Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos

Suelen Crispim Sutil¹, José Augusto Costa Gonçalves², Eliane Maria Vieira³

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciências Puras e Aplicadas da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira – MG, CEP 35903-087, e-mail: suelensutil@gmail.com (autor correspondente). ² Professor Associado do Instituto de Ciências Puras e Aplicadas na Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira – MG, CEP 35903-087, e-mail: jaucoستا@unifei.edu.br. ³ Professora Adjunta do Instituto de Ciências Puras e Aplicadas na Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira, e-mail: elianevieira@unifei.edu.

Artigo submetido em 30/07/2020 e aceite em 15/12/2020

RESUMO

A avaliação da fragilidade ambiental das bacias hidrográficas vem se tornando cada vez mais importante no cenário ambiental, devido ao desenvolvimento gradativo da sociedade e a expansão tecnológica e econômica ao longo dos anos. Uma estratégia adotada para amenizar a degradação e restabelecer o equilíbrio, é a formação de corredores ecológicos (CEs), que auxilia na ligação entre remanescentes naturais. A bacia do rio Piracicaba passa por um longo histórico de degradação e de fragmentação florestal, principalmente próximo às cidades devido ao desmatamento de matas ciliares. Em vista disso, este trabalho analisou e comparou a aplicação de dois diferentes modelos, adaptados, de fragilidade ambiental, aplicada a esta bacia e, a partir de seus produtos identificou a melhor metodologia base para a proposição de corredores ecológicos na região. Com os resultados obtidos, foi possível inferir que, além de grande parte da bacia apresentar grau de fragilidade entre fraco e médio, as áreas mais vulneráveis são aquelas mais próximas à cabeceira da bacia. O estabelecimento dos corredores ecológicos abrangeu, prioritariamente, as áreas de maior fragilidade entre a conexão dos fragmentos de vegetação e as Áreas de Preservação Permanentes (APPs), assim, verificou-se que é necessário o reflorestamento de cerca de 342,24 km² das APPs da bacia para que seja possível a conexão entre as remanescentes e 2,0 km² de áreas de ligação.

Palavras-chave: vulnerabilidade ambiental, geoprocessamento, Gestão Ambiental.

Comparative analysis of the environmental fragility of the Piracicaba river basin using two methodological models: support for the application and proposition of Biological Corridors

ABSTRACT

The assessment of a river basin's environmental fragility has become even more important on the environmental scenery due to society's gradual development and technological and economic expansion over the years. An adopted strategy to ease the degradation and restore the ecological balance is the establishment of biological corridors that can assist the connection between natural forest patches. The Piracicaba river basin has been going through a long history of degradation and forest fragmentation, especially near the cities because of the deforestation of riparian forests. Therefore, this paper analyzed and compared the application of two adapted environmental fragility models in this river basin and identified from their products the best base methodology for the proposition of ecological corridors. From the results, it was possible to infer that, in addition to a big part of the basin present poor and average fragility level, the most vulnerable areas are the ones close to the source of the main rivers. The biological corridors establishment covered, primarily, the most vulnerable areas between the fragments of remaining forests and the Permanent Preservation Areas (PPAs) and, from this, it was possible to verify that the reforestation of around 132,14 mi² of PPAs is necessary for the connection of patches of remaining forests and 0,77 mi² of connections areas.

Keywords: environmental vulnerability, geoprocessing, environmental management.

Introdução

Com o desenvolvimento gradativo da sociedade e a expansão tecnológica e econômica ao longo dos anos, a humanidade passou a depender cada vez mais dos recursos naturais. Aliar essa evolução à conservação ambiental se torna um grande desafio, uma vez que se torna evidente a intensificação dos impactos sobre o meio ambiente e sua biodiversidade, principalmente em relação aos recursos hídricos e o uso do solo (Nascimento et al., 2016). Essa falta de planejamento em relação ao uso e ocupação do solo é um fator agravador do processo de fragmentação florestal de um ambiente (Magalhães et al, 2020).

As diferentes formas de posse territorial, muitas vezes, não levam em consideração as potencialidades e limitações naturais de determinado ambiente e, o resultado dessa falta de planejamento exploratório dos recursos é a perda de serviços ecossistêmicos (Almeida et al., 2020).

Sabe-se que qualquer que seja a intervenção realizada nos elementos que compõem um determinado ambiente estimulam a desestabilização, temporária ou permanente do mesmo, de forma funcional ou dinâmica (De Souza et al, 2020).

Os impactos causados pela exploração dos recursos naturais variam conforme o grau de resistência a modificações que cada ambiente possui, assim, a fragilidade ambiental pode variar em função das características do meio (Dalla-Corte et al., 2015).

A fragilidade ambiental é vista como sendo o grau em que um sistema natural pode lidar com os efeitos negativos causados por interações externas. Essas consequências podem ser advindas de características naturais, como sistemas frágeis e de baixa resiliência, ou de pressões antrópicas.

As bacias hidrográficas apresentam características intrínsecas como relevo, solo e geologia que, além de compor todo um sistema, estão diretamente conectados à fragilidade ambiental. Assim, a investigação desses fatores de pressão ambiental auxilia na descoberta de danos proporcionados por eles, indicando o estado de vulnerabilidade e possibilitando a compreensão do que se ocorre em determinado ambiente, contribuindo para a realização de intervenções públicas e para a busca de soluções de melhor ocupação do espaço (Almeida et al., 2020).

Em vista disso, os estudos de fragilidade ambiental são evidentes ferramentas para a construção de cenários que podem ser constantemente revistos e adequados e, também, para a sugestão de ações a serem implementadas no zoneamento ambiental, provendo subsídios à gestão territorial e ao gerenciamento da

conservação da paisagem e biodiversidade (Sporl e Ross, 2004 apud Valle et al, 2016). A partir da realização da análise das formas de ocupação do território e as interações de cada um dos elementos que o compõem de forma integrada, é possível apontar o nível de vulnerabilidade daquele ambiente de forma mais precisa. Além disso, também se torna uma importante ferramenta para a identificação de áreas que requerem uma maior proteção e subsidia as ações que envolvem a expansão urbana e outras formas de ocupação do solo.

A análise da fragilidade de determinado ambiente deve ser entendida como um instrumento de auxílio para a conciliação entre aspectos econômicos e ambientais (De Souza et al, 2020).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas capazes de exercer a combinação de diferentes tipos de informações, como as pertencentes a pedologia, declividade, clima e geologia, possibilitando uma melhor análise da relação entre elas (Nicolau, 2018). Desta forma, o uso dessas ferramentas é amplamente indicado para gestão ambiental, avaliando a evolução de processos ecológicos e antrópicos e como isso influencia a expansão da degradação ambiental.

A bacia do rio Piracicaba passa por um longo histórico de degradação e, o cenário de fragmentação florestal e de perda da biodiversidade, principalmente próximo às cidades devido ao desmatamento de matas ciliares, é cada vez mais perceptível. Uma das principais causas da remoção da mata ciliar e da vegetação nativa da bacia, são as diversas atividades agrícolas, ocupação irregular da terra, exploração mineral e outros meios de desmatamento, que podem levar a diversas consequências, especialmente quando se trata da sobrevivência da fauna, flora e de serviços para a sociedade, como o auxílio na recarga dos recursos hídricos.

Esse panorama de modificações no ambiente natural da bacia se torna ainda mais grave perante à importância da bacia em relação ao abastecimento das cidades que a compõem. A maior parte da água retirada da bacia do rio Piracicaba é decorrente do abastecimento industrial, que constitui cerca de 50% da demanda total do estimada para a bacia do rio Doce, principalmente pela presença dos municípios industrializados na região metropolitana do Vale do Aço. O abastecimento humano é o segundo maior uso, tendo, aproximadamente, 44% das retiradas (CBH-DOCE, 2010).

Atualmente, estão situadas na bacia do rio Piracicaba cerca de 17 Unidades de Conservação

(UCs), sendo elas de Uso Sustentável e de Proteção Integral. Em sua foz, se encontra uma parcela do Parque Estadual do Rio Doce, UC de Proteção Integral, que, segundo o Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2020), foi a primeira unidade de conservação criada no Estado de Minas Gerais e, além de ser 3º maior complexo lacustre do Brasil, é também reconhecido como Reserva da Biosfera pela UNESCO possuindo a maior reserva genética de Mata Atlântica contínuo e preservado do Estado.

Silva e Prates (2020) afirmam que áreas protegidas são elementos integradores da paisagem, o que reflete na conservação da biodiversidade e na recuperação dos ecossistemas. Bertolin (2020) complementa que as unidades de conservação ainda trabalham como instrumento de auxílio para resguardar a qualidade do solo e dos recursos hídricos.

Para se garantir uma proteção eficiente das áreas prioritárias para conservação é necessário que existam informações suficientes para a tomada de decisões e, que, essa base de dados, esteja fundamentada, principalmente nas potencialidades e vulnerabilidades do meio, principalmente em relação aos recursos hídricos (Lima e Silva, 2018).

Uma estratégia adotada para amenizar a degradação e restabelecer o equilíbrio, é a formação de corredores ecológicos (CEs). Estes se referem a porções de terra as quais apresentam pontos de vegetação contínua que promovem o trânsito e o fluxo gênico entre as populações (Ayres (2005 apud Magalhães et al, 2020).

Araújo e Bastos (2019) afirmam que os corredores ecológicos aumentam o grau de conectividade entre regiões fragmentadas e buscam amenizar os impactos causados pelas atividades humanas. Além disso, auxilia na manutenção das funções ecológicas, prevenção da redução da biodiversidade e na dispersão de diferentes espécies da flora e da fauna.

Quanto mais frágil o ambiente, menores as chances de se conectar fragmentos florestais e constituir um CE de forma natural, devido ao alto nível de degradação e às características físicas do local. Dessa forma, estudos sobre o grau de fragilidade de uma área são de extrema importância para dar suporte ao estabelecimento de corredores ecológicos e analisar a viabilidade de sua implantação.

Diante do exposto, este trabalho visa adaptar a proposta de Sporl e Ross (2004) em analisar e comparar a aplicação de diferentes

modelos de fragilidade ambiental, aplicada na bacia do rio Piracicaba e, com os resultados obtidos, apontar áreas que podem ser utilizadas para o estabelecimento de corredores ecológicos na bacia, buscando uma maior proteção de locais mais frágeis na bacia.

Material e métodos

Área de estudo

De acordo com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2010), a bacia do rio Piracicaba é uma sub-bacia localizada na bacia do rio Doce e pertence completamente ao Estado de Minas Gerais, como mostra a Figura 1, sendo que os municípios de maior relevância pertencem às microrregiões Itabira e Ipatinga.

A bacia hidrográfica ocupa uma área de 5.465,38 km² e suas nascentes se localizam no município de Ouro Preto, percorrendo 241 km até alcançar o rio Doce, entre os municípios de Ipatinga e Timóteo. Além disso a bacia é composta por outras três sub-bacias nas suas margens - a sub-bacias do rio do Peixe e do rio Santa Bárbara (margem esquerda) e a sub-bacia do rio da Prata (margem direita) - e diversos córregos e ribeirões fazem sua descarga ao longo do seu curso (CBH-DOCE, 2010, apud Queiroz et al, 2017).

O clima da bacia do rio Piracicaba é considerado em transição e nela encontram-se três variações climáticas: tropical (AW), mesotérmico de verões quentes (Cwa) e mesotérmico de verões brandos (Cwb) (Maciel et al., 2019).

Quanto a sua vegetação, a bacia se localiza em uma área de transição entre dois biomas: Mata Atlântica e Cerrado, sendo que, este último, representa uma pequena parcela em sua extremidade oeste. De acordo com o Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão da bacia do rio Piracicaba (2010), 8% da área total está relacionada ao reflorestamento, dando destaque ao plantio de eucalipto e pinus, que é significativo na bacia devido a demanda industrial da região.

Em relação às classes de solo predominantes na bacia podem-se citar os Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Já seu relevo é caracterizado por ser acidentado nas partes mais altas da bacia e apresenta vales encaixados e vertentes ravinadas (CBH-DOCE, 2010).

Figura 1. Mapa de localização da bacia do rio Piracicaba.

No trabalho foram realizadas duas metodologias para a delimitação da fragilidade ambiental: uma apoiada nas classes de declividade e outra nas Unidades Territoriais Básicas (UTBs).

Fragilidade ambiental apoiada nas classes de declividade

Para a delimitação da fragilidade ambiental apoiada nas classes de declividade do relevo, Ross (1994) propõe um modo de relacionar os componentes naturais físicos e bióticos e os conhecimentos biológicos, geológicos, pedológicos, climatológicos e hidrológicos de forma conjunta.

Assim, o autor estabelece uma classificação da fragilidade por meio de uma hierarquia nominal das variáveis de declividade, classes de solo, uso e ocupação do solo e pluviosidade, apresentadas a seguir. Isso é feito a partir da determinação de dígitos arábicos, no qual, cada um dos números representa um peso para a fragilidade, sendo a variação de 1 (muito fraca) a 5 (muito forte). Quanto mais próximos a 1, mais estáveis as variáveis estarão, enquanto valores mais próximos a 5 significam uma maior vulnerabilidade.

Para a delimitação da bacia do rio Piracicaba utilizaram-se imagens *Alos Palsar* da

região, as quais foram reunidas em um mosaico, por meio do software ArcGIS®, versão 10.3, e, utilizando *shapefile* da bacia como máscara para o recorte da área em questão.

A declividade da área foi obtida a partir da imagem *Alos Palsar* com resolução espacial de 12,5 metros. Por meio da ferramenta *Slope* foi possível obter a declividade do terreno e classificá-lo em 5 classes. Os intervalos de classes utilizados são apresentados na Tabela 1, que se relacionam, principalmente, aos dos processos erosivos e movimentos de massa.

Tabela 1. Classes de declividade e respectivos graus de fragilidade

Grau	%
Muito fraco	< 6
Fraco	6 - 12
Médio	12 - 20
Forte	20 - 30
Muito forte	> 30

Fonte: Sporn e Ross (2004).

O mapa de erosividade de chuvas foi gerado a partir de uma série histórica de dados pluviométricos de 6 estações distribuídas na área da bacia. Os dados foram obtidos junto ao portal

Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). Vale ressaltar que, ao longo do percurso do rio Piracicaba, existiam outras estações, entretanto a escassez de dados era comum na maioria delas.

Após a coleta de todos os dados disponíveis, foi calculada média mensal e anual de pluviosidade para cada estação. Logo depois, foi empregado o coeficiente de chuva proposto por Fournier (1956, apud Gomes et al., 2019) e modificado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977, apud Gomes et al., 2019) (Equação 1).

$$EI = \frac{p^2}{P} \quad (1)$$

Sendo:

EI: média mensal do índice de erosão ou coeficiente de chuva,

p: precipitação média mensal, mm,

P: precipitação média anual, mm.

A erosividade média mensal, dada em MJ ha⁻¹ h⁻¹, foi obtida por meio da Equação 2, proposta por Silva (1997, apud Gomes et al., 2019).

$$EI_{30} = 216,15 + 30,69EI \quad (2)$$

Onde EI₃₀ é a média mensal do índice de erosão obtido pela Equação 1.

O índice de erosividade anual das chuvas (R) expressa o potencial da chuva em causar erosão em um solo sem cobertura vegetal e é representado pelo somatório dos valores de EI₃₀, conforme demonstrado na Equação 3 (Martins et al., 2018).

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30} \quad (3)$$

Em que: “i” e “j” indicam os doze meses do ano.

Posteriormente, os valores obtidos foram interpolados para a bacia em estudo por meio do método *Inverse Distance Weighting* (IDW), que, segundo Ajaj et al. (2018) é um dos métodos mais comuns de interpolação, trabalhando com a previsão de valores desconhecidos de um local por meio da medição de valores próximos.

Para o uso e ocupação do solo foi utilizado o mapa, do ano de 2019, elaborado por Pereira (2020), o qual foi dividido em 7 classes de uso do solo: mata, área urbana, solo exposto, afloramento rochoso, áreas de mineração, água e áreas de agropecuária e silvicultura.

A identificação das classes de solo foi feita por meio do mapa de solos do estado de Minas Gerais do convênio entre a UFV, UFLA, CETEC e FEAM (2010). A partir dele, se realizou o recorte para a bacia em estudo.

Partindo-se dos mapas gerados das variáveis ambientais, foi realizada a reclassificação de cada um para a geração do mapa de fragilidade, empregando-se os índices do grau de fragilidade propostos na metodologia de Ross (1994).

Todos os elementos foram considerados, neste trabalho, com o mesmo grau de importância e, a integração dos mapas foi realizado por meio do SIG ArcGIS®.

A reclassificação dos mapas de uso do solo e de classe de solos foi feita mediante a adição de um campo à tabela de atributos conferindo os respectivos índices de fragilidade a cada um dos itens presentes, como mostra o Quadro 1 e, posteriormente os mapas foram convertidos para o formato matricial.

Quadro 1. Peso atribuído às variáveis de uso do solo e classes de solo.

Uso do solo	Classes de solo	Grau de fragilidade
Água		1
Mata	Latossolos	
Afloramento rochoso		3
Áreas de agropecuária e silvicultura	Cambissolos	4
Área urbana	Neossolos	5
Área de mineração		
Solo exposto		

Fonte: Adaptado de Santos e Marchioro (2020); Martins et al. (2018); Silva e Machado (2014); Valle et al. (2016).

Já os mapas de erosividade e declividade, já em formato matricial, foram reclassificados por meio da ferramenta *reclassify*, de acordo com o grau de fragilidade, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Peso atribuído às variáveis de erosividade e declividade.

Erosividade (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Declividade	Grau de fragilidade
R < 2450	< 6	1
2450 < R < 4900	6,01 - 12	2
4900 < R < 7350	12,01 - 20	3
7350 < R < 9810	20,01 - 30	4
R > 4900	> 30	5

Fonte: Adaptado de Martins et al. (2018) e Ross (1994).

Com todos os índices já atribuídos, foi realizada a integração dos mapas de todas as variáveis por intermédio da ferramenta *raster calculator*. Uma vez que todos os elementos foram considerados com a mesma importância no quesito de fragilidade, foi calculada uma média aritmética de todos os mapas (uso do solo, classe de solos, erosividade e declividade), o que resultou no primeiro mapa final de fragilidade da bacia do rio Piracicaba.

Fragilidade ambiental apoiada nas Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

Para a segunda metodologia, utilizou-se o processo de identificação do grau de resistência à erosão natural em determinada região, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A metodologia consiste, inicialmente, na elaboração de um mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs), que é obtido por meio de análise e interpretação de imagens de satélite.

Uma unidade territorial básica, é definida por Crepani et al. (2001) como sendo uma entidade geográfica com atributos ambientais que permitem distingui-la entre seus municípios, distritos, setores censitários vizinhos, mas que também possui vínculos dinâmicos que fazem sua associação à rede composta por outras unidades territoriais.

Segundo o mesmo autor, as unidades territoriais básicas podem ser divididas em duas categorias: as "unidades de paisagem natural" e os "polígonos de ação antrópica". A primeira corresponde a interpretação dos elementos básicos da imagem, enquanto a segunda é relacionada às feições decorrentes da intervenção humana.

Logo após a elaboração do mapa, foi realizada uma associação deste com informações temáticas pré-existentis (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e erosividade da chuva), assim foi possível caracterizar cada unidade de paisagem natural. Entretanto, essas informações devem ser tratadas de forma integrada para que seja possível conhecer e classificar sua capacidade de sustentação diante da ação antrópica.

Seguindo esta proposta metodológica, cada um dos temas recebeu uma pontuação de fragilidade de forma individual, variando entre 1,0 e 3,0. Desta forma, as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, enquanto as paisagens mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

Na escala de vulnerabilidade, as UTBs são classificadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classes de vulnerabilidade.

Grau de fragilidade	Intervalo de classe
Muito baixa	1,0 – 1,4
Baixa	1,4 – 1,8
Média	1,8 – 2,2
Forte	2,2 – 2,6
Muito forte	2,6 – 3,0

Fonte: Crepani et al. (2001), adaptado por Sporn e Ross (2004)

Posteriormente os valores individuais foram somados e, com o valor obtido por essa soma, foi feita uma média aritmética, na qual o resultado final representou a posição de cada unidade territorial básica dentro da escala de vulnerabilidade à erosão.

Corredores Ecológicos

Em relação aos corredores ecológicos, inicialmente foi feita delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) por meio da medição, via Google Earth, das larguras de cada curso d'água da bacia, uma vez que a dimensão da APP varia de acordo com essa medida, conforme estabelece o Código Florestal (Lei 12.651/2012). Foram geradas também as APPs para as nascentes dos rios, a partir criação de pontos em formato *shapefile* nas cabeceiras dos rios de primeira ordem.

Foram integrados ao mapa de APP os remanescentes florestais e os limites das UCs presentes na bacia. Este mapa foi sobreposto ao mapa de fragilidade ambiental da bacia (o que melhor representou a fragilidade desta).

Partiu-se então para a conexão das remanescentes de vegetação, que se deu de forma manual por meio da criação de *shapefile* do tipo linha, com a interligação transpassando, prioritariamente, nas áreas mais frágeis encontradas na bacia.

Resultados e discussão

Fragilidade ambiental apoiada nas classes de declividade

Os resultados obtidos no mapeamento de cada temática da bacia do rio Piracicaba indicadas pela metodologia proposta por Ross (1994) para análise da fragilidade ambiental são apresentados na Figura 2.

Para a obtenção dos dados de declividade da bacia, foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de dados altimétricos da imagem ALOS PALSAR.

Figura 3. Mapas das variáveis da bacia do rio Piracicaba.

Tabela 4. Distribuição das classes de declividade

Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA, 2018

A classificação dos valores de declividade se deu por meio da divisão da Embrapa (2018), sendo que as mais expressivas na bacia são a ondulada e forte ondulada, representando 24,13% e 49,96% da bacia, respectivamente.

De acordo com a Embrapa (2018), classifica-se como relevo ondulado aquela superfície de topografia pouco movimentada, composta por um conjunto de colinas, onde há ocorrência de áreas com declives entre 8 e 20%. Já os relevos fortes ondulados são formados por morros, com áreas de declive variam entre 20 e 45%.

Por ser responsável pela quantidade de água a ser infiltrada no solo, o relevo exerce grande influência na suscetibilidade de uma área a processos erosivos. Isso acontece pelo fato de que o tempo disponível para infiltração será menor quanto maior for o grau de declive do terreno, pois a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade será maior (Oliveira et al., 2007).

Contudo, Gouveia e Ross (2019), também chamam a atenção para as áreas de planícies inundáveis, com declividades menores, mas que são áreas de fragilidade ambiental Muito Forte em função da instabilidade dos terrenos e ocorrência de inundações periódicas.

Quanto às outras classes de declividade, se mostram em menos de 20% da área total da bacia. Os locais de relevo plano representam apenas 1,13%, sendo estes caracterizados por uma topografia horizontal, na qual os desnivelamentos do terreno são muito pequenos e seu declive varia de 0 a 3%. Já as áreas de relevo suave ondulado estão presentes em 6,48% da bacia, sendo elas de topografia pouco movimentada, com colinas de elevações entre 50 e 100 m de altitude relativa e seus declives suaves estão entre 3 e 8%.

Barbosa et al (2019) alega que de acordo com o declive é possível nortear o cumprimento

das regulamentações ambientais e auxiliar no planejamento do uso do local.

Para os relevos mais abruptos tem-se 16,25% da bacia com relevos montanhosos, enquanto 2,06% da área total possui uma declividade mais acentuada, chamada de escarpada. Essas classes geralmente apresentam formas acidentadas, sendo constituídas por morros, montanhas e escarpamentos.

Em relação a classe de solos, foi possível identificar, na bacia em estudo, as seguintes classes: Cambissolos Háplicos (CXbd e CXbdf), Latossolos Vermelho e Vermelho-amarelo (LVd, LVAd e LAd), Argissolos Vermelho e Vermelho-amarelo (PVAe, PVd e PVAd), Neossolos Litólicos (RLd) e alguns afloramentos de rocha (AR).

É perceptível que a classe dos Latossolos é a mais predominante na região, com 4411,06 km², o que representa 77,58% da área total bacia. Estes são considerados em avançado estágio de intemperização, virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa. Geralmente, os Latossolos são bem profundos, ácidos e variam de fortemente a bem drenados. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, e, normalmente encontrados em relevo plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2018).

Ayer et al. (2015) afirma que mesmo que os Latossolos, em seu estado natural, possuam uma alta estabilidade e resistência à erosão, as atividades agropecuárias com manejo inadequado ao longo dos anos vêm favorecendo a erosão hídrica nesse tipo de solo.

Ker (1997, apud Nascimento, 2016) afirma que por suas diversas características favoráveis, os Latossolos constituem a classe de solo de maior utilização agrícola no país o que contribui extensivamente no processo erosivo, o que requer melhores tecnologias e conscientização por parte dos produtores rurais.

Em seguida tem-se os Argissolos, também chamados de Podzólicos, que estão em cerca de 7,93% da bacia, com uma área de 450,98 km². Nessa classe grande parte dos solos apresentam um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. Sua profundidade varia entre forte e imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas, enquanto sua textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt (EMBRAPA, 2018).

Os afloramentos de rocha, que representam a exposição de uma rocha na superfície da Terra,

estão presentes em cerca de 5,03% da bacia, com uma área de 286,07 km².

Segundo a EMBRAPA (2018), as características dos Cambissolos, que representam aproximadamente 5,76% da bacia do rio Piracicaba, variam muito de um local para outro devido a fatores como a heterogeneidade do material de origem, as formas de relevo e as condições climáticas. Portanto, sua drenagem, por exemplo, pode variar entre fortemente e imperfeitamente drenados e sua profundidade pode ser alta ou baixa, dependendo da área em que se está estudando. É importante destacar que esse tipo de solo apresenta elevada suscetibilidade à erosão, principalmente por serem predominantes em áreas montanhosas, assim sua presença em determinados ambientes pode desencadear áreas potenciais ao desenvolvimento de processos erosivos.

A última classe de solos presente na bacia é a de Neossolos Litólicos que representam uma área de 286,07 km² e 3,7% do total desta. Os Neossolos são considerados pouco evoluídos, constituídos por menos de 20 cm de espessura para materiais minerais ou orgânicos. A subclasse de Litólicos ainda se caracterizam pela pouca profundidade, presença da rocha e pelos declives acentuados em suas áreas de ocorrência, portanto a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo (EMBRAPA, 2018; LIMA e SILVA, 2018). A presença de solos Litólicos necessita de atenção especial quanto ao manejo do solo, uma vez que apresentam alto grau de vulnerabilidade.

No que diz respeito ao uso e ocupação do solo, observa-se que a maior parte da bacia é composta por áreas de mata, cerca de 58% da extensão total. Belato e Serrão (2019), afirmam que, quanto mais densa a vegetação de um determinado ambiente, menor será o impacto externo ao solo. Valle et al. (2016) ainda complementa que a cobertura vegetal, além de minimizar a intensidade dos processos erosivos, oferece proteção ao solo e atenua a fragilidade do meio.

Já a classe de áreas de agropecuária e silvicultura ocupou uma dimensão de, aproximadamente 1843,43 km². Esse tipo de uso da terra se torna bem complexo para se realizar uma análise pertinente e acurada, pois, em toda a extensão da bacia, podem ser encontradas desde áreas bem conservadas até aquelas com alto grau de degradação.

As demais classes não apresentaram valores acima de 4%, sendo que as áreas urbanas e de afloramentos rochosos representam 3,15% e 3,04%, respectivamente. Em seguida temos as áreas de mineração, ocupando cerca de 95,75 km²

da área mapeada, ao passo que as regiões com solo exposto, abrangem em torno de 71,35 km² da bacia. Regiões que apresentam solos expostos, apesar de não expressarem valores significativos, quando se pensa no território ocupado pela bacia, podem ser considerados pontos críticos no que se refere a fragilidade do ambiente, uma vez não existindo nenhuma proteção pode auxiliar no carreamento de sedimento para os cursos d'água.

As faixas representadas por água, apesar de parecerem pouco expressivas por atingir apenas cerca de 0,5% da área total, é de extrema importância quando se pensa no controle de fluxo da bacia (nascimento et al., 2016).

Quanto aos valores de erosividade, estes determinam a capacidade da chuva de provocar erosão e, para a bacia do rio Piracicaba, se mostraram altos em toda a sua extensão, o que caracteriza uma probabilidade elevada de ocorrência de erosão hídrica. Os resultados ficaram entre, aproximadamente, 66.700 e 100.600 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, podendo contribuir para a vulnerabilidade do solo, principalmente quando

associados à declividade e ao uso do solo, por exemplo.

Considerando que, os fatores geográficos podem interferir na forma com que a precipitação se dá em determinado local, entende-se que, pelo fato de maior parte do território de Minas Gerais ser composto por um relevo acidentado e grandes elevações, há uma propensão a ocorrência de chuvas orográficas, decorrentes de uma convecção forçada. À vista disso, os maiores índices de erosividade são resultantes do elevado nível de precipitação, principalmente na cabeceira da bacia, podem ser explicados pela incidência de chuvas orográficas.

A partir do mapeamento das variáveis e da reclassificação das mesmas, de acordo com a primeira metodologia aplicada, foi possível obter a fragilidade emergente de cada um dos temas, como mostra a Figura 3.

A fragilidade emergente considera, além dos elementos naturais da paisagem, a forma com que as ações antrópicas afetam o ambiente, seu uso e ocupação (Periçato e Souza, 2019).

Figura 3. Mapas de fragilidade emergente das variáveis da bacia do rio Piracicaba para a metodologia proposta por Ross (1994).

A fragilidade predominante para o tema de declividade foi a classificada como muito forte,

dominando cerca de 44,5% da área total da bacia e, em seguida tem-se classe de fragilidade forte,

representando 23,55%. Essas regiões, de acordo com o Código Florestal (Lei Nº. 12.651), são consideradas de uso restrito nas quais são permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, desde que observadas boas práticas agronômicas. A presença de altos graus de fragilidade podem ser explicadas pelo fato de declividades mais acentuadas, elevarem a velocidade de escoamento da água, o que, conseqüentemente, causa o desprendimento de partículas dos solos e leva a maiores perdas do mesmo (Nicolau, 2018). As outras três classes de fragilidade média, fraca e muito fraca se apresentaram em 16,92%, 9,95% e 5,01% da extensão da bacia, respectivamente.

Para as classes de solo, a fragilidade classificada como muito fraca prevaleceu na bacia, em torno de 77,6% da área total. Esse fato é justificado pela presença significativa de latossolos na região, uma classe mais coesa e inerte a processos erosivos. As demais classes se apresentaram em montantes inferiores, representando 13,7%, para fragilidade forte, 5,0% para média e 3,7%, para muito forte. Não houveram áreas classificadas como fragilidade fraca para a bacia do rio Piracicaba.

Em virtude de a maior parte da bacia ser composta por vegetação e, esta representar um importante agente de proteção do solo contra processo erosivos, a fragilidade muito fraca foi predominante para o mapa de uso do solo, com cerca de 59,2%. A seguir tem-se a fragilidade forte em 31,93% da bacia, fundamentado pela expressividade de regiões de agropecuária e silvicultura no território, muito forte em 5,9% e média em 2,97% da área total. No tema de ocupação do solo não houveram áreas classificadas como fragilidade fraca.

Por fim, os índices de erosividade, para toda a bacia, foram classificados como muito forte em relação a fragilidade, apresentando, assim, um alto potencial erosivo.

Após a sobreposição dos mapas de fragilidade de cada temática, foi obtida a fragilidade emergente total da bacia, apresentada na Figura 4. Observou-se a predominância das classes média e fraca, abrangendo cerca de 64,40% e 24,31% respectivamente. Os níveis de fragilidade forte e muito forte se mostraram em menos de 10% da bacia, enquanto não houveram classificações para fragilidade muito fraca.

Figura 4. Mapa de fragilidade emergente da bacia do rio Piracicaba, de acordo com metodologia de Ross (1994).

O mapa de fragilidade apoiado nas classes de declividade demonstrou um alto nível de fragmentação da fragilidade, o que pode ser um empecilho quando necessária alguma intervenção ambiental na bacia, uma vez que esta deverá trabalhar com uma elevada segmentação.

Fragilidade ambiental apoiada nas Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

Na aplicação da segunda metodologia, baseada nos conceitos estabelecidos por Crepani et

al. (2001), os mapas temáticos foram reclassificados de acordo com a escala de vulnerabilidade estabelecida pelo autor. Dessa forma, foram empregados os temas de pedologia, uso e ocupação do solo e erosividade, já utilizadas anteriormente, e acrescentam-se a geomorfologia e a geologia que caracterizam a bacia de estudo.

Na Figura 5 são apresentados os mapas das variáveis de Geologia e Geomorfologia da bacia do rio Piracicaba.

Figura 5. Variáveis de Geologia e Geomorfologia para a bacia do rio Piracicaba.

Na Tabela 5, podem ser observadas as unidades geológicas mapeadas para a bacia do rio Piracicaba.

Tabela 5. Classes geológicas mapeadas.

Unidade Geológica	Área (km ²)
Anfibolito	0,07
Cobertura Superficial indiferenciada	0,22
Complexo Acaiaca	15,34
Complexo Belo Horizonte	393,80
Complexo Mantiqueira	686,03
Complexo Santa Bárbara	467,50

Depósito aluvial	43,73
Formação Fonseca	34,69
Granito Caeté	5,68
Grupo Dom Silvério	30,07
Grupo Itacolomi	2,64
Grupo Serra Negra - litofácies metavulcanossedimentar	1201,72
Grupo Serra Negra, litofácies anfibolito	11,11
Grupo Serra Negra, litofácies formação ferrífera bandada	15,30
Grupo Serra Negra, litofácies quartzo	51,56

Suíte Borrachudos	1330,02
Suíte Brás Pires	19,91
Suíte Pedro Lessa	23,23
Supergrupo Espinhaço superior, Grupo Diamantina indiviso	13,93
Supergrupo Minas, Grupo Caraça	198,94
Supergrupo Minas, Grupo Itabira	217,30
Supergrupo Minas, Grupo Piracicaba	105,85
Supergrupo Minas, Grupo Sabará	37,54
Supergrupo Minas, Grupo Tamanduá, Formação Cambotas	38,39
Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Maquiné	107,46
Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima	447,08
Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Quebra Osso	25,11
Tonalito Córrego Taioba	98,98

É possível observar que, as unidades geológicas que ocupam uma maior área são a Suíte Borrachudos, com cerca de 24,3% do território da bacia, e o Grupo Serra Negra (litofácies metavulcanossedimentar), com uma porcentagem de ocupação da área total por volta de 23%. A unidade Suíte Borrachudos possui como principal classificação as rochas ígneas, que costumam ser maciças, ter boa resistência mecânica, minerais consolidados e cristais bem formados. Enquanto o Grupo Serra Negra é composto por rochas metamórficas, que são formadas a partir de outra rocha e se distribuem principalmente nas regiões montanhosas.

Jóźwiak-Niedźwiedzka et al (2019) afirma que agregados que são produzidos a partir de rochas ígneas são caracterizados pela alta resistência, principalmente aos impactos ambientais.

A seguir, na Tabela 6, são apresentadas as classes identificadas na temática de geomorfologia da bacia do rio Piracicaba.

Tabela 6. Classes geomorfológicas mapeadas.

Classes	Área (km ²)
Chapadas e platôs	22,27
Domínio de colinas amplas e suaves	391,80
Domínio de colinas dissecadas e morros baixos	71,57
Domínio de morros e de serras baixas	1442,92
Domínio montanhoso	3545,08

Planícies fluviais ou flúvio- lacustres	132,53
Tabuleiros	28,98
Vertentes recobertas por depósitos de encosta	0,94

Percebe-se que as unidades geomorfológicas predominantes são as de Domínio Montanhoso, ocupando cerca de 64,8%, seguida pelo de Domínio de Morros e de Serras Baixas, com, aproximadamente, 26,4%. O primeiro se refere a formas acidentadas e, segundo o Levantamento de Geodiversidade realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Machado e Silva, 2010), existe ampla formação de solos rasos e atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Já o segundo domínio, corresponde a morros convexo-côncavos dissecados com topos arredondados ou aguçados com a formação de solos pouco espessos e surgimentos frequentes de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas).

Na Figura 6, são apresentadas a fragilidade emergente para cada variável utilizada para a reprodução adaptada da metodologia de Crepani et al. (2001). É possível observar que para o tema de geomorfologia houve predominância de áreas de fragilidade muito fraca e média, ocupando cerca de 2266,7 km² e 1799,6 km², respectivamente.

Para a temática de uso e ocupação, não houveram classes de fragilidade fraca, entretanto, grande parte da bacia foi classificada como fragilidade muito fraca, com mais de 3324,08 km² o espaço territorial. Como na metodologia anterior, as regiões de vegetação representaram um grande peso para a determinação da fragilidade da variável de uso e ocupação, uma vez que mais da metade de seu território é ocupado por mata.

No que se refere a fragilidade das classes de solo, a bacia se mostra predominantemente muito fraca com cerca de 4411,06 km², principalmente devido à grande presença de latossolos. O restante da bacia, em torno de 20%, foi classificado como forte, média e muito forte, respectivamente.

Já em relação a geologia do território, a predominância de classes foi de fragilidade média, com, aproximadamente, 2429,74 km², seguida da classe fraca com cerca de 1569,92 km².

Quanto ao índice de erosividade, assim como na metodologia apresentada por Ross (1994), o mesmo se apresentou com uma fragilidade muito forte em toda a bacia.

Figura 6. Variáveis de Geologia e Geomorfologia para a bacia do rio Piracicaba.

Para a metodologia de Crepani et al. (2001), Figura 7, foi possível observar que grande parte da bacia foi enquadrada na fragilidade fraca e média, sendo que não houveram regiões de vulnerabilidade muito forte.

Nota-se também que uma maior fragilidade é apresentada na cabeceira da bacia, a qual o CBH-Doce (2010) considera como área mais crítica, uma vez que possui uma elevada suscetibilidade erosiva. Isso acontece em decorrência de fatores naturais, como a presença rochas e solos mais vulneráveis, e também de causas antrópicas, como a forma de uso do solo e estado de conservação das áreas de vegetação.

É preciso salientar que, essas áreas da bacia identificadas como mais frágeis, são consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade, sendo a principal delas a região próxima a nascente do rio Piracicaba.

Assim, de acordo com Sokoloski et al. (2019), é necessário que haja um planejamento incisivo sobre quais intervenções devem ser realizadas na bacia, que envolvam ações preservacionistas relacionadas à preservação dos recursos hídricos.

Figura 7. Mapa de fragilidade emergente da bacia do rio Piracicaba, de acordo com metodologia de Crepani (2001).

Corredores Ecológicos

Uma estratégia de conservação da biodiversidade é a implantação de corredores ecológicos, que evitam a perda de conectividade entre as áreas cobertas por vegetação e permitem uma maior mobilidade e distribuição da flora e da fauna.

A partir dos resultados obtidos com as duas metodologias de fragilidade ambiental adotadas, optou-se por trabalhar proposição de corredores ecológicos com o produto da análise de Crepani et al. (2001) (ou seja, o segundo mapa de fragilidade ambiental elaborado para a bacia). Isso porque, mesmo que as variáveis utilizadas e a forma de cálculo nas duas metodologias tenham sido semelhantes, as diferenças entre elas se mostraram

fundamentais na tomada de decisão, principalmente pelo uso do tema de declividade, que auxiliou para a elevada fragmentação no mapa de fragilidade resultante da metodologia exposta por Ross (1994). Outro fator que contribuiu para a escolha da metodologia de de Crepani et al. (2001), foi o fato desta se mostrar mais conservadora para a bacia, o que induziria uma maior proteção da biodiversidade nesta.

Na Figura 9, é apresentada uma configuração para a implantação de corredores ecológicos na bacia do rio Piracicaba como forma de auxiliar na gestão do território e sustentação da biodiversidade.

Figura 8. Proposição de CEs para a bacia do rio Piracicaba, de acordo com as áreas de fragilidade obtidas pela metodologia de Crepani et al (2001).

Por meio dessa composição considerou-se a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia para que fosse possível estabelecer uma conexão eficiente entre os fragmentos de mata existentes. Verificou-se que seria necessário o reflorestamento de cerca de 342,24 km² de APPs, o que representa cerca de 6,3% da área total da bacia, enquanto que, para as áreas de ligação entre as regiões isoladas de vegetação, a regeneração deveria ser realizada em cerca de apenas 2,0 km² (regiões delimitadas como corredores que não estão dentro das áreas de APPs). A partir disso, pode-se inferir que seriam necessárias poucas conexões, em termos de área, caso as APPs da bacia fossem regeneradas.

Conclusões

Os resultados obtidos por meio deste estudo permitiram demonstrar, mediante a diferentes metodologias, as áreas de maior fragilidade na bacia do rio Piracicaba, considerando diferentes variáveis, não apenas fatores naturais, mas também de interferência antrópica.

Por meio de uma análise integrada da paisagem, verificou-se que houve predominância das classes de fragilidade fraca e média na bacia,

sendo que para a metodologia de Ross (1994) houveram mais áreas de média vulnerabilidade, enquanto para a de Crepani et al. (2001) a classificação fraca abrangeu mais regiões.

Foi possível constatar, também, que as regiões do alto curso do rio Piracicaba, Conceição e Santa Bárbara apresentaram os maiores índices de fragilidade emergente, para ambas as metodologias, o que se considera uma situação crítica, uma vez que são áreas prioritárias para a conservação ambiental e de extrema importância para a preservação dos recursos hídricos, manutenção da biodiversidade e mitigação dos processos erosivos da bacia.

Como proposta para a atenuação deste problema, o trabalho traz como sugestão uma configuração de implantação de corredores ecológicos para auxiliar, como subsídio, na gestão territorial, zoneamento ambiental e tomada de decisão quanto às diretrizes políticas no planejamento de uso e exploração de recursos.

Salienta-se que, embora as variáveis tenham sido utilizadas de forma conjunta, os métodos foram adaptados para que todas elas expressassem o mesmo peso, ou seja, consideradas com a mesma importância, o que pode atenuar o resultado final

de fragilidade, uma vez que toda a análise depende de todas as características que determinado ambiente possui. Além disso, outras abordagens também poderiam ser empregadas, admitindo outras temáticas e diferentes formas de cálculo com pesos diferentes.

Agradecimentos

Agradecemos a todas as instituições governamentais citadas neste trabalho pela disponibilização de dados essenciais para a realização do mesmo.

Referências

- ALOS PALSAR. 2011. Imagens de Altimetria. Resolução Espacial 12,5 m (raster). Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso: 09 dez 2020.
- Almeida, P.F., Silva, J.B.L., Neves, F.M., 2020. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13, 1587-1609. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1587-1609>. Acesso: 30 nov 2020.
- Ayer, J.E.B., Olivetti, D., Mincato, R.L., Silva, M.L.N., 2015. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. *Pesq. Agropecuária Tropical* [online], 45, 180-191. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v45i1197>. Acesso: 30 nov 2020.
- Barbosa, P.G., Cavalcanti, A.B., Campos, J.H.B.C, Rocha, C.M.R.S, Silva, M.T., Ogata, I.S., Costa, L.M., Justo, A.O, Chagas, G.R.S., 2019. Uso de geotecnologias integradas a um sistema de Informações Geográficas (SIG) na análise da situação ambiental da região do parque estadual do Jabre/PB. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* [online], 10, 146-153. Disponível: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0013>. Acesso: 09 dez 2020.
- Belato, L.S., Serrão, S.L.C., 2019. Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Tomé-Açu, Estado do Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* [online], 10, 131-145. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0011>. Acesso: 09 dez 2020.
- Bertolin, C.M., 2020. Desafios na gestão financeira: estudo de caso nas unidades de conservação na Serra de São José – MG. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* [online], 9, 596-616. Disponível: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020596-616>. Acesso: 30 nov 2020.
- BRASIL, 2012, Lei no 12.651, de 25 de maio.
- CBH DOCE. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2010. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Belo Horizonte. Disponível: http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf. Acesso: 30 nov 2020.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., Azevedo, L.G., Duarte, V., Hernandez, P., Florenzano, T., 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial, 1 ed. INPE, São José dos Campos.
- Dalla Corte, A.P., Hentz, A.M.K., Doubrawa, B., Sanquetta, C.R., 2015. Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. *Bosque (Valdivia)* [online], 32, 287-297. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200014>. Acesso: 30 nov 2020.
- De Araújo, T.M.S., Bastos, F.H., 2019. Corredores ecológicos e conservação da biodiversidade: aportes teóricos e conceituais. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)* [online], 21, 716-729. Disponível: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.575>. Acesso: 09 dez 2020.
- Gomes, I., Vieira, E.M., Machado, M.L., Simão, M.L.R., Ferreira, A.C., 2019. Delineamento de áreas com potencial erosivo para a bacia hidrográfica. *Revista Geonomos* [online], 27, 60-72. Disponível: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v27i1.23744>. Acesso: 30 nov 2020.
- Gouveia, I.C.M.C., Ross, J.L.S., 2019. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. *Revista do Departamento de Geografia* [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>. Acesso: 14 dez. 2020.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas, 2020. Parque Estadual do Rio Doce. Belo Horizonte.
- Jóźwiak-Niedźwiedzka, D., Antolik, A., Dziedzic, K., Glinicki, M., Gibas, K., 2019. Resistance of selected aggregates from igneous rocks to alkali-silica reaction: verification. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty* [online], 18, 67-83. Disponível: <http://https://doi.org/10.7409/rabdim.019.005>. Acesso: 09 dez 2020.
- Leão de Souza, D.S., Dellargne, F.L., Mira, I.R.C., Silva, G.T.G., Silva, M.L., 2020. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes–MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13, 2269-2292. Disponível:

- <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292>. Acesso: 09 dez 2020.
- Lima, M.M.P., Silva, L., 2018. Análise da Vulnerabilidade Natural da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, com Apoio de Geotecnologia. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 11, 1442-1457. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>. Acesso: 30 nov 2020.
- Machado, M.F., Silva, S.F., 2010. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Geologia do Brasil. Belo Horizonte. CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 94p. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16735?show=full>. Acesso: 30 nov 2020.
- Maciel, A.L., Vieira, E.M., Monte Mor, R.C., Vasques, A.C., 2019. Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba - MG. *Revista Brasileira de Climatologia* [online], 24, 114-133. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.58420>. Acesso: 30 nov 2020.
- Magalhães, I. A. L., Thiago, C.R.L., Dos Santos, A.R., 2020. Identificação de Fragmentos Florestais Potenciais para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13, 595-612. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p595-612>. Acesso: 09 dez 2020.
- Mahmood Ajaj, Q.M., Shareef, M.A., Hassan, N.D., Hasan, S.F., Noori, A.M, 2018. GIS Based Spatial Modeling to Mapping and Estimation Relative Risk of Different Diseases Using Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation Algorithm and Evidential Belief Function (EBF) (Case study: Minor Part of Kirkuk City, Iraq). *International Journal of Engineering & Technology* [online], 7, 185-191. Disponível: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.37.24098>. Acesso: 30 nov 2020.
- Nogueira Martins R., Colares A.P.F., Almeida S.L.H., Zanella M.A., Nery C.V.M., 2018. Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira De Geomática* [online], 6, 99-118. Disponível: <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v6n2.7521>. Acesso: 30 nov 2020.
- Oliveira, A.M.M., Pinto, S.A.F., Lombardi Neto, F., 2007. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 5, 63-86.
- Pereira, A.G. Mapeamento do uso e cobertura da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba para o ano de 2019, 2020. In: III Simpósio de Iniciação Científica – Universidade Federal de Itajubá, MG.
- Periçato, A.J., Souza, M.L., 2019. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. *Caderno de Geografia* [online], 29, 1064-1082. Disponível: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>. Acesso: 30 nov 2020.
- Queiroz, M.T.A., Sabará, M.G., Queiroz, C.A., Leão, M.M.D, Amorim, C.C., Lima, L.R.P. de., 2017. Estudo sobre os teores de Tório, Urânio e Potássio nas águas superficiais e sedimento marginal do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. *Eng. Sanit. Ambient.* [online], 22, 371-380. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016126287>. Acesso: 09 dez 2020.
- Ross, J.L.S., 1994. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia (USP)* [online], 8, 63-74. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>. Acesso: 30 nov 2020.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M. R., Almeida, J.A., Araujo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- Santos, J.R.U. dos, Marchioro, E., 2020. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* [online], 39, 72-87. Disponível: <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>. Acesso em 14 dez 2020.
- Silva, F.T., Prates, A.P.L., 2020. Possibilidade de Uso de Mecanismos de Compensação para a Regularização Fundiária de Unidades de Conservação Estaduais em Minas Gerais. *Revista Biodiversidade Brasileira (BioBrasil)* [online], 10, 17-35. Disponível: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v10i2.1468>. Acesso: 30 nov 2020
- Silva, V.C.B., Machado, P.S., 2014. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima - Minas Gerais. *Revista de Geografia (UFPE)*, 31, 66-78.
- Sokoloski, L.J.F., Ferreira, M.R.A., Viterbo, G.A., Belotti, F.M., Vieira, E.M., 2019. Estudo da vulnerabilidade natural da sub-bacia do Rio

- Piracicaba/MG utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais [online], 10, 211-222. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0018>. Acesso: 30 nov 2020.
- Spröl, C., Ross, J.L.S, 2004. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP Espaço e Tempo [online], 8, 39-49. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>. Acesso: 30 nov 2020.
- Valle, I.C., Francelino, M.C., Pinheiro, H.S.K., 2016. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. Floresta e Ambiente, Seropédica [online], 23, 295-308. Disponível: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.107714>. Acesso: 30 nov 2020.