos no PAR para as regiões ripárias de Mata Atlântica.....	54
Tabela 3. Resultados estatísticos por meio do valor de t e p-valor das equipes de avaliação em relação à média da população a 5% de significância.....	58

ARTIGO 2

Tabela 1 – Indicadores, parâmetros e pontuação adotada no PAR para a avaliação das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.....	70
Tabela 2 – Classificação ambiental das APP ripárias pela pontuação total obtida no PAR.....	70
Tabela 3 – Parâmetros estatísticos e fórmulas de cálculo utilizadas para avaliar a acurácia de interpoladores espaciais.....	72
Tabela 4 – Área por classes de uso do solo nas APP ripárias na bacia do rio das Mortes.....	73
Tabela 5 – Pontuação média dos parâmetros e classificação ambiental por tipo de uso do solo das APP ripárias da bacia do Rio das Mortes.....	75
Tabela 6 – Dependência espacial da pontuação ambiental dos pontos amostrais na bacia do rio das Mortes.....	77
Tabela 7 – Avaliação estatística da acurácia do estimador espacial IDW.....	77

Tabela 8 – Pontuação ambiental por área em hectares e classe de uso do solo nas APP ripárias da bacia do rio das Mortes.	79
---	----

ARTIGO 3

Tabela 1 – Indicadores de desenvolvimento sustentável, unidades de medida, fontes de referência para os valores utilizados e fontes para a consulta do valor local do indicador nos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.	90
---	----

Tabela 2 – Indicadores de sustentabilidade e valores de referência utilizados para padronizar o cálculo do índice de sustentabilidade pelo método do BS nos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.	92
---	----

Tabela 3 – Pontuação dos indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) na escala do BS para os municípios da bacia do rio das Mortes.	97
---	----

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
BS	Barômetro da Sustentabilidade
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CDS	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
Copam	Conselho Estadual de Política Ambiental
COR	Coefficiente de Correlação
EAM	Erro Absoluto Médio
EBS	Escala de Desempenho do Barômetro da Sustentabilidade
EDL	Escala de Desempenho Local
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERM	Erro Relativo Médio
ERNRQ	Erro Relativo Médio da Raiz Quadrada
Feam	Fundação Estadual de Meio Ambiente
FLONA	Floresta Nacional
GD2	Comitê da bacia hidrográfica vertentes do rio Grande
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Índice de Dependência Espacial
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano do Município
IDRC	<i>International Development Research Center</i>
IDS	Indicador de Desenvolvimento Sustentável
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
IGD	Inverso do Quadrado da Distância
IUCN	<i>World Conservation Union</i>
Lemaf	Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal
LPVN	Lei de Proteção da Vegetação Nativa
ONU	Organização das Nações Unidas
PAR	Protocolo de Avaliação Rápida

PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRA	Programa de Recuperação Ambiental
PRNH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PSF	Programa de Saúde da Família
RL	Reserva Legal
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RVS	Reserva de Vida Silvestre
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UC	Unidade de Conservação
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UHE	Usina Hidrelétrica
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	15
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Terminologia e importância da vegetação das margens de cursos d'água	19
3.2 Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água na legislação brasileira.....	20
3.3 Protocolo de Avaliação Rápida	23
3.4 Gestão de bacias hidrográficas.....	26
3.5 Indicadores e métodos para a determinação da sustentabilidade	28
3.6 Barômetro da Sustentabilidade.....	30
4 RELEVÂNCIA DA ÁREA DE ESTUDO	33
REFERÊNCIAS	38
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	47
ARTIGO 1 - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA AS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE RIPÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA	47
CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	62
ARTIGO 2 - QUALIDADE AMBIENTAL DA APP RIPÁRIA NA MATA ATLÂNTICA: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA ASSOCIADO À GEOTECNOLOGIA	66
1 INTRODUÇÃO	68
2 METODOLOGIA	69
2.1 Área de estudo.....	69
2.2 Avaliação do gradiente ambiental das APP ripárias.....	69
2.3 Classificação ambiental das APP ripárias da bacia hidrográfica	71
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1 Uso do solo nas APP ripárias.....	73
3.2 Avaliação da qualidade ambiental das APP ripárias	74
3.3 Definição do método de estimativa espacial utilizado	76
3.4 Estimativa da qualidade ambiental das APP ripárias da bacia	77
4 CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81
ARTIGO 3 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DO RIO DAS MORTES-MG: FERRAMENTA PARA A GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	84
1 INTRODUÇÃO	86
2 METODOLOGIA	87
2.1 Área de estudo.....	87
2.2 Seleção dos indicadores para o Barômetro da Sustentabilidade	87
2.3 Elaboração da escala de desempenho de cada indicador.....	89
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	94

3.1	Sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes.....	94
3.2	Indicadores de sustentabilidade dos municípios.....	94
4	CONCLUSÕES.....	100
	REFERÊNCIAS	101
	TERCEIRA PARTE – CONSIDERAÇÕES GERAIS	105
	APÊNDICE A - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA APP	
	RIPÁRIAS UTILIZADO NA BACIA DO RIO DAS MORTES	107

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial, aliado ao aumento das necessidades humanas, ocasionou o incremento das demandas por terra, água, alimentos, madeira, minérios e outros bens da cadeia produtiva, levando à exploração predatória e conseqüente quadro de crescente degradação dos recursos naturais (SUN; VOSE, 2016).

No Brasil, esta situação não foi diferente. Desde o início da colonização pelos portugueses adotou-se um modelo voltado à exploração dos recursos naturais (extrativismo vegetal e mineral) e expansão das atividades agropecuárias. Como conseqüências deste sistema, surgiram os problemas ambientais, como a destruição da vegetação nativa (desmatamento), perda de espécies da fauna e flora, emissão de gases do efeito estufa, redução da disponibilidade hídrica e alterações climáticas em níveis locais e regional (LAPOLA *et al.*, 2014).

Visando gerenciar e controlar a utilização dos recursos naturais, foram instituídos diversos mecanismos de comando e controle (legislação), que evoluíram das medidas com caráter de protecionismo comercial dos períodos coloniais e imperiais para mecanismos voltados à real proteção dos recursos naturais (SPAROVEK *et al.*, 2011). Dentre as medidas estabelecidas à proteção da vegetação nativa, destacam-se a Área de Preservação Permanente (APP) a Reserva Legal (RL) e as Unidades de Conservação (UC) (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009). Contudo a ineficiência da fiscalização e a impunidade não permitiram que essas medidas fossem suficientes para assegurar a conservação das florestas e da vegetação nativa (BRANCALION *et al.*, 2016).

O Brasil possui atualmente 497,9 milhões de hectares cobertos por vegetação nativa, que corresponde a 58,5% do seu território, no entanto 67,2% estão localizados na Amazônia (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB, 2019). A Mata Atlântica foi o primeiro bioma brasileiro a ser ocupado e explorado pelos europeus, durante a colonização do país, que gerou uma região altamente desenvolvida que abriga milhões de pessoas, um amplo parque industrial, grandes centros urbanos e importante área do agronegócio (REZENDE *et al.*, 2018). Como conseqüência, restaram quase de 16% da sua cobertura vegetal original, que se encontra altamente fragmentada em pequenas ilhas de vegetação nativa (REZENDE *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2009).

Da cobertura vegetal nativa brasileira remanescente, 53% estão localizadas em propriedades rurais particulares, fazendo parte das APP e compondo a RL da propriedade, cumprindo o estabelecido na Lei Federal nº 12.651/2012, conhecida como Código Florestal (SOARES-FILHO *et al.*, 2014). Dentre essas áreas protegidas, as APP possuem a finalidade de preservar o solo, a água, a flora, a fauna e assegurar o bem-estar do ser humano (BORGES *et al.*, 2011; BRANCALION *et al.*, 2010; PIASENTIN; GÓIS, 2016).

As APP, situadas nas faixas marginais dos cursos d'água, exercem importante papel à proteção de um recurso natural importante e cada vez mais escasso que é a água. As matas ripárias reduzem processos erosivos, evitam o assoreamento dos rios, auxiliam na infiltração da água no solo e melhoram a qualidade da água (BRANCALION *et al.*, 2016; RIBEIRO; HOLANDA; ARAÚJO-FILHO, 2013). Esses serviços tornam o uso e manejo do solo nas APP ripárias extremamente importantes à manutenção da qualidade e quantidade da água disponível ao uso nas atividades humanas e aos demais seres vivos.

A Política Nacional dos Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.943/1997, estabeleceu a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos (COSTA; MERTENS, 2015), por ser o local onde ocorre a interação entre os meios físicos, biológicos, sociais e econômicos (REDDY; SAHARAWAT; GEORGE, 2017), tornando-se o local ideal, para a implantação de políticas e ações, que visam à preservação ambiental.

A qualidade da água de um curso d'água é dependente dos recursos naturais existentes nas regiões ripárias (SUN; VOSE, 2016), sendo a manutenção da sustentabilidade dessas frágeis regiões ação importante no manejo de uma bacia hidrográfica (RIBEIRO; HOLANDA; ARAÚJO-FILHO, 2013). O Código Florestal introduziu ferramentas importantes, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Programa de Recuperação Ambiental (PRA), que utilizam informações georreferenciadas e imagens de satélites para realizar o monitoramento, controle e restauração das APP (VANZETTO *et al.*, 2017). Apesar da versatilidade das ferramentas advindas da geotecnologia, torna-se necessária a implantação de metodologias de avaliação de impactos ambientais nas regiões ripárias que possam ser associadas a imagens de satélites e, assim, facilitar o trabalho dos gestores das bacias hidrográficas.

Dentre os métodos de avaliação de qualidade ambiental, o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de rios desenvolvido pela US *Environmental Protection Agency* (EPA) é uma ferramenta promissora, pois seus indicadores podem ser adaptados às realidades locais, apresentando simplicidade, agilidade e baixo custo na mensuração da qualidade ambiental (BRINSON *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016).

As informações da qualidade ambiental dos recursos hídricos são importantes, para a gestão da bacia hidrográfica, assim como na implantação de programas de restauração de matas ripárias e na definição de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). Segundo Guidolini *et al.* (2018), a sustentabilidade é a melhor forma de abordar os problemas relacionados com a água, podendo as informações sobre a qualidade dos cursos d'água serem associadas a outros indicadores ambientais, e há uma metodologia apropriada a fim de determinar a sustentabilidade do sistema estudado.

Dentre as diversas metodologias existentes, para a determinação da sustentabilidade de um sistema existente no mundo, a do Barômetro da Sustentabilidade (BS), desenvolvida por Robert Prescott-Allen, em 1997, destaca-se pela possibilidade da escolha e integração de indicadores a serem utilizados apresentarem uma metodologia de cálculo simples e possibilitarem a apresentação dos resultados de forma didática (DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2017; MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI JUNIOR, 2012). O BS teve uma grande aceitação mundial, sendo uma metodologia bastante promissora, para a determinação da sustentabilidade de bacias hidrográficas, tornando-se uma excelente ferramenta para a sua gestão (GUIDOLINI *et al.*, 2018).

A execução de estudos que visem ao desenvolvimento de metodologias, baseadas em critérios técnicos e científicos, para a avaliação ambiental de APP ripárias, justifica-se, porque podem contribuir com órgãos e instituições de proteção e controle ambiental na gestão de políticas voltadas para a conservação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor uma metodologia para a avaliação do gradiente de qualidade ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APP) da Mata Atlântica, utilizando ferramentas práticas, baseadas em critérios técnicos e científicos, que auxiliem na gestão das políticas públicas para a conservação e restauração destes ambientes.

2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um protocolo de avaliação rápida com indicadores adequados para a mensuração do gradiente ambiental das APP ripárias da Mata Atlântica;
- b) Avaliar e classificar a qualidade ambiental das APP ripárias de uma bacia hidrográfica da Mata Atlântica em Minas Gerais, utilizando um protocolo de avaliação rápida associado às ferramentas da geotecnologia;
- c) Determinar a sustentabilidade dos municípios inseridos em uma bacia hidrográfica com base em indicadores da qualidade dos recursos hídricos como ferramenta para a gestão de políticas ambientais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Terminologia e importância da vegetação das margens de cursos d'água

Discussões sobre a terminologia a ser utilizada para caracterizar a vegetação existente nas margens dos cursos d'água é antiga. Ribeiro, Walter e Fonseca (1999) destacam que o termo mata ciliar é amplamente utilizado, tanto em textos técnicos quanto na mídia, em geral, para se referir indiretamente às vegetações que acompanham os cursos d'água (rios, ribeirões, riachos, córregos ou igarapés).

Tem-se tentado caracterizar as formações vegetais marginais aos cursos d'água de acordo com a fisionomia e ou paisagem regional. Surgiu a nomenclatura de mata ciliar, para a estreita faixa de vegetação, situada às margens dos rios localizadas em regiões cuja vegetação original de interflúvio (área entre dois cursos d'água) também é florestal (mata atlântica, floresta amazônica, etc). E da mata de galeria, que são formações que margeiam cursos d'água, em que a vegetação de interflúvio não seja florestal, como o cerrado, a caatinga e os campos (MARTINS, 2014).

Kobiyama (2003) assevera que, na língua inglesa, a floresta que ocupa o espaço próximo ao rio se chama *riparian forest*, sendo que a palavra *riparian* é derivada do latim, referindo-se ao banco de terra depositado à margem do rio ou a terra perto da água. A terminologia floresta ripária é descrita na classificação de vegetação de Aubréville, em 1956, como uma das formações florestais edáficas e na classificação de vegetação de Rizzini, em 1979, como uma formação da floresta pluvial (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEORAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012).

Os termos matas ciliares, florestas ripárias, matas de galeria, florestas beiradeiras, florestas ripícolas e florestas ribeirinhas são os principais termos encontrados na literatura para designar as formações florestais que ocorrem margeando os cursos d'água (MARTINS, 2014).

Apesar da maior popularidade do termo mata ciliar, na sociedade brasileira, o uso do termo floresta é mais adequado à nomenclatura da vegetação às margens dos cursos d'água, considerando que a região ripária é o espaço tridimensional que contém a vegetação, o solo e o rio. Esse espaço é delimitado horizontalmente pela extensão máxima alcançada pela água durante as inundações e verticalmente pela extensão que vai do regolito até o topo da floresta (KOBİYAMA, 2003).

A legislação florestal brasileira não estabelece uma nomenclatura oficial referente à vegetação que ocorre nas APP às margens dos cursos d'água. Contudo, em estudos envolvendo relações da vegetação, solo e água, o uso do termo floresta ripária é mais apropriado, para designar a vegetação que ocorre nas margens dos cursos d'água (BERGONZONI *et al.*, 2018; MAGALHÃES; CARVALHO, 2015; NIN; RUPPENTHAL; RODRIGUES, 2007; PHOEBUS; SEGELBACHER; STENHOUSE, 2017; SALEMI *et al.*, 2016; SENNA *et al.*, 2017). Neste trabalho, foi adotada a terminologia floresta ripária.

Independente da terminologia utilizada, a vegetação que margeia os cursos d'água são extremamente importantes ao fornecimento de serviços ecossistêmicos e à manutenção de fluxos ecológicos (FONSECA *et al.*, 2017). Dentre os benefícios oferecidos pela vegetação ripária, destacam-se controlar a erosão nas margens; proteger o solo contra o impacto das gotas de chuvas; interceptar o escoamento superficial, auxiliando na infiltração da água no solo e reduzindo a poluição dos rios com resíduos agrícolas; atenuar o assoreamento dos cursos d'água; sombreamento e redução da temperatura da água; fornecer alimento para a fauna aquática; servir de corredor ecológico viabilizando o fluxo gênico entre populações (GARCIA *et al.*, 2015; MARTINS, 2014; SALEMI *et al.*, 2016).

Mesmo diante da sua grande importância, na prestação de serviços ecossistêmicos, a vegetação ripária foi o principal alvo da degradação causada pelo ser humano, visto que a maioria das cidades brasileiras foram estabelecidas às margens dos rios. São os ambientes mais afetados pela construção das hidrelétricas, são regiões preferidas para a implantação de culturas agrícolas e, na visão dos pecuaristas, representam uma barreira a fim de que o gado tenha acesso à água (MARTINS, 2014). Essas ações humanas ocasionaram a degradação pela alteração do uso do solo em 7,2 milhões de hectares, em região ripária da mata atlântica brasileira (REZENDE *et al.*, 2018), tornando-se necessária a realização de ações baseadas nos mecanismos legais existentes para a realização de programas de restauração desses ambientes de grande importância ambiental (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

3.2 Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água na legislação brasileira

Com a descoberta e colonização do Brasil pelos portugueses, iniciou-se uma intensa exploração de diversas espécies da flora nativa, com destaque para o Pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), utilizada na indústria de tinturaria (SIMONSEN, 2005). Esse acontecimento fez com que os regentes portugueses instituísem mecanismos de comando e controle (regimentos, cartas régias e alvarás), restrições e regulamentos para a utilização e exploração

dos recursos florestais no Brasil (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009). Esses regulamentos, salvo algumas exceções, como a lei de uso da terra (que previa a manutenção de reservas florestais em 1/6 das áreas vendidas ou doadas), não possuíam cunho de preservação ambiental e, sim, a finalidade de preservação econômica dos recursos florestais em favor da coroa portuguesa (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009; SPAROVEK *et al.*, 2011).

O primeiro Código Florestal (Decreto Federal de nº 23.793 de 1934) instituía a preservação de 25% (quarta parte) das florestas nas propriedades, mas não definia em qual local da propriedade deveria ocorrer a preservação. Esse decreto classificava as florestas em quatro categorias: protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. Sendo a categoria de florestas protetoras por definição, dada por essa legislação às precursoras das atuais APP, contudo não existia, no código florestal, nenhuma quantificação de qual tamanho deveria possuir (BORGES *et al.*, 2011; LAUDARES, 2014).

Em 1965, houve a promulgação do novo Código Florestal (Lei nº 4.771/1965), em que, pela primeira vez, foi definida a área de preservação permanente, uma nova denominação para as florestas protetoras do Código Florestal de 1934 (MACHADO, 2013). Na sua versão original, estabelecia a Floresta de Preservação Permanente, ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, a faixa marginal com largura variando de 5 a 100 metros, de acordo com a largura do curso d'água (BRASIL, 1965). No ano de 1989, ocorreram alterações introduzidas pela Lei nº 7.803/1989, alterando o ponto de medição que passou a ser o nível mais alto do curso d'água e a largura da faixa da APP (área substituiu o termo floresta) que vai variar de 30 a 500 metros de acordo com a largura do rio (BRASIL, 1989).

A atualização mais recente da legislação florestal brasileira ocorreu com a Lei nº 12.561/2012 e suas alterações posteriores, dispondo sobre a proteção da vegetação nativa, baseando-se principalmente na preservação das áreas de RL das propriedades rurais e das APP. Para as APP ripárias, ficou estabelecida a faixa desde a borda da calha do leito regular (calha por onde correm regularmente as águas durante o ano) até uma metragem definida de acordo com a largura do curso d'água (TABELA 1) (BRASIL, 2012).

Tabela 1 – Largura das APP ripárias em relação à largura do curso d'água.

Largura do curso d'água (m)	Largura da faixa de APP (m)
< 10	30
10 – 50	50
50 – 200	100
200 – 600	200
> 600	500

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Essa versão mais atual do código florestal trouxe retrocessos à redução do tamanho da APP ripária, ao deixar de considerar como a faixa que deve ser preservada e restaurada, a partir do local atingido pelo nível máximo de cheia, utilizado anteriormente, pelo leito regular do curso d'água (BRANCALION *et al.*, 2016). E reduzindo a faixa da APP que deve ser recuperada pelos proprietários, ao instituir as áreas rurais consolidadas (aquelas desmatadas e utilizadas por atividades antrópicas antes de 22 de julho de 2008), em que a restauração da APP será realizada de acordo com a largura do curso d'água e o tamanho do imóvel rural (BRANCALION *et al.*, 2016; SOARES-FILHO *et al.*, 2014). Os imóveis rurais, enquadrados nesta situação, têm que recuperar as suas APP, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Largura das APP ripárias a serem recuperadas em áreas rurais consolidadas em relação ao tamanho do imóvel rural em módulo fiscal.

Tamanho da propriedade (MF)	Largura da faixa de APP a ser recomposta (m)
1MF ≤ propriedade	5
1MF > Propriedade ≤ 2MF	8
2MF > Propriedade ≤ 4MF	15
Propriedade > 4 MF	Toda a faixa observado o mínimo de 20 (vinte) e o máximo de 100 (cem) metros

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Conforme Soares-Filho *et al.* (2014), a flexibilização da legislação florestal brasileira, quanto à necessidade de restauração das APP e das RL, implicará a redução de aproximadamente 21 milhões de hectares de área de vegetação nativa que deveria ser restaurada, quando comparado se os critérios do código florestal de 1965 fossem seguidos, sendo 22% dessa área provenientes da redução da restauração da APP. A introdução do conceito de área rural consolidada vai ter a redução de 80% da largura da APP a ser restaurada passando de uma faixa de 30 a 500 metros, para uma faixa de 5 a 100 metros de largura, com isso, tem-se a diminuição da zona de amortecimento dos impactos das atividades antrópicas sobre o curso d'água (KRÖGER, 2017).

A lei vigente também trouxe avanços à conservação e restauração da vegetação, estabelecendo medidas inovadoras e estabelecendo incentivos para o cumprimento da lei. Dentre essas medidas estão a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), cujos proprietários e posseiros rurais que deverão, por meio de um registro on-line, utilizando imagens de satélites, informar a situação ambiental do seu imóvel rural, munindo o poder público de informações que vão permitir a elaboração de estratégias para o controle, fiscalização, licenciamento, recuperação e aporte de incentivos visando à preservação florestal (AZEVEDO *et al.*, 2017; BRANCALION *et al.*, 2016; SOARES-FILHO *et al.*, 2014; VANZETTO *et al.*, 2017).

Assim os proprietários rurais cadastrados no CAR que possuem passivos ambientais poderão aderir ao Programa de Regularização Ambiental (PRA) e se adequarem à lei, comprometendo-se na recuperação, recomposição ou regeneração das suas APP irregulares e garantir vantagens como o perdão de multas e a consolidação das atividades agrosilvipastoris e de infraestruturas localizadas na APP (BRANCALION *et al.*, 2016; VANZETTO *et al.*, 2017). As informações prestadas pelos produtores no CAR deverão ser validadas pelos órgãos ambientais competentes, possibilitando a introdução de metodologias para a avaliação da qualidade ambiental dessas áreas.

3.3 Protocolo de Avaliação Rápida

Realizar o diagnóstico sobre a qualidade ambiental de determinado local é de extrema importância à condução de ações voltadas à preservação e recuperação de ecossistemas (RODRIGUES, 2008), quando os ecossistemas estudados são córregos ou rios não se deve apenas caracterizar o corpo d'água, mas também o ambiente marginal ao seu curso, pois existem complexas interações entre eles (MINATTI-FERREIRA; BEAUMORD, 2006).

Os diagnósticos ambientais utilizam-se de informações que podem ser obtidas, por meio de avaliações quantitativas ou qualitativas, sendo que os métodos quantitativos apresentam resultados mais eficientes, entretanto possuem, como desvantagem, a necessidade da realização de análises de laboratórios que exigem equipamentos apropriados aumentando assim o seu custo e tempo de resposta (BIZZO; MENEZES; ANDRADE, 2014).

Nesse contexto, na década de 1980, a *Environmental Protection Agency* (EPA) iniciou estudo sobre o monitoramento da qualidade de águas superficiais, resultando no relatório *Surface Water Monitoring: A Framework for Change*, publicado em 1987, que enfatizava a necessidade de reestruturação dos programas de monitoramento praticados. Recomendava o

desenvolvimento e aplicação de técnicas de monitoramento biológico e de procedimentos, para a avaliação do meio físico, que deveria possuir baixo custo de realização e ter capacidade de identificar os problemas existentes (RODRIGUES, 2008).

Em 1989, iniciaram-se as experiências com protocolos de avaliação biológica que forneciam dados básicos sobre a vida aquática com a finalidade de determinar a qualidade da água e gerenciar recursos hídricos (PLAFKIN *et al.*, 1989; RODRIGUES, 2008). O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de rio, adotado pela EPA, utiliza 10 parâmetros de avaliação que somados permitem caracterizar o trecho do curso d'água, qualitativamente, estabelecendo uma pontuação para o estado em que o ambiente se encontra, sendo classificada de acordo com o somatório da pontuação dos parâmetros em: ruim (0 – 50), razoável (51 – 100), boa (101 – 150) ótima (151 – 200) (HANNAFORD; BARBOUR; RESH, 1997; PLAFKIN *et al.*, 1989; SILVA *et al.*, 2016).

O PAR é uma ferramenta extremamente útil à avaliação de um curso d'água, levantando as características das suas seções; avalia de forma integrada as condições físicas e biológicas do ambiente fluvial e o seu estado de conservação ou degradação (RODRIGUES; CASTRO, 2008). Por ser uma metodologia baseada na observação das características do meio, o resultado da avaliação, utilizando o PAR, depende do conhecimento que o avaliador possui e da sua capacidade de perceber as alterações antrópicas existentes no local avaliado, sendo que essa subjetividade pode ser amenizada com a realização de um treinamento prévio (RODRIGUES, 2008).

A metodologia do PAR apresenta versatilidade e adaptabilidade a condições diversas, podendo sofrer complementações e adequações, de acordo com as especificidades locais e regionais, assim, pode ser empregada nos mais diversos tipos de cursos d'água, necessitando apenas da realização de adaptações que garantam a sua compatibilidade com as condições do ecossistema fluvial estudado (BRINSON *et al.*, 2013).

No final da década de 1990, intensificaram-se as discussões quanto à importância da utilização de critérios integrados na avaliação da qualidade dos recursos hídricos. Por permitir a integração dos indicadores ambientais, aliada à sua versatilidade, rapidez e baixo custo de realização, a metodologia do PAR passou a ser utilizada, em diversos locais do mundo (BRINSON *et al.*, 2013; RODRIGUES; CASTRO, 2008), destacando-se os trabalhos de monitoramento de cursos d'água para EPA (BARBOUR *et al.*, 1999; HANNAFORD; BARBOUR; RESH, 1997); na avaliação de rios de regiões pantanosas em Delaware e Maryland (SIFNEOS *et al.*, 2010); na comparação de métodos de avaliação na bacia do rio Elba na República Tcheca (ŠÍPEK; MATAUŠKOVÁ; DVOŘÁK, 2010); no estudo de rios de

uma bacia costeira na Carolina do Norte (BRINSON *et al.*, 2013), na deposição de sedimentos, em riachos para o serviço florestal americano (LISLE *et al.*, 2015), na avaliação de riachos restaurados na Carolina do Norte (DOLL *et al.*, 2016) e na avaliação ecológica do rio Zahuapan no México (MEJÍA *et al.*, 2017).

No Brasil, a metodologia foi introduzida, a partir do trabalho acadêmico e de pesquisa conduzido por Callisto *et al.* (2002), em cursos d'água montanos inseridos no Parque Nacional da Serra do Cipó, em Minas Gerais e no Parque Nacional da Bocaina no Rio de Janeiro, adaptando um PAR da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA), servindo de base a diversos outros trabalhos realizados no país. Destacam-se trabalhos no rio Itajaí-Mirim em Santa Catarina (MINATTI-FERREIRA; BEAUMORD, 2006), em córregos situados em campo rupestre no Parque Estadual do Itacolomi em Minas Gerais (RODRIGUES; CASTRO, 2008), em educação ambiental de estudantes do ensino médio no Rio Grande do Sul (BERGMANN; PEDROZO, 2009), na avaliação da qualidade da água de aproveitamento hidroelétrico em Goiás (PIMENTA; PEÑA; GOMES, 2009), comparando a qualidade dos rios das Pedras e Cascavel no Paraná (KRUPEK, 2010), na avaliação do rio Gualaxo do Norte em Minas Gerais (RODRIGUES *et al.*, 2012), na educação ambiental de estudantes de ensino fundamental em Goiás (GUIMARÃES; RODRIGUES; MALAFAIA, 2012), na avaliação dos rios do município de Ipameri em Goiás (FIRMINO; MALAFAIA; RODRIGUES, 2012), na avaliação ambiental de microbacias no Espírito Santo (VARGAS; FERREIRA-JÚNIOR, 2012), na avaliação do rio Pardo em Minas Gerais e São Paulo (MACHADO *et al.*, 2015), na avaliação de veredas no estado de Goiás (GUIMARÃES; RODRIGUES; MALAFAIA, 2017), na avaliação da qualidade de águas em balneários de Minas Gerais (LOPES; OLIVEIRA, 2017), adaptado à avaliação de trilhas no Parque Estadual Cunhambebe no Rio de Janeiro (RANGEL; BOTELHO, 2017).

A utilização dessa metodologia apresentou versatilidade, em estudos de avaliação ambiental, contudo a sua grande maioria utilizou a transcrição dos indicadores e parâmetros de avaliação da proposta americana de Barbour *et al.* (1999) que, muitas vezes, não são ideais para as condições brasileiras.

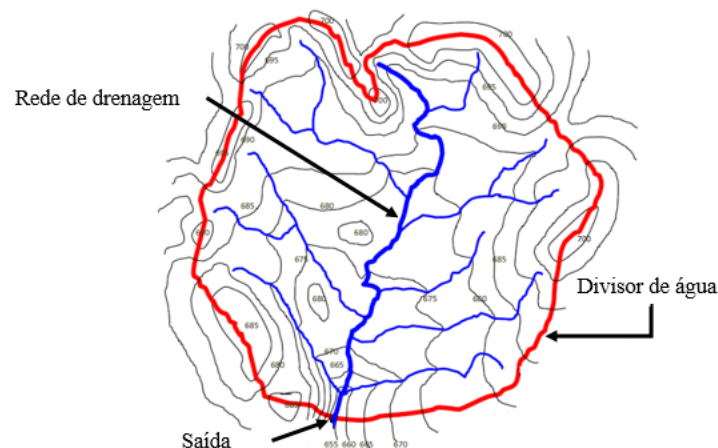
A utilização da metodologia de avaliação rápida pode ser uma ferramenta importante, para órgãos ambientais e organizações de preservação ambiental, por ser um instrumento de baixo custo econômico; poder ser utilizado por pessoas de diversos segmentos sociais, bastando o seu prévio treinamento; é capaz de oferecer alerta da ocorrência de acidentes ambientais, servir de apoio a ações de restauração de cursos d'água e do seu ambiente ripário

e ainda permitir a participação efetiva da sociedade na gestão dos recursos hídricos (FIRMINO; MALAFAIA; RODRIGUES, 2012; RODRIGUES, 2008).

3.4 Gestão de bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica fisicamente é definida como uma porção de área delimitada pelos divisores de água (regiões de relevo elevado) e drenada por uma rede de cursos d'água, com sua vazão direcionada para uma única saída (GOMES, 2010), conforme apresentado na Figura 1. As bacias hidrográficas realizam a tarefa de receber a água das precipitações, em determinado volume e qualidade, realizar a interação dessa água com os elementos do meio e disponibilizá-la pelas nascentes, cursos d'água e poços freáticos e artesianos com outro volume e qualidade (GOMES; LANIS; ALVARENGA, 2011).

Figura 1 – Representação esquemática de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de Sperling (2007).

A água é um elemento vital à natureza e ao desenvolvimento da sociedade humana, sendo importante à satisfação dos processos biológicos básicos, produção de alimento, geração de energia, processos industriais, navegação e recreação (ANDRADE, 2010; KHAN; ZHAO, 2019). As ações humanas, todavia, como a alteração do uso do solo e geração de efluentes como água residuária e industrial, têm provocado a escassez de água, em diversas partes do mundo, causando preocupação econômica e social (BAGANTIN *et al.*, 2014). Ocorre, desta forma, a necessidade do estabelecimento de políticas, para a conservação da água, por meio do manejo das bacias hidrográficas (BROWN; LAVKULICH; SCHREIER, 2011; SOUZA; GASTALDINI, 2014).

O código das águas, instituído pelo Decreto Federal de nº 24.643/1934, foi a primeira política pública brasileira voltada à gestão das águas. Esse decreto deixava o poder decisório centralizado, nos altos escalões do governo e era voltado, prioritariamente, ao atendimento das demandas de produção de energia elétrica essencial ao desenvolvimento do país na época (MARINHO; MORETTI, 2013). Com o passar do tempo, diversos pactos, para a gestão dos recursos hídricos (navegação, controle de cheias, uso da água, controle da erosão do solo etc), em nível local e regional, foram estabelecidos em nosso país (PORTO; PORTO, 2008).

A Constituição Federal de 1988 determina a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) e define critérios de outorga e direitos de uso da água (RAUBER; CRUZ, 2013). A Lei Federal de nº 9.943/1997 veio regulamentar os artigos constitucionais, instituindo a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) que, entre os seus fundamentos, tornou a bacia hidrográfica a unidade territorial, para a implementação da PNRH e instituiu que a gestão dos recursos hídricos no país deva ser integrada e descentralizada, delegando a responsabilidade da gestão das bacias hidrográficas aos estados, municípios e à sociedade civil (COSTA; MERTENS, 2015; MESQUITA, 2018). Esse modelo de gestão descentralizado e participativo adotado pela PNRH foi inspirado no modelo francês de gestão das águas, criado em 1964, que tratava da repartição das águas, do controle da poluição, da qualidade das águas e da criação de medidas de proteção dos mananciais (MESQUITA, 2018).

A constituição dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) que são órgãos colegiados, compostos por representantes do poder público (municipal, estadual e federal), dos usuários da água e da sociedade civil, participam da gestão dos recursos hídricos da bacia, tendo como competência promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos da bacia; articular a atuação das entidades que trabalham com esse tema; arbitrar, em primeira instância, os conflitos relacionados a recursos hídricos; aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da Bacia; estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (CHIODI; SARCINELLE; UEZU, 2013; FADUL; VITORIA; CERQUEIRA, 2017; LORENZON *et al.*, 2018; RAUBER; CRUZ, 2013).

A gestão da bacia hidrográfica é um processo de formulação e de implementação de políticas para o uso, conservação e proteção ambiental dos recursos hídricos, levando em consideração a integração da água com os meios físicos, biológicos, sociais, econômicos e cultural (REDDY; SAHARAWAT; GEORGE, 2017). No caráter ambiental, as bacias

hidrográficas são os ecossistemas adequados à avaliação dos impactos causados pelas atividades antrópicas que possam acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e da qualidade da água, uma vez que essas variáveis são relacionadas com o uso do solo (PESSÔA; FAÇANHA, 2016).

Sendo assim, torna-se necessário disponibilizar informações sobre a qualidade dos recursos hídricos e das atividades antrópicas que possam influenciar nesta qualidade a fim de que os gestores dos CBH possam tomar as decisões mais acertadas. A sustentabilidade é a melhor abordagem para tratar dos problemas relacionados com a água, existindo diversas metodologias empregadas, para avaliar a sustentabilidade, no entanto, para possibilitar a sua aplicação prática, deve ser flexível na definição dos indicadores ambientais, ser de fácil aplicação e ter apresentação didática dos resultados (GUIDOLINI *et al.*, 2018).

3.5 Indicadores e métodos para a determinação da sustentabilidade

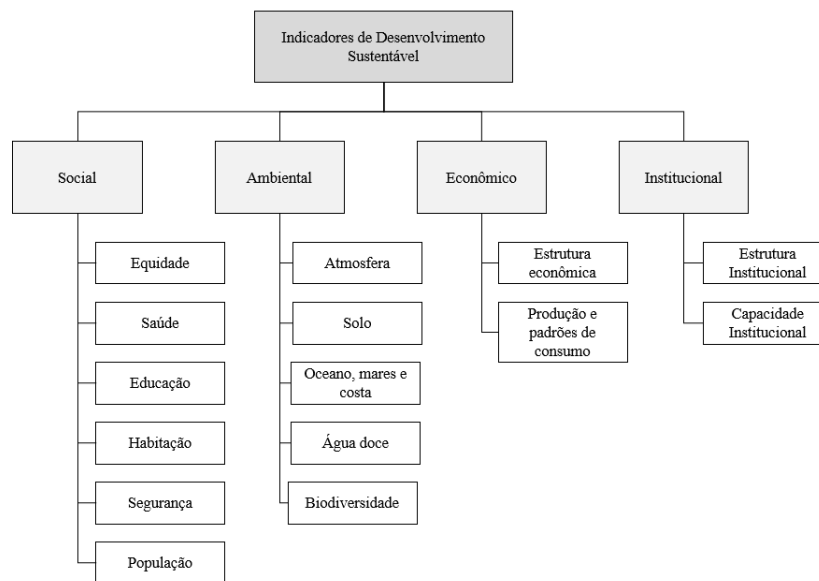
Na década de 1960, os movimentos marginais (hippie, contracultura, feminismo, minoria raciais, etc) e os cientistas do clube de Roma desenvolveram trabalhos que abordavam os limites ecológicos e sociais da ideologia de consumo. Essas ideias foram discutidas na conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o meio ambiente, em Estocolmo, em 1972, quando foi lançado o alerta sobre o crescimento demográfico, aumento da poluição e degradação ambiental, capacidade de carga do planeta e necessidade de um modo de vida sustentável (GOUVEIA, 2010).

O Relatório Brundtland de 1987 fez o alerta que, para a humanidade ter um futuro melhor, deve-se elaborar meios à preservação ambiental, definindo o desenvolvimento sustentável como um modelo que procura satisfazer as necessidades presentes e não comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades (SARDAIN; TANG; POTVIN, 2016; TOTH; SZIGET, 2016).

A utilização do conceito de desenvolvimento sustentável exigiu a criação de indicadores que medem o desempenho de estados e organizações em termos de sustentabilidade (PEREIRA; ORTEGA, 2012). Na conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento sustentável, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, foi definido o principal objetivo dos indicadores de sustentabilidade que é o fornecimento de informações, para a tomada de decisões, que contribuam para o desenvolvimento da sociedade respeitando a sustentabilidade ambiental (SILVA; BORGES; FREITAS, 2013).

A Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (CDS) da ONU elaborou uma estrutura, para a avaliação da sustentabilidade de governança, que aborda quatro aspectos do desenvolvimento (social, ambiental, econômico e institucional), agrupando 15 indicadores principais (LABUSCHAGNE; BRENT; VAN ERCK, 2005). Essa estrutura é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Aspectos e indicadores de sustentabilidade utilizados pela CDS da ONU.



Fonte: Adaptado de Labuschagne, Brent e Van Erck (2005).

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), seguindo as recomendações da CDS da ONU, desenvolveu indicadores de desenvolvimento sustentável adaptados à realidade do país, fornecendo subsídios, para o acompanhamento da sustentabilidade do padrão de desenvolvimento brasileiro, nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional. Utilizando 63 indicadores produzidos com dados adquiridos nas pesquisas do IBGE e de diversas outras instituições, procuram mensurar, em seus aspectos essenciais, as qualidades ambiental e de vida da população, o desempenho macroeconômico do país, os padrões de produção e consumo e a governança para o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015).

Assim, os indicadores de sustentabilidade ganharam grande importância e são cada vez mais reconhecidos como ferramentas utilizadas na formulação de políticas públicas e na divulgação do desempenho governamental e corporativo nos campos ambiental, econômico e social (SINGH *et al.*, 2012). Os indicadores são utilizados de forma integrada, em métodos

para a avaliação da sustentabilidade de um sistema (países, estados, municípios, comunidades, etc). Entre os diversos métodos de avaliação da sustentabilidade construídos, destacam-se a Pegada Ecológica (*Ecological footprint*), Índice da Performance Ambiental (*Environmental Performance Index*), o Barômetro da Sustentabilidade (*Barometer of sustainability*), o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (*Environmental Vulnerability Index*) e o Painel da Sustentabilidade (*Dashboard of sustainability*) (MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI JUNIOR, 2012; PEREIRA; SAUER; FAGUNDES, 2016).

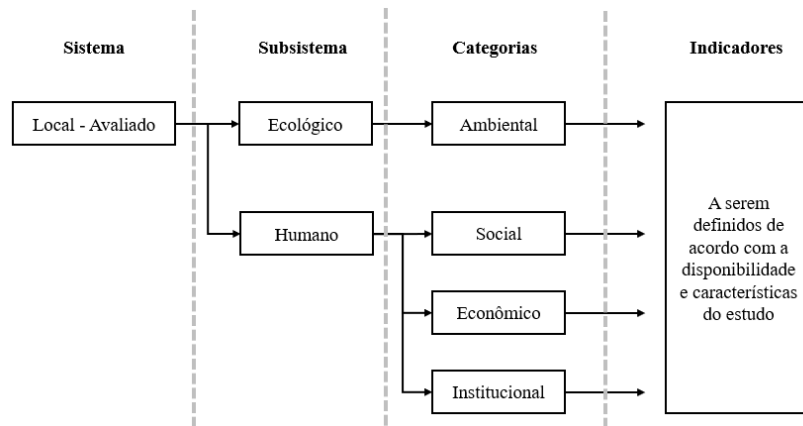
3.6 Barômetro da Sustentabilidade

A metodologia do Barômetro da Sustentabilidade (BS) foi desenvolvida, em 1997, por Robert Prescott-Allen e a equipe do *International Development Research Center* (IDRC) e do *World Conservation Union* (IUCN). Esse método avalia o progresso das comunidades à sustentabilidade, por meio da integração de indicadores econômicos, biofísicos e de saúde social, que são mensurados individualmente e convertidos para uma unidade padrão. São, então combinados, de forma que todos os valores sejam agregados, permitindo uma avaliação final em um gráfico bidimensional, proporcionando a classificação da sustentabilidade do sistema avaliado (KRONEMBERGER *et al.*, 2008; MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI JUNIOR, 2012; PRESCOTT-ALLEN, 1997).

O BS obteve grande aceitação mundial por sua efetividade de uso que varia da escala global para escalas locais, pela possibilidade de combinação de um grande número de indicadores divididos em duas dimensões (humana e ecológica), pela simplicidade nos cálculos e por apresentar os resultados na forma gráfica (BATALHÃO; TEIXEIRA, 2013; DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2017).

A fim de determinar a sustentabilidade de um sistema utilizando o BS, os indicadores devem ser escolhidos, conforme a disponibilidade das informações existentes, sendo organizados seguindo uma hierarquia (PRESCOTT-ALLEN, 1997) (FIGURA 3). Esses indicadores devem, de preferência, representarem temas importantes à população e o meio ambiente e, se possível, indicar a existência de metas ou padrões estabelecidos mundialmente ou em nível de país para atingir a qualidade desejada (KRONEMBERGER *et al.*, 2008) e serem levantados por órgãos ou instituições governamentais que permitirão o acompanhamento da sua evolução no futuro e as comparações com outros sistemas.

Figura 3 – Hierarquia utilizada para a organização dos indicadores de sustentabilidade pelo método do BS.

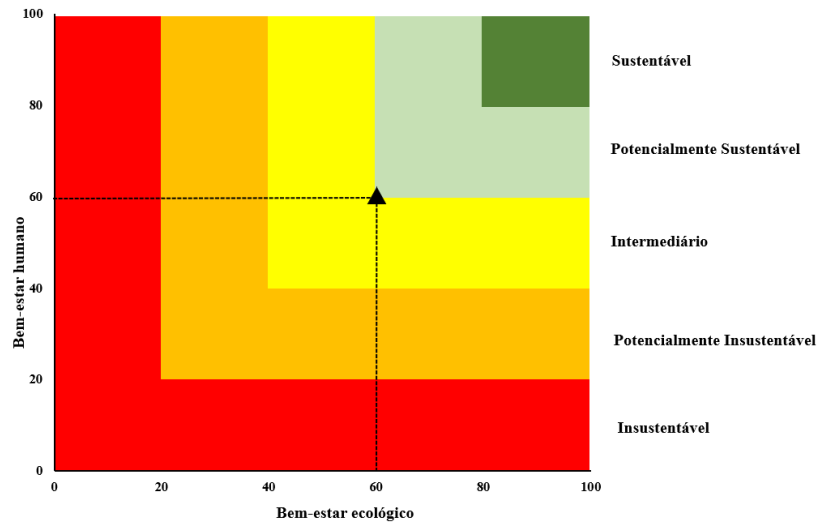


Fonte: Adaptado de Prescott-Allen (1997).

Após a escolha dos indicadores, é realizada a avaliação dos indicadores no sistema estudado e, como esses geralmente estão em escalas diferentes da utilizada pela metodologia do BS, que trabalha com uma escala de 100 pontos divididos e classificados em: Insustentável (0 – 20), Potencialmente Insustentável (21 – 40), Intermediário (41 – 60), Potencialmente Sustentável (61 – 80) e Sustentável (81 – 100), torna-se necessária, por meio de interpolação, a sua conversão para a escala do BS (SILVA; VIEIRA, 2016).

Seguindo a metodologia de Prescott-Allen (1997), após todos os indicadores serem convertidos para a escala do BS, são agregados nas suas categorias e pela média aritmética simples chega-se à pontuação da categoria, subsequentemente, calcula-se da mesma maneira a pontuação dos dois subsistemas que são plotadas, em um gráfico bidimensional, que irá permitir o cálculo da sustentabilidade do sistema (FIGURA 4).

Figura 4 – Gráfico bidimensional utilizado para a determinação da sustentabilidade de um sistema pela metodologia do BS.



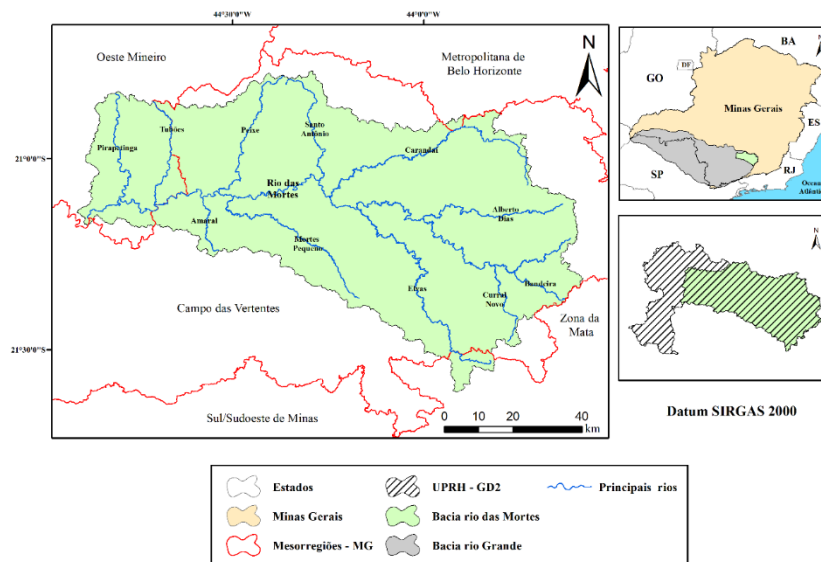
Fonte: Adaptado de Prescott-Allen (1997).

Pela sua praticidade e adaptabilidade, a metodologia do BS foi utilizada, em diversos trabalhos no Brasil, em que se destaca a avaliação da sustentabilidade do país (KRONEMBERGER *et al.*, 2008) de alguns estados brasileiros (CETRULO; MOLINA; MALHEIROS, 2013; DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2017), em vários municípios (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016; LUCENA; CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2011; NOGUEIRA, 2016; OLIVEIRA; OLIVEIRA; CARNIELLO, 2015), na avaliação de assentamentos rurais (SILVA; VIEIRA, 2016), na avaliação de recursos hídricos (BATALHÃO; TEIXEIRA, 2013) e na avaliação de bacias hidrográficas (GOMES, 2017; GUIDOLINI *et al.*, 2018; KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004), mostrando-se uma ferramenta útil para a avaliação de sistemas diversos.

4 RELEVÂNCIA DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto deste estudo é a bacia hidrográfica do rio das Mortes, sub-bacia do rio Grande, em Minas Gerais, situada entre os paralelos de 20°30' e 22°00' de latitude sul e entre os meridianos de 43°30' e 45°00' de longitude oeste, tendo o seu território inserido nas mesorregiões administrativas do Campo das Vertentes, Oeste Mineiro, Metropolitana de Belo Horizonte e Zona da Mata. Pertence à Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH), comitê da bacia hidrográfica vertentes do rio Grande (GD2), da qual representa 62,8% do território (FIGURA 5). O rio das Mortes possui uma extensão de 278 km, nasce na serra da Mantiqueira, no município de Barbacena, tendo sua foz no reservatório da represa do Funil no rio Grande entre os municípios de Bom Sucesso, Ibituruna e Ijaci, possuindo como principais afluentes os rios Alberto Dias, Amaral, Bandeira, Carandaí, Curral Novo, Elvas, Mortes Pequeno, Peixe, Pirapetinga, Santo Antônio e Tubões (ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014).

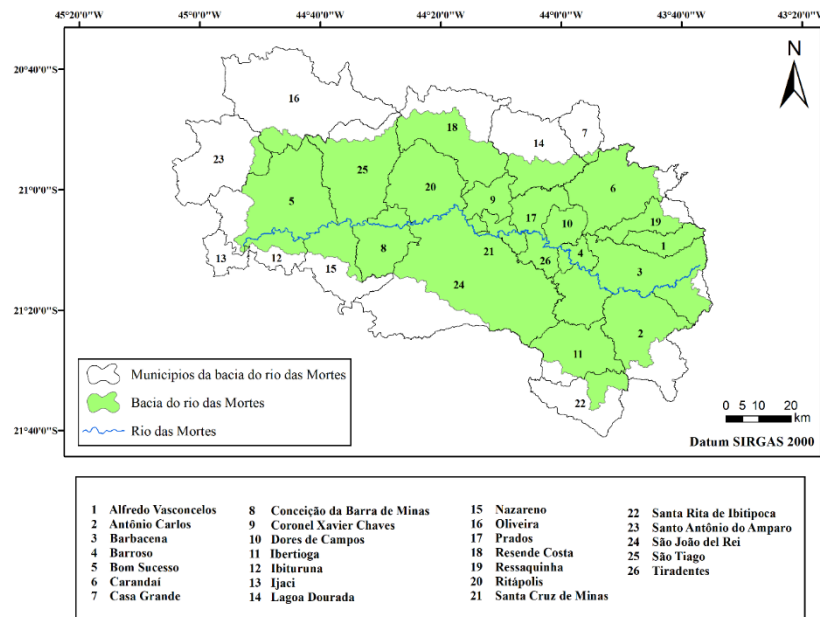
Figura 5 – Localização da bacia do rio das Mortes, em relação ao estado de Minas Gerais, à bacia do rio Grande e à UPGRH – GD2.



Fonte: Do Autor (2020).

A bacia do rio das Mortes possui uma área de 6.607,0 km² abrangendo o território de 26 municípios (FIGURA 6).

Figura 6 – Municípios inseridos na bacia do rio das Mortes.



Fonte: Do Autor (2020).

Os municípios da bacia apresentam grande variação em sua extensão territorial e distribuição populacional (TABELA 3). O município de São João del Rei é o de maior área, ocupando 1.056,5 km² na bacia (15,99% do total), contrastando com o de Ijaci que ocupa 1,3 km² (0,02% do total). A população estimada, residente na bacia do rio das Mortes, é de 374.300 habitantes, os municípios de Barbacena e São João del Rei concentram 55,87% dessa população, a qual apresenta a maior concentração, em área urbana (86,2%), com 13,8% dos habitantes residindo na zona rural.

Tabela 3 – Distribuição do território e da população dos municípios inseridos na bacia do rio das Mortes.

(Continua)

Município	Área (km ²)		População			
	Total	Bacia	Total	Bacia	Urbana %	Rural %
Alfredo Vasconcelos	130,8	130,5	6.075	6.070	66,4	33,6
Antônio Carlos	529,9	364,4	11.114	10.087	70,4	29,6
Barbacena	759,2	734,1	126.284	125.931	91,5	8,5
Barroso	82,1	82,1	19.599	19.599	96,8	3,2
Bom Sucesso	705,1	566,3	17.243	16.643	82,3	17,7
Carandaí	487,3	444,5	23.346	22.895	78,0	22,0
Casa Grande	157,7	12,6	2.244	90	50,0	50,0
Conceição da Barra de Minas	273,0	272,7	3.954	3.953	70,6	29,4
Coronel Xavier Chaves	140,9	140,9	3.301	3.301	54,5	45,5

Tabela 3 – Distribuição do território e da população dos municípios inseridos na bacia do rio das Mortes.

(Conclusão)

Município	Área (km ²)		População			
	Total	Bacia	Total	Bacia	Urbana %	Rural %
Dores de Campos	124,8	124,8	9.299	9.299	90,9	9,1
Ibertioga	346,2	298,0	5.036	4.816	68,6	31,4
Ibituruna	153,1	78,1	2.866	2.679	86,7	13,3
Ijaci	105,3	1,3	5.859	3	95,7	4,3
Lagoa Dourada	476,7	183,7	12.256	8.958	56,2	43,8
Nazareno	341,4	152,2	7.954	850	76,0	24,0
Oliveira	897,3	67,8	39.466	323	89,2	10,8
Prados	264,1	264,1	8.391	8.391	70,7	29,3
Resende Costa	618,3	381,5	10.913	10.095	80,4	19,6
Ressaquinha	183,1	139,1	4.711	4.305	64,2	35,8
Ritópolis	404,81	404,8	4.925	4.925	69,2	30,8
Santa Cruz de Minas	3,6	3,6	7.865	7.865	100,0	0,0
Santa Rita de Ibitipoca	324,2	83,4	3.583	2.580	62,3	37,7
Santo Antônio do Amparo	488,9	48,9	17.345	216	87,6	12,4
São João del Rei	1.452,0	1.056,5	84.469	83.213	94,5	5,5
São Tiago	572,4	487,9	10.561	10.253	80,2	19,8
Tiradentes	83,0	83,0	6.961	6.961	77,2	22,8
TOTAL	10.105,3	6.607,0	455.620	374.300	86,2	13,8

Fonte: Adaptado do IBGE (2020).

O rio das Mortes e sua bacia possuem grande importância desde o período colonial brasileiro, dando nome à Comarca do rio das Mortes que foi criada, em 1714, sendo descrita pelo naturalista francês, Auguste de Saint-Hilarie, como a comarca mais meridional da província de Minas Gerais, com divisas com as comarcas de Paracatu, Sabará e Vila Rica e as províncias do Rio de Janeiro e São Paulo. Apresenta grandes riquezas naturais do ponto de vista científico e econômico (BORGES; ABJAUDI, 2016; PINTO, 2010).

Essa comarca ocupava quase um quinto da área atual do estado de Minas Gerais, estando subordinada a duas vilas: São João e São José (atuais São João del Rei e Tiradentes). A economia da região foi, inicialmente, voltada à mineração de ouro, no entorno dessas vilas. Com o declínio do ciclo do ouro e as mudanças políticas (proclamação da independência e posteriormente da república), a área pertencente à comarca do rio das Mortes se dividiu em diversas regiões de Minas Gerais e o foco econômico da região passou a ser a produção agropecuária (café, gado, leite, etc), extração de novos minerais (ferro, estanho, calcário, etc) a industrialização de algumas cidades e o comércio (ALMEIDA, 2005; PINTO, 2010; PRIORE; VENANCIO, 2010).

Considerando o Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios inseridos na bacia, tem-se uma grande desigualdade na distribuição da riqueza com Barbacena e São João del Rei respondendo por 48,2% do valor do PIB da bacia. A bacia classifica-se como de serviço/indústria, tendo em vista que registra participação de 78,1% na composição do PIB dos 26 municípios e, mesmo com pequena participação no PIB total da bacia, o setor agropecuário é a principal fonte de geração de receita para dez municípios da bacia (BORGES; ABJAUDI, 2016; ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014).

Dentre as atividades de geração de renda e empregos, destacam-se, na indústria (metalúrgica, fabricação de cimento, laticínios, alimentos e artefatos de couro), no comércio em geral, na mineração (areia, cascalho e minerais não metálicos), na agricultura (milho, feijão, soja, trigo, café, eucalipto) e na pecuária (gado leiteiro, frangos e suínos) (ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014).

O clima predominante na bacia do rio das Mortes é o tropical de altitude, com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa e Cwb pela classificação de Köppen, apresentando uma precipitação média anual de 1.450 mm (ZULIANI, 2006). Os tipos de solos predominantes na bacia são Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro (BORGES; ABJAUDI, 2016).

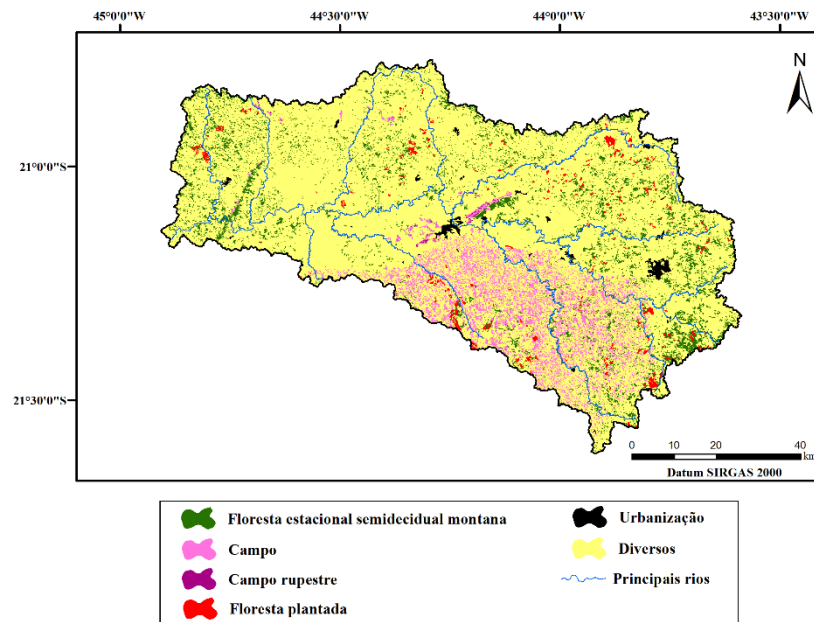
O território da bacia do rio das Mortes está inserido no domínio da Mata Atlântica (CARVALHO *et al.*, 2008). De acordo com o inventário florestal de Minas Gerais de 2009, a bacia apresenta 84,42% da sua área ocupada por atividades antrópicas (agropecuária, urbanização e área degradada) e 15,58% de cobertura com vegetação nativa, representada pelas seguintes tipologias: Floresta estacional semidecidual montana, Campo e Campo rupestre (MINAS GERAIS, 2019) (TABELA 4 e FIGURA 7).

Tabela 4 – Quantificação do uso do solo na bacia do rio das Mortes.

Uso do Solo	Área (km ²)	% do Total
Vegetação Nativa	1.029,39	15,58
➤ Floresta estacional semidecidual montana	561,58	8,50
➤ Campo	462,39	7,00
➤ Campo rupestre	5,42	0,08
Antrópico	5.577,65	84,42
➤ Floresta plantada (eucalipto)	91,74	1,39
➤ Urbanização	48,81	0,74
➤ Diversos (agropecuária, solo exposto)	5.437,10	82,29
Total	6.607,04	100,00

Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2019).

Figura 7 – Uso do solo na bacia do rio das mortes.



Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2019).

Na bacia do rio das Mortes, estão localizadas três UC sendo uma de proteção integral (Reserva de Vida Silvestre (RVS) – Libélulas da Serra de São José com 3.717 hectares) e duas de uso sustentável (Área de Proteção Ambiental (APA) – Serra de São José com 4.758 hectares e a Floresta Nacional (Flona) – Ritópolis com 89,13 hectares) (BORGES; ABJAUDI, 2016). A APA Serra de São José se sobrepõe à RVS. As unidades de conservação inseridas na bacia representam apenas 0,72% do seu território, contando também com três Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) que totalizam 129,69 hectares (MINAS GERAIS, 2019).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. M. C. de. De Vila Rica ao Rio das Mortes: mudança do eixo econômico em Minas colonial. **Locus: Revista de História**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 137-160, 2005.
- ANDRADE, J. F. A água e o desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p. 187-203, 2010.
- AZEVEDO, A. A. *et al.* Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **PNAS**, Washington, DC, v. 114, n. 29, p. 7653-7658, 2017.
- BAGATIN, R. *et al.* Conservation and improvements in water resource management: a global challenge. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 77, p. 1-9, 2014.
- BARBOUR, M. T. *et al.* **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish**. 2th ed. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999. 339 p.
- BATALHÃO, A. C. S.; TEIXEIRA, D. A. Dimensão da qualidade dos recursos hídricos na construção do barômetro da sustentabilidade. **Revista UNIARA**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 105-119, 2013.
- BERGMANN, M.; PEDROZO, C. S. Explorando a bacia hidrográfica na escola: contribuições à educação ambiental. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 14, n. 3, p. 537-553, 2008.
- BERGONZONI, I. G. *et al.* Riparian forest modifies fuelling sources for stream food webs but not food-chain length in lowland streams of Denmark. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 805, p. 291-310, 2018.
- BIZZO, M. R. de O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S. F. de. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais**, Niterói, v. 4, n. 1, p. 5-13, 2014.
- BORGES, G. C.; ABJAUDI, G. A. Caracterização ambiental da bacia do rio Grande. *In*: COSTA, R. M.; BORGES, G. C. (ed.). **Rio Grande: ambiente, peixes e pessoas**. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania, 2016. p. 9-101.
- BORGES, L. A. C. *et al.* Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1202-1210, 2011.
- BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, J. A. A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* A critical analysis of native vegetation protection law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 14, p. 1-15, 2016.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 428 p.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Instituiu o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 1965. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 18 out. 2019.

BRASIL. **Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Brasília, DF, 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm#art2. Acesso em: 18 out. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 18 out. 2019.

BRINSON, M. *et al.* A rapid watershed assessment approach for assessing the condition of small, coastal watersheds: protocol and case study. **Ocean & Coastal Management**, New York, n. 71, p. 238-255, 2013.

BROWN, S.; LAVKULICH, L. M.; SCHREIER, H. Developing indicators for regional water quality assessment: an example from British Columbia community watersheds. **Canadian Water Resources Journal**, Ontario, v. 36, n. 3, p. 271-284, 2011.

CALLISTO, M. *et al.* Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. G. barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de Moju, estado do Pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 234-263, 2016.

CARVALHO, L. M. T. *et al.* Análises espaciais e estatísticas da flora nativa em Minas Gerais. In: CARVALHO, L. M. T. de; SCOLFORO, J. R. S. (ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 25-316.

CETRULO, T. B.; MOLINA, N. S.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 30, p. 33-45, 2013.

CHIODI, R. E.; SARCINELLE, O.; UEZU, A. Gestão dos recursos hídricos na área do sistema produtor de água Cantareira: um olhar para o contexto rural. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 151-165, 2013.

COSTA, A. L.; MERTENS, F. Governance, networks and social capital in the plenary of the Brazilian national council on water resources. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 151-168, 2015.

DALCHIAVON, E. C.; BAÇO, F. M. B.; MELLO, G. R. Barômetro de sustentabilidade estadual: uma aplicação na região sul do Brasil. **Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 1, p. 54-69, 2017.

DOLL, B. *et al.* Can rapid assessments predict the biotic condition of restored streams? **Water**, Basel, v. 8, n. 143, p. 1-22, 2016.

ECOPLAN; LUME; SKILL. **Plano diretor de recursos hídricos**: bacia hidrográfica do rio das Mortes. Belo Horizonte: Ed. IGAM, 2014. v. 1, 584 p.

FADUL, E.; VITORIA, F. T.; CERQUEIRA, L. S. A governança participativa na gestão de recursos hídricos no Brasil: uma análise da realidade do estado da Bahia. **Sinergia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-90, 2017.

FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, sudeste do estado de Goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 15, n. 2, p. 1-12, 2012.

FONSECA, D. A. *et al.* Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 521-534, 2017.

GARCIA, P. O. *et al.* Florestas ciliares apresentam dinâmica uniforme? *In*: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. (ed.). **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas Florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: Ed. UFLA, 2015. p. 33-72.

GOMES, F. J. **Índices de qualidade do solo e de sustentabilidade no contexto do pagamento por serviços ambientais, sub-bacia das Posses, Extrema, MG**. 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GOMES, M. A. F. Manejo de bacias hidrográficas em áreas de afloramento do aquífero Guarani. *In*: GOMES, M. A. F.; PESSOA, M. C. P. Y. (ed.). **Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas**. Brasília, DF: Ed. Embrapa, 2010. p. 275-320.

GOMES, M. A. F.; LANIS, J. L.; ALVARAENGA, A. P. Bacias hidrográficas: conceitos e definições. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 263, p. 7-11, 2011.

GOUVEIA, J. M. C. **A métrica da sustentabilidade na perspectiva da geografia**: aplicação do Painel da Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) na comunidade quilombola do Mandira - Cananéia/SP. 2010. 384 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

- GUIDOLINI, J. F. *et al.* Water sustainability at the river Grande basin, Brazil: an approach based on the barometer of sustainability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 15, p. 1-15, 2018.
- GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A. S. de L.; MALAFAIA, G. Adapting a rapid assessment protocol to environmentally assess palm swamp (Veredas) springs in the Cerrado biome, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 189, p. 1-10, 2017.
- GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A. S. de L.; MALAFAIA, G. Adequação de um protocolo de avaliação rápida de rios para ser usado por estudantes de ensino fundamental. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 241-260, 2012.
- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.; RESH, V. H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, Washington, DC, v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 maio 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 2015. 352 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 2012. 271 p.
- KHAN, I.; ZHAO, M. Water resource management and public preferences for water ecosystem services: a choice experiment approach for inland river basin management. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 646, p. 821-831, 2019.
- KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. *In*: SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS, 1., 2003, Alfredo Wagner. **Anais [...]**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2003. p. 1-13.
- KRÖGER, M. Inter-sectoral determinants of forest policy: the power of deforesting actors in post-2012 Brazil. **Forest Policy and Economics**, London, n. 77, p. 24-32, 2017.
- KRONEMBERGER, D. M. P.; CARVALHO, C. N.; JUNIOR, J. C. Indicadores de sustentabilidade em pequenas bacias hidrográficas: uma aplicação do “barômetro da sustentabilidade” à bacia do Jurumirim (Angra dos Reis/RJ). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 86-98, 2004.
- KRONEMBERGER, D. M. P. *et al.* Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 25-50, 2008.
- KRUPEK, A. R. Análise comparativa entre duas bacias hidrográficas utilizando um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 1, p. 147-158, 2010.

- LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; VAN ERCK, R. P. G. Assessing the sustainability performances of industries. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 373-385, 2005.
- LAPOLA, D. M. *et al.* Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, n. 4, p. 27-35, 2014.
- LAUDARES, S. S. de A. **Atividades de baixo impacto e uso antrópico consolidado previstos no novo código florestal brasileiro (lei nº 12.651/12)**. 2014. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- LISLE, T. E. *et al.* Can rapid assessment protocols be used to judge sediment impairment in gravel-bed streams?: a commentary. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 51, n. 2, p. 373-387, 2015.
- LOPES, F. A.; OLIVEIRA, C. K. R. protocolo para avaliação da qualidade sanitária e ambiental em balneários de águas doces no Brasil. **Hygeia**, Chicago, v. 13, n. 25, p. 1-17, 2017.
- LORENZON, A. S. *et al.* A new methodology for royalties distribution of the Itaipu hydroelectric plant: the hydrographic basin as the unit of analysis. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 217, p. 710-717, 2018.
- LUCENA, A. D.; CAVALCANTE, J. N.; CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade do município de João Pessoa: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 19-49, 2011.
- MACHADO, C. S. *et al.* Integrating three tools for the environmental assessment of the Pardo river, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 187, n. 9, p. 1-14, 2015.
- MACHADO, P. A. L. Inovações na legislação ambiental brasileira: a proteção das florestas. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 10, n. 19, p. 11-21, 2013.
- MAGALHÃES, A. F.; CARVALHO, D. Heterogeneidade ambiental de ecossistemas ripários e sua função no manejo e conservação de espécies vegetais. *In*: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. (ed.). **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: Ed. UFLA, 2015. p. 73-113.
- MALHEIROS, T. F.; COUTINHO, S. M. V.; PHILIPPI JUNIOR, A. Indicadores de sustentabilidade: uma abordagem conceitual. *In*: PHILIPPI JUNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. (ed.). **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2012. p. 31-87.
- MARINHO, V. L. F.; MORETTI, E. C. Os caminhos das águas: as políticas públicas ambientais e criação dos comitês de bacias hidrográficas. **Geosul**, Florianópolis, v. 28, n. 55, p. 123-142, 2013.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. 3. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2014. 220 p.

- MEJÍA, I. M. *et al.* Evaluación de la condición ecológica del río Zahuapan. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, Ciudad de México, v. 33, n. 1, p. 7-19, 2017.
- MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 45, p. 56-80, 2018.
- MINAS GERAIS. **IDE Sisema**. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2019.
- MINATTI-FERREIRA, D. D.; BEAUMONRD, A. C. Adequação de um protocolo de avaliação rápida de integridade ambiental para ecossistemas de rios e riachos: aspectos físicos. **Revista Saúde e Ambiente**, Joinville, v. 7, n. 1, p. 39-47, 2006.
- NIN, C. S.; RUPPENTHAL, E. L.; RODRIGUES, G. G. Vegetação ripária e suas funções ecológicas referentes à produção de folhço em cursos d'água, São Francisco do Sul, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 861-863, 2007.
- NOGUEIRA, C. O. G. **Sustentabilidade da atividade minerária no polo mineiro industrial da microrregião de Formiga, MG**. 2016. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- OLIVEIRA, E. L.; OLIVEIRA, E. A. A. Q.; CARNIELLO, M. F. O Barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de Taubaté-SP. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 13, n. 30, p. 230-264, 2015.
- PEREIRA, L.; ORTEGA, E. A modified footprint method: the case study of Brazil. **Ecological Indicators**, London, v. 16, p. 113-127, 2012.
- PEREIRA, M. S.; SAUER, L.; FAGUNDES, M. B. B. Mensurando a sustentabilidade ambiental: uma proposta de índice para o Mato Grosso do Sul. **Interações**, Campo Grande, v. 17, n. 2, p. 327-338, 2016.
- PESSÔA, F. S.; FAÇANHA, A. C. A bacia hidrográfica como unidade geossistêmica e territorial: em questão a bacia do Parnaíba. **REGNE**, Caicó, v. 2, p. 735-744, 2016.
- PHOEBUS, I.; SEGELBACHER, G.; STENHOUSEA, G. B. Do large carnivores use riparian zones?: ecological implications for forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 402, p. 157-165, 2017.
- PIASENTIN, F. B.; GÓIS, S. L. L. de. Conservação de remanescentes florestais no Brasil: considerações sobre os principais instrumentos de gestão ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 36, p. 115-134, 2016.
- PIMENTA, S. M.; PEÑA, A. P.; GOMES, P. S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde - Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 393-412, 2009.

- PINTO, F. E. **Potentados e conflitos nas sesmarias da comarca do Rio das Mortes**. 2010. 423 p. Tese (Doutorado em História) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.
- PLAFKIN, J. L. *et al.* **Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1989. 179 p.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- PRESCOTT-ALLEN, R. **Barometer of sustainability: measuring and communicating wellbeing and sustainable development**. Cambridge: IUCN, 1997. 31 p.
- PRIORE, M. del; VENANCIO, R. **Uma breve história do Brasil**. São Paulo: Planeta do Brasil, 2010. 248 p.
- RANGEL, L. A.; BOTELHO, R. G. M. Análise ambiental da trilha Sahy-Rubião no parque estadual Cunhambebe em Mangaratiba (RJ) por meio de um protocolo de avaliação rápida. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 30, p. 391-418, 2017.
- RAUBER, D.; CRUZ, J. C. Gestão de recursos hídricos: uma abordagem sobre os comitês de bacia hidrográfica. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 34, n. 125, p. 123-140, 2013.
- REDDY, V. R.; SAHARAWAT, Y. S.; GEORGE, B. Watershed management in South Asia: a synoptic review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 551, p. 4-13, 2017.
- REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, New York, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.; FONSECA, C. E. L. da. Ecosistemas de Matas Ciliares. *In*: SIMPÓSIO MATA CILIAR: CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1999, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE/CEMIG, 1999. p. 12-24.
- RIBEIRO, L. F.; HOLANDA, F. S. R.; ARAÚJO-FILHO, R. N. Revegetação das margens do rio Paramopama utilizando técnicas de bioengenharia de solo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 31-40, 2013.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed?: implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- RODRIGUES, A. S. L. **Adequação de um protocolo de avaliação rápida para o monitoramento e avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em campos rupestres**. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Adaptation of a rapid assessment protocol for rivers on rocky meadows. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 291-303, 2008.

- RODRIGUES, A. S. L. *et al.* Adequação e avaliação da aplicabilidade de um Protocolo de Avaliação Rápida na bacia do rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 232-244, 2012.
- SALEMI, L. F. *et al.* Past and present land use influences on tropical riparian zones: an isotopic assessment with implications for riparian forest width determination. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 1-8, 2016.
- SARDAIN, A.; TANG, C.; POTVIN, C. Towards a dashboard of sustainability indicators for Panama: a participatory approach. **Ecological Indicators**, London, v. 70, p. 545-556, 2016.
- SEENA, S. *et al.* Does the developmental stage and composition of riparian forest stand affect ecosystem functioning in streams? **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 609, p. 1500-1511, 2017.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Sistema nacional de informações florestais: boletim SNIF 2019**. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim-SNIF_Ed1_2019.pdf. Acesso em: 14 nov. 2019.
- SIFNEOS, J. C. *et al.* Calibration of the delaware rapid assessment protocol to a comprehensive measure of wetland condition. **Wetlands**, Dordrecht, v. 30, p. 1011-1022, 2010.
- SILVA, A. R. *et al.* Application of ecological indicators in coastal watershed under high pressure during summer period. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 537-548, 2016.
- SILVA, M. S.; BORGES, L. A. C.; FREITAS, E. M. de. Uma abordagem sobre a evolução da construção dos indicadores de sustentabilidade. **ANAP Brasil**, Tupã, v. 6, n. 7, p. 213-225, 2013.
- SILVA, V. C. S.; VIEIRA, I. C. G. Barômetro da sustentabilidade aplicado a assentamentos rurais do leste do estado do Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 36, p. 201-221, 2016.
- SIMONSEN, R. C. **História econômica do Brasil: 1500-1820**. Brasília, DF: Senado Federal, 2005. 589 p.
- SINGH, R. K. *et al.* An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, London, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.
- ŠÍPEK, V.; MATAUŠKOVÁ, M.; DVOŘÁK, M. Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 169, p. 309-319, 2010.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Cracking Brazil's forest code. **Science**, New York, v. 344, p. 363-364, 2014.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.

SPAROVEK, G. *et al.* A revisão do código florestal brasileiro. **Novos Estudos**, São Paulo, v. 89, p. 111-136, 2011.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007. 196 p.

SUN, G.; VOSE, J. M. Forest management challenges for sustaining water resources in the Anthropocene. **Forests**, Basel, v. 7, n. 3, p. 1-13, 2016.

TOTH, G.; SZIGETI, C. The historical ecological footprint: from over-population to over-consumption. **Ecological Indicators**, London, v. 60, p. 283-291, 2016.

VANZETTO, G. V. *et al.* Cadastro ambiental rural e avaliação comparativa entre o antigo e atual código florestal federal em um imóvel. **Ciência e Natura**, Cascavel, v. 39, n. 2, p. 259-271, 2017.

VARGAS, J. R. A.; FERREIRA-JÚNIOR, P. D. F. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na caracterização da qualidade ambiental de duas microbacias do rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 161-168, 2012.

ZULIANI, D. Q. **Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da Bacia do Rio das Mortes, Minas Gerais**. 2006. 168 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA AS ÁREAS DE
PRESERVAÇÃO PERMANENTE RIPÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA**

**RAPID ASSESSMENT PROTOCOL FOR PERMANENT RIPARIAN
PRESERVATION AREAS IN THE ATLANTIC FOREST**

Ricardo Tayarol Marques¹, Vanessa Cabral Costa de Barros², Ana Carolina Maioli Campos Barbosa²,
Luis Antônio Coimbra Borges², Eliandra Pereira Silva²

(VERSÃO PRELIMINAR)

Normas da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG),
Campus Barbacena.

² Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciências Florestais.

RESUMO

A cobertura vegetal nativa remanescente da Mata Atlântica encontra-se reduzida e muito fragmentada, neste cenário, as regiões ripárias, que são legalmente protegidas, possuem importante papel na proteção dos recursos hídricos e para a manutenção da biodiversidade. Objetivou-se com este trabalho desenvolver um Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) que utilizou avaliações qualitativas, para captar o gradiente da qualidade ambiental de Áreas de Preservação Permanente (APP) ripárias, situadas na Mata Atlântica. Os indicadores ambientais e parâmetros de avaliação foram desenvolvidos, por meio de pesquisa e revisão da legislação e trabalhos técnicos/científicos sobre a metodologia proposta e as regiões ripárias. O protocolo construído foi testado por discentes de graduação da Universidade Federal de Lavras, em APP ripárias da Mata Atlântica, no estado de Minas Gerais. Os discentes foram divididos em dois grupos, sendo um com e outro sem treinamento prévio de utilização do protocolo. O PAR utiliza cinco indicadores e quinze parâmetros de pontuação, para avaliar a qualidade ambiental da APP ripária; os testes de campo mostraram que a ferramenta atendeu ao objetivo proposto, não sendo detectadas estatisticamente diferenças nas avaliações realizadas por avaliadores treinados e não treinados no uso da metodologia proposta. O PAR proposto constitui-se uma ferramenta com excelente potencial, para compor estudos de avaliação e monitoramento ambiental de APP ripárias, por sua facilidade e simplicidade de aplicação com baixo custo de realização.

Palavras-chave: indicadores ambientais; recursos hídricos; avaliação ambiental.

ABSTRACT

The remaining native vegetation cover of the Atlantic Forest is reduced and highly fragmented. In this scenario, riparian regions, which are legally protected, play an important role in protecting water resources and maintaining biodiversity. Therefore, this study aimed to develop a Rapid Assessment Protocol (RAP) based on qualitative assessments to capture the gradient of the environmental quality of riparian Permanent Preservation Areas (PPAs) located in the Atlantic Forest. The environmental indicators and evaluation parameters were developed by researching and reviewing legislation and technical/scientific papers on the proposed methodology and riparian regions. The protocol was tested by undergraduate students at the Universidade Federal de Lavras (UFLA), in riparian PPAs in the Atlantic Forest, in Minas Gerais, Brazil. The students were divided into two groups, one with and one without previous training in using the protocol. The RAP uses five indicators and fifteen scoring parameters to assess the environmental quality of the riparian PPAs. The field tests showed that the tool met the proposed objective, with no statistical differences detected in the evaluations conducted by trained and untrained evaluators. The RAP has excellent potential to compose studies on the environmental assessment and monitoring of riparian PPAs due to its ease and simplicity of low implementation cost.

Keywords: environmental indicators; water resources; environmental assessment.

INTRODUÇÃO

A ocupação humana do território brasileiro, a partir da colonização portuguesa, contribuiu para a ocorrência de problemas ambientais, como redução da cobertura vegetal nativa; perda de espécies da fauna e flora; emissões de gases de efeito estufa; alterações climáticas e a escassez de água (LAPOLA *et al.*, 2014). Por sua localização geográfica, que ocasionou uma grande ocupação humana, o bioma da Mata Atlântica foi intensamente alterado, restando de 11 a 16% da sua cobertura vegetal original, em sua maioria, distribuída em fragmentos menores que 50 hectares (REZENDE *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2009).

Na tentativa de regular a exploração dos recursos florestais nativos, foram instituídos diversos mecanismos de comando e controle que evoluíram do protecionismo comercial para instrumentos de preservação da vegetação nativa (SPAROVEK *et al.*, 2011). Atualmente, além das áreas protegidas instituídas pelo poder público e privado (parques, reservas, etc), a legislação florestal brasileira elegeu a Área de Preservação Permanente (APP) e a de Reserva Legal (RL), como principais ferramentas à proteção da vegetação nativa remanescente nas propriedades privadas (PIASENTIN e GÓIS, 2016).

A APP possui a finalidade de proteção e preservação do solo, água, fauna e flora, assegurando, assim, o bem-estar do ser humano (BORGES *et al.*, 2011; BRANCALION *et al.*, 2010). Dentre as APP, estabelecidas na legislação brasileira, as situadas em regiões ripárias destacam-se na prestação de serviços ecossistêmicos, como purificação da água, proteção do solo e dos mananciais hídricos (BRANCALION *et al.*, 2016; TUNDISI e TUNDISI, 2010).

Mesmo diante da sua importância ambiental e das medidas protetoras sobre as APP ripárias, Rezende *et al.* (2018) estimaram a existência de um déficit de 5,3 milhões de hectares de vegetação nativa, nas APP ripárias da Mata Atlântica, considerando a flexibilização concedida a pequenas propriedades rurais pela Lei Federal nº 12.651/2012, denominada Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN). Essa lei também instituiu ferramentas importantes que, com o uso de informações georreferenciadas, permitem o monitoramento, controle e recuperação desses passivos ambientais (SOARES-FILHO *et al.*, 2014; VANZETO *et al.*, 2017).

A utilização das informações prestadas pelos proprietários rurais, em conjunto com os dados espaciais obtidos por imagens de satélites, permite a otimização dos processos de diagnóstico e controle do uso da cobertura vegetal existente (BRANCALION *et al.*, 2016; VANZETO *et al.*, 2017). Contudo muitas avaliações referentes à qualidade ambiental de determinado sítio vão depender da análise de parâmetros ambientais realizada *in situ*. Essas

avaliações podem ser qualitativas ou quantitativas. Apesar da maior eficiência dos métodos quantitativos, eles apresentam como desvantagem o seu custo elevado e a demora na divulgação dos resultados (BIZZO, MENEZES e ANDRADE, 2014).

A fim de buscar agilidade e redução de custos, a *US Environmental Protection Agency* (EPA) introduziu, na década de 1980, o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de rios, proporcionando, de forma ágil e simples, avaliações qualitativas dos recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2016). A utilização dessa metodologia, em razão de sua versatilidade e adaptabilidade a condições diversas, teve grande difusão mundial, sendo utilizada na avaliação da qualidade da água, do ambiente físico, dos habitats aquáticos, das regiões ripárias e ecossistemas terrestres (BRINSON *et al.*, 2013).

No Brasil, essa metodologia foi introduzida por Callisto *et al.* (2002), na avaliação de pequenos cursos d'água situados em unidades de conservação de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. Subsequentemente, foi empregada na avaliação da estrutura física e funcionamento de ecossistemas fluviais (FERREIRA *et al.*, 2016; FIRMINO, MALAFAIA, e RODRIGUES, 2011; KRUPPEK, 2010; MACHADO *et al.*, 2015; RODRIGUES e CASTRO, 2008), na avaliação da situação ambiental de veredas (GUIMARÃES, RODRIGUES e MALAFAIA, 2017a), em trabalhos de educação ambiental relacionados aos recursos hídricos (GUIMARÃES, RODRIGUES e MALAFAIA, 2012, 2017b) e para avaliação de trilhas em unidades de conservação (RANGEL e BOTELHO, 2017).

Diante do exposto, observam-se oportunidades, para a utilização das metodologias de avaliação de impactos ambientais rápidas e de baixo custo de execução, como alternativa promissora e prática para fornecer suporte ao processo de gestão ambiental. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um PAR que, utilizando informações qualitativas, possibilite captar e avaliar o gradiente da qualidade ambiental de APP ripárias situadas no bioma da Mata Atlântica.

METODOLOGIA

Desenvolvimento do PAR ripário

O PAR desenvolvido foi projetado para utilizá-lo em regiões que compõem as APP ripárias da Mata Atlântica, empregando como documento de referência o protocolo de avaliação biológica de Barbour *et al.* (1999) que é utilizado pela EPA. O protocolo utiliza indicadores, na determinação da qualidade ambiental do local avaliado, que foram definidos considerando a importância e as funções ecossistêmicas exercidas pelas regiões ripárias. São

considerados os fatores relacionados à legislação ambiental; vegetação nativa; conservação do solo; influências antrópicas e qualidade da água.

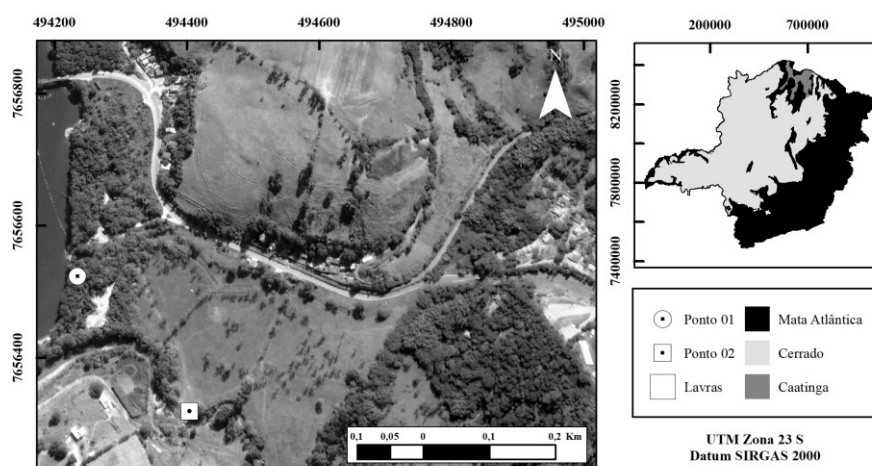
Os indicadores ambientais são constituídos de parâmetros de avaliação que permitem, por meio da observação visual realizada *in loco*, transformar os *inputs* qualitativos em *outputs* quantitativos, propiciando, assim, a comparação do mesmo local em escala de tempo diferente e de outros pontos avaliados.

Para a definição dos indicadores ambientais e parâmetros de avaliação utilizados, realizou-se a revisão sistemática de literatura sobre a metodologia adotada, os fatores ambientais envolvidos e a legislação associada às regiões ripárias, utilizando as ferramentas *Google Scholar* e *Web of Science*.

Teste da aplicabilidade do protocolo desenvolvido

A avaliação da aplicação técnica do protocolo desenvolvido, como instrumento de avaliação da qualidade ambiental, em regiões ripárias, foi realizada em dois pontos às margens de cursos d'água no bioma da Mata Atlântica em Lavras – MG. O ponto 1, localizado à margem do rio Grande, apresentando como cobertura vegetal a Floresta Estacional Semidecidual Montana e o ponto 2, situado à margem do ribeirão Vermelho, em uma área antropizada com a formação de pastagem de braquiária (FIGURA 1).

Figura 1. Localização dos pontos de avaliação de campo e situação do município de Lavras – MG – no bioma da Mata Atlântica.

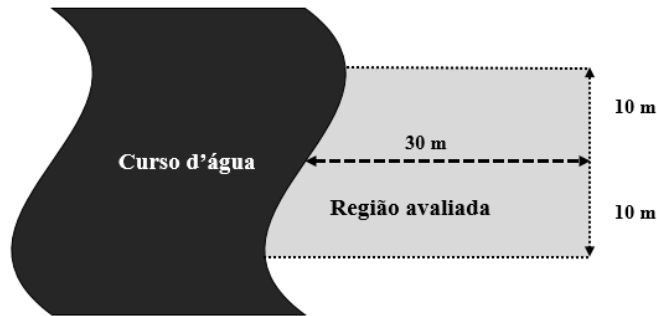


Fonte: Dos autores (2020).

As avaliações foram realizadas em uma faixa perpendicular de 30 metros de comprimento a partir da borda do curso d'água e 20 metros de largura (FIGURA 2). Por meio

do caminhamento dentro desta faixa, os avaliadores realizaram a avaliação dos parâmetros estabelecidos pelo PAR ripário desenvolvido em formulário apropriado.

Figura 2. Esquema da área amostral a ser utilizada na avaliação de regiões ripárias da Mata Atlântica pelo PAR proposto.



Fonte: Dos autores (2020).

Seguindo a metodologia de Hannaford, Barbour e Resh (1997), as avaliações foram realizadas por 40 discentes dos cursos de Ciências Biológicas, Engenharia Ambiental e Engenharia Florestal, matriculados na disciplina Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em 2019. Para testar o entendimento do protocolo proposto e o efeito da realização de um treinamento operacional, os avaliadores foram divididos em dois grupos de 20 alunos: o primeiro grupo realizou as avaliações no campo, utilizando apenas as informações disponíveis no formulário; e o segundo grupo realizou as avaliações, após a realização de um treinamento operacional, em que foram orientados sobre a aplicação do protocolo com a descrição técnica de cada parâmetro a ser avaliado.

Os resultados obtidos pelos avaliadores foram comparados com a média da população (estabelecida como a pontuação dos autores do protocolo) e entre os avaliadores treinados e não treinados pelo teste t de *Student* ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Protocolo desenvolvido para as regiões ripárias

Para captar o gradiente de qualidade ambiental na APP ripária, o protocolo desenvolvido apresenta cinco indicadores que são mensurados por quinze parâmetros de avaliação. Convencionou-se uma pontuação total de 100 pontos para o protocolo, divididos equitativamente entre os indicadores. As pontuações dos parâmetros foram adequadas à manutenção da equidade entre os indicadores (TABELA 1).

Tabela 1. Indicadores ambientais com o número de parâmetros por indicador com suas respectivas pontuações.

Indicador	Número de parâmetros	Pontuação dos parâmetros	Pontuação total
Legislação florestal e utilização do solo	2	10	20
Vegetação nativa e ecologia da paisagem	4	5	20
Conservação e proteção do solo	2	10	20
Perturbação e poluição da área	2	10	20
Qualidade da água	5	4	20
Total	15		100

Fonte: Dos autores (2020).

A classificação da qualidade ambiental do local avaliado é obtida, considerando o somatório total dos parâmetros avaliados, sendo estabelecida a seguinte escala de classificação: ruim (0-29 pontos); razoável (30-59 pontos); boa (60-79 pontos) e ótima (80-100 pontos).

O protocolo construído difere, em relação à pontuação e número de parâmetros da versão da EPA, utilizada como referência, que trabalha com 10 parâmetros totalizando 200 pontos, que foi seguida nos trabalhos conduzidos por Barbour *et al.* (1999), Hannaford, Barbour e Resh (1997), Machado *et al.* (2015) e Mejía *et al.* (2017). Os trabalhos com Bizzo, Menezes e Andrade (2014) e Callisto *et al.* (2002) utilizaram 22 parâmetros e 100 pontos; Firmino, Malafaia e Rodrigues (2011) 6 parâmetros e 60 pontos; Guimarães, Rodrigues e Malafaia (2012) 11 parâmetros e 110 pontos; Brinson *et al.* (2013) 15 parâmetros e 1.500 pontos e Guimarães, Rodrigues e Malafaia (2017a) 7 parâmetros e 70 pontos. Ressalta-se a versatilidade da adaptação dessa metodologia, em favor das condições específicas do local e do propósito da avaliação que será realizada (BRINSON *et al.*, 2013).

Os parâmetros utilizados na pontuação dos indicadores do PAR, para as regiões ripárias, com descrição e os devidos escores individuais, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros com a sua descrição e escore de pontuação desenvolvidos no PAR para as regiões ripárias de Mata Atlântica.

(Continua)

Parâmetro	Ótimo			Bom			Razoável			Ruim		
1. Extensão da vegetação nativa	Maior ou igual a 30 metros			De 15 até 30 metros			De 5 até 15 metros			Menor que 5 metros		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
2. Principal atividade de uso do solo	Preservação (Vegetação nativa)			Baixo Impacto (Sistemas agroflorestais, reflorestamento não madeireiro, fruticultura)			Impactantes (Reflorestamento madeireiro, pecuária, agricultura anual e temporária)			Grande Impacto (Urbanização, indústrias, mineração, criação intensiva de animais)		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
3. Estágio de desenvolvimento da vegetação nativa	Avançado (Florestal: altura superior a 12 metros, dossel fechado, diâmetro médio superior a 18 cm, sub-bosque pouco expressivo e camada de serapilheira) (Campo: mínima ação antrópica, apresentando menos de 30% de espécies exóticas e ruderais)			Médio (Florestal: altura de 5 a 12 metros, dossel variando de aberto a fechado, diâmetro médio de 10 a 20 cm, sub-bosque intenso e camada de serapilheira) (Campo: já sofreram ação antrópica, apresentando menos de 50% de espécies exóticas e ruderais)			Inicial (Florestal: altura até 5 metros, dossel variando de aberto a fechado, diâmetro médio inferior a 10 cm, sub-bosque não definido, fina camada de serapilheira) (Campo: já sofreram ação antrópica, apresentando mais de 50% de espécies exóticas e ruderais)			Inexistente (Vegetação nativa inexistente, área ocupada por atividades antrópicas ou encontra-se degradada)		
	5	4	3	2	1	0						
4. Estrutura vertical da vegetação	Estratificada (Ocorrência dos estratos: superior, médio, inferior e sub-bosque)			Parcialmente estratificada (Ocorrência do estrato superior com ausência de alguns dos demais estratos)			Somente o estrato superior (Ocorrência do estrato superior com ausência dos demais estratos)			Ausência de estratificação (Árvores isoladas, vegetação herbácea, gramíneas)		
	5	4	3	2	1	0						
5. Proximidade com fragmentos de vegetação nativa	Contínua (Área contínua aos fragmentos)			Próxima (Área encontra-se a até 50 metros de distância dos fragmentos)			Distante (Área encontra-se a uma distância de 50 a 100 metros dos fragmentos)			Muito distante (Área encontra-se a mais de 100 metros de distância dos fragmentos)		
	5	4	3	2	1	0						
6. Matriz de entorno	Alta permeabilidade (Vegetação nativa)			Boa permeabilidade (Sistemas agroflorestais, reflorestamento ou fruticultura)			Média permeabilidade (Pastagens, agricultura e residências isoladas)			Baixa Permeabilidade (Aglomerado urbano, indústrias, mineração e agropecuária intensiva)		
	5	4	3	2	1	0						
7. Estabilidade das margens	Estável (Margens sem evidência de deslocamento de massa, sem potencial para ocorrência de futuros deslocamentos)			Moderadamente estável (Margens com raros sinais de deslocamento de massa, baixo potencial para ocorrência de futuros deslocamentos)			Pouco estável (Margens com sinais recentes de deslocamento de massa, risco elevado para ocorrência de futuros deslocamentos nas cheias)			Instável (Margens apresentando deslocamento de massa, risco iminente da ocorrência de novos deslocamentos)		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
8. Presença de processos erosivos	Não aparente (Não apresenta sinais de erosão laminar ou sulcos; o solo está protegido pela vegetação ou práticas conservacionistas)			Pequena (Pequena remoção no horizonte A, erosão laminar frequente e pequenos sulcos superficiais)			Grande (Grande remoção no horizonte A, ocorrência frequente de sulcos rasos alternados com sulcos profundos, expondo horizonte B)			Extremos (Solo com o horizonte A removido e grande remoção do horizonte B ocorrência de sulcos profundos e voçorocas)		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
9. Grau de perturbação da área	Não perturbada (Área isolada sem sinais de perturbação)			Pouco perturbada (Área com pouca perturbação de atividades humanas, existindo pequenas trilhas com baixo impacto)			Perturbada (Área com perturbação de atividades humanas, recreativas e produtivas; existência de caminhos, carreadores e residências isoladas, sinais de queimadas)			Intensamente perturbada (Área com grande perturbação de atividades humana produtiva, existência de estradas residências, indústria etc)		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
10. Presença de fontes de poluição na área	Ausentes (Não apresenta poluição humana em suas atividades)			Pequenas (Pequenos sinais de poluição humana (pesca, Trekking etc) e de suas atividades)			Grandes (Sinais de poluição humana e suas atividades (pesca, camping, banho etc), agropecuária e residências isoladas)			Intensa (Sinais de grande poluição humana e suas atividades: Indústria, mineração, aglomerado urbano agropecuária intensiva)		
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	

Tabela 2. Parâmetros com a sua descrição e escore de pontuação desenvolvidos no PAR para as regiões ripárias de Mata Atlântica.

(Conclusão)

Parâmetro	Ótimo	Bom	Razoável	Ruim
11. Transparência da água do curso d'água	Transparente (Água transparente ou translúcida)	Turva (Água apresenta turbidez com a coloração de chá forte)		Opaca ou colorida (Água apresenta opacidade ou coloração diversa)
	4	3	2	1
12. Odor da água do curso d'água	Sem Odor (A água não apresenta nenhum tipo de odor)	Odor de esgoto (A água apresenta odor característico de esgoto/ovo podre)		Óleo e produtos químicos (A água apresenta o odor característico de óleo ou químicos)
	4	3	2	1
13. Oleosidade da água do curso d'água	Ausente (Não existe óleo na água)	Moderada (Água apresentando oleosidade)		Abundante (Água apresentando manchas visíveis de óleo)
	4	3	2	1
14. Cobertura vegetal do leito do curso d'água	Parcial (O curso d'água encontra-se parcialmente coberto (sombreado) pela vegetação)	Total (O curso d'água encontra-se totalmente coberto (sombreado) pela vegetação)		Ausente (Não existe cobertura (sombreamento) do curso d'água pela vegetação)
	4	3	2	1
15. Existência e extensão das corredeiras	Bem desenvolvidas (Corredeiras da largura do curso d'água e comprimento de 2 vezes a sua largura)	Pequenas (Corredeiras menores que a largura do curso d'água e comprimento menor que 2 vezes a sua largura)		Ausentes (Ausência de corredeiras no local avaliado do curso d'água)
	4	3	2	1
	4	3	2	1
	4	3	2	1

Fonte: Dos autores (2020).

O indicador de legislação florestal e uso do solo é avaliado por dois parâmetros: **1.** Extensão da vegetação nativa; **2.** Principal atividade de uso do solo (TABELA 2), definidos, conforme estabelecido na LPVN, em relação à manutenção e recomposição de APP ripárias, com o uso consolidado (com presença de atividades antrópicas estabelecidas anteriormente a 22 de julho de 2008) que levam em consideração a largura do rio e o tamanho do imóvel rural (BRANCALION *et al.*, 2016; LAUDARES *et al.*, 2017). Assim sendo, foram utilizadas as metragens mínimas previstas na LPVN, pois o levantamento do tamanho das propriedades rurais, na avaliação *in situ*, tornaria o processo demorado e oneroso.

As classes de uso do solo na APP ripária foram definidas, em função do caráter de proteção ambiental, as quais propiciam a essas regiões, estimando as atividades de baixo impacto enumeradas na LPVN (LAUDARES *et al.*, 2017), assim como os indicadores de uso do solo em bacias hidrográficas estabelecidos por Silva *et al.* (2017).

Comparado aos protocolos utilizados no país, observou-se diferença nos valores e definições desses parâmetros, tendo em vista a grande maioria se basear em uma adaptação de Callisto *et al.* (2002), replicando integralmente as métricas da versão utilizada pela EPA.

A vegetação nativa e a ecologia da paisagem são importantes, para que a APP ripária possa exercer suas funções ambientais, por isso, foram inseridas como indicador do protocolo construído. Sua avaliação é realizada pelos seguintes parâmetros: **3.** Estágio de

desenvolvimento da vegetação nativa, **4.** Estrutura vertical da vegetação nativa, **5.** Proximidade com fragmentos da vegetação nativa e **6.** Matriz de entorno (TABELA 2).

Na avaliação da vegetação nativa, foram adotados critérios visuais que possibilitaram a avaliação visual, sem a necessidade de recorrer aos inventários da vegetação, sendo escolhido o estágio de desenvolvimento da vegetação na Mata Atlântica (florestal e campestre) estabelecida nas resoluções do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) de nº 392/2007 e nº 423/2010 (BRASIL, 2007, 2010). A estrutura vertical da vegetação é importante à proteção do solo dessas sensíveis regiões e, para avaliar esse parâmetro, foram adotados os critérios de classificação apresentados por Souza e Soares (2013).

A ecologia da paisagem foi utilizada, para avaliar se a APP ripária pode atuar na conexão dos fragmentos de vegetação nativa próximos, permitindo o deslocamento da fauna e a disseminação de propágulos da vegetação. As distâncias foram estabelecidas, com base nos trabalhos realizados por Puerta (2002), Tambosi *et al.* (2014) e Wunderle Junior (1997). Outro ponto avaliado é a permeabilidade da matriz de entorno com relação ao favorecimento do deslocamento da fauna nativa. A permeabilidade foi classificada, de acordo com o estabelecido por Pereira *et al.* (2010), para fragmentos florestais da Mata Atlântica.

O indicador, para a avaliação da vegetação e ecologia da paisagem, não foi utilizado nos protocolos construídos no mundo e no Brasil. Contudo esse indicador foi inserido na proposta construída pela importante relação da vegetação com a qualidade da água e preservação dos recursos hídricos (MARMOTEL e RODRIGUES, 2015) e o seu papel na manutenção do fluxo gênico entre os remanescentes da vegetação nativa (CAMPAGNOLO *et al.*, 2017).

A conservação e proteção do solo são fatores primordiais à manutenção da qualidade do ambiente aquático, estando presente nos protocolos utilizados pela EPA (BARBOUR *et al.*, 1999); para esse indicador, foram utilizados os seguintes parâmetros: **7.** Estabilidade das margens; e **8.** Presença de processos erosivos (TABELA 2).

Avaliou-se a estabilidade das margens, em relação à possibilidade do solo que compõe a margem do curso d'água entrar em colapso, ocorrendo o deslocamento da massa do solo para o leito do curso d'água provocando o assoreamento. O parâmetro foi estabelecido, a princípio, com base na proposta original de Barbour *et al.* (1999), mas, para o protocolo desenvolvido nesta pesquisa, utilizou-se como referência a proposta de Bizzo, Menezes e Andrade (2014) depois da adequação da pontuação. A avaliação dos processos erosivos que ocorrem na APP ripária foi construída com os preceitos de Callisto *et al.* (2002), utilizando

classes de erosão hídrica, para a descrição do solo no campo, apresentada por Santos *et al.* (2015).

O indicador da perturbação e poluição da área trabalha com dois parâmetros: **9.** Grau de perturbação da área e **10.** Presença de fontes de poluição na área (TABELA 2). Parâmetros não utilizados no protocolo referência, mas importantes, para avaliar a influência das atividades humanas na APP ripária, questão avaliada em diversos protocolos adaptados da versão da EPA.

As perturbações que ocorrem na APP ripária foram mensuradas por adequações de métricas utilizadas nos protocolos de Bizzo, Menezes e Andrade (2014) e Silva *et al.* (2016), em conjunto com a avaliação de impacto ambiental em fragmentos florestais de Pereira *et al.* (2010). Já para a presença de fontes, adaptaram-se parâmetros utilizados por Brinson *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2016).

O último indicador utilizado no protocolo foi o da qualidade da água, sendo selecionados parâmetros que visualmente fornecem a indicação da qualidade da água de forma eficiente a processos de avaliação de impactos e gestão ambiental. Contudo deve-se salientar que não substituem as análises por instrumentos e testes laboratoriais, para a utilização da água, para dessedentação, produção de alimentos e uso industrial (BARBOUR *et al.*, 1999). Foram utilizados cinco parâmetros de avaliação: **11.** Transparência da água; **12.** Odor da água; **13.** Oleosidade da água; **14.** Cobertura vegetal sobre o leito do curso d'água e **15.** Existência e extensão das corredeiras (TABELA 2).

A transparência, odor e oleosidade da água são parâmetros que visualmente permitem identificar a ocorrência de componentes não comuns à composição da água que podem ser originados do carreamento de partículas do solo para o curso d'água, do despejo de esgoto e de dejetos industriais ou agrícolas (BARBOUR *et al.*, 1999; BIZZO, MENEZES e ANDRADE, 2014; CALLISTO *et al.*, 2002), sendo itens constantes nos protocolos que seguem a proposta da EPA, ocorrendo apenas adequações de acordo com sua aplicação.

Os outros parâmetros deste indicador são a cobertura vegetal sobre o leito do curso d'água que, por regular a incidência da luz solar direta sobre a água, contribui à redução da amplitude de variação da sua temperatura melhorando a qualidade do ambiente aquático (MARMOTEL e RODRIGUES; 2015; SARDINHA *et al.*, 2008). A presença e extensão das corredeiras é importante à autodepuração da água, cujo aumento da velocidade de escoamento possibilita o acréscimo nos valores de oxigênio dissolvidos melhorando a sua qualidade (GONÇALVES *et al.*, 2012; SARDINHA *et al.*, 2008). Para esses parâmetros, utilizou-se o

modelo do protocolo de Bizzo, Menezes e Andrade (2014) adequando à sua pontuação para a versão desenvolvida.

Avaliação da utilização do protocolo para as regiões ripárias

O protocolo foi testado em condições de campo, tendo como avaliadores estudantes de graduação da UFLA, divididos em uma equipe não treinada e outra treinada. Os resultados foram comparados estatisticamente pelo teste t a 5% de significância. As médias encontradas pelos avaliadores, comparadas com a média da população (assumida como a pontuação dos autores), não apresentaram diferenças significativas nos pontos avaliados (TABELA 3). Sendo assim, mostrou que o protocolo, quando manuseado por profissionais da área de meio ambiente, tem a capacidade de captar o gradiente ambiental da área avaliada de modo simples e rápido.

Tabela 3. Resultados estatísticos por meio do valor de t e p-valor das equipes de avaliação em relação à média da população a 5% de significância.

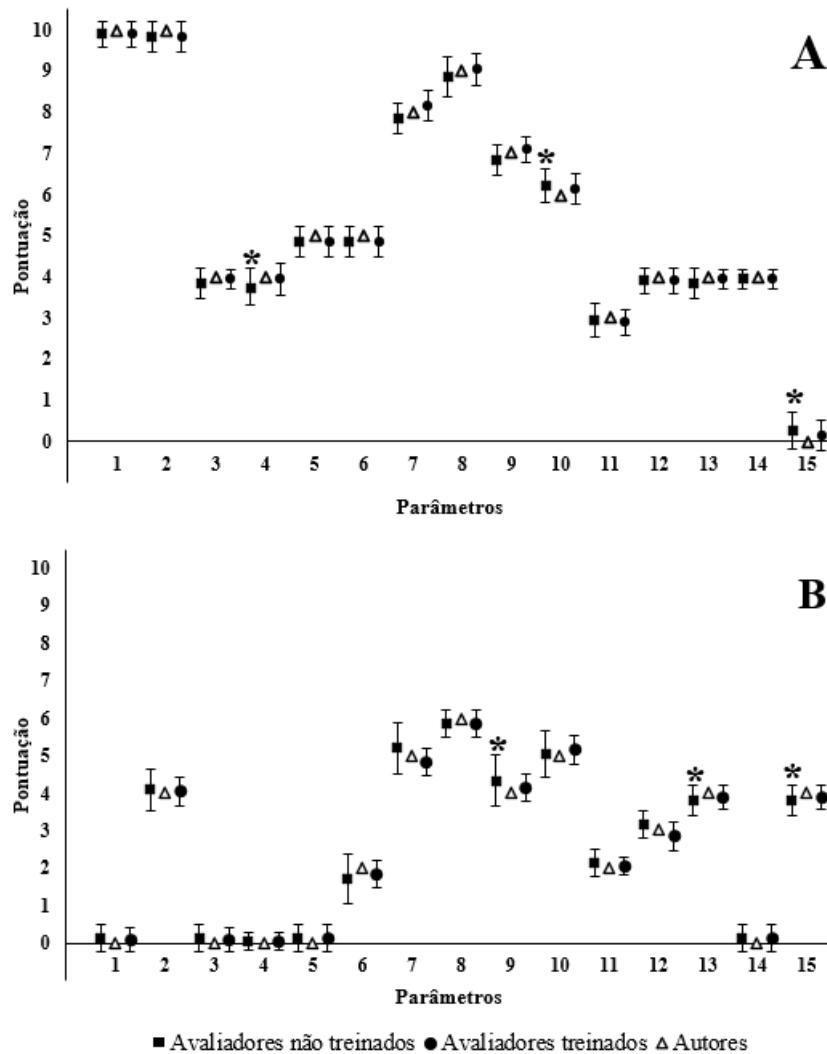
Ponto	Avaliadores não treinados	Avaliadores treinados
01	$t_{(19;0,05)} = -1,916; p = 0,0705$	$t_{(19;0,05)} = -1,277; p = 0,3157$
02	$t_{(19;0,05)} = -2,027; p = 0,0569$	$t_{(19;0,05)} = 0,547; p = 0,5906$

Fonte: Dos autores (2020).

Foi realizada a comparação entre as médias dos avaliadores não treinados e treinados não sendo observada diferença estatística no ponto 1 ($p_{(38;0,05)} = 0,0631$) e no ponto 2 ($p_{(38;0,05)} = 0,1842$), demonstrando que não ocorre melhoria significativa com a realização do treinamento dos avaliadores, conforme já constatado nas experiências de Callisto *et al.* (2002) e Hannaford, Barbour e Resh (1997).

A análise dos resultados obtidos por parâmetro (média e desvio-padrão), durante o teste de campo, é apresentada na Figura 3. De modo geral, observa-se que as avaliações realizadas pelos avaliadores que não receberam treinamento apresentaram maior variação do desvio-padrão quando comparadas com as dos avaliadores treinados. Fator que, segundo Callisto *et al.* (2002) e Hannaford, Barbour e Resh (1997), justifica a realização do treinamento a pessoas que irão utilizar a metodologia proposta.

Figura 3. Resultados das avaliações de campo com a média e desvio-padrão obtidos pelos avaliadores não treinados, treinados e autores realizadas no ponto 1 (A) e ponto 2 (B).



Parâmetros: **1.** Extensão da vegetação nativa; **2.** Principal atividade de uso do solo; **3.** Estágio de desenvolvimento da vegetação nativa; **4.** Estrutura vertical da vegetação; **5.** Proximidade com fragmentos da vegetação nativa; **6.** Matrix de entorno; **7.** Estabilidade das margens; **8.** Presença de processos erosivos; **9.** Grau de perturbação da área; **10.** Presença de fontes de poluição na área; **11.** Transparência da água; **12.** Odor da água; **13.** Oleosidade da água; **14.** Cobertura vegetal sobre o leito do curso d'água; **15.** Existência e extensão das corredeiras

Parâmetros seguidos de * diferiram da média da população pelo teste t a 5% de significância.

Fonte: Dos autores (2020).

Comparando a média dos parâmetros obtida pelos avaliadores com a média da população, observou-se que apenas aos estudantes que não receberam treinamento na metodologia ocorreram diferenças significativas, que foram constatadas nos seguintes parâmetros: Estrutura vertical da vegetação; Grau de perturbação na área ripária; Presença de fontes de poluição na área; Oleosidade da água; Existência e largura de corredeiras (FIGURA 3). Resultados que podem ser atribuídos às diferenças dos objetivos dos cursos de graduação

dos avaliadores (Ciências Biológicas, Engenharia Ambiental e Engenharia Florestal) que podem privilegiar determinadas áreas abrangidas pelo protocolo em detrimento de outras. Fortalece a premissa da necessidade de realização do treinamento técnico, para a utilização do protocolo proposto, tendo em vista que, com os resultados dos avaliadores treinados, não ocorreram diferenças significativas das médias (FIGURA 3).

Diversas experiências com avaliações de campo utilizando PAR mostram que o treinamento dos avaliadores é extremamente importante, para a obtenção de resultados confiáveis, principalmente, quando os avaliadores apresentam graus e formações diversas (GUIMARÃES, RODRIGUES e MALAFAIA, 2017a; RODRIGUES e CASTRO, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2012).

CONCLUSÕES

O protocolo desenvolvido é uma ferramenta importante à avaliação da qualidade ambiental de APP ripárias da Mata Atlântica, por ter sido construído com indicadores e parâmetros específicos para a área avaliada, diferindo dos demais estudos realizados com a utilização dos indicadores desenvolvidos para o contexto americano.

O PAR mostrou-se um instrumento viável, a ser utilizado em avaliações da qualidade ambiental, por trabalhar com indicadores físicos e biológicos da qualidade da água, solo, vegetação e perturbação da APP para estabelecer a classificação ambiental do local estudado. Por ser uma matriz de fácil utilização, confere rapidez e baixo custo operacional à realização de avaliações da qualidade ambiental em APP, podendo ser incorporada em processos de avaliação de impactos ambientais e no monitoramento ambiental tanto por profissionais do setor privado como público.

Por ser uma ferramenta de fácil entendimento e manuseio, para profissionais ligados à área ambiental, pode ser utilizado, após uma leitura dos parâmetros de avaliação propostos. Contudo a realização de um treinamento prévio agrega melhor consistência nas avaliações, tendo em vista as diferentes qualificações dos profissionais que atuam na área ambiental.

Apesar do protocolo desenvolvido ter-se utilizado de indicadores aplicáveis às características das APP ripárias do bioma da Mata Atlântica, ele pode ser utilizado, em outros biomas, após as adaptações que se fizerem necessárias.

A ferramenta proposta apresenta um grande potencial, para a utilização em avaliações e monitoramento ambiental, usando informações qualitativas simples que podem ser associadas a outras ferramentas como as informações espaciais, por meio de sistemas de informações geográficas, tornando-se assim uma excelente ferramenta de planejamento e

gestão ambiental. Deve-se salientar, todavia que, em determinados estudos que exijam informações mais detalhadas, as avaliações qualitativas não devem substituir os estudos quantitativos utilizando inventários de campo e análises de laboratório.

REFERÊNCIAS

- 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*. 2th ed. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999, 344 p.
- BIZZO, M.R.O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S.F. de. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). *Caderno de Estudos Geoambientais*, v. 4, n. 1, 2014, p. 4-13.
- BORGES, L.A.C.; REZENDE, J.L.P.; PEREIRA, J.A.; COELHO JÚNIOR, L.M.; BARROS, D.A. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. *Ciência Rural*, v. 41, n. 7, 2011, p. 1202-10.
- BRANCALION, P.H.S.; GARCIA, L.C.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R.R.; PILLAR, V.D.; LEWINSOHN, T.M. A critical analysis of native vegetation protection law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação*, v. 14, 2016, p. 1-15.
- BRANCALION, P.H.S.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P.Y.; NAVE, A.G.; GANDARA, F.B.; BARBOSA, L.M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Revista Árvore*, v. 34, n. 3, 2010, p. 455-70.
- BRASIL. *Resolução CONAMA n° 392, de 25 de junho de 2007*. Definição de vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no estado de Minas Gerais. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=537>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- BRASIL. *Resolução CONAMA n° 423, de 12 de abril de 2010*. Dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=628>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- BRINSON, M.; RHEINHARDT, R.; FERRELL, R.; DUNCAN, B.; HOBBS, L.; MCNAUGHT, D.; PHELAN, J.; RADER, D. A rapid watershed assessment approach for assessing the condition of small, coastal watersheds: protocol and case study. *Ocean & Coastal Management*, n. 71, 2013, p. 238-55.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida de diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 14, n. 1, 2002, p. 91-8.
- CAMPAGNOLO, K.; SILVEIRA, G.L. da; MIOLA, A.C.; SILVA, R.L.L. da. Área de preservação permanente de um rio e análise da legislação de proteção da vegetação nativa. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 3, 2017, p. 831-42.

FERREIRA, H.L.M.; CASTRO, P.T.A.; MELO, M.C.; CORDEIRO, P.F.; SOARES, A.C.; MEYER, S.T.; FREITAS, M.D.F.P. de. Ecohydromorphology of river environments of the das Velhas River upstream of Rio de Pedras hydroelectric reservoir, MG, Brazil. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 4, n. 1, 2016, p. 41-9.

FIRMINO, P.F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A.S.L. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, sudeste do estado de Goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 15, n. 2, 2011, p. 1-12.

GONÇALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. da. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, 2012, p. 141-54.

GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A.S. de L.; MALAFAIA, G. Adapting a rapid assessment protocol to environmentally assess palm swamp (Veredas) springs in the Cerrado biome, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 11, 2017a, p. 1-10.

GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A.S. de L.; MALAFAIA, G. Adequação de um protocolo de avaliação rápida de rios para ser usado por estudantes de ensino fundamental. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, 2012, p. 241-60.

GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A.S. de L.; MALAFAIA, G. Rapid assessment protocols of rivers as instruments of environmental education in elementary schools. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 5, 2017b, p. 801-13.

HANNAFORD, M.J.; BARBOUR, M.T.; RESH, V.H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 16, n. 4, 1997, p. 853-60.

KRUPEK, A.R. Análise comparativa entre duas bacias hidrográficas utilizando um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats. *Ambiência*, v. 6, n. 1, 2010, p. 147-58.

LAPOLA, D.M.; MARTINELLI, L.A.; PERES, C.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERREIRA, M.E.; NOBRE, C.A.; AGUIAR, A.P.D.; BUSTAMANTE, M.M.; CARDOSO, M.F.; COSTA, M.H.; JOLY, C.A.; LEITE, C.C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B.B.N.; VIEIRA, I.C.G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Climate Change*, n. 4, 2014, p. 27-34.

LAUDARES, S.S.A.; BORGES, L.A.C.; AVILA, P.A.; OLIVEIRA, A.L. de; SILVA, K.G.; LAUDARES, D.C.A. Agroforestry as a sustainable alternative for environmental regularization of rural consolidated occupations. *Cerne*, v. 23, 2017, p. 161-74.

MACHADO, C.S.; ALVES, R.I.S.; FREGONESI, B.M.; BEDA, C.F.; SUZUKI, M.N.; TREVILATO, R.B.; NADAL, M.; DOMINGO, J.L.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. Integrating three tools for the environmental assessment of the Pardo River, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, n. 9, 2015, p. 1-14.

MARMONTEL, C.V.F.; RODRIGUES, V.A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, 2015, p. 171-81.

MEJÍA, I.M.; GONZÁLEZ, Á.B.; LÓPEZ, S.V.; HERNÁNDEZ, J.I.O.; ESPINOZA, J.A.M. Evaluación de la condición ecológica del Río Zahuapan. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, v. 33, n. 1, 2017, p. 7-19.

PEREIRA, I.M.; BERG, E. van den; PINTO, L.V.A.; HIGUCHI, P.; CARVALHO, D.A. Avaliação e proposta de conectividade dos fragmentos remanescentes no campus da universidade federal de Lavras, Minas Gerais. *Cerne*, v. 16, n. 3, 2010, p. 305-21.

PIASENTIN, F.B.; GÓIS, S.L.L. de. Conservação de remanescentes florestais no Brasil: considerações sobre os principais instrumentos de gestão ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 36, 2016, p. 115-34.

PUERTA, R. Regeneração arbórea em pastagens abandonadas na região de Manaus em função da distância da floresta contínua. *Scientia Forestalis*, v. 62, 2002, p. 32-9.

RANGEL, L.A.; BOTELHO, R.G.M. Análise ambiental da trilha Sahy-Rubião no parque estadual Cunhambebe em Mangaratiba (RJ) por meio de um protocolo de avaliação rápida. *Geo UERJ*, n. 30, 2017, p. 391-418.

REZENDE, C.L.; SCARANO, F.R.; ASSADD, E.D.; JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; STRASSBURG, B.B.N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G.A.; MITTERMEIER, R.A. From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 16, n. 4, 2018, p. 208-14.

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed?: implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, 2009, p. 1141-53.

RODRIGUES, A.S.L.; CASTRO, P.T.A. Adaptation of a rapid assessment protocol for rivers on rocky meadows. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 20, n. 4, 2008, p. 291-303.

RODRIGUES, A.S.L.; MALAFAIA, G.; COSTA, A.T.; NALINI JÚNIOR, H.A. Adequação e avaliação da aplicabilidade de um protocolo de avaliação rápida na bacia do rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do quadrilátero ferrífero, MG, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 2, 2012, p. 231-44.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZIU, S.H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade de Ciência do Solo, 2015, 101 p.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G. de; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONÇALVES, J.C.S.I. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do Meio, Leme (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, 2008, p. 329-38.

SILVA, A.R.; FONSECA, A.L.D.O.; RODRIGUES, C.J.; BELTRAME, A.V. Application of ecological indicators in coastal watershed under high pressure during summer period. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, 2016, p. 537-48.

SILVA, M.S.; BUENO, I.T.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; BORGES, L.A.C.; CALEGARIO, N. Avaliação da cobertura do solo como indicador de gestão de recursos hídricos: um caso de estudo na sub-bacia do Córrego dos Bois, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 3, 2017, p. 45-452.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, v. 344, 2014, p. 363-4.

SOUZA, A.L.; SORAES, C.P.B. *Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo*. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013, 322 p.

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do código florestal brasileiro. *Novos Estudos*, v. 89, 2011, p. 111-36.

TAMBOSI, L.R.; MARTENSEN, A.C.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P. A Framework to optimize biodiversity restoration efforts based on habitat amount and landscape connectivity. *Restoration Ecology*, v. 22, n. 2, 2014, p. 169-77.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Impactos potenciais das alterações do código florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, 2010, p. 67-76.

VANZETTO, G.V.; QUADROS, F.R.; ROVANI, I.L.; DECIAN, V.S. Cadastro ambiental rural e avaliação comparativa entre o antigo e atual código florestal federal em um imóvel. *Ciência e Natura*, v. 39, n. 2, 2017, p. 259-71.

WUNDERLE JUNIOR, J. M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, v. 99, 1997, p. 223-35.

**ARTIGO 2 - QUALIDADE AMBIENTAL DA APP RIPÁRIA NA MATA
ATLÂNTICA: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA ASSOCIADO À
GEOTECNOLOGIA**

**ENVIRONMENTAL QUALITY OF RIPARIAN PPA IN THE ATLANTIC FOREST: RAPID
ASSESSMENT PROTOCOL ASSOCIATED WITH GEO-TECHNOLOGY**

Ricardo Tayarol Marques¹, Vanessa Cabral Costa de Barros², Luis Antônio Coimbra Borges², Fausto Weimar Acerbi Júnior², Ana Carolina Maioli Campos Barbosa²

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2018) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), Campus Barbacena.

² Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciências Florestais

RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APP) ripárias de uma bacia hidrográfica da Mata Atlântica, por meio de um Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), associado a ferramentas da geotecnologia. Utilizando-se um PAR especificamente desenvolvido à região de estudo, amostraram-se, aleatoriamente, pontos distribuídos nos principais cursos d'água da bacia. Com o emprego de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), estimou-se a situação ambiental de todas as APP ripárias. Pela avaliação cruzada dos resultados, encontrou-se que o interpolador *Inverse Distance Weighted* (IDW) apresentou os melhores resultados às estimativas espaciais realizadas neste estudo. Estimou-se que 57% das APP ripárias da bacia avaliada encontram-se, em condições ambientais insatisfatórias, o que se deve, sobretudo, pela ocupação antrópica, grau de conservação da vegetação nativa, conservação do solo, poluição e perturbação da área que afetaram negativamente diversos parâmetros de avaliação do PAR utilizado. O emprego da metodologia proposta mostrou-se ser uma técnica promissora, para ser utilizada em estudos de impactos ambientais e no planejamento e gestão de políticas ambientais, voltadas à conservação e restauração dos ambientes ripários.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Impacto ambiental. Gestão ambiental.

ABSTRACT

This study aimed to assess the environmental quality of riparian Permanent Preservation Areas (PPAs) in a hydrographic basin in the Atlantic Forest through a Rapid Assessment Protocol (PAR) associated with geo-technology. Points distributed in the basin's main watercourses were randomly sampled using the RAP specifically developed for the study region. Employing a Geographic Information System (GIS), the environmental situation of all riparian PPAs was estimated. The cross-evaluation of the results showed that the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolator presented the best results to this study's spatial estimates. It was estimated that 57% of riparian PPAs in the basin are in unsatisfactory environmental conditions, mainly due to anthropic occupation, conservation degree of the native vegetation, soil conservation, pollution, and disturbance of the area negatively affected different evaluation parameters used by the RAP. The proposed methodology was a promising technique for studies of environmental impacts and in planning and managing environmental policies aimed at the conservation and restoration of riparian environments.

Keywords: Hydrographic basin. Environmental impact. Environmental management.

1 INTRODUÇÃO

O bioma da Mata Atlântica foi densamente ocupado pelo homem e suas atividades, tornando-se, em razão desse processo de antropização, em um mosaico de remanescentes de vegetação nativa altamente fragmentado (REZENDE *et al.*, 2018). Dentre esses remanescentes, os situados nas regiões ripárias desempenham importante papel na manutenção da biodiversidade, proteção do solo e na garantia da quantidade e qualidade da água disponível (BRANCALION *et al.*, 2016; GÊNOVA; HONDA; DURIGAN, 2007). Por sua importância, as regiões ripárias são legalmente protegidas como Áreas de Preservação Permanente (APP), estabelecido pela Lei Federal nº 4.771/1965 (BORGES *et al.*, 2011) e sendo atualmente regidas pelas normas da Lei Federal nº 12.651/2012, também conhecida como Código Florestal (LAUDARES *et al.*, 2017).

Mesmo diante da sua importância, na prestação de serviços ecossistêmicos e de serem legalmente protegidas, grande parte das APP ripárias foram ocupadas irregularmente nos últimos anos. Na atualidade, existem 7,2 milhões de hectares de APP ripárias com alteração de uso do solo na Mata Atlântica brasileira, o que cria oportunidades para formulações de políticas públicas visando à sua restauração e proteção.

O Código Florestal instituiu diversos mecanismos, para o planejamento, controle e recuperação ambiental, dentre os quais podemos citar: o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e os incentivos econômicos à preservação e recuperação florestal (AZEVEDO *et al.*, 2017; BRANCALION *et al.*, 2016; SOARES-FILHO *et al.*, 2014; VANZETTO *et al.*, 2017).

Muitos desses mecanismos baseiam-se no uso de ferramentas da geotecnologia que permitem a espacialização da informação, gerando ganhos de produtividade e redução nos custos das análises ambientais (FARIA; TEIXEIRA, 2017; LEAL; TODT; THUM, 2013). Segundo Vanzetto *et al.* (2017), a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilita a integração das informações espaciais e não espaciais, em uma única base de dados, facilitando assim as tomadas de decisões. Contudo os parâmetros utilizados, nos estudos ambientais coletados por sensores orbitais, necessitam de validação, o que é realizado utilizando-se dados das avaliações de campo.

Estudos para a avaliação da qualidade ambiental são complexos e demandam levantamentos de campo e análises laboratoriais que podem apresentar custo elevado e longo período na obtenção dos resultados (BIZZO; MENEZES; ANDRADE, 2014). Desta forma, na década de 1980, nos Estados Unidos, iniciou-se o desenvolvimento de metodologias, a fim de otimizar esse processo, dentre elas destaca-se o Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR). O PAR possibilitou que observações visuais fossem pontuadas, numa escala numérica, atribuindo assim valores aos parâmetros avaliados (SILVA *et al.*, 2016). Sua versatilidade permite que seja utilizado, nas mais variadas situações, desde que sejam realizados os ajustes para as condições locais (BRINSON *et al.*, 2013). Marques (2020) desenvolveu um PAR, para a avaliação das condições ambientais das APP ripárias da Mata Atlântica, utilizando indicadores ambientais relacionados ao sistema estudado.

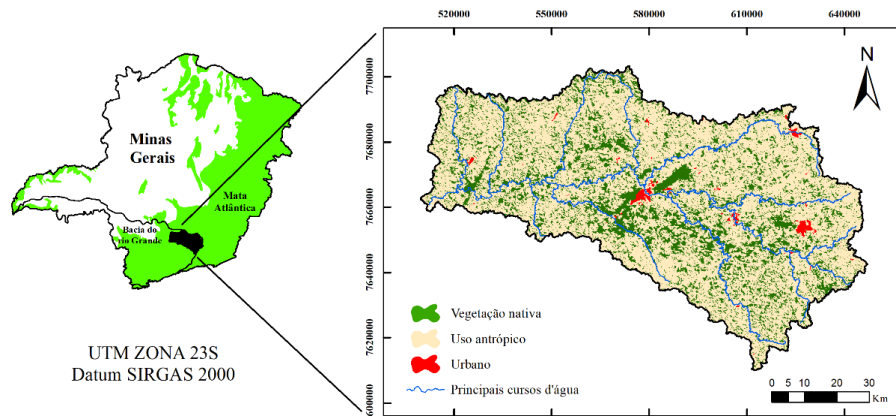
A implementação dos mecanismos de políticas ambientais, muitas vezes, é prejudicada pela falta de estrutura e baixa condição orçamentária, dificultando o atendimento das demandas existentes, tornando-se necessária a adoção de ferramentas que auxiliem os gestores ambientais nas tomadas de decisões. Diante do exposto, este trabalho tem o objetivo de avaliar a qualidade ambiental das APP ripárias de uma bacia hidrográfica da Mata Atlântica, utilizando um PAR associado às ferramentas da geotecnologia, para estimar o gradiente de qualidade ambiental de toda a bacia.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia do rio das Mortes, no estado de Minas Gerais, situada no bioma da Mata Atlântica, apresentando área drenada de 6.607,04 km², sendo que 14,65% da sua área total apresenta remanescentes de vegetação nativa (Campo, Campo rupestre e Floresta estacional semidecidual montana) e 85,35% são ocupadas por atividades antrópicas (Agropecuária, urbano e outras atividades), possuindo, como principais afluentes, os seguintes cursos d'água Alberto Dias, Amaral, Bandeira, Carandaí, Curral Novo, Elvas, Mortes Pequeno, Peixe, Pirapetinga, Santo Antônio e Tubões (FIGURA 1) (BORGES; ABJAUBI, 2016; ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014).

Figura 1 – Localização, uso do solo e principais cursos d'água na bacia do rio das Mortes, MG.



Fonte: Dos autores (2020).

2.2 Avaliação do gradiente ambiental das APP ripárias

Para a avaliação das APP ripárias, na bacia do rio das Mortes, foi utilizado um PAR baseado na metodologia de avaliação desenvolvida por Marques (2020), especificamente, para as condições da Mata Atlântica na região estudada. Visando captar o gradiente da qualidade ambiental dos locais avaliados, a pontuação dos parâmetros, no PAR adotado, pode variar de zero a uma condição ambiental ruim até o valor máximo estabelecido ao parâmetro numa condição ambiental ótima. Os indicadores ambientais e parâmetros de pontuação adotados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores, parâmetros e pontuação adotada no PAR para a avaliação das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.

Indicador	Parâmetro	Pontuação
Legislação florestal e utilização do solo	Extensão da vegetação nativa	10
	Principal atividade de uso do solo	10
Vegetação nativa e ecologia da paisagem	Estágio de desenvolvimento da vegetação nativa	5
	Estrutura vertical da vegetação	5
	Proximidade com fragmentos de vegetação nativa	5
	Matriz de entorno	5
Conservação e proteção do solo	Estabilidade das margens	10
	Presença de processos erosivos	10
Perturbação e poluição da área	Grau de perturbação da área	10
	Presença de fontes de poluição na área	10
Qualidade da água	Transparência da água do curso d'água	4
	Odor da água do curso d'água	4
	Oleosidade da água do curso d'água	4
	Cobertura vegetal do leito do curso d'água	4
	Existência e extensão das corredeiras	4
Total		100

Fonte: Adaptado de Marques (2020).

O somatório da pontuação obtida, nos quinze parâmetros de avaliação empregados no PAR ripário, vai propiciar a classificação ambiental da APP em uma das quatro classes propostas (TABELA 2).

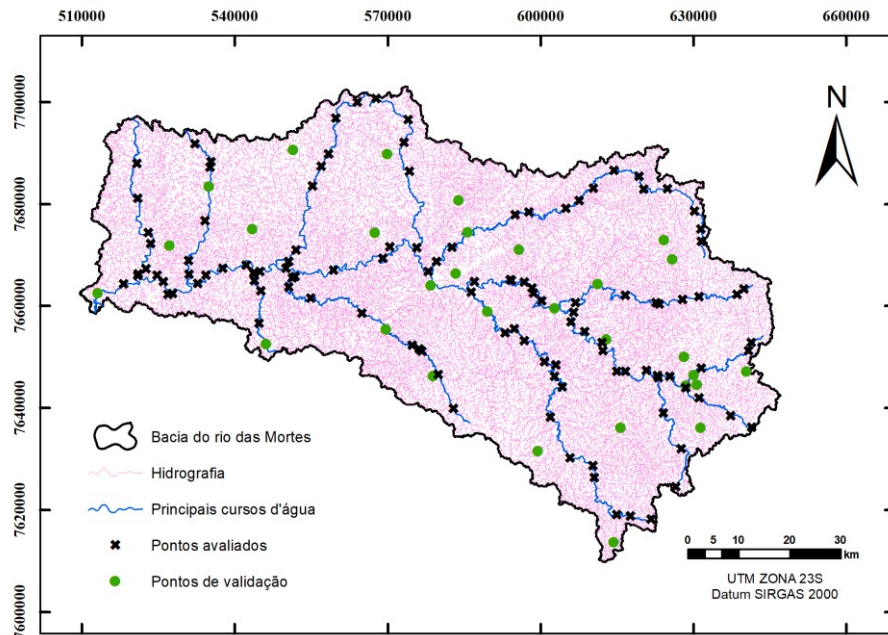
Tabela 2 – Classificação ambiental das APP ripárias pela pontuação total obtida no PAR.

Pontuação Total	Classificação ambiental
0 - 29	Ruim
30 - 59	Razoável
60 - 79	Boa
80 - 100	Ótima

Fonte: Marques (2020).

O número de amostras avaliadas na bacia hidrográfica foi estimado, seguindo a metodologia proposta por Levine, Berenson e Stephan (2000), para populações com desvio-padrão desconhecido, apontando, para a necessidade de 96 amostras. A fim de garantir a eficiência da amostragem, foram lançados 120 pontos amostrais, distribuídos aleatoriamente, nos principais cursos d'água da bacia, utilizando um programa de SIG. Da mesma forma, foram lançados 30 pontos amostrais, nos cursos d'água de toda a bacia, para realizar a validação do processo de estimativa espacial da pontuação ambiental das APP ripárias (FIGURA 2).

Figura 2 – Localização dos pontos avaliados pelo PAR ripário nos principais cursos d'água da bacia do rio das Mortes.



Fonte: Dos autores (2020).

Para a avaliação das APP ripárias, convencionou-se uma faixa de 30 metros de comprimento perpendicular à borda do curso d'água com 20 metros de largura (MARQUES, 2020), não sendo considerada a largura do rio em virtude do estabelecido no Código Florestal, em que APP com ocupação antrópica consolidada, estabelecidas anteriormente a 22 de julho de 2008, tem a sua extensão definida, não apenas pela largura do curso d'água, mas também pelo tamanho do imóvel rural em módulos fiscais e, com isso, podem variar de 5 a 100 metros (LAUDARES *et al.*, 2017). Essas avaliações foram executadas por dois pesquisadores treinados no uso da metodologia proposta, sendo os pontos amostrados localizados *in loco*, utilizando um receptor de navegação do *Global Positioning System* (GPS).

2.3 Classificação ambiental das APP ripárias da bacia hidrográfica

Para a determinação do uso do solo nas APP ripárias da bacia do rio das Mortes, foram utilizados *shapefiles* da hidrografia e uso do solo, elaborados pelo Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (Lemaf) no projeto do modelo fitogeográfico da bacia do rio Grande (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA, 2019).

As classificações ambientais obtidas nas avaliações de campo, em função do uso do solo e da variação das pontuações obtidas, foram agrupadas em quatro classes principais: agropecuária, campo nativo, floresta nativa e outros usos, que foram utilizadas para a classificação ambiental das APP ripárias na região estudada.

A fim de realizar a estimativa da pontuação ambiental das APP ripárias da bacia, com base nos pontos amostrados, foram testados dois procedimentos, um geostatístico que foi a *Krigagem* e outro de interpolação espacial que foi o *Inverse Distance Weighted* (IDW), utilizando o expoente de ponderação dois que é considerado padrão para esse interpolador, passando o método a ser conhecido também como Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017; GUEDES *et al.*, 2012; VARGAS *et al.*, 2018). Essas estimativas foram processadas com a utilização de um SIG que dispõe desses recursos.

Para avaliar a possibilidade de utilização da *Krigagem*, foi primeiramente realizada a análise da dependência espacial dos dados coletados, para isso, foram gerados os variogramas experimentais dos pontos amostrados, que forneceram o efeito pepita (co) e a contribuição (c), utilizados no cálculo do Índice de Dependência Espacial (IDE), desenvolvido por Cambardella *et al.* (1994) e aplicado nos trabalhos de Mello e Oliveira (2016), Santos *et al.* (2017) e Siqueira *et al.* (2014), sendo o IDE calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{IDE} = \frac{\text{co}}{\text{co} + c} * 100$$

Sendo o IDE classificado como: forte (IDE \leq 25%), moderado (IDE 25% - 75%), fraco (IDE \geq 75%) e sem dependência (IDE = 100%).

Posteriormente, avaliou-se a acurácia das estimativas espaciais realizadas, utilizando a metodologia de validação cruzada apresentada por Amorim *et al.* (2008) e Farias, Francisco e Senna (2017), cujas pontuações das 30 amostras de validação aleatoriamente, lançadas na área de estudo, foram comparadas com as estimativas espaciais para esses locais, utilizando os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos e fórmulas de cálculo utilizadas para avaliar a acurácia de interpoladores espaciais.

Parâmetro estatístico	Fórmula de cálculo
Erro Absoluto Médio (EAM)	$\frac{1}{N} = \sum [y_i - x_i]$
Erro Relativo Médio (ERM)	$\frac{1}{N} = \sum \frac{y_i - x_i}{x_i}$
Erro Relativo Médio da Raiz Quadrada (ERMRQ)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum \left[\frac{y_i - x_i}{x_i} \right]^2}$
Coeficiente de Correlação (COR)	$\frac{\sum (y_i - \bar{Y}) * (x_i - \bar{X})}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{Y})^2} * \sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2}}$

Onde: N: número de amostras utilizadas; y_i : valor estimado pelo interpolador; x_i : valor mensurado no campo; \bar{Y} : média dos valores estimados pelo interpolador; \bar{X} : média dos valores mensurados no campo.

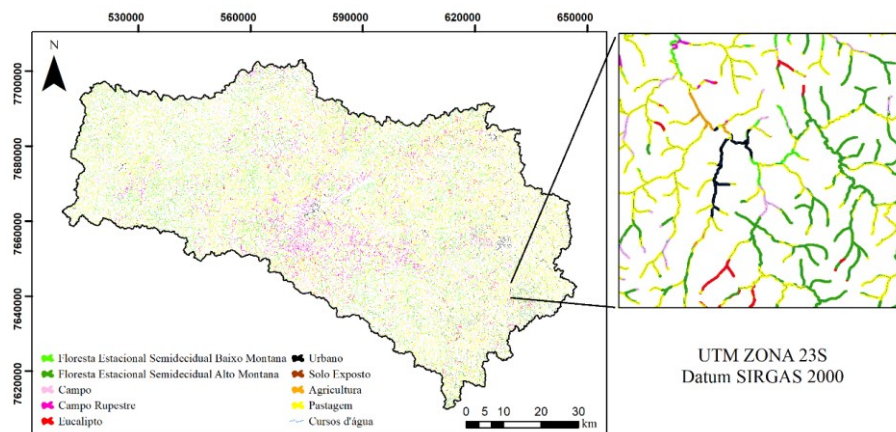
Fonte: Adaptado de Amorim *et al.* (2008) e Farias, Francisco e Senna (2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Uso do solo nas APP ripárias

O uso do solo, considerando uma faixa de 30 metros, ao longo dos cursos d'água existentes na bacia do rio das Mortes, é apresentado na Figura 3. Baseado nesse levantamento, foram quantificados os usos do solo nas APP ripárias por classes (TABELA 4).

Figura 3 – Mapeamento do uso do solo na faixa de 30 metros das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.



Fonte: Dos autores (2020).

Tabela 4 – Área por classes de uso do solo nas APP ripárias na bacia do rio das Mortes.

Uso do Solo		Área (ha)		
Natural	Floresta nativa	Floresta Estacional Semidecidual Baixo Montana	22.361,77	28.414,66
		Floresta Estacional Semidecidual Alto Montana	6.052,89	
	Campo nativo	Campo Rupestre	8.533,50	15.205,22
		Campo	6.671,72	
Antrópico	Agropecuária	Pastagem	43.509,62	49.455,84
		Agricultura	3.102,63	
	Outros	Eucalipto	2.843,59	50.316,00
		Urbano	814,09	
Solo exposto		46,07	860,16	
TOTAL				93.935,88

Fonte: Dos autores (2020).

Constatou-se que 53,6% das APP ripárias da região estudada encontram-se ocupadas irregularmente por atividades humanas com o predomínio das pastagens que representam 86,4% do uso antrópico. Remonta ao contexto histórico da colonização regional iniciada com a mineração de ouro, em São João Del Rei e Tiradentes e, posteriormente, com a implantação das atividades agropecuárias por toda a bacia visando atender as populações dos centros urbanos o que levou a região a se tornar grande produtora de leite na atualidade (BORGES; ABJAUBI, 2016; PRIORI; VENANCIO, 2010). As APP ripárias com uso natural representam

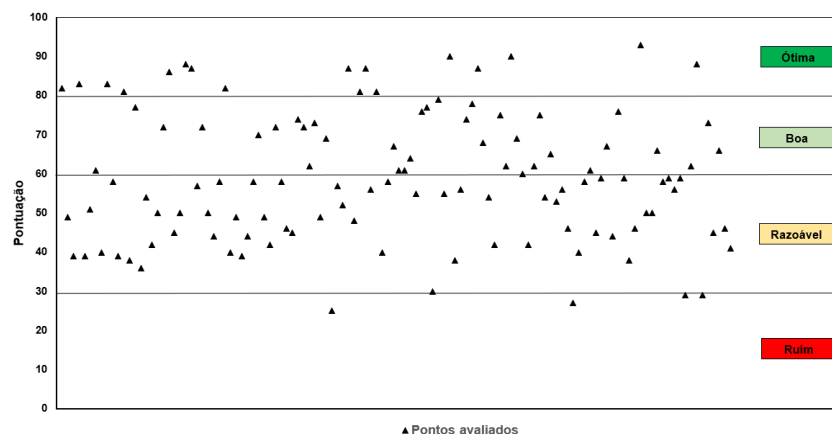
46,4% do total predominando a cobertura florestal, com destaque para a Floresta Estacional Semidecidual Baixo Montana, que representa 51,3% da vegetação nativa remanescente nas APP ripárias.

Os resultados observados estão situados dentro da faixa dos resultados obtidos em outros estudos sobre o uso do solo em APP na Mata Atlântica onde as porcentagens de uso antrópico e atividade predominante foram: 71,5% de pastagem (ATTANASIO *et al.*, 2012), 62,03% de cultivo de cana-de-açúcar (CAMPOS *et al.*, 2016), 55,3% de pastagem (MELLO *et al.*, 2014) e 37,0% de pastagem (SILVA *et al.*, 2017).

3.2 Avaliação da qualidade ambiental das APP ripárias

Os pontos amostrados nos principais cursos d'água da bacia do rio das Mortes, de acordo com a sua pontuação, foram classificados quanto à sua qualidade ambiental, baseados na metodologia do PAR utilizada neste estudo (FIGURA 4).

Figura 4 – Resultados da avaliação ambiental dos pontos amostrados nas APP ripárias da bacia do rio das Mortes e sua classificação ambiental.



Fonte: Dos autores (2020).

A avaliação ambiental das APP ripárias apontou que 56,6% dos pontos amostrados apresentaram condições insatisfatórias, sendo 53,3% classificados como razoáveis e 3,3% como ruins, enquanto os pontos, em condições satisfatórias, 29,2% foram avaliados como bons e 14,2% ótimos. No geral, as APP ripárias desta bacia não apresentam as condições ideais, mas, por outro lado, exibem um cenário melhor que o levantado por Firmino, Malafaia e Rodrigues (2011), para o município de Ipameri-GO, em que foi empregada a avaliação com um PAR em que se encontrou a seguinte classificação das APP: 7,3% ótimas, 3,7% boas, 52% razoáveis, 37% ruins.

Os resultados obtidos nas avaliações de campo foram agrupados nas devidas classes de uso do solo em que se encontravam (TABELA 5). Nos locais onde o uso do solo é de vegetação nativa (florestal e campestre), a qualidade das APP ripárias foi melhor que a maioria dos locais com utilização antrópica (agropecuária e outros usos), o que também foi constatado no estudo de Machado *et al.* (2015) para o rio Pardo-SP.

Tabela 5 – Pontuação média dos parâmetros e classificação ambiental por tipo de uso do solo das APP ripárias da bacia do Rio das Mortes.

Uso do solo	Nº	Parâmetros Avaliados															Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
FES Baixo Montana	35	9	9	3	4	3	3	8	8	6	6	3	4	4	3	1	74
FES Alto Montana	11	9	9	4	3	4	3	7	7	6	7	4	3	4	3	0	73
Campo	06	8	4	2	0	5	3	6	7	5	7	3	4	4	1	1	60
Campo Rupestre	08	9	5	2	0	4	4	7	6	5	6	3	4	4	1	1	61
Eucalipto	03	3	7	1	2	1	3	9	9	7	8	3	3	4	3	1	63
Urbano	03	0	0	0	0	0	0	8	8	1	1	3	2	2	1	0	27
Solo Exposto	02	2	2	1	0	3	2	2	2	3	4	4	4	3	0	1	29
Agricultura	06	2	3	2	2	0	2	7	8	5	7	3	4	4	3	0	51
Pastagem	46	1	4	1	0	1	2	7	7	5	7	3	4	4	1	1	48
Média geral	120	5	6	2	2	2	3	7	7	5	6	3	4	4	2	1	59

Em que: FES (Floresta Estacional Semidecidual); Parâmetros: **1** Extensão da vegetação nativa; **2** Principal atividade de uso do solo; **3** Estágio de desenvolvimento da vegetação nativa, **4** Estrutura vertical da vegetação nativa, **5** Proximidade com fragmentos da vegetação nativa; **6** Matriz de entorno; **7** Estabilidade das margens; **8** Presença de processos erosivos; **9** Grau de perturbação da área; **10** Presença de fontes de poluição na área; **11** Transparência da água; **12** Odor da água; **13** Oleosidade da água; **14** Cobertura vegetal sobre o leito do curso d'água; **15** Existência e extensão das corredeiras.

Fonte: Dos autores (2020).

Considerando o universo amostral deste estudo, as APP ripárias avaliadas obtiveram uma pontuação média de 59 pontos e, assim, classificadas, no geral, como razoáveis. As APP situadas em locais com usos antrópicos tiveram baixas pontuações (razoável e ruim) com exceção das situadas em locais com plantios de eucalipto que foram avaliadas como boas. Em locais com vegetação nativa, a pontuação foi satisfatória (boa), contudo, em locais com vegetação campestre, essas pontuações estão situadas no limite inferior da classe. Analisando os resultados, com base nos indicadores e parâmetros ambientais utilizados no PAR (TABELA 5), foram realizadas as seguintes considerações:

No indicador da legislação florestal e utilização do solo por melhor atender as prescrições do Código Florestal, as melhores pontuações foram obtidas nas classes com vegetação nativa, em especial, as florestais, já a vegetação campestre teve sua pontuação prejudicada pela utilização de uma prática histórica, que é o seu uso como pastagem natural, para a criação de gado (PRIORI; VENANCIO, 2010). As áreas com usos antrópicos tiveram baixas pontuações por não atenderem à legislação com exceção do plantio de eucalipto na utilização do solo por ser considerada uma atividade de baixo impacto (LAUDARES *et al.*, 2017).

Na vegetação nativa e ecologia da paisagem, os pontos com florestas nativas tiveram boa avaliação, nos parâmetros de estágio de desenvolvimento e estrutura vertical; no caso da vegetação campestre, sua pontuação foi prejudicada pelo seu uso como pastagem natural, cujos produtores rurais realizam intervenções como roçadas e, muitas vezes queima, o que elimina a vegetação arbustiva e favorecem a invasão de gramíneas exóticas (braquiária). Nos parâmetros da ecologia da paisagem, os campos obtiveram os melhores resultados por apresentarem maior continuidade, após a faixa dos 30 metros avaliada, porém, no geral, as

pontuações obtidas nestes parâmetros apontam a alta fragmentação do bioma Mata Atlântica já observada por Rezende *et al.* (2018).

A conservação e proteção do solo avaliado pela estabilidade das margens e presença de processos erosivos foi o indicador que obteve os melhores resultados, no contexto geral, obtendo pontuação satisfatória, em todos os tipos de uso do solo avaliados, com exceção, para o solo exposto, que é resultado de atividades de extração mineral que, segundo Piori e Venancio (2010), foram as precursoras da colonização da região e, ainda, são praticadas em determinados pontos da bacia. Florestas de eucalipto apresentaram as melhores pontuações, nos dois parâmetros avaliados, ressaltando o caráter de proteção do solo dessa atividade, após o período de sua implantação, conforme relatados nos estudos de Silva *et al.* (2011).

Áreas urbanas também obtiveram boa pontuação nesse indicador, em virtude da pavimentação do solo e proteção do canal, geralmente, realizado nas cidades. As atividades agropecuárias também obtiveram boa pontuação, apontando serem utilizadas práticas de conservação do solo, sendo as piores pontuações observadas nos campos pelo seu uso como pastagem natural, o que implica a presença indiscriminada do gado que, sem a adoção de práticas de proteção do solo e manejo de pastagem, favorece a erosão e o deslocamento de massa às margens dos cursos d'água avaliados.

Para o indicador de perturbação e poluição da área, avaliado por dois parâmetros, os plantios de eucalipto alcançaram as melhores pontuações o que se explica pelo fato das maiores intervenções culturais ocorrerem, na implantação e colheita, ficando a área no restante do ciclo isolada de animais e protegida dos incêndios florestais (SILVA *et al.*, 2011). As áreas com vegetação nativa e agropecuária tiveram pontuações satisfatórias, no parâmetro fonte de poluição, mas baixa pontuação em perturbação da área causada pela presença de animais domésticos, atividades de tratos culturais e uso para recreação em que a atividade de pesca esportiva provoca a abertura de trilhas, corte de lenha, uso de fogueiras e descarte de lixo (plástico e latas de bebidas). O uso urbano obteve uma péssima pontuação, por causar grande perturbação pela existência de residências e a presença de pessoas e veículos nas áreas ripárias contribuindo, para a poluição dos cursos d'água, por meio das descargas de esgoto, escoamento pluvial e descarte de lixo diverso.

O último indicador retrata a qualidade da água, por meio de cinco parâmetros, sendo observado que, de maneira geral, as pontuações foram aceitáveis, em todos os usos do solo, com exceção das áreas urbanas e de alguns pontos situados a sua jusante, em que se observou o pronunciado odor de esgoto e oleosidade na água, evidenciando a ocorrência da descarga de esgoto sem o devido tratamento. Esse fato condiz com o levantamento feito pela Ecoplan, Lume e Skill (2014), apontando que os municípios integrantes da bacia do rio das Mortes coletam 84,5% do esgoto produzido, mas tratam apenas de 23,5%.

Outro ponto crítico observado nas áreas urbanas, campos e pastagens foi a ausência do sombreamento do leito do curso d'água, oferecido pela vegetação, o que favorece a incidência solar direta, consequentemente, influenciando na temperatura e qualidade da água (MARMOTEL; RODRUGUES, 2015). A existência e extensão das corredeiras que são características físicas dos cursos d'água, dependem muito do relevo local, mas importantes à autodepuração e melhoria da qualidade da água (GONÇALVES *et al.*, 2012) que apresentou pontuação muito baixa em todos os usos de solo.

3.3 Definição do método de estimativa espacial utilizado

A avaliação da dependência espacial das pontuações ambientais obtidas pelo interpolador geoestatístico da *Krigagem*, com a amostragem realizada, foi avaliada utilizando o IDE, sendo empregados os modelos teóricos esférico, exponencial e gaussiano (TABELA 6).

Tabela 6 – Dependência espacial da pontuação ambiental dos pontos amostrais na bacia do rio das Mortes.

Modelo	Efeito pepita (co)	Contribuição (c)	IDE	Dependência espacial
Esférico	240,6693	47,0399	83,7	Fraca
Exponencial	244,2799	46,6375	84,0	Fraca
Gaussiano	250,1397	40,0613	86,2	Fraca

Fonte: Dos autores (2020).

Sendo assim, a pontuação ambiental das APP ripárias, amostradas neste estudo, apresentaram fraca dependência espacial, para a *Krigagem* nos modelos testados, o que pode ser explicado pela alta heterogeneidade de uso de solo nas APP estudadas. Assim, seguiu o recomendado por Guedes *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2017), utilizando uma técnica determinística que foi a interpolação IDW para a estimativa da qualidade ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.

Com base nos 120 pontos amostrais (7,20 hectares) e utilizando a interpolação IDW, realizou-se a estimativa da pontuação ambiental de todas as APP ripárias da bacia (93.935,88 hectares); a acurácia do estimador foi testada pela validação cruzada de 30 pontos mensurados na área de estudo e avaliados estatisticamente (TABELA 7). O interpolador IDW apresentou médias bem próximas dos valores obtidos no campo, baixos erros e alta correlação entre os valores das pontuações ambientais.

Tabela 7 – Avaliação estatística da acurácia do estimador espacial IDW.

Estatísticas	IDW	Avaliação de Campo
Média	56,3	56,8
Desvio-padrão	13,0	12,6
Erro absoluto médio	-0,4833	
Erro relativo médio	-0,0084	
Erro relativo médio da raiz quadrada	0,0665	
Coefficiente de correlação	0,9600	

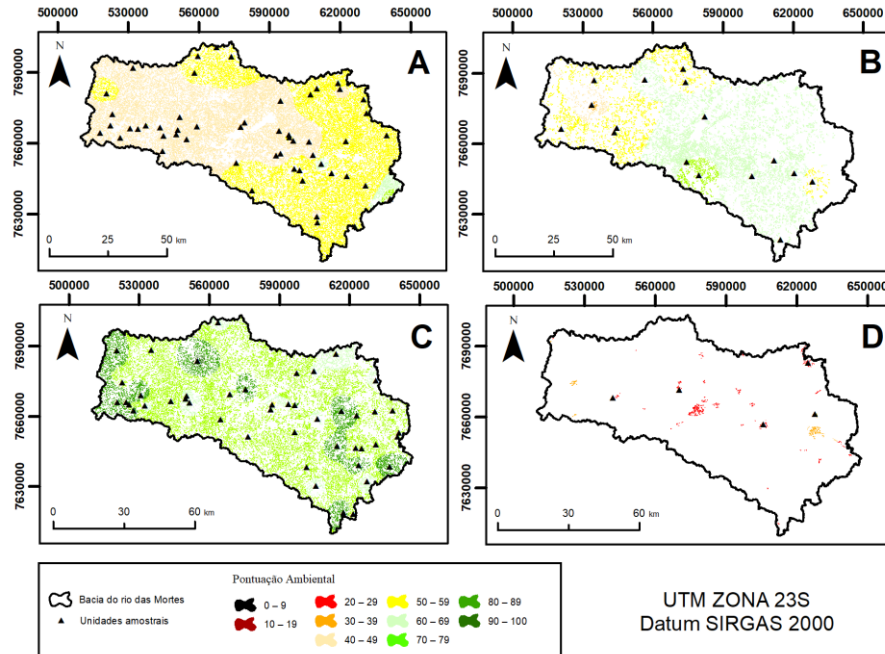
Fonte: Dos autores (2020).

A interpolação IDW mostrou ser eficiente, para estimar a qualidade ambiental de APP ripárias, nos limites de uma bacia hidrográfica, condizendo com seu uso para estimar a precipitação (AMORIM *et al.*, 2008; FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017; RIGHI; BASSO, 2016), no mapeamento de fatores hidrológicos (VARGAS *et al.*, 2018), na realização do zoneamento agroecológico (HUAYANEY; CHACA, 2013) e na alocação de parcelas para o inventário florestal (GUEDES *et al.*, 2012).

3.4 Estimativa da qualidade ambiental das APP ripárias da bacia

As pontuações ambientais das APP ripárias foram estimadas, utilizando o interpolador IDW, separadamente, para as quatro classes de uso do solo adotadas neste estudo: agropecuário, campo nativo, floresta nativa e outros usos (FIGURA 5).

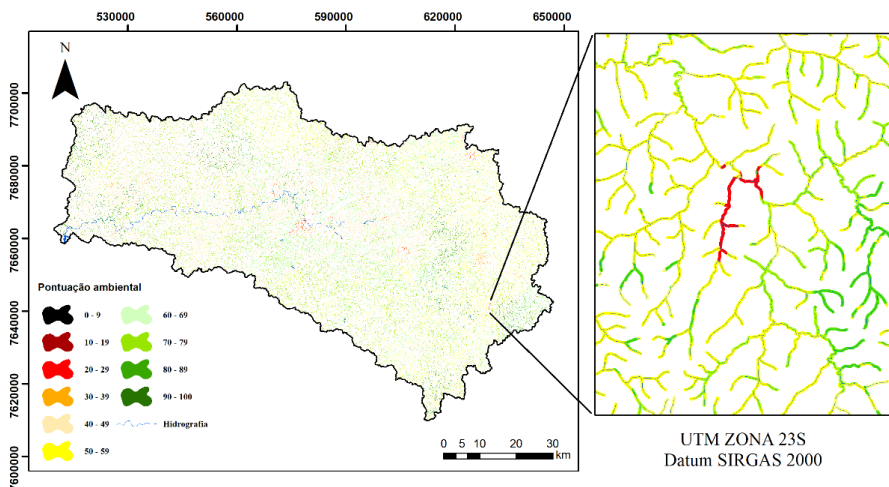
Figura 5 – Estimativa da classe ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes por uso do solo utilizando o interpolador IDW, em que: A: agropecuária, B: campo nativo, C: floresta nativa; D: outros usos.



Fonte: Dos autores (2020).

Os resultados obtidos, para cada classe de uso do solo, foram agregados em um único *shapefile*, possibilitando a elaboração do mapa temático com a pontuação ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes (FIGURA 6), sendo a quantificação desta pontuação, em áreas por classe ambiental, apresentada na Tabela 8.

Figura 6– Pontuação ambiental das APP ripárias da bacia do rio das Mortes.



Fonte: Dos autores (2020).

Tabela 8 – Pontuação ambiental por área em hectares e classe de uso do solo nas APP ripárias da bacia do rio das Mortes.

Pontuação ambiental	Uso do solo (hectares)				Total	Classe Ambiental
	Floresta nativa	Campo nativo	Agropecuário	Outros usos		
0 – 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ruim
10 – 19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20 – 29	0,00	0,00	0,00	594,66	594,66	
30 – 39	0,00	55,18	0,00	265,50	320,68	Razoável
40 – 49	0,00	466,56	23.205,32	0,00	23.671,88	
50 – 59	30,24	3.658,63	25.279,26	0,00	28.968,13	
60 – 69	2.144,66	10.111,91	834,29	0,00	13.090,86	Boa
70 – 79	19.880,68	913,04	136,97	0,00	20.930,69	
80 – 89	6.228,49	0,00	0,00	0,00	6.228,49	Ótima
90 - 100	130,59	0,00	0,00	0,00	130,59	

Fonte: Dos autores (2020).

Constatou-se que 57% das APP ripárias da bacia encontram-se em condições insatisfatórias, sendo 0,6% classificadas como ruins, 56,4% razoáveis, 36,2% boas e 6,8% ótimas (TABELA 8). Apresentaram uma situação pior que a observada na bacia do rio Guandu-RJ, por Salamene *et al.* (2011) que, por meio da análise espacial de três indicadores (uso do solo, proximidade da vegetação nativa e extensão da área urbana-industrial), classificaram a degradação ambiental das APP ripárias dessa bacia como: muito alta (11%), alta (22%), moderada (41%) e baixa (26%).

Utilizando as estimativas da pontuação ambiental obtidas pelo interpolador IDW, chegou-se a uma pontuação média das APP ripárias da bacia do rio das Mortes que foi de 60 pontos (boa). Nas classes de uso do solo avaliadas, chegou-se às seguintes pontuações médias: agropecuário 52 (razoável), campo nativo 62 (boa), floresta nativa 77 (boa) e outros usos 28 (ruim), refletindo as avaliações ambientais realizadas nas unidades amostrais e estimadas para as classes de uso do solo encontradas em toda a bacia.

Analisando as pontuações das APP ripárias por uso do solo, tem-se que as áreas classificadas como ruins pertencem à classe outros usos (100%), refletindo a ocupação dessas regiões por área urbana e solo exposto, causado por atividades de extração mineral, que apresentam situações drásticas quanto à maioria dos parâmetros avaliados (legislação, vegetação nativa, proteção dos solos, perturbação e poluição). Na classe razoável, a predominância foi do uso agropecuário (91,5%), seguido pelos campos nativos (7,9%), outros usos (0,5%), floresta nativa (0,1%), tendo contribuído para essa pontuação os indicadores de legislação, ausência da vegetação nativa e, no caso da vegetação campestre, o uso como pastagem.

Para a classe boa, predominou a floresta nativa (64,7%), seguido pelo campo nativo (32,4%) e agropecuária (2,9%), o que foi motivado pela ocupação regular, uso e proteção do solo, destacando-se que, no uso agropecuário, a pontuação foi favorecida por usos, como o plantio de eucalipto, fruticultura. Na classificação ótima, tivemos apenas floresta nativa (100%), o que reflete a melhor avaliação e proteção ambiental realizada pela vegetação florestal nas APP.

4 CONCLUSÕES

A associação de um PAR desenvolvido, para a avaliação da qualidade ambiental de APP ripárias, associado ao interpolador espacial IDW, mostrou ser ferramenta eficiente, permitindo a extrapolação de dados obtidos em amostras de campo (7,20 ha), para a classificação ambiental de todas as APP ripárias da bacia hidrográfica estudada ((93.935,88 ha).

As estimativas espaciais, utilizando o IDW, apresentaram uma boa acurácia para os estudos ambientais em APP ripárias, estimando que 75% das APP ripárias da bacia do rio das Mortes encontram-se em condições ambientais insatisfatórias, por sua ocupação antrópica (agropecuária e urbano), assim como pela utilização dos campos nativos como pastagens.

A metodologia proposta mostrou-se promissora para uso em estudos de impactos ambientais e nas avaliações, para o planejamento e gestão de políticas ambientais, para a conservação e restauração de APP ripárias, como os programas de recuperação de matas ciliares e de pagamentos por serviços ambientais.

Assim, uma excelente opção, para órgãos ambientais, entidades e empresas, que executem políticas à conservação ambiental, permite agilidade operacional, equipe de trabalho reduzida e baixo custo de execução, indo ao encontro das expectativas para a situação econômica atual de aplicações técnicas de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, R. C. F. *et al.* Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o estado de Alagoas. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.
- ATTANASIO, C. M. *et al.* A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 493-501, 2012.
- AZEVEDO, A. A. *et al.* Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. **PNAS**, Washington, DC, v. 114, n. 29, p. 7653-7658, 2017.
- BIZZO, M. R. de O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S. F. de. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais**, Niterói, v. 4, n. 1, p. 4-13, 2014.
- BORGES, G. C.; ABJAUDI, G. A. Caracterização ambiental da bacia do rio Grande. *In*: COSTA, R. M.; BORGES, G. C. (ed.). **Rio Grande: ambiente, peixes e pessoas**. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania, 2016. p. 9-101.
- BORGES, L. A. C. *et al.* Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1202-1210, 2011.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* A critical analysis of native vegetation protection law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 14, p. 1-15, 2016.
- BRINSON, M. *et al.* A rapid watershed assessment approach for assessing the condition of small, coastal watersheds: protocol and case study. **Ocean & Coastal Management**, New York, n. 71, p. 238-255, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field-Scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, S. *et al.* Geoprocessamento aplicado no diagnóstico dos conflitos de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente no ribeirão das Agulhas Botucatu (SP). **InterEspaço**, Grajaú, v. 2, n. 6, p. 163-175, 2016.
- ECOPLAN; LUME; SKILL. **Plano diretor de recursos hídricos: bacia hidrográfica do rio das Mortes**. Belo Horizonte: Ed. IGAM, 2014. v. 1, 584 p.
- FARIA, E.; TEIXEIRA, M. Contribuições da Geografia e do Sensoriamento Remoto como ferramenta auxiliar no planejamento espacial do Turismo, um estudo de caso sobre o Parque Nacional da Serra do Cipó-MG. **Ciência e Natura**, Cascavel, v. 39 n. 2, p. 285-298, 2017.
- FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 21, p. 172-185, 2017.

- FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, sudeste do estado de Goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 15, n. 2, p. 1-12, 2011.
- GÊNOVA, K. B.; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 189-200, 2007.
- GONÇALVES, J. C. S. I. *et al.* Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 141-154, 2012.
- GUEDES, I. C. L. *et al.* Técnicas geoestatística e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, 2012.
- HUAYANEY, M. E. A.; CHACA, J. J. B. Determinacion de zonas potenciales para cultivos frutícolas en región Tacna, mediante sistemas de análisis espacial. **Espacio y Desarrollo**, Lima, n. 25, p. 123-135, 2013.
- LAUDARES, S. S. A. *et al.* Agroforestry as a sustainable alternative for environmental regularization of rural consolidated occupations. **Cerne**, Lavras, v. 23, p. 161-174, 2017.
- LEAL, J. V.; TODT, V.; THUM, A. B. O uso de SIG para monitoramento de áreas degradadas: estudo de caso: APP do arroio Gil, Triunfo-RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 5, p. 967-983, 2013.
- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 811 p.
- MACHADO, C. S. *et al.* Integrating three tools for the environmental assessment of the Pardo river, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 187, n. 9, p. 1-14, 2015.
- MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.
- MARQUES, R. T. **Avaliação ambiental de APP ripárias da mata Atlântica: instrumento para gestão de políticas ambientais**. 2020. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.
- MELLO, K. *et al.* Cenários ambientais para o ordenamento territorial de áreas de preservação permanente no município de Sorocaba, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 309-317, 2014.
- MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

- PRIORE, M. del; VENANCIO, R. **Uma breve história do Brasil**. São Paulo: Planeta do Brasil, 2010. 248 p.
- REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, New York, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.
- RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 12, n. 1, p. 101-117, 2016.
- SALAMENE, S. *et al.* Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do rio Guandu/RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 221-231, 2011.
- SANTOS, K. E. L. *et al.* Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017.
- SILVA, A. R. *et al.* Application of ecological indicators in coastal watershed under high pressure during summer period. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 537-548, 2016.
- SILVA, M. A. *et al.* Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do vale do rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.
- SILVA, M. S. *et al.* Avaliação da cobertura do solo como indicador de gestão de recursos hídricos: um caso de estudo na sub-bacia do Córrego dos Bois, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 445-452, 2017.
- SIQUEIRA, G. M. *et al.* Using multivariate geostatistics to assess patterns of spatial dependence of apparent soil electrical conductivity and selected soil properties. **The Scientific World Journal**, Cairo, v. 2014, p. 1-11, 2014.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Cracking Brazil's forest code. **Science**, New York, v. 344, p. 363-364, 2014.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Modelo fitogeográfico da bacia do rio Grande**. Disponível em: <http://sig.projettoriogrande.ti.lemaf.ufla.br/#inicio>. Acesso em: 18 jun. 2019.
- VANZETTO, G. V. *et al.* Cadastro ambiental rural e avaliação comparativa entre o antigo e atual código florestal federal em um imóvel. **Ciência e Natura**, Cascavel, v. 39, n. 2, p. 259-271, 2017.
- VARGAS, T. *et al.* Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da serra gaúcha. **Scientia cum Industria**, Caxias do Sul, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.

**ARTIGO 3 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DOS MUNICÍPIOS DA
REGIÃO DO RIO DAS MORTES-MG: FERRAMENTA PARA A GESTÃO DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS**

**SUSTAINABILITY INDICATORS OF THE MUNICIPALITIES OF THE RIO DAS MORTES
RIOGION, MG, BRAZIL: A TOOL FOR THE MANAGEMENT OF HYDROGRAPHIC
BASINS**

Ricardo Tayarol Marques¹, Luis Antônio Coimbra Borges², Vanessa Cabral Costa de Barros²

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2018) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG),
Campus Barbacena.

²Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciências Florestais.

RESUMO

A Política Nacional de Recursos Hídricos introduziu o sistema de gestão por bacias hidrográficas cuja avaliação da sustentabilidade tornou-se uma ferramenta importante para auxiliar a tomada de decisões dos gestores. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a sustentabilidade dos municípios inseridos em uma bacia hidrográfica, utilizando o Barômetro da Sustentabilidade, como ferramenta para gestão dos recursos hídricos. Para o cálculo da sustentabilidade dos sistemas avaliados, foi realizada uma pesquisa documental exploratória que definiu vinte indicadores socioambientais relacionados aos recursos hídricos, que foram posteriormente processados, segundo a metodologia desenvolvida por Prescott-Allen (1997) Barômetro da Sustentabilidade, para a classificação da sustentabilidade dos municípios da bacia. Pela metodologia proposta, 3,8% dos municípios foram classificados como potencialmente sustentáveis, 15,4% como intermediários, 76,9% como potencialmente insustentáveis e 3,8% como insustentáveis em que a pontuação do subsistema do bem-estar ecológico foi mais baixa que a do bem-estar humano, indicando a necessidade da melhoria na qualidade dos indicadores ambientais. O Barômetro da Sustentabilidade, utilizando indicadores relacionados à qualidade dos recursos hídricos, mostrou-se uma ferramenta importante ao apoio à gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Barômetro da Sustentabilidade. Bacia hidrográfica. Indicador ambiental. Planejamento territorial.

ABSTRACT

The National Water Resources Policy introduced the watershed management system of which sustainability assessment has become an important tool to assist managers in decision-making. Thus, this study aimed to assess the sustainability of the municipalities in a hydrographic basin using Sustainability Barometer to manage water resources. To calculate the sustainability of the assessed systems, exploratory documentary research was conducted, defining 20 socio-environmental indicators related to water resources, which were subsequently processed, according to the methodology developed by Prescott-Allen (1997), the Sustainability Barometer, to classify the sustainability of the municipalities of the basin. According to the proposed methodology, 3.8% of the municipalities were potentially sustainable, 15.4% as intermediary, 76.9% as potentially unsustainable, and 3.8% unsustainable. The ecological welfare subsystem score of the last was lower than that of human welfare, indicating the need to improve the quality of environmental indicators. The Sustainability Barometer was an important tool to support the management of river basins using water resources indicators.

Keywords: Sustainability Barometer. Hydrographic basin. Environmental indicator. Territorial planning.

1 INTRODUÇÃO

A água é vital para a vida do ser humano que depende dela para: abastecer residências, produzir alimentos, gerar energia, movimentar indústrias, transportar insumos e realizar sua recreação (ANDRADE, 2010; KHAN; ZHAO, 2019). Mesmo diante desta relevante importância, as atividades humanas promovem alterações do uso do solo e geram resíduos (líquidos e sólidos) que interferem nos mananciais hídricos, influenciando na quantidade e qualidade da água disponível, causando situações críticas de disponibilidade hídrica, em diversos locais do mundo, tornando necessário o estabelecimento de políticas para a conservação da água (BAGANTIN *et al.*, 2014; BROWN; LAVKULICH; SCHREIER, 2011; KHAN; ZHAO, 2019; SOUZA; GASTALDINI, 2014).

No Brasil, as políticas públicas, para a gestão das águas, iniciaram-se com o Código das Águas (Decreto Federal nº 24.643/1934) que deixava o poder decisório centralizado aos altos escalões do governo que priorizava demandas específicas como a produção de energia (MARINHO; MORETTI, 2013). A Lei Federal nº 9.943/1997 instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), com um de seus fundamentos baseado na descentralização da gestão, delegando responsabilidade aos estados, municípios e sociedade civil para gerir as bacias hidrográficas (COSTA; MERTENS, 2015). A gestão de bacias hidrográficas é um processo de formulação e implementação de políticas para o uso, conservação e proteção ambiental dos recursos hídricos, levando em consideração a integração da água com os meios físicos, biológicos, social, econômico e cultural (REDDY; SAHARAWAT; GEORGE, 2017). O surgimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) possibilitou aos setores públicos, usuários e comunidades realizarem uma gestão integrada dos recursos hídricos na região de seu domínio (CHIODI; SARCINELLE; UEZU, 2013).

Para orientar a tomada das decisões necessárias, os membros do CBH necessitam possuir informações sobre a qualidade em que se encontram os recursos hídricos sob sua gestão, sendo a sustentabilidade a melhor abordagem para tratar os problemas relacionados à água. Existem diversas metodologias de avaliação da sustentabilidade, contudo, para a sua aplicação prática, ela deve ser flexível na definição dos indicadores ambientais, de fácil aplicação e possuir uma apresentação didática dos resultados (GUIDOLINI *et al.*, 2018; RODRIGUES; RIPPEL, 2015).

O método do Barômetro da Sustentabilidade (BS), desenvolvido por Prescott-Allen (1997), permite calcular a sustentabilidade em escala nacional, regional e local. No Brasil, existem vários trabalhos envolvendo a sustentabilidade nesses níveis (BATALHÃO; TEIXEIRA, 2013; CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016; CETRULO; MOLINA; MALHEIROS, 2013; DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2017; KRONEMBERGER *et al.*, 2008; LUCENA; CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2011; NOGUEIRA, 2016; OLIVEIRA; OLIVEIRA; CARNIELLO, 2015; SILVA; VIEIRA, 2016), assim como na determinação da sustentabilidade de bacias hidrográficas (GOMES, 2017; GUIDOLINI *et al.*, 2018; KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004).

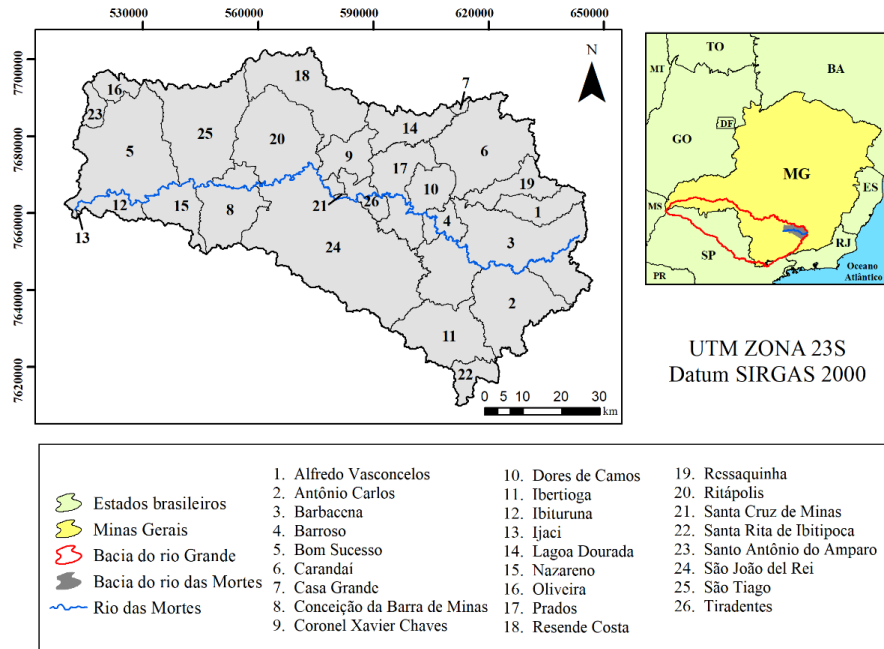
Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a sustentabilidade dos municípios inseridos na bacia do rio das Mortes-MG, aplicando a metodologia do Barômetro da Sustentabilidade, utilizando indicadores socioambientais relacionados à qualidade dos recursos hídricos como ferramenta para a gestão da bacia.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia do rio das Mortes-MG que possui 6.607,04 km² de extensão abrangendo o território de 26 municípios (FIGURA 1).

Figura 1 – Municípios e localização da bacia do rio das Mortes no estado de Minas Gerais.



Fonte: Dos autores (2020).

O rio das Mortes nasce no município de Barbacena desaguando no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil entre os municípios de Bom Sucesso e Ibituruna, sendo um dos principais afluentes do rio Grande. Em sua bacia, reside uma população estimada de 374.300 habitantes em que 86,2% ocupam o ambiente urbano e 13,8% a zona rural, as atividades de prestação de serviços proporcionam a maior geração de renda na bacia seguida pela indústria e pela agropecuária (BORGES; ABJAUBI, 2016; ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014). No sistema de gestão dos recursos hídricos do estado de Minas Gerais, a bacia do rio das Mortes pertence à Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) GD2 – Vertentes do rio Grande, abrangendo 62,8% de seu território UPGRH (ECOPLAN; LUME; SKILL, 2014).

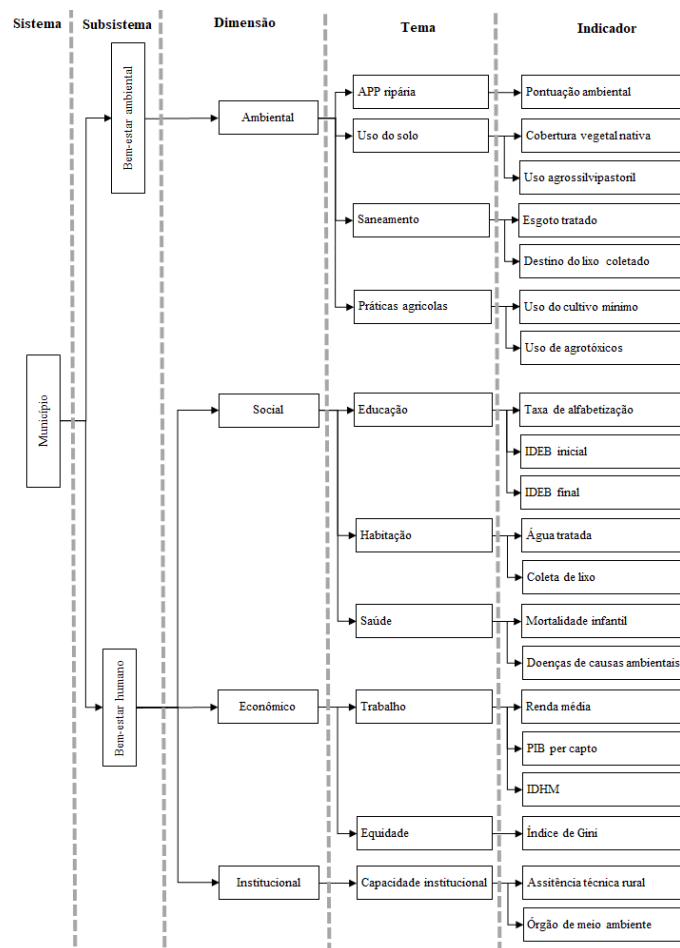
2.2 Seleção dos indicadores para o Barômetro da Sustentabilidade

Para a avaliação da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes, utilizando a metodologia do BS, seguiu-se a hierarquia da proposta original de Prescott-Allen (1997), ordenando a avaliação em: sistema (município), subsistemas (bem-estar ambiental e bem-estar humano), dimensões (ambiental, social, econômico, institucional), tema e indicadores que foram definidos visando retratar a sustentabilidade dos recursos hídricos na área estudada.

Na definição dos temas e indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) utilizados, realizou-se a pesquisa documental e exploratória, utilizando as ferramentas *Google Scholar* e *Web of Science*. Os indicadores foram definidos, a partir da proposta de indicadores ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), adequados às condições brasileiras (BRASIL, 2015) e dos trabalhos com o BS desenvolvidos no Brasil: Cardoso, Toledo e Vieira (2016), Cetrulo, Molina e Malheiros (2013), Dalchiavon, Baço e Mello (2017), Gomes (2017), Guidolini *et al.* (2018), Kronemberger, Carvalho e Junior (2004), Kronemberger e Clevelario Junior (2015), Kronemberger *et al.* (2008), Lucena, Cavalcante e Cândido (2011), Nogueira (2016), Oliveira, Oliveira e Carniello (2015) e Silva e Vieira (2016).

Foi incluído o indicador da pontuação ambiental das áreas de preservação permanente (APP) ripárias que foram obtidas, por intermédio da avaliação ambiental, utilizando um protocolo de avaliação rápida (PAR), com o uso de indicadores de: legislação florestal e utilização do solo; vegetação nativa e ecologia da paisagem; conservação e proteção do solo; perturbação e poluição da área; qualidade da água desenvolvido por Marques (2020). Também foi incluído um indicador que avaliou a existência de um órgão municipal com atribuições ao atendimento das demandas ambientais em nível dos sistemas avaliados, o que levou à utilização de um total de 10 temas e 20 indicadores de sustentabilidade que são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia do BS utilizada na avaliação da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.



Fonte: Dos autores (2020).

2.3 Elaboração da escala de desempenho de cada indicador

A escala de desempenho local (EDL), para cada indicador utilizado no método do BS, representa metas ou padrões estabelecidos em nível mundial ou nacional (KRONEMBERGER *et al.*, 2008). Pela pesquisa documental e exploratória, foram definidas as fontes dos valores de referência, para os indicadores utilizados, assim como a origem das informações que, quando possível, devem ser oriundas de órgãos ou instituições governamentais (federal, estadual, municipal), permitindo assim o acompanhamento das suas futuras evoluções e também a realização de comparações com outros sistemas (TABELA 1).

Tabela 1 – Indicadores de desenvolvimento sustentável, unidades de medida, fontes de referência para os valores utilizados e fontes para a consulta do valor local do indicador nos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.

Indicador de desenvolvimento sustentável (IDS)	Unidade	Fonte dos valores de referência utilizados	Fonte de aquisição dos dados utilizados
Pontuação ambiental	Adimensional	Definido neste estudo	Avaliação de campo (MARQUES, 2020)
Cobertura vegetal nativa	%	Kronemberger, Carvalho e Junior (2004)	Índice Mineiro de Responsabilidade Social (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019)
Uso agrossilvipastoril	%	Kronemberger <i>et al.</i> (2008)	Índice Mineiro de Responsabilidade Social (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019)
Esgoto tratado	%	Kronemberger <i>et al.</i> (2008)	IBGE cidades (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2019)
Destino do lixo coletado	Destinação final	Definido neste estudo	Índice Mineiro de Responsabilidade Social (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019)
Prática do cultivo mínimo	% das propriedades	Silva e Vieira (2016)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Uso de agrotóxicos	% das propriedades	Silva e Vieira (2016)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Taxa de alfabetização	%	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	Índice Mineiro de Responsabilidade Social (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019)
IDEB inicial	Adimensional	Cardoso, Toledo e Vieira (2016)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
IDEB final	Adimensional	Cardoso, Toledo e Vieira (2016)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Água tratada	% de residências	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Esgoto coletado	% de residências	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Mortalidade infantil	Nº/1.000 nascimentos	Cetrulo, Molina e Malheiros (2013)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Doenças de causa ambiental	Nº/100.000 habitantes	Dalchiavon, Baço e Mello (2017)	Índice Mineiro de Responsabilidade Social (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019)
Renda média	R\$	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
PIB per capto	R\$	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
IDHM	Adimensional	Nogueira (2016)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Índice de Gini	Adimensional	Kronemberger e Clevario Junior (2015)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Assistência técnica rural	% de propriedades	Gomes (2017)	IBGE cidades (IBGE, 2019)
Órgão meio ambiente	Existência	Definido neste estudo	IBGE cidades (IBGE, 2019)

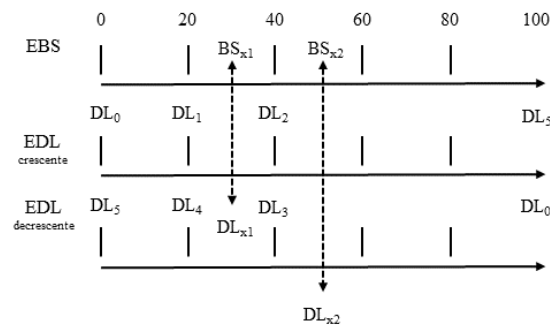
Fonte: Dos autores (2020).

Os IDS utilizam uma EDL específica para cada indicador (TABELA 2); o BS trabalha com uma escala de avaliação variando de 0 a 100 pontos, divididos em cinco níveis de classificação:

- 0 – 20 pontos Insustentável
- 21 – 40 pontos Potencialmente insustentável
- 41 – 60 pontos Intermediário
- 61 – 80 pontos Potencialmente sustentável
- 81 – 100 pontos Sustentável

Para o ajustar a EDL à escala de Desempenho do Barômetro da Sustentabilidade (EBS), foi realizada a interpolação desses valores, seguindo-se a metodologia do BS (FIGURA 3).

Figura 3 – Metodologia para a interpolação dos valores da EDL para os valores da EBS.



Fonte: Adaptado de Kronemberger *et al.* (2008).

Os cálculos para esta transformação foram realizados com a utilização da seguinte equação:

$$BS_x = \left\{ \left[\frac{(DL_a - DL_x) * (BS_a - BS_p)}{(DL_a - DL_p)} \right] * (-1) \right\} + BS_a$$

Em que:

BS_x: Valor na escala do BS;

BS_a: Limite anterior na escala do BS no intervalo que contém x;

BS_p: Limite posterior na escala do BS no intervalo que contém x;

DL_a: Limite anterior na EDL no intervalo que contém x;

DL_p: Limite posterior na EDL no intervalo que contém x.

Tabela 2 – Indicadores de sustentabilidade e valores de referência utilizados para padronizar o cálculo do índice de sustentabilidade pelo método do BS nos municípios da bacia do rio das Mortes, MG.

Indicador de Desenvolvimento Sustentável (IDS)	Unidade do indicador	Escala do Barômetro da Sustentabilidade (EBS)				
		0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
		Insustentável	Potencialmente Sustentável	Intermediário	Potencialmente Sustentável	Sustentável
Escala de Desempenho Local (EDL)						
Pontuação ambiental	Adimensional	0 – 29	30 – 49	50 – 59	60 – 79	80 – 100
Cobertura vegetal nativa	%	0 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 64	65 – 100
Uso agrossilvipastoril	%	100 – 66	65 – 46	45 – 36	35 – 31	30 – 0
Esgoto tratado	%	0 – 70	71 – 80	81 – 90	91 – 95	96 – 100
Destino do lixo coletado	Destinação final	LX = 0	AC = 40	-	AS = 80	UTC = 100
Prática do cultivo mínimo	% propriedades	0 – 30	31 – 50	51 – 80	81 – 90	91 – 100
Uso de agrotóxicos	% propriedades	100 – 71	70 – 31	30 – 11	10 – 6	5 – 0
Taxa de alfabetização	%	0 – 50	51 – 60	61 – 80	81 – 94	95 – 100
IDEB inicial	Adimensional	0 – 3,5	3,6 – 4,0	4,1 – 4,4	4,5 – 6,0	6,1 – 10
IDEB final	Adimensional	0 – 3,1	3,2 – 3,5	3,6 – 3,9	4,0 – 6,0	6,1 – 10
Água tratada	%	0 – 69	70 – 79	80 – 89	90 – 94	95 - 100
Esgoto coletado	%	0 – 69	70 – 79	80 – 89	90 – 94	95 - 100
Mortalidade infantil	Nº/1.000 habitantes	> 41,17	41,17 – 34,16	34,15 – 27,14	27,13 – 20,12	20,11 - 0
Doenças de causa ambiental	Nº/100.000 habitantes	> 805	805 – 626	625 – 447	446 – 267	266 – 0
Renda média	R\$	0 – 410	411 – 817	818 – 1.124	1.125 – 2.248	> 2.249
PIB per capita	R\$	0 – 2.000	2.001 – 6.000	6.001 – 12.000	12.001 – 40.000	> 40.000
IDHM	Adimensional	0 – 0,529	0,530 – 0,624	0,625 – 0,720	0,721 – 0,812	0,813 – 1
Índice de Gini	Adimensional	1 – 0,80	0,79 – 0,50	0,49 – 0,40	0,39 – 0,20	0,19 – 0
Assistência técnica rural	% propriedades	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
Órgão meio ambiente	Existência	Não = 0	-	-	-	Sim = 100

Onde: AC: Aterro controlado, AS: Aterro Sanitário, LX: Lixão e UTC: Usina de Triagem e Compostagem.

Fonte: Dos autores (2020).

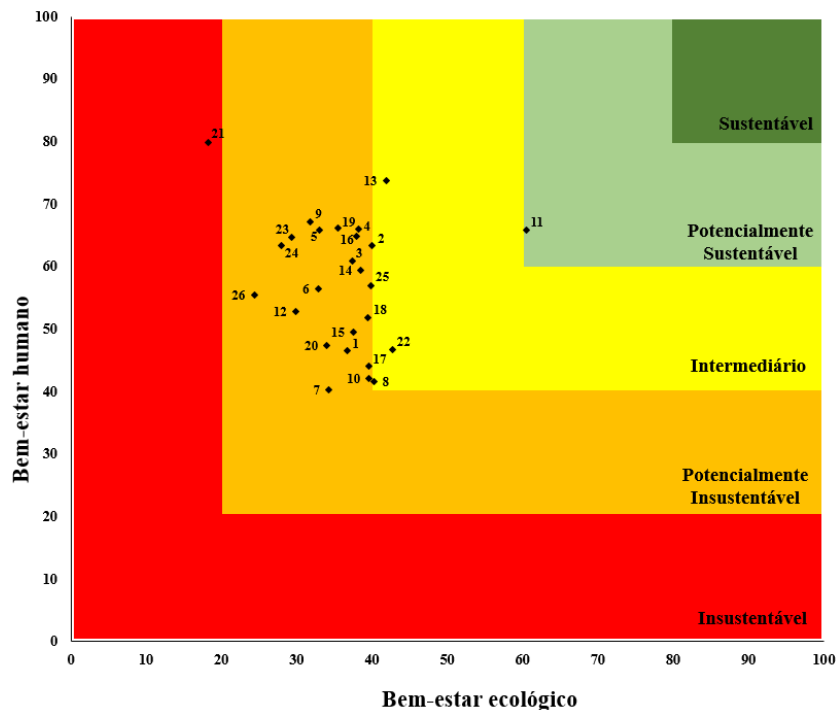
Após a conversão dos valores dos IDS para a escala do BS, eles foram agrupados, hierarquicamente, seguindo a proposta deste trabalho e pelo cálculo da média aritmética simples encontraram-se as pontuações dos temas, dimensões e subsistemas. A sustentabilidade do sistema foi indicada, a partir do ponto de interseção dos valores plotados, no gráfico bidimensional do BS, em que os valores do subsistema bem-estar ecológico correspondem ao eixo das abcissas e do bem-estar humano ao das ordenadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes

A classificação da sustentabilidade dos municípios inseridos na bacia hidrográfica estudada calculada, seguindo a metodologia do BS, é apresentada no seu gráfico bidimensional (FIGURA 4).

Figura 4 – Gráfico do BS dos municípios da bacia do rio das Mortes-MG.



Em que: 1: Alfredo Vasconcelos, 2: Antônio Carlos, 3: Barbacena, 4: Barroso, 5: Bom Sucesso, 6: Carandaí, 7: Casa Grande, 8: Conceição da Barra de Minas, 9: Coronel Xavier Chaves, 10: Dolores de Campos, 11: Ibertioga, 12: Ibituruna, 13: Ijaci, 14: Lagoa Dourada, 15: Nazareno, 16: Oliveira, 17: Prados, 18: Resende Costa, 19: Ressaquinha, 20: Ritópolis, 21: Santa Cruz de Minas, 22: Santa Rita de Ibitipoca, 23: Santo Antônio do Amparo, 24: São João del Rei, 25: São Tiago, 26: Tiradentes.

Fonte: Dos autores (2020).

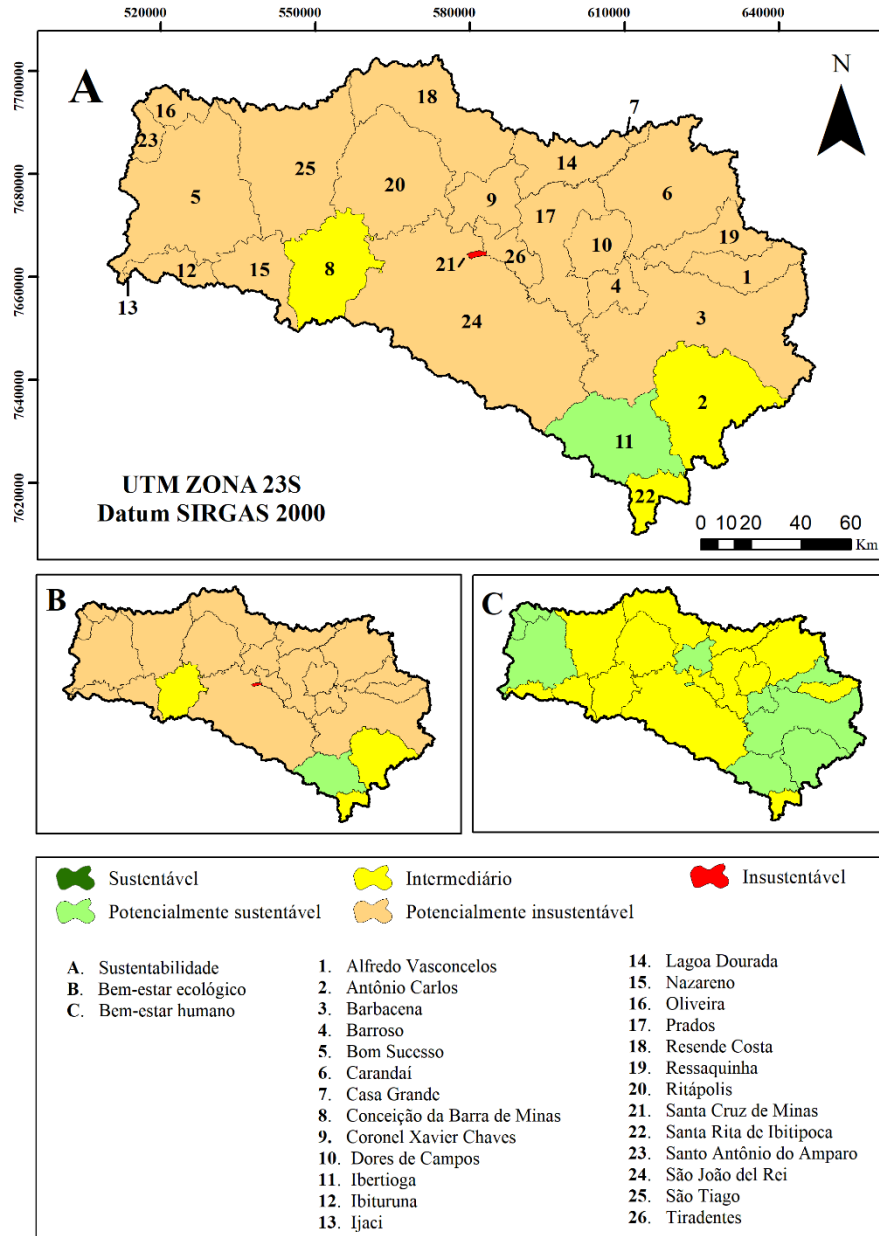
Dos 26 municípios inseridos na bacia do rio das Mortes, apenas um município foi classificado como potencialmente sustentável, quatro como intermediários, vinte como potencialmente insustentáveis e um como insustentável. Condiz com as avaliações realizadas por Guidolini *et al.* (2018) que classificaram a área da bacia do rio Grande, no estado de Minas Gerais e a UPGRH-GD2, como potencialmente insustentáveis. Já os trabalhos realizados, em pequenas bacias hidrográficas, como a do rio Jurumirim-RJ (KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004) e do rio das Posses-MG (GOMES, 2017), obtiveram a classificação intermediária, ressaltando que nesses trabalhos alguns IDS utilizados foram diferentes.

3.2 Indicadores de sustentabilidade dos municípios

Na metodologia do BS, a classificação da sustentabilidade do sistema é obtida pela associação das pontuações levantadas para os subsistemas bem-estar ecológico e bem-estar

humano, tornando-se necessário analisar e compreender a situação dos subsistemas e dos IDS associados aos subsistemas (FIGURA 5 e TABELA 3).

Figura 5 – Classificação da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes-MG pelo método do BS, com a classificação dos municípios nos eixos bem-estar ecológico e bem-estar humano.



Fonte: Os autores (2020).

Os valores obtidos no subsistema bem-estar ecológico foram inferiores ao do bem-estar humano, em todos os municípios da bacia, sendo a pontuação dos IDS ecológicos que definiram a sustentabilidade dos sistemas avaliados (FIGURA 5). Semelhante ao encontrado por Guidolini *et al.* (2018), em todas as UPGRH da bacia do rio Grande, assim como em avaliações da sustentabilidade de estados, municípios e bacias hidrográficas (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016; CETRULO; MOLINA; MALHEIROS, 2013; GOMES, 2017; KRONEMBERGER *et al.*, 2008). Esse fator se deve ao fato de os IDS relacionados ao bem-

estar humano abordarem as temáticas da educação, saúde, trabalho, habitação, equidade e capacidade institucional, que estão associadas às principais políticas públicas desenvolvidas pelo estado brasileiro, nos últimos anos, visando a melhorias na qualidade de vida dos cidadãos e redução da desigualdade social no país (MIRANDA; MENDES; SILVA, 2016). Dentre as principais políticas públicas, Borges *et al.* (2019) afirmam que é essencial que todos os instrumentos de gestão de recursos hídricos, estabelecidos na PNRH, estejam integrados para se obter um bom planejamento da bacia hidrográfica.

No subsistema bem-estar ecológico, um município foi classificado como potencialmente sustentável, quatro como intermediários, vinte como potencialmente insustentáveis e um como insustentável. Torna-se necessário analisar os resultados dos IDS utilizados na avaliação desse subsistema. O indicador relacionado à pontuação ambiental das APP ripárias apontou que 50% dos municípios são classificados como sustentáveis e 50% como intermediários, mostrando que, por serem protegidas legalmente, ocorre a proteção parcial da vegetação nativa nesses locais o que possibilitou resultados aceitáveis nos sistemas avaliados (MARQUES, 2020).

Tabela 3 – Pontuação dos indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) na escala do BS para os municípios da bacia do rio das Mortes.

Município	Bem-estar ecológico							Bem-estar humano												
	IDS							IDS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Alfredo Vasconcelos	60	20	12	0	90	28	23	74	86	70	70	100	22	81	31	62	51	65	23	0
Antônio Carlos	65	37	16	0	90	8	39	71	85	66	84	97	72	46	35	61	53	56	26	100
Barbacena	64	19	13	5	90	12	32	81	84	69	57	20	90	48	65	66	71	54	21	100
Barroso	52	14	12	2	100	20	54	81	84	70	53	70	84	49	43	63	64	56	46	100
Bom Sucesso	58	13	8	86	0	8	33	72	85	72	81	85	84	17	44	65	54	48	54	100
Carandaí	61	26	13	0	40	30	31	78	85	71	100	12	63	34	25	54	56	54	18	100
Casa Grande	61	13	8	0	100	10	21	78	86	67	100	18	63	11	28	64	46	63	18	0
Conceição da Barra de Minas	52	10	7	13	100	7	82	81	81	69	68	16	39	17	39	59	53	62	39	0
Coronel Xavier Chaves	54	12	9	0	100	5	21	80	83	74	86	100	66	18	40	63	51	61	48	100
Dores de Campos	54	15	9	0	100	26	60	78	85	70	78	83	79	17	41	68	53	52	10	0
Ibertioga	63	14	9	100	100	47	87	66	79	67	76	100	86	18	27	59	48	56	54	100
Ibituruna	58	13	9	0	40	28	33	74	66	67	100	100	67	54	33	62	51	63	52	0
Ijaci	58	6	12	58	90	21	31	79	83	66	100	100	79	69	38	94	59	63	50	100
Lagoa Dourada	60	15	9	0	90	46	28	72	86	76	100	81	63	13	41	65	51	56	9	100
Nazareno	62	11	8	0	100	13	44	76	79	64	53	100	89	76	38	72	54	54	34	0
Oliveira	65	13	9	1	100	8	44	80	84	69	100	100	90	27	48	66	56	54	22	100
Prados	56	13	9	19	100	36	28	81	83	65	100	78	65	17	38	65	54	56	19	0
Resende Costa	61	17	10	5	100	1	61	80	82	63	62	9	63	5	47	62	53	52	9	100
Ressaquinha	61	17	10	0	90	16	28	72	84	69	100	61	64	74	33	79	53	58	35	100
Ritópolis	62	18	12	0	40	25	53	76	85	72	95	100	74	38	35	62	47	58	25	0
Santa Cruz de Minas	49	7	40	0	0	0	0	64	67	54	100	100	91	89	38	50	57	63	100	100
Santa Rita de Ibitipoca	66	19	12	0	90	10	78	87	79	63	100	61	84	60	31	64	42	60	23	0
Santo Antônio do Amparo	66	17	10	0	40	12	22	80	81	67	65	92	90	20	34	64	50	52	48	100
São João del Rei	62	9	8	20	0	25	37	71	84	64	70	53	87	19	62	67	69	54	35	100
São Tiago	60	12	8	15	100	14	50	78	84	67	71	16	65	12	38	63	48	54	33	100
Tiradentes	49	16	13	0	0	7	59	81	76	34	52	19	88	16	63	65	65	54	14	100

Em que: 1: Pontuação ambiental; 2: Cobertura vegetal nativa; 3: Uso agrossilvipastoril; 4: Esgoto tratado; 5: Destino do lixo coletado; 6: Uso de cultivo mínimo; 7: Uso de agrotóxico; 8: Taxa de alfabetização; 9: IDEB inicial; 10: IDEB final; 11: Disponibilidade de água tratada; 12: Esgoto coletado; 13: Mortalidade infantil; 14: Doenças de causa ambiental; 15: Renda média mensal; 16: PIB per capto; 17: IDHM; 18: Índice de Gini; 19: Assistência técnica para produtor rural; 20: Órgão municipal meio de ambiente.

Fonte: Dos autores (2020).

Para os indicadores de cobertura vegetal nativa e uso agrossilvipastoril do solo, praticamente, todos os municípios apresentaram condições insustentáveis, o que retrata a pressão exercida pela ocupação do solo com atividades antrópicas no bioma da Mata Atlântica na região Sudeste (REZENDE *et al.*, 2018). É um fator que causa impactos nos recursos hídricos, pois a presença da vegetação nativa minimiza os efeitos dos processos erosivos e facilita a infiltração da água no solo (REIS; DINDAROGIU; AKAY, 2016).

Outro IDS com péssima avaliação foi o tratamento do esgoto em que apenas dois municípios apresentaram classificação sustentável, retratando a péssima situação do tratamento de esgoto em Minas Gerais, levantada pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (Feam), que constatou que 76,5% dos municípios do estado não realizam o tratamento de esgoto (MINAS GERAIS, 2016). Na destinação final de resíduos sólidos coletados, a situação, no geral, foi boa; 69,2% dos municípios da região estudada realizam sua triagem e compostagem ou os deposita em aterros sanitários; dos demais municípios 15,4% utilizam aterros controlados e 15,4% em lixões, que não são situações adequadas, ambientalmente, mas sinalizam o apontado por Nascimento *et al.* (2015) que os municípios brasileiros estão procurando se enquadrar à Lei nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Nos indicadores das práticas agrícolas, o IDS da utilização do cultivo mínimo no preparo do solo, que, segundo Almeida *et al.* (2016), é uma técnica conservacionista que reduz a erosão hídrica, diminuindo assim a perda do solo e de seus nutrientes, apresentou pontuação ruim, em todos os municípios da bacia, mostrando ser uma técnica pouco utilizada pelos agricultores dos sistemas avaliados. Já a utilização de agrotóxico apresentou pontuação aceitável, em apenas três municípios, mostrando a grande utilização de agroquímicos, nas propriedades da região de estudo, condizendo com a realidade brasileira levantada por Pignati *et al.* (2017) que apontam a utilização de agrotóxico, nos principais cultivos agrícolas realizados no Brasil, como Minas Gerais, ocupando o quinto lugar no *ranking* nacional de consumidores de agroquímicos.

Para o subsistema bem-estar humano, os municípios da bacia do rio das Mortes obtiveram melhores classificações que a de bem-estar ambiental, com 46,2% classificados como potencialmente sustentáveis e 53,8% como intermediários. Nos IDS relacionados à educação que foram a taxa de alfabetização e o índice de desenvolvimento da educação básica (IDEB), observou-se que todos os municípios foram classificados como sustentáveis e potencialmente sustentáveis em praticamente todos os indicadores. Mostrou os resultados de ações governamentais executadas com o objetivo de acabar com o analfabetismo proposto pelo programa da “Década das Nações Unidas para Alfabetização” (MORATI, 2013) e as ações realizadas pelos gestores da educação com a finalidade de o atingimento das metas de desempenho do IDEP atribuídas pelo governo (BARBOSA; MELLO, 2015).

O IDS do tema habitação, representado pelo indicador da disponibilidade de água tratada, indica que 84,6% dos municípios avaliados são sustentáveis ou potencialmente sustentáveis, retratando a situação brasileira, em que 87,2% dos municípios disponibilizam água tratada para os seus habitantes, com a carência deste serviço observada, principalmente, nas regiões Norte e Nordeste do país (LUCENA *et al.*, 2013). No indicador de coleta de esgoto, 53,8% dos municípios foram classificados como sustentáveis, 19,2% como potencialmente insustentáveis e 26,9% como insustentáveis. Mostrou bons resultados, contudo torna-se preocupante, quando associado à não existência do tratamento do esgoto coletado na maioria dos municípios da bacia.

No tema saúde, a taxa de mortalidade infantil apresentou bons resultados, pois 92,3% dos municípios são sustentáveis ou potencialmente sustentáveis com apenas 7,7% classificados como potencialmente sustentáveis, fato que reflete as ações voltadas à implantação de políticas públicas voltadas à equidade e expansão do programa de saúde da

família (PSF), executadas pelo governo (GARCIA; SANTANA, 2011). Já no IDS da ocorrência de doenças de causas ambientais, os resultados foram ruins, com 50% dos municípios sendo classificados como insustentáveis, 11,5% como potencialmente insustentáveis, 19,2% intermediários, 11,5% como potencialmente sustentáveis e 7,7% como sustentáveis, indicando a existência dos problemas, com doenças causadas pela qualidade da água consumida, ausência de tratamento de esgoto, poluição atmosférica e ocorrência de insetos vetores que ocorrem na maioria dos municípios brasileiros (MONIZ *et al.*, 2017).

Para o tema trabalho, o IDS da renda média mensal apresentou três municípios classificados como potencialmente sustentáveis, seis intermediários e 17 potencialmente insustentáveis. Observou-se que os resultados positivos, apenas nos municípios de Barbacena e São João del Rei, por serem os maiores da região de estudo, concentram as atividades de comércio e prestação de serviços e, em Tiradentes, que é um importante polo turístico nacional. Com relação ao PIB per capita, 84,6% dos municípios foram classificados como sustentáveis e potencialmente sustentáveis com o restante classificado como intermediários, mostrando que os valores desse indicador se encontram bem próximos ao da média do estado de Minas Gerais (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019). No caso do indicador do Índice de Desenvolvimento Humano do Município (IDHM), apenas quatro municípios foram classificados como potencialmente sustentáveis e os restantes como intermediários. Os resultados do IDHM apontam pela busca de melhoria deste indicador que, no contexto nacional, apresenta resultados semelhantes aos dos municípios da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste e melhor que das demais regiões brasileiras (MARCONATO; COELHO, 2019).

O Índice de Gini e o indicador do tema equidade apresentaram 26,9% dos municípios como potencialmente sustentáveis e 73,1% como intermediários, mostrando a existência da desigualdade, na concentração de renda da população residente da bacia, mas com resultados melhores que a média do estado e do país (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019; IBGE, 2019).

No tema capacidade institucional, o IDS da assistência técnica, para o produtor rural, apresentou apenas o pequeno município de Santa Cruz de Minas como sustentável, que se deve à característica de possuir pouquíssimas propriedades rurais facilitando a extensão rural. Os demais municípios foram classificados negativamente, mostrando a ineficácia da assistência aos produtores rurais, o que vai influenciar negativamente em IDS do subsistema bem-estar ambiental, pois, segundo Contrim (2017), a ação do extensionista, motivando o uso de técnicas agroecológicas, contribui para a conservação ambiental. O indicador da existência do órgão municipal do meio ambiente mostrou que 65,4% dos municípios da bacia atendem essa exigência, sendo considerados sustentáveis, o que é importante, pois a ação municipal, na área ambiental, permite à população o acesso aos serviços ambientais, assim como permite maior agilidade nas fiscalizações ambientais.

4 CONCLUSÕES

A utilização da metodologia do BS que, por sua flexibilidade na escolha dos IDS utilizados mostrou-se eficiente, para a análise da sustentabilidade dos municípios da bacia do rio das Mortes, sendo que os indicadores adotados permitiram conceber um panorama dos fatores que mais afetam a qualidade dos cursos d'água da região estudada.

A dimensão do bem-estar ecológico apresentou valores inferiores aos da dimensão bem-estar humano, em todos os municípios da bacia, sendo diretamente responsável pela classificação da sustentabilidade dos sistemas avaliados. Sendo assim, mostrou a necessidade do investimento, na melhora da qualidade dos indicadores ambientais, contudo não se deve deixar de lado os indicadores do bem-estar humano, pois a sua melhoria vai, conseqüentemente, potencializar a qualidade dos indicadores do bem-estar ecológico.

O uso do BS, para a avaliação da sustentabilidade dos municípios de uma bacia hidrográfica, mostrou-se uma ferramenta rápida, simples e de baixo custo que pode agregar indicadores coletados no campo com informações estatísticas de órgãos governamentais, para determinar o nível de sustentabilidade de um sistema. Torna-se uma ferramenta importante aos gestores dos comitês de bacia hidrográficas decidirem e direcionarem ações e recursos à melhoria da qualidade dos recursos hídricos da bacia.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. S. *et al.* Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, set. 2016.
- ANDRADE, J. F. A água e o desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p. 187-203, 2010.
- BAGATIN, R. *et al.* Conservation and improvements in water resource management: a global challenge. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 77, p. 1-9, 2014.
- BARBOSA, J. M. S.; MELLO, R. M. A. V. La gestión escolar y la búsqueda por la mejoría de la medición del IDEB. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, n. 67, p. 39-54, 2015.
- BATALHÃO, A. C. S.; TEIXEIRA, D. A. Dimensão da qualidade dos recursos hídricos na construção do barômetro da sustentabilidade. **Revista UNIARA**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 105-119, 2013.
- BORGES, G. C.; ABJAUDI, G. A. Caracterização ambiental da bacia do rio Grande. *In*: COSTA, R. M.; BORGES, G. C. (ed.). **Rio Grande: ambiente, peixes e pessoas**. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania, 2016. p. 9-101.
- BORGES, L. A. C. *et al.* Uso de instrumento de suporte à tomada de decisão para gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 72, p. 315-325, 2019.
- BRASIL. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 2015. 352 p.
- BROWN, S.; LAVKULICH, L. M.; SCHREIER, H. Developing indicators for regional water quality assessment: an example from British Columbia community watersheds. **Canadian Water Resources Journal**, Ontario, v. 36, n. 3, p. 271-284, 2011.
- CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. G. barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de Moju, estado do Pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 234-263, 2016.
- CETRULO, T. B.; MOLINA, N. S.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 30, p. 33-45, 2013.
- CHIODI, R. E.; SARCINELLE, O.; UEZU, A. Gestão dos recursos hídricos na área do sistema produtor de água Cantareira: um olhar para o contexto rural. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 151-165, 2013.

COSTA, A. L.; MERTENS, F. Governance, networks and social capital in the plenary of the Brazilian national council on water resources. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 151-168, 2015.

COTRIM, D. S. As arenas de construção do conhecimento agroecológico como espaços para emergência de um “novo profissionalismo” da ação extensionista. **Revista do Desenvolvimento Regional**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 2, p. 299-319, 2017.

DALCHIAVON, E. C.; BAÇO, F. M. B.; MELLO, G. R. Barômetro de sustentabilidade estadual: uma aplicação na região sul do Brasil. **Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 1, p. 54-69, 2017.

ECOPLAN; LUME; SKILL. **Plano diretor de recursos hídricos: bacia hidrográfica do rio das Mortes**. Belo Horizonte: Ed. IGAM, 2014. v. 1, 584 p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Índice mineiro de responsabilidade social**. Disponível em: <http://imrs.fjp.mg.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2019.

GARCIA, L. P.; SANTANA, L. R. Evolução das desigualdades socioeconômicas na mortalidade infantil no Brasil, 1993-2008. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 9, p. 3717-3728, 2011.

GOMES, F. J. **Índices de qualidade do solo e de sustentabilidade no contexto do pagamento por serviços ambientais, sub-bacia das Posses, Extrema, MG**. 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GUIDOLINI, J. F. *et al.* Water sustainability at the river Grande basin, Brazil: an approach based on the barometer of sustainability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 15, p. 1-15, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2019.

KHAN, I.; ZHAO, M. Water resource management and public preferences for water ecosystem services: a choice experiment approach for inland river basin management. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 646, p. 821-831, 2019.

KRONEMBERGER, D. M. P.; CARVALHO, C. N.; JUNIOR, J. C. Indicadores de sustentabilidade em pequenas bacias hidrográficas: uma aplicação do “barômetro da sustentabilidade” à bacia do Jurumirim (Angra dos Reis/RJ). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 86-98, 2004.

KRONEMBERGER, D. M. P.; CLEVELARIO JUNIOR, J. Aplicação do “Barômetro da Sustentabilidade” na análise comparativa do desenvolvimento brasileiro. *In*: BRUNO, M. (org.). **População, espaço e sustentabilidade: contribuições para o desenvolvimento do Brasil**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2015. p. 117-150.

KRONEMBERGER, D. M. P. *et al.* Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 25-50, 2008.

LUCENA, A. D.; CAVALCANTE, J. N.; CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade do município de João Pessoa: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 19-49, 2011.

LUCENA, R. G. R. *et al.* Significados da água na visão de lideranças de saúde. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 1193-1204, 2013.

MARCONATO, M.; COELHO, M. H. O IDHM dos municípios brasileiros sob a perspectiva da análise exploratória de dados espaciais. **Economia & Região**, Londrina, v. 7, n. 2, p. 49-46, 2019.

MARINHO, V. L. F.; MORETTI, E. C. Os caminhos das águas: as políticas públicas ambientais e criação dos comitês de bacias hidrográficas. **Geosul**, Florianópolis, v. 28, n. 55, p. 123-142, 2013.

MARQUES, R. T. **Avaliação ambiental de APP ripárias da mata Atlântica**: instrumento para gestão de políticas ambientais. 2020. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Minas trata esgoto**: plano de ações estratégicas para redução do lançamento de carga poluidora nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Ed. FEAM, 2016. 245 p.

MIRANDA, G. M. D.; MENDES, A. C. G.; SILVA, A. L. A. Public policies challenges on the background of demographic transition and social changes in Brazil. **Interface**, Natal, v. 21, n. 61, p. 309-322, 2016.

MONIZ, M. A. *et al.* Participatory environmental diagnosis and of health risks from the surrounding communities the Petrochemical Complex of Rio de Janeiro, Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11, p. 3793-3805, 2017.

MORTATTI, M. R. L. Um balanço crítico da "década da alfabetização" no Brasil. **Cadernos CEDES**, Campinas, v. 33, n. 89, p. 15-34, 2013.

NASCIMENTO, V. F. *et al.* Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 889-902, 2015.

NOGUEIRA, C. O. G. **Sustentabilidade da atividade minerária no polo mineiro industrial da microrregião de Formiga, MG**. 2016. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

OLIVEIRA, E. L.; OLIVEIRA, E. A. A. Q.; CARNIELLO, M. F. O Barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de Taubaté-SP. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 13, n. 30, p. 230-264, 2015.

PIGNATI, W. A. *et al.* Spatial distribution of pesticide use in Brazil: a strategy for Health Surveillance. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

PRESCOTT-ALLEN, R. **Barometer of sustainability**: measuring and communicating wellbeing and sustainable development. Cambridge: IUCN, 1997. 31 p.

REDDY, V. R.; SAHARAWAT, Y. S.; GEORGE, B. Watershed management in South Asia: a synoptic review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 551, p. 4-13, 2017.

REIS, M.; DINDAROGIU, T.; AKAY, A. E. Assessment of sediment yield and water quality for two neighbouring watersheds in Kahramanmaras, Turkey. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 53, n. 3, p. 653-659, 2016.

REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, New York, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.

RODRIGUES, F. K.; RIPPEL, R. Desenvolvimento sustentável e técnicas de mensuração. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 73-88, 2015.

SILVA, V. C. S.; VIEIRA, I. C. G. Barômetro da sustentabilidade aplicado a assentamentos rurais do leste do estado do Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 36, p. 201-221, 2016.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.

TERCEIRA PARTE – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A metodologia, para a avaliação da qualidade do gradiente ambiental das APP ripárias, no bioma da Mata Atlântica, utilizando um protocolo de avaliação rápida com indicadores físicos e biológicos específicos do ambiente estudado, mostrou-se uma ferramenta eficiente que pode contribuir no planejamento, execução e controle das políticas voltadas à conservação e restauração das APP ripárias. Permite-se concluir que:

- a) O PAR elaborado apresenta grande potencial para realizar a avaliação da situação ambiental de APP ripárias, sendo uma ferramenta de fácil compreensão e utilização, permitindo o seu uso tanto por profissionais que atuam na área, como por pessoas com interesse na área de meio ambiente, proporcionando melhores resultados, quando os usuários recebem treinamento sobre o uso da ferramenta.
- b) O PAR permite a realização de avaliações ambientais das APP a um baixo custo e com agilidade na obtenção dos resultados, contudo ressalta-se que, dependendo da finalidade do estudo, onde forem exigidas informações mais detalhadas, essa metodologia não deve substituir os inventários de campo e as análises laboratoriais.
- c) Apesar deste protocolo ter sido desenvolvido, para uso específico em APP ripárias da Mata Atlântica, ele pode ser utilizado, em outros biomas, desde que sejam realizadas as adaptações dos indicadores ambientais para as condições a serem avaliadas.
- d) As avaliações das APP ripárias realizadas, utilizando o PAR construído, quando associada a ferramentas do geoprocessamento disponíveis nos SIG, permitiram estimar o gradiente de qualidade ambiental das APP ripárias de toda a bacia, utilizando a interpolação espacial IDW de dados de amostras distribuídas aleatoriamente na bacia avaliada.
- e) As avaliações realizadas na bacia do rio das Mortes-MG constataram que 57% das APP ripárias se encontram em condição insatisfatória, obtendo uma pontuação inferior a 60 pontos que, pela metodologia utilizada, corresponde às classes ambientais ruim e razoável, indicando a necessidade de ações para a melhoria deste ambiente de grande importância ambiental.

- f) A associação do protocolo com a geotecnologia torna-se uma ótima opção, para uso em órgãos e instituições de proteção e fomento ambiental, permitindo a otimização dos recursos humanos e financeiros disponíveis.
- g) A avaliação da sustentabilidade de um sistema (bacia, município etc), utilizando o Barômetro da Sustentabilidade com IDS, que afetem direta e indiretamente os recursos hídricos, como a pontuação da qualidade das APP ripárias obtidas pela metodologia desenvolvida, permite a obtenção da sustentabilidade do sistema como base de informação ao desenvolvimento de políticas ambientais.
- h) Avaliando a sustentabilidade dos municípios inseridos na bacia do rio das Mortes, MG, utilizando IDS relacionados aos recursos hídricos pela metodologia do Barômetro da Sustentabilidade, encontrou-se apenas um município como potencialmente sustentável (3,8%), sendo que o restante (96,2%) encontra-se em condições ruins, sendo a principal causa desta avaliação os IDS relacionados ao subsistema do bem-estar ecológico, o que é uma importante informação para os gestores do comitê da bacia hidrográfica direcionarem suas ações.
- i) A metodologia proposta neste trabalho apresenta um excelente potencial, a fim de direcionar as ações, para a execução das políticas ambientais existentes na legislação brasileira, assim como para subsidiar ações de programas de restauração de ecossistemas degradados e de pagamento por serviços ambientais a serem estabelecidos por órgãos públicos, organizações não governamentais e usuários da água.

APÊNDICE A - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA APP RIPÁRIAS UTILIZADO NA BACIA DO RIO DAS MORTES

Equipe de avaliação: _____	Data: ___/___/___	Hora: _____
Ponto Avaliado: _____	Coordenadas UTM: _____ ; _____	
Margem avaliada: () Esquerda () Direita		
Condições meteorológicas na coleta: () Ensolarado () Nublado () Chuvoso		
Ocorreram chuvas nos 3 dias anteriores a coleta: () sim () não () não tem informação		
Largura do curso d'água: () menor que 1 metro () de 1 a 10 metros () maior que 10 metros		

Parâmetro Avaliado	Categoria											
	Ótima		Boa			Razoável			Ruim			
Extensão da vegetação nativa	Maior ou igual a 30 metros		De 15 até 30 metros			De 5 até 15 metros			Menor que 5 metros			
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Principal ocupação do solo	Preservação (Vegetação nativa)		Baixo Impacto (Sistemas Agroflorestais, reflorestamento, culturas permanentes (fruticultura, café etc.)			Impactantes (Pecuária, agricultura anual e temporária)			Grande Impacto (Urbanização, indústrias, mineração e criação intensiva de animais)			
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Estágio de desenvolvimento da vegetação nativa	Primário ou secundário avançado (Florestal: fisionomia arbórea, altura superior a 12 metros, dossel fechado, diâmetro médio superior a 15 cm, ocorrência de epífitas e trepadeiras lenhosas, sub-bosque pouco expressivo e camada de serapilheira) (Campo: fisionomia herbácea ou herbáceo-arbustiva, ocorrência de arbustos, com mínima ou nenhuma ação antrópica, apresentando menos de 30% de espécies exóticas e ruderais)		Secundário médio (Florestal: fisionomia arbórea, altura de 5 a 12 metros, dossel variando de aberto a fechado, diâmetro médio de 10 a 15 cm, ocorrência de epífitas e trepadeiras lenhosas e herbáceas, sub-bosque intenso e da camada de serapilheira) (Campo: fisionomia herbácea ou herbáceo-arbustiva, que já sofreram ação antrópica, apresentando menos de 50% de espécies exóticas e ruderais)			Secundário inicial (Florestal: fisionomia herbácea/arbustiva, altura de até 5 metros, dossel variando de aberto a fechado, diâmetro médio inferior a 10 cm, poucas epífitas e trepadeiras herbáceas, sub-bosque não definido, fina camada de serapilheira) (Campo: fisionomia herbácea aberta, que já sofreram ação antrópica, apresentando mais de 50% de espécies exóticas e ruderais)			Inexistente (Vegetação nativa inexistente, área ocupada por atividades antrópicas)			
	5		4		3	2		1				0
Estrutura vertical da vegetação	Estratificada (Ocorrência dos estratos: superior, médio, inferior, sub-bosque e regeneração natural)		Parcialmente estratificada (Ocorrência do estrato superior com ausência de alguns dos demais estratos, do sub-bosque ou da regeneração natural)			Somente o extrato superior (Ocorrência do estrato superior com ausência dos demais extratos, sub-bosque e da regeneração natural)			Ausência de estratificação (Ocorrência de árvores isoladas, vegetação herbácea, gramíneas ou solo exposto)			
	5		4		3	2		1				0
Proximidade com fragmentos de vegetação nativa	Contínua (A área é contínua a fragmentos de vegetação nativa)		Próxima (A área encontra-se a uma distância de até 50 metros de fragmentos de vegetação nativa)			Distante (A área encontra-se em uma distância de 50 a 100 metros de fragmentos de vegetação nativa)			Muito distante (A área encontra-se a uma distância de mais de 100 metros de fragmentos de vegetação nativa)			
	5		4		3	2		1				0
Matriz de entorno predominante	Alta permeabilidade (Matriz de entorno composta por vegetação nativa)		Boa permeabilidade (Matriz de entorno composta por: sistemas agroflorestais, reflorestamento ou fruticultura)			Média permeabilidade (Matriz de entorno composta por: pastagens, agricultura e residências isoladas)			Baixa Permeabilidade (Matriz de entorno composta por: aglomerado urbano, indústrias, mineração e agropecuária intensiva)			
	5		4		3	2		1				0
Estabilidade das margens	Estável (Margens sem evidência de deslocamento de massa, pequeno potencial para ocorrência de futuros deslocamentos)		Moderadamente estável (Margens com raros sinais de deslocamento de massa, baixo potencial para ocorrência de futuros deslocamentos)			Pouco estável (Margens com sinais recentes de deslocamento de massa, risco elevado para ocorrência de futuros deslocamentos durante as cheias)			Instável (Margens apresentando sinais de frequente deslocamento de massa, risco elevado para ocorrência de futuros deslocamentos nas curvas do curso d'água)			
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	

Parâmetro Avaliado	Categoria									
	Ótima		Boa			Razoável			Ruim	
Presença de processos erosivos	Ausente (Solo protegido pela cobertura vegetal, pela camada de serapilheira e/ou por práticas conservacionistas)		Pequeno (Ocorrência de manchas isoladas de erosão laminar)			Grande (Ocorrência acentuada da erosão laminar sendo frequente a formação de sulcos de escoamento da água pluvial)			Extremos (Processo erosivo acentuado com a formação de sulcos profundos, ravinas e voçorocas)	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Grau de perturbação da área	Não perturbada (Área isolada com mínima perturbação humana e de animais domésticos)		Pouco perturbada (Área com pouca perturbação humana e de animais domésticos. Existindo pequenas trilhas com baixo impacto)			Perturbada (Área com perturbação humana e de animais domésticos com a ocorrência de atividade humana, trilhas, caminhos, carreadores e residências isoladas)			Intensamente perturbada (Área com grande perturbação humana e de animais domésticos. Com a ocorrência de grande atividade humana, trilhas, caminhos, estradas residências, indústria etc.)	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Presença de fontes de poluição na área	Ausentes (Não apresenta sinais de poluição humana e de suas atividades)		Pequenas (Pequenos sinais de poluição humana (pesca, Trekking etc.) e de suas atividades)			Grandes (Sinais de poluição humana e suas atividades (pesca, camping, banho, etc.), agropecuária e residências isoladas)			Intensa (Sinais de grande poluição domésticos. Com a ocorrência de indústria, mineração, aglomerado urbano agropecuária intensiva)	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Parâmetro Avaliado	Categoria									
	Ótima/Boa			Razoável				Ruim		
Transparência da água do curso d'água	Transparente (A água é transparente ou translúcida)			Turva (A água apresenta turbidez com a coloração de chá forte)				Opaca ou colorida (A água apresenta opacidade ou coloração diversa)		
	4			3		2		1	0	
Odor da água do curso d'água	Sem Odor (A água não apresenta nenhum tipo de odor)			Odor de esgoto (A água apresenta odor característico de esgoto/ovo podre)				Óleo e produtos químicos (A água apresenta o odor característico de óleo ou produtos químicos)		
	4			3		2		1	0	
Oleosidade da água do curso d'água	Ausente (Não existe óleo na água)			Moderada (Água apresentando oleosidade)				Abundante (Água apresentando manchas visíveis de óleo)		
	4			3		2		1	0	
Cobertura vegetal do leito do curso d'água	Parcial (O curso d'água encontra-se parcialmente coberto (sombreado) pela vegetação)			Total (O curso d'água encontra-se totalmente coberto (sombreado) pela vegetação)				Ausente (Não existe cobertura (sombreamento) do curso d'água pela vegetação)		
	4			3		2		1	0	
Existência e extensão das corredeiras	Bem desenvolvidas (Corredeiras da largura do curso d'água, com comprimento de 2 vezes a largura do curso d'água)			Pequenas (Corredeiras menores que a largura do curso d'água, com comprimento menor que 2 vezes a largura do curso d'água)				Ausentes (Ausência de corredeiras no ponto do curso d'água avaliado)		
	4			3		2		1	0	

Pontuação total (somatório de todos os pontos avaliados)	
--	--

Observações:
