ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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

Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce – ES, Brasil

Rubyana dos Santos Vieira¹ , Elvis Pantaleão Ferreira² , Fernando Cartaxo Rolim Neto³ , Ednaldo Miranda de Oliveira⁴ , Salatiel Ewen Braga⁵

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Ifes campus Santa Teresa. Programa de Pós-graduação em Educação e Gestão Ambiental, e-mail: rubyana.vieira@gmail.com (autor correspondente); ²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Ifes campus Santa Teresa, (orientador) e-mail: elvispf@ifes.edu.br; ³Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, campus dois irmãos, Departamento de Tecnologia Rural; ⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Ifes campus Santa Teresa; ⁵Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, campus dois irmãos, Departamento de Tecnologia Rural.

Artigo recebido em 21/01/2021 e aceite 21/04/2021

RESUMO

O estudo da fragilidade ambiental emergente é uma importante ferramenta de diagnóstico, fornecendo informações mais próximas do cenário ambiental da área, auxiliando na tomada de decisões para a implantação de políticas públicas. Para intervir nas ações antrópicas em favor da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental, é fundamental se reconhecerem potencialidades e fragilidades inerentes aos espaços geográficos. O presente trabalho teve como objetivo a determinação e avaliação da fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, no estado do Espírito Santo – Brasil. Foi realizada uma análise integrada dos componentes ambientais, relacionada ao relevo, às características do solo e aos diferentes tipos de uso e cobertura da terra que se inter-relacionam e resultam em diferentes níveis de fragilidade ambiental. O modelo metodológico fundamentou-se em ferramentas já consolidadas pela pesquisa acadêmica, incluindo adaptações, conforme as especificidades da área de estudo, mediante a aquisição de planos de informações geográficas disponibilizados por órgãos oficiais. A pesquisa contemplou também visitas de campo, ocasião em que foram realizados registros fotográficos em pontos da área de estudo. Os produtos cartográficos obtidos mostraram-se efetivos para relacionar causas a efeitos homem natureza, perceptíveis na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce. Foram evidenciados aspectos ambientais que devem ser priorizados, em função da preservação do ambiente e da relação harmônica do homem com a natureza. Foi possível se identificar que na bacia hidrográfica há predomínio da classe de fragilidade ambiental média. Esta fragilidade está relacionada principalmente com o uso, cobertura e tipo de solo, indicando a existência de locais com perturbações ambientais e suscetíveis a danos por processos erosivos. Tais processos podem promover perda de solo e assoreamento de canais de drenagem, requerendo assim, maior atenção dos gestores municipais no ordenamento da ocupação dos solos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.

Palavras-chave: Geotecnologia, recursos naturais, ordenamento territorial.

Emerging environmental fragility from the Santa Maria do Doce hydrographic basin - ES, Brazil

ABSTRACT

The study of the emerging environmental fragility is an important diagnostic tool, providing information closer to the environmental scenario of the area, helping in decision-making for the implementation of public policies. In order to intervene in human actions in favor of sustainability and environmental responsibility, it is essential to recognize the potential and weaknesses inherent in geographical spaces. The present work had as objective the determination and evaluation of the emerging environmental fragility in the basin of the Santa Maria do Doce river, in the state of Espírito Santo - Brazil. An integrated analysis of the environmental components was carried out, related to the relief, the characteristics of the soil and the different types of land use and cover that are interrelated and result in different levels of environmental fragility. The methodological model was based on tools already consolidated by academic research, including adaptations, according to the specificities of the study area, through the acquisition of geographic information plans made available by official agencies. The research also included field visits, on which occasion photographic records were taken at points in the study area. The cartographic products obtained proved to be effective in relating causes to man-nature effects, perceptible in the basin of the Santa Maria do Doce River. Environmental aspects were highlighted that should be prioritized when it comes to preserving the environment and the harmonious relationship between man and

nature. It was possible to identify that in the basin there is a predominance of the class of medium environmental fragility. This fragility is mainly related to the use, cover and type of soil, indicating the existence of places with environmental disturbances and susceptible to damage caused by erosive processes. Such processes can promote soil loss and siltation of drainage channels, thus requiring greater attention from municipal managers in ordering the land occupation in the basin of the Santa Maria do Doce River.

Keywords: Geotechnology, natural resources, territorial ordering.

Introdução

A crescente demanda populacional por recursos naturais e bens de consumo, intensificaram-se os impactos negativos ao ambiente, uma vez que a velocidade de nossas demandas não segue o mesmo compasso da regeneração dos recursos naturais, gerando desequilíbrios que afetam a dinâmica da qualidade de vida da população (Allué *et al.*, 2010; Paredes *et al.*, 2020).

Pesquisa publicada por Pericato e Souza, (2019) destacam que o direcionamento das ações humanas no caminho da sustentabilidade requer reconhecimento das potencialidades e fragilidades inerentes aos espaços geográficos. Para Peixoto *et al.* (2018); Santos e Marchioro (2020), torna-se necessário estudos com relevância sobre fragilidade ambiental, onde é permitido compreender como a desestabilização de um determinado sistema pode ocorrer com maior frequência em nível de susceptibilidade, sejam eles, provocados por processos naturais ou ações antrópicas.

A bacia hidrográfica por ter suas características bem definidas é uma unidade que permite melhor caracterizar os impactos ambientais (Porto e Porto, 2008). Franco *et al.* (2012); Marañón *et al.*, (2020) destacam que as bacias hidrográficas são um excelente campo para estudos de diagnóstico ambiental, uma vez que alterações nos diferentes componentes do ambiente como relevo, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, podem resultar no comprometimento da funcionalidade do sistema, resultando em consequências que podem ser irreversíveis, dependendo do grau do impacto.

Assim, a compreensão dos níveis de fragilidade de uma bacia hidrográfica por meio da relação das variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais possibilita uma visão mais ampla sobre quais são as escolhas mais adequadas para o uso da terra.

Dessa forma, ressalta-se que os estudos de fragilidade ambiental permitem uma melhor definição das diretrizes e ações a serem executadas no espaço físico-territorial, auxiliando para elaboração do zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão do território (Spörl, 2001; Spörl e Ross, 2004).

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce teve seu processo de ocupação com a chegada de imigrantes italianos e alemães no final do século XIX, momento em que a região foi fragmentada em pequenas propriedades familiares à base, sobretudo da cafeicultura extensiva, conforme discutido por Ferreira *et al.* (2011) e por Paixão *et al.* (2014).

Ainda segundo os autores, os modelos de desenvolvimento extrativista a época, condicionou a um acelerado processo de degradação ambiental dos recursos florísticos, faunísticos, edáficos e hídricos em diversas áreas da bacia, gerando impacto econômico, social e ambiental.

Dados apresentados por Ferreira *et al.* (2011); Ferreira *et al.* (2020) destacam que a bacia do rio Santa Maria do Doce, apresenta fortes alterações das suas condições naturais, observa-se assoreamento causado pela perda do solo oriunda das atividades agropecuárias pouco sustentáveis. Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica são ilegalmente exploradas, seja pela atividade industrial da extração de argila destinada às indústrias cerâmicas, seja pela ocupação urbana ou pelas atividades agropecuárias.

Nesse contexto, a metodologia proposta por Ross (1994), empregada neste trabalho, possibilita a partir da relação entre as características naturais e as intervenções antrópicas, identificar os graus de degradação, relacionados com a fragilidade emergente do ambiente (Ramos e Coelho, 2019).

O estudo da fragilidade ambiental emergente, considera os elementos naturais sobretudo o relevo, declividade e solo, e a forma como o homem se apropria do meio ambiente, o uso e a ocupação do solo. As unidades de fragilidade podem ser ordenadas em classes de fragilidade de muito alta a muito baixa (Ross, 1994; Pericato e Souza, 2019).

Desta forma, o estudo e mapeamento da fragilidade ambiental emergente é uma importante ferramenta de diagnóstico, fornecendo informações mais próximos do cenário ambiental da área e, assim, auxiliar na tomada de decisões para a implantação de políticas públicas mais consistentes com a sua realidade, à medida que apresenta os locais de menor e maior grau de fragilidade ambiental do cenário de estudo.

Objetivou-se com este trabalho, determinar e avaliar a fragilidade ambiental

emergente, na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce no estado do Espírito Santo, mediante análise integrada dos componentes ambientais que se inter-relacionam.

A pesquisa teve como propósito, ser instrumento de reflexão, e contribuir, para o planejamento ambiental para a área.

Material e métodos

O estudo foi realizado na bacia do rio Santa Maria do Doce, localizada no estado do Espírito Santo. A mesma possui superfície de 934,21 km² e abrange grande parte dos municípios de Santa

Teresa, e o município de São Roque do Canaã e pequena porção do território de Colatina (Figura 1).

O rio Santa Maria do Doce – rio SMD desenvolve-se por 93 km, desde sua nascente principal na Serra do Gelo, município de Santa Teresa a cerca de 1000 m de altitude, percorre o município de São Roque do Canaã e segue até desembocar na margem esquerda no rio Doce a 19° 32' 22"; 40° 38' 20" a 40 m de altitude, na cidade de Colatina. Seus principais afluentes são os rios Santa Júlia, Tabocas, Perdido e Vinte e Cinco de Julho (ECOPLAN, 2010).

Figura 1. Localização espacial da área de estudo. Organização: Rubyana dos Santos Vieira (2020).

A escolha do modelo metodológico fundamentou-se em ferramentas já consolidadas pela pesquisa acadêmica (Ross, 1994; Ross, 1997), incluindo adaptações, conforme as especificidades da área de estudo. Assim como levantamento de dados secundários que abordam o tema objeto desta pesquisa, como artigos, periódicos, relatórios e mapas geológicos, geomorfológicos, entre outros.

A condução das etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa foi construída mediante a utilização dos Planos de Informações disponibilizados por órgãos oficiais, a saber: Hidrografia (IBGE, 2018); Solos (GEOBASES, 2016); Uso e Cobertura da Terra (IEMA, 2012/2015); Bacias Hidrográficas (GEOBASES, 2007); Unidade de Conservação (MMA, 2011);

Sistema Rodoviário do ES (IJSN, 2012); Limite Estadual (IBGE, 2017); Limite Municipal (IDAF, 2018) e levantamento de dados topográficos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) versão 4 com resolução espacial de pixel de 90 metros, disponibilizados em CGIAR-CSI (2008).

O processamento dos dados vetoriais e matriciais foi realizado com o auxílio do software ArcGIS 10.5, ajustados, quando necessário, no sistema de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), com o *Datum* SIRGAS 2000 e Zona 24 Sul (IBGE, 2005).

A criação do modelo de fragilidade emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce ocorreu mediante definição de coeficientes e graus de importância que variam de

1 a 5, sendo este valor diretamente proporcional ao nível de influência, ou seja, quanto maior o índice maior é a fragilidade observada, conforme proposta metodológica de Ross (1994) e Ross (2006).

A componente declividade foi originada do dado SRTM o qual foi recortado no limite da bacia, gerando-se a variável declividade e reclassificado, utilizando-se a sequência de comandos – *Extract by Mask, Slope e Reclassify*, empregando-se as respectivas classes e coeficientes, conforme a classificação realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).

Para a categoria solo, utilizou-se como base o plano de informação vetorial Solos, sendo recortado no limite da bacia – comando *Clip*, seguido da criação de um campo numérico Peso na tabela de atributos – comando *Create Field* e atribuição de coeficientes conforme as classes de solos, e posterior transformação dos dados vetoriais para raster, a partir do comando *Polygon to Raster*.

Por fim, para a componente uso e cobertura da terra seguiu-se o mesmo processo de execução, tendo-se como base o plano de informação vetorial Usos recortado nos limites da bacia – comando *Clip*, seguido da criação de um campo numérico Peso na tabela de atributos – comando *Create Field* e atribuição de coeficientes conforme classes de Usos e Coberturas.

Estando cada mapa com suas classes previamente definidas, elas foram cruzadas de maneira aditiva, ou seja, as regiões somam seus pesos relativos à degradação, quanto ao uso e cobertura da terra, declividade e tipos de solos. Como resultado obteve-se o mapa final, que determina a fragilidade emergente da área de estudo (CRUZ *et al.*, 2010).

A combinação das componentes para elaboração do mapa de fragilidade emergente foi expressa pelo algoritmo matemático mediante a função – *Raster Calculator*: $FE = DC + SO + UC \times 2$. Sendo: FE a fragilidade emergente, DC o valor correspondente à declividade, SO relativo ao tipo de solo e UC à categoria de uso e cobertura da terra. A expressão matemática definida valoriza a componente relativa ao uso e cobertura da terra assegurando que esta variável seja responsável por 50% do resultado final, conforme Ramos; Coelho (2019); Pimentel (2019) e Santos; Marchioro

(2020), os quais atribuam pesos iguais a todas as variáveis para o cálculo da fragilidade emergente.

Almejando a apresentação de maiores níveis de detalhes, o resultado final classificado em três níveis de fragilidade ambiental emergente: Baixa, Média e Alta, utilizando o método de classificação *Natural Breaks Jenks*. O mapa de fragilidade ambiental emergente, assim obtido, foi utilizado para os cálculos de área e de porcentagem das classes finais.

Almejando apresentar informações complementares, adicionalmente foram realizadas aquisição de dados de campo, mediante uso de fichas-relatório e registros fotográficos, com a finalidade de verificar *in loco* as características da paisagem da área de estudo, as situações foram observadas e registradas na forma como ocorrem, mediante contato direto e interativo dos pesquisadores com o cenário objeto de estudo, apresentando como característica essencial o enfoque descritivo.

Na ocasião dos registros fotográficos de campo foram coletados os pontos com as coordenadas de cada área fotografada, com auxílio do Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System* – GNSS), por meio do equipamento *eTrex 30* Garmin.

Os levantamentos de campo foram realizados nos períodos de julho de 2020 a fevereiro de 2021.

Resultados e discussão

Em uma unidade de análise baseada recorte geográfico da bacia hidrográfica, uma das maneiras mais eficientes de mensurar a fragilidade ambiental é através da análise integrada de seus componentes ambientais da paisagem.

Desta forma, a seguir após efetuadas as combinações e cruzamentos de dados cartográficos, obteve-se o mapa de fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, o qual será analisado e discutido, possibilitando assim, entendimento dos aspectos condicionantes quanto as potencialidades e suscetibilidades de todo cenário de estudo (Figura 2).

Figura 2. Planos de informações utilizados na obtenção da fragilidade emergente. Elaboração: Rubyana dos Santos Vieira (2020).

No tocante a declividade observa-se na (Tabela 1) que apenas 57,88 km² da bacia hidrográfica apresenta declividade de 0 a 6% que são consideradas áreas planas, caracterizado como classe de fragilidade ambiental muito fraca (Tabela 1), possuindo baixa disposição à ocorrência de processos erosivos, cenário observado sobretudo, a partir da porção média da bacia até seu exutório, no município de Colatina.

Nessas áreas, o declive do terreno não oferece dificuldades à implantação de estruturas urbanas e agricultura mecanizada, uma vez que o grau de declividade do relevo colabora para uma menor velocidade de escoamento superficial, um dos fatores que mais contribui decisivamente para os processos erosivos. Contudo, cabe ressaltar que, o solo quando exposto, desprovido de vegetação, mesmo em baixa grau de declividade, constitui um fator decisivo para iniciar a dinâmica do processo erosivo, uma vez que a superfície do solo recebe diretamente as gotas da chuva – efeito *splash*, promovendo a desagregação das partículas e consequentemente selando a porosidade do solo e dificultando a infiltração (Andognini *et al.*, 2020).

A partir de 6 a 12% a declividade na bacia hidrográfica se comporta com relevo suavemente ondulado, aplainando à medida que o rio se aproxima de sua foz. Estas áreas apresentam o

parâmetro declividade caracterizado como fragilidade ambiental baixa (Tabela 1). Esse comportamento da paisagem é observado ainda na segunda metade da bacia hidrográfica (Figura 3), que apresenta ocupação urbana caracterizada por habitações localizadas em propriedades rurais com a finalidade de acomodar os trabalhadores e sua família, e atividades em sistema de agricultura semi-intensiva e pecuária extensiva.

Tabela 1. Classes de fragilidade para a declividade na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.

Classes		Percentual (%)	Área (km ²)
Declividade	Fragilidade ambiental		
0 - 6%	Muito fraca	6,20	57,88
6 - 12%	Fraca	11,22	104,86
12 - 20%	Média	19,68	183,82
20 - 30%	Forte	27,49	256,87
Acima 30%	Muito forte	35,41	330,82

Registra-se que bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce possui maior porção da área (62,90%) com manifestações de paisagens com declividades superiores a 20%, classificada como áreas com classes de fragilidade forte e muito forte (Tabela 1), áreas presentes notadamente nas porções centrais e superior da bacia (Figura 3), nos

municípios de São Roque do Canaã e Santa Teresa, respectivamente.

Observa-se nestas áreas presentes na primeira metade da bacia hidrográfica, formas do relevo caracterizado por feições de forte ondulado a montanhoso, com escarpas na região da serra do Vale do Canaã (Figura 3) município de Santa Teresa, e outras com feições semelhantes, registra-se também presença de cachoeiras e corredeiras entremeando trechos de vale em formato de “V”. Esses locais, são muito suscetíveis para o desencadeamento dos processos de erosão do solo, movimentos de massa, como deslizamentos, deslocamento e queda de blocos, sulcos, erosão laminar e voçorocas.

Embora o parâmetro declividade nas porções centrais e superior da bacia apresente fragilidade ambiental classificado como forte e muito forte, visitas de campo registram que em muitas destas áreas a ocupação humana e a expansão das atividades silviculturais e

agropecuárias, vêm contribuindo para o cenário de transformação da paisagem.

Figura 3. Vale do Canaã, em Santa Teresa/ES.
Foto: Eliane Lordello (2013).

Figura 4. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio SMD.

Fonte: CGIAR-CSI; GEOBASES. Elaboração: Rubyana dos Santos Vieira (2020).

Adicionalmente, do ponto de vista da fragilidade ambiental, o tipo de uso e cobertura da terra é fator determinante, pois, se evidencia a relação homem x natureza, retratando a dinâmica

territorial em termos dos processos de ocupação, da utilização da terra e de suas transformações.

A partir da classificação do uso do solo, observa-se no mapa (Figura 7) que a pastagem é a classe predominante na bacia hidrográfica,

representando 306,13 km², o qual corresponde a 32,77% da área (Tabela 2) atividade que se distribui de maneira homogênea em toda a extensão da bacia hidrográfica, resultando assim, em um elevado grau de antropização.

A segunda classe de uso do solo maior expressividade na bacia hidrográfica é o cultivo agrícola, com 19,84% que corresponde a 185,35 km² (Tabela 2; Figura 7), sobretudo, com áreas destinadas ao cultivo de café *Coffea canéfora*, seguida do *Coffea arábica* e em menor escala o cultivo de produtos hortifruti, com destaque para lavouras de tomate *Solanum lycopersicum*. Esta última atividade agrícola predomina na porção superior e média da bacia hidrográfica. Áreas com usos frequentes e intensivo de agrotóxicos, fertilizantes e corretivos agrícolas, conforme discutido por Ferreira *et al.* (2020). Essas atividades agrícolas são inerentes ao processo de ocupação da área, a qual foi colonizada no final do século XIX por descendente de imigrantes italianos, havendo também alemães e poloneses.

Tabela 2. Classes de fragilidade do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.

Classes		Percentual (%)	Área (km ²)
Uso e cobertura da terra	Fragilidade ambiental		
Mata nativa	Muito baixa	16,61	155,17
Mata nativa em estágio inicial de regeneração	Muito baixa	9,03	84,32
Silvicultura	Baixa	5,13	47,89
Macega	Baixa	6,80	63,55
Afloramento rochoso	Baixa	6,26	58,46
Pastagem	Média	32,77	306,14
Cultivo agrícola	Forte	19,84	185,36
Solo exposto	Muito forte	2,29	21,43
Brejo	Muito forte	0,24	2,20
Massa d'água	Muito forte	0,45	4,23
Extração mineração	Muito forte	0,02	0,17

Ressalta-se o uso agropecuário do solo na bacia é classificado com graus de fragilidade ambiental média a forte (Tabela 2). Haja vista, serem um dos principais geradores de degradação e contaminação dos corpos de água. A erosão e o assoreamento, oriundo de pastagens (Figura 5), e dos cultivos agrícolas (Figura 6), carregam aos rios grande quantidade de sedimentos, que além de elevar a calha dos corpos hídricos, contribuem

negativamente com a introdução de diversos elementos tóxicos, gerando problemas de qualidade da água relacionados com os parâmetros de sólidos suspensos, turbidez e cor verdadeira, por exemplo.

Figura 5. Área com pastagem degradada na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce. Arquivo pessoal: Elvis Pantaleão (jan/2021).

Figura 6. Cultivo agrícola em morro, na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce. Arquivo pessoal: Elvis Pantaleão (jan/2021).

A análise do mapa (Figura 7) permite concluir que quando somadas, as áreas de cobertura florestal (Mata nativa e Mata nativa em estágio inicial de regeneração) representam 239,49 km² (25,64%), e ocorrem predominantemente na porção alta da bacia hidrográfica, onde o relevo apresenta feições de maior declividades, que dificultam a implantação de atividades agropecuárias. Sendo que, áreas com as florestas naturais exercem grau de proteção muito forte sobre o ambiente, o qual é inversamente proporcional ao grau de fragilidade ambiental da área

Figura 7. Uso e Cobertura da Terra da bacia hidrográfica do rio SMD.

Fonte: CGIAR-CSI; GEOBASES. Elaboração: Rubiana dos Santos Vieira (2020).

A porção superior da bacia hidrográfica, no município de Santa Teresa encontra-se muitas áreas preservadas com presença de fragmentos florestais remanescentes da mata atlântica, dentre elas destacam-se a Reserva Biológica Augusto Ruschi (REBIO) que possui parte inserida para bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, além de diversas Reserva Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), totalmente inseridas na bacia, entre elas a RPPN Linda Laís, RPPN Dom Pedro, RPPN Linda Sofia, RPPN Olívio Daleprani, conforme dados do Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN (ICMBio, 2021).

Não obstante, na porção média da bacia hidrográfica que compreende sobretudo o município de São Roque do Canaã e a porção baixa da bacia, no município de Colatina, não há presença de RPPN inserida na bacia hidrográfica, oficialmente registrado. Essas duas frações estão localizadas as feições topográficas menos irregulares da bacia hidrográfica, com características do uso do solo entre as quais temos a extração do mineral argila, destinados as indústrias cerâmicas e solo exposto (Tabela 2, Figura 7) as quais apresentam classes de fragilidade ambiental muito forte (Tabela 2).

Conforme discutido anteriormente, a porção superior da bacia hidrográfica sobretudo no município de Santa, embora esteja presente importantes fragmentos florestais remanescentes da mata atlântica, apresenta classes de fragilidade ambiental categorizado como forte e muito forte, motivado sobretudo pela topografia muito irregular, portanto, não recomendado para a ocupação humana e que igualmente oferece dificuldades na implantação de atividades agropecuárias mecanizada.

Em visita de campo no município de Santa Teresa, registrou-se importante rota turística denominada Circuito Caravaggio, área que reúne belezas naturais composta por diversos fragmentos da mata atlântica, cachoeiras, atrativos naturais para esporte de aventura e tradições Italiana entre elas notáveis segmentos de atividades artesanais da agroindústria de produções de doces, massas, vinícolas, destilarias, espumantes, restaurantes, cantinas, entre outras.

Ao longo da estrada do Caravaggio, pode-se verificar em áreas que abrange a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce e a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, excessiva fragmentação das propriedades rurais em pequenos lotes (Figuras 8 e 9) destinado à expansão

do imobiliário-turístico e residencial-turístico, transformando-as em diversos loteamentos para a construção de condomínios rurais, chalés, chácaras, casas de campo e, empreendimentos como restaurantes e pousadas. Muitos destes sem licenciamento ambiental, e com acesso limitada e ou carentes de água para consumo humano, assim como desprovidos de infraestrutura de saneamento ambiental, proporcionando o lançamento de efluentes não tratados no meio ambiente.

Figura 8. Loteamento do solo em área de encosta. Arquivo pessoal: Elvis Pantaleão (jan/2021).

Figura 9. Concepção de condomínio rural. Arquivo pessoal: Elvis Pantaleão (jan/2021).

Acredita-se que as temperaturas mais amenas desta área peculiar de montanhas da bacia hidrográfica, associado a disponibilidade e

expansão da capacidade de transmissão da rede de eletricidade, por toda área, tem potencializado o avanço para a promoção da fragmentação e ocupação de áreas na porção superior da bacia, região em que o espaço geográfico que vem sendo antropicamente modificado compreende áreas de três bacias hidrográficas, Santa Maria da Vitória, Santa Joana e bacia do rio Santa Maria do Doce.

Como agravante registrou-se muitas ocupações em áreas caracterizadas como Áreas de Preservação Permanentes (APP's), que conforme a Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) é um espaço natural protegido, com a função ambiental de promover a estabilidade geológica, de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a biodiversidade e facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, entre outros.

Registra-se que, muitas das ações antrópicas destinadas ao preparo do solo, para as instalações imobiliárias, como a supressão de vegetação, queimadas e terraplanagem, estão contribuindo para o surgimento de processos erosivos, assoreamento dos cursos hídricos, e promovendo uma desconexão da cobertura florestal nativa, causando impacto ambiental negativo ao fluxo gênico entre os diferentes fragmentos remanescentes.

Ademais, é oportuno destacar que a fragmentação de propriedades rurais no município de Santa Teresa destinado a ocupação imobiliária tem ocorrido em diversas outras áreas sobretudo em Alto Santo Antonio e Valsugana Velha, ambas inseridas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, além de áreas diversas áreas no Caravaggio, que compreende a bacia hidrográfica.

Fatos que motivaram recentemente diversas denúncias junto aos órgãos competentes municipal – Secretaria de Meio Ambiente e estadual – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (Idaf), assim como despertaram várias reportagens veiculados em telejornais e jornais impressos de grande circulação no estado do Espírito Santo (A Gazeta, 2020; G1 ES, 2020).

Em fiscalização realizada em 22 de dezembro de 2020 em Santa Teresa pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (Idaf), em parceria com a Polícia Militar Ambiental e o Núcleo de Operações e Transporte Aéreo da Secretaria da Casa Militar – Espírito Santo (NOTaer), foram identificados e mapeados cerca de 40 pontos de desmatamento, entre eles com loteamento em áreas irregulares (Figura 10), além de assoreamento de corpos hídricos, motivados pela terraplanagem. São casos de loteamentos clandestinos e irregulares que afrontam a legislação ambiental.

Figura 10. Desmatamento em topo de morro para ocupação imobiliária em Santa Teresa.
Foto: Pedro Heyerdahl de Sá – Idaf (2020).

O modelo de ocupação e uso do solo que vêm ocorrendo na porção superior da bacia hidrográfica, pela expansão do imobiliário-turístico, tem contribuído para potencializar negativamente o grau de fragilidade ambiental dessa área, o qual tem provocado muitas alterações na organização do espaço, promovendo inúmeras ações de degradação ambiental, que têm motivado diversos conflitos com poder público local e estadual.

Do mesmo modo, analisar os tipos de solos (Figura 11) sob o ponto de vista da fragilidade ambiental contribui para que a erodibilidade destas tipologias sejam também compreendidas neste processo. Isso porque os solos estão ligados aos processos erosivos, à qualidade e à quantidade de água superficial das bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce apresenta ocorrência predominante das classes de solos, a saber, Argissolos, Latossolos, e Cambissolos, respectivamente.

Compondo 36,84% da bacia hidrográfica (Tabela 3), a classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos ocorre em áreas de relevos mais acidentados e dissecados. São solos que apresentam baixa fertilidade, e susceptibilidade à erosão, são solos que apresentam grau de fragilidade média, conforme discutido por Ross (1994). Conforme é observado (Figura 5) os Argissolos Vermelho-Amarelo predominam na foz

do rio Santa Maria do Rio Doce, no município de Colatina.

Tabela 3. Classes de fragilidade do solo na bacia hidrográfica do rio SMD.

Classes		Percentual (%)	Área (km ²)
Uso e cobertura da terra	Fragilidade ambiental		
Afloramento Rochoso	Muito baixa	35,31	329,89
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Média	36,84	344,21
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Média	22,29	208,25
Cambissolo Háplico	Forte	5,55	51,88

Os Cambissolos abrangem apenas uma área de 51,88 km² da bacia hidrográfica, são solos minerais com pequena profundidade, alto teor de minerais primários e presença significativa da rocha matriz no perfil, indicativos do intemperismo incipiente do solo, caracterizado, portanto, por baixo desenvolvimento pedogenético.

Contudo, a presença de minerais primários contribui para aumentar a reserva nutricional do solo, em muitos casos tornando-o apto a exploração agrícola, sobretudo as culturas perenes e cultivos florestais. Contudo, conforme a metodologia de Ross (1994) são solos que apresentam grau de fragilidade forte (Tabela 3).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos, correspondem a 22,29% é o segundo tipo de solo mais encontrado na bacia hidrográfica (Tabela 3), são solos bem desenvolvidos, profundos, homogêneos, acentuadamente drenados e frequentemente são pouco férteis, por apresentar baixa coesão são sensíveis à degradação sob manejo de atividades agropecuárias, ocorrendo principalmente nos planaltos dissecados.

São solos com elevada permeabilidade, baixa retenção de água e baixa coesão, o que os torna sensíveis à degradação sob manejo agrícola. Apresentam fragilidade ambiental média, conforme a metodologia de Ross (1994). Nestas áreas, os principais usos da terra são pastagem, silvicultura e cultivo agrícola.

Figura 11. Classes de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio SMD.

Fonte: CGIAR-CSI; GEOBASES. Elaboração: Rubyana dos Santos Vieira (2020).

A fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Rio Doce é apresentado na Figura 12, com as seguintes classes: Baixo, Médio e Alto Risco, obtidas a partir da combinação das variáveis (declividade, solos, e uso e cobertura da terra), resultando no modelo que aponta os setores/regiões da bacia que necessitam de atenção especial para fins de ordenamento e gestão territorial.

Neste sentido é oportuno destacar que, conforme a legislação Federal Lei nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001) cabe ao município o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, assim como a ordenação e controle do uso do solo, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.

Dentre as três classes, se sobressai a do grau de fragilidade ambiental médio, esta classe distribui-se por toda a bacia, cobrindo 414,19 km², que corresponda a 44,33% (Tabela 4) da área total, tem predomínio em áreas menos declivosas, porém, com uso agrícola fortemente degradante.

Tabela 4. Classes de fragilidade ambiental emergente e suas áreas e percentuais.

Classes de fragilidade ambiental	Percentual (%)	Área (km²)
Baixa	23,66	221,08
Média	44,33	414,19
Alta	32,00	298,98
Total	100,00	934,25

Essas áreas com fragilidade média, não por coincidência, são as áreas da bacia hidrográfica preferenciais aos cultivos agrícolas e criação de animais, por apresentarem feições topográficas moderadas, favorecendo, portanto, o manejo e a mecanização das atividades agropecuárias. Fato este, que remete estas áreas a uma maior atenção com o planejamento de uso e ocupação, uma vez que, a mecanização do solo, o cultivo e manejo de forma não planejada e racional, concorre para a promoção de eventos danosos os recursos ambientais, como assoreamento dos corpos hídricos, supressão da vegetação nativa e compactado do solo, entre outros.

Figura 12. Distribuição das classes de fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica.
Fonte: CGIAR-CSI; GEOBASES. Elaboração: Rubyana dos Santos Vieira (2020).

A fragilidade ambiental alta é a segunda classe mais representativa na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, presente em 32% da área total, correspondendo a 298,98 km² (Tabela 4). Observa-se, na Figura 12, que o grau de fragilidade ambiental alto se distribui sobretudo, nas áreas que compreendem às partes norte e leste do município de São Roque do Canaã. Nessas regiões ocorre o predomínio de pastagem e cultivo agrícola, de acordo com a classificação de uso e cobertura, apresentado na Figura 4. Convém ressaltar que, é

exatamente nestas áreas da bacia hidrográfica onde predomina o menor índice de solo exposto (Tabela 2), é que, portanto, sazonalmente tem sido afetada por eventos de crise hídrica, seja para uso nas atividades agropecuárias e abastecimento humano.

Também é possível associar essas áreas às classes de solos Latossolos Vermelho-Amarelo e os Argissolos Vermelho-Amarelo correspondentes à fragilidade média, conforme foi apresentado e discutido na Figura 11. Na porção sul da bacia, a

fragilidade ambiental alta está correlacionada a classe do solo Cambissolo, o qual possui grau de fragilidade ambiental classificado como muito frágil, e quando o mesmo é submetido as atividades antrópicas.

Em consequência dessas características, as áreas com grau de fragilidade ambiental alto, são extremamente suscetíveis a impactos ambientais e, cujo uso e ocupação atual contribuem para a perda do equilíbrio dinâmico. Apresentando alto grau de comprometimento dos recursos ambientais, com baixíssima possibilidade de reversão (Peixoto *et al.*, 2018).

A fragilidade ambiental baixa é a de menor representação na bacia (23,66%), totalizando 221,08 km², está localizada no setor sudeste da bacia hidrográfica, representando fragmentos bem preservados de mata atlântica, sobretudo no município de Santa Teresa, onde há diversas RPPN's e a Reserva Biológica de Augusto Ruschi (REBIO) e em áreas sobre o afloramento rochoso, que apresenta originalmente grau de fragilidade ambiental baixa.

Nessas áreas, o grau de resiliência alto é resultante das características naturais dos geossistemas, caracterizadas por paisagens em que predomina a cobertura da terra constituída por vegetação nativa, associado as feições do relevo acidentado até então, com pontuais perturbações pelas atividades humanas (agricultura, pecuária, silvicultura, ocupação urbana habitacional e turística.

Conclusão

A metodologia de Ross (1994) se mostrou eficaz na elaboração deste estudo, pois, permitiu a elaboração de uma cartografia mais detalhada da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, evidenciando aspectos que devem ser priorizados, quando se trata da preservação do ambiente e da relação harmônica do homem com a natureza.

Foi possível identificar que a bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, tem predomínio da Classe de Fragilidade Ambiental Média, que está relacionada em especial ao tipo de solo e uso e cobertura, indicando a existência de locais com importantes perturbações ambientais e suscetíveis aos danos com processos erosivos, que podem promover perda de solo e assoreamento requerendo assim, maior atenção dos gestores municipais na gestão e ordenamento do territórios inseridos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.

Referências

- A Gazeta do ES. 2021. Desmatamento em Santa Teresa pode afetar abastecimento de água em 11 cidades. Disponível em <<<https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/desmatamento-em-santa-teresa-pode-afetar-abastecimento-de-agua-em-11-cidades-1220>>>. Acesso em 14 jan 2021.
- Allué, C.; Arranz, J.; Bava, J.; Beneitez, J.; Collado, L.; García López, J. 2010. Caracterización y cartografía fitoclimática del bosque nativo subantártico en la Isla Grande de Tierra del Fuego (Patagônia, Argentina). *Forest Systems* 19(2): 189-207. 2010. Disponível em <DOI: 10.5424/fs/2010192-01314>. Acesso em 04 Jan 2021.
- Andognini, J.; Albuquerque, J. A.; Warmling, M. I.; Teles, J. S.; Silva, G. B. 2020. Efeito da compactação do solo na produtividade da aveia-preta em Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, volume 44, Viçosa, 22 de julho de 2020. Disponível em <<<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190157>>>. Aceso em 17 jan 2021.
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. (Estatuto das Cidades). Disponível em <<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm>>. Acesso em 17 jan 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em 11 jan. 2021.
- CGIAR-CSI. The CGIAR Consortium for Spatial Informations. 2008. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/>>. Acesso em: set. 2019.
- Cruz, L. M.; Pinese Júnior, J. F.; Rodrigues, S. C. 2010. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Glória – MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, Brasília, 3, 505-516, 2010.
- ECOPLAN. 2010. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. Disponível em:<http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_SM_Doce.pdf>. Acesso em 14 de dez 2019.
- EMBRAPA. 1999 – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999.

- Ferreira E. P.; Ferreira, J. T. P.; Ferreira, A. C.; Pantaleão, F. S.; Silva, W. C. 2011. Evolução e análise das ações do comitê da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Rio Doce localizado no estado do Espírito Santo. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, 7, 1143-1153, out./nov. 2011.
- Ferreira E. P.; Pantaleão, F. S.; Ferreira, J. T. P.; Ferreira, A. C. 2012. Diagnóstico Ambiental das Áreas de Extração de Argila em Município Produtor de Cerâmica Vermelha. In: Enciclopédia Biosfera, Goiânia, 8, 1143 – 2012.
- Ferreira, E. P.; Loss, J. B.; Barcellos, A.; Ferreira, A. F. 2020. Crise hídrica na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce – ES: caracterização, avanços e desafios. Revista Ifes Ciência, 6(4), 114-131. Disponível em: < <https://doi.org/10.36524/ric.v6i4.745>>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- Ferreira, N. H.; Ferreira, C. A. B. V.; Gouveia, I. 2016. C. M. C. Mapa de Fragilidade Ambiental como auxílio para o Planejamento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2016. São Paulo Brasil.
- Franco, G. B.; Betim, L. S.; Marques, E. A. G.; Gomes, R. L.; Chagas, C. S. 2012. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 42, 114-127, 2012. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77716/1/Relacaoqualidade-da-agua-e-fragilidade-ambiental-da-Bacia-do-Rio-Almada.pdf>> Acesso em: set, 2019.
- G1 ES. 2021. Idaf realiza operação para coibir desmatamento em Santa Teresa, ES. Disponível em: <<<https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/12/22/idaf-vai-embargar-areas-de-construcao-e-desmatamento-ilegal-em-santa-teresa-es.ghtml>>>. Acesso em 14 jan 2021.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2017. Mapa das Ottobacias - ES nível 04 nos formatos PDF e JPG, shapefile e publicação no DIO-ES de 28/12/2007 com a Resolução CERH Nº 019/2007, de 13/11/2007. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas>> Acesso em: set. 2019.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br/portal/>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Limites Municipais do ES. Disponível em: <https://ide.geobases.es.gov.br/layers/geonode:ida_f_limite_municipal_2018_11> Acesso em: set. 2019.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Mapeamento ES - 2012-2015 - Uso e Cobertura do Solo. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>>. Acesso em: jul. 2020.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Solos ES – 2016. Disponível em: <https://ide.geobases.es.gov.br/layers/geonode:solos_es_2016> Acesso em: set. 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). BC250 - Unidade da Federação - 1:250 000 – 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>> Acesso em: set. 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Vetorial Continua do Estado do Espírito Santo - 1:100.000 (BC100_ES). Shapefile Hidrografia. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/base_s_cartograficas_continuas/bc100/espírito_santo/shapefile/> Acesso em: set. 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Resolução IBGE nº 1/2005 que altera a caracterização do referencial geodésico brasileiro, passando a ser o SIRGAS-2000. 2005.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. 2021. Disponível em: <<https://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/rppn/ES/?nome=&proprietario=&municipio=4240>>. Acesso em 11 jan. 2021.
- IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. 2021. Idaf realiza operação para coibir desmatamento em Santa Teresa. Disponível em <<<https://www.es.gov.br/Noticia/idaf-realiza-operacao-para-coibir-desmatamento-em-santa-teresa>>>. Acesso em 14 jan 2021.
- IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Ortofotomosaicos 2007/2008.

- IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. Sistema Rodoviário do ES. 2019. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>>. Acesso em: ago. 2020.
- Marañón, G., Mulgado, I. P.; Rodríguez, A. A. 2021. Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 32(1), 154-171. 2020. Recuperado en 04 de enero de 2021, (2020). Disponível em: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222454212020000100154&lng=es&lng=es>. Acesso em 12 dez. 2020.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Áreas Especiais - Unidades de Conservação. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>> Acesso em: abri. 2020.
- Paixão, M. V. S.; Paixão, G. P.; Venzel, S. M. 2014. Qualidade das Águas do Rio Santa Maria. In: III Simpósio da Biodiversidade Mata Atlântica. Santa Teresa/ES. SIMBIOMA, 2014.
- Paredes, D., Cellini, J. M.; Lencinas, M. V.; Parodi, M.; Quiroz, D.; Ojeda, J.; Farina, S.; Rosas, Y. M.; Pastur, G. 2020. Influencia del paisaje en las cortas de protección en bosques de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, Argentina: Cambios en la estructura forestal y respuesta de la regeneración. *Revista Bosque (Valdivia)*, 41(1), 55-64. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000100055>>. Acesso 15 dez. 2020.
- PARH Santa Maria do Doce. 2010. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise Santa Maria do Doce, 2010. Consórcio Ecoplan-Lume.
- Peixoto, C. S.; Silva, C. A.; Mattos, S. H. V. L.; Boin, M. N. 2018. Fragilidade potencial e emergente no município de Ivinhema (MS). *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas*, 1, 9-30, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/5934/0>> Acesso em: set. 2019.
- Pericato, 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*, 29, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>>. Acesso em 04 dez. 2020.
- Pimentel, T. B. 2019. Fragilidade potencial e emergente do relevo de Vitória–ES: subsídios para gestão de riscos e desastres em ambiente urbano. 2019. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.
- Pinto, N. G. M.; Coronel, D. A.; Lopes, M. M.; Silva, R. A. 2013. A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. In: *Anais do 1º Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia e Desenvolvimento*; 2013; Santa Maria.
- Porto, M. F. A.; Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22 (63), 43-60. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>>. Acesso em 04 Jan 2021.
- Ramos, A. L. D.; Coelho, A. L. N. 2019. Avaliação da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Jacaraípe e APA da Lagoa Jacuném, Serra - ES. *CIÊNCIA GEOGRÁFICA*, XXIII, p. 1-334, 2019.
- Ross, J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: *Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo*, 1994.
- Ross, J. L. S. 2006. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- Santos, J. R. U.; Marchioro, 2020. E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento De Geografia*, 39,72-87, 2020.
- Spörl, C. 2001. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari - Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- Spörl, C.; Ross, J. L. S. 2004. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, São Paulo,15,39 – 49, 2004.