

COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO DOS RIOS SÃO FRANCISCO VERDADEIRO E SÃO FRANCISCO FALSO, REGIÃO OESTE DO PARANÁ

Ana Carolina Peterle **Ribeiro**¹, Adelmo Lowe **Pletsch**², Anderson Sandro da **Rocha**³

(1 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, anapeterle@alunos.utfpr.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-6460-1433>, 2- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, adelmo@utfpr.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-4334-2815>, 3 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, andersonrocha@utfpr.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-9225-8209>)

Resumo: A análise da fragilidade ambiental é de suma importância para o estudo de uma bacia hidrográfica, pois permite identificar as áreas com maior propensão de impactos, tornando a sua caracterização mais completa, possibilitando a implementação de ações de prevenção e minimização de problemas relacionados a qualidade ambiental. Diante disso, o presente estudo objetivou determinar a fragilidade ambiental das bacias dos Rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso por meio de diferentes abordagens metodológicas, contemplando as propostas de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006). Para tanto, primeiramente foi realizada a caracterização das bacias hidrográficas a partir da elaboração dos mapas de fragilidade das classes de solo, da declividade e do uso e cobertura da terra. As metodologias apresentaram diferenças apenas para a concepção dos mapas de fragilidade quando atribuídas para as diferentes faixas de declividade. Por meio da interação dos mapas de declividade e de solo, foi possível classificar a fragilidade potencial para cada metodologia abordada. Os mapas de fragilidade potencial foram utilizados juntamente com os mapas de fragilidade do uso e cobertura da terra para conceber os mapas da fragilidade emergente das duas bacias. Com base nesses documentos cartográficos, foi possível verificar que as bacias apresentaram predominância das fragilidades classificadas como baixa e muito baixa. A comparação entre as

metodologias de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006), a partir dos resultados, permitiu observar semelhanças para a fragilidade média e diferenças significativas para a fragilidade potencial baixa e alta. O estudo possibilitou entender que a proposta de Ross (1994) foi a mais indicada para a área de estudo, pois atribui espaçamentos menores para as faixas da declividade acima de 12% de inclinação e maior importância para os relevos mais íngremes (maior que 30%), onde há maior propensão à ocorrência de erosão e perda de solo, sendo a declividade um dos fatores mais relevantes para a determinação da fragilidade ambiental.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental; Geoprocessamento; Bacia Hidrográfica.

COMPARISON OF METHODOLOGIES FOR ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN HYDROGRAPHIC BASINS: CASE STUDY OF SÃO FRANCISCO VERDADEIRO AND SÃO FRANCISCO FALSO RIVERS, WEST PARANÁ REGION.

Abstract: The analysis of environmental fragility is of paramount importance for the study of a watershed, as it allows the identification of areas with greater propensity for impacts, making their characterization more complete, enabling the implementation of actions to prevent and minimize problems related to environmental quality. The present study aimed to determine the environmental fragility of the São Francisco Verdadeiro and São Francisco Falso river basins through different methodological approaches, contemplating the proposals of Ross (1994), Embrapa (1997) and FAO (2006). Firstly, the characterization of the hydrographic basins was carried out from the elaboration of maps of fragility of soil classes, slope and land use and cover. The methodologies showed differences only for the design of the fragility maps when assigned to the different slope ranges. Through the interaction of slope and soil maps, it was possible to classify the potential fragility for each approach. Potential fragility maps were used together with land use and land cover fragility maps to design emerging fragility maps for the two basins. Based on these cartographic documents, it was possible to verify that the basins presented a predominance of weaknesses classified as low and very low. The comparison between the methodologies of Ross (1994), Embrapa (1997) and FAO (2006), based on the results, allowed us to observe similarities for medium frailty and significant differences for low and high potential frailty. The study made it possible to understand that Ross's proposal (1994) was the most suitable for the study area, as it assigns smaller spacings to slopes above 12% of slope and greater importance to steeper reliefs (greater than 30%), where there is a greater

propensity for erosion and soil loss, with slope being one of the most relevant factors for determining environmental fragility.

Key Words: Environmental Fragility; Geoprocessing; Hydrographic basin.

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDIO DE CASO DE LOS RÍOS SÃO FRANCISCO VERDADE Y SÃO FRANCISCO FALSE, REGIÓN OESTE DE PARANÁ.

Resumen: El análisis de la fragilidad ambiental es de suma importancia para el estudio de una cuenca, ya que permite identificar las áreas con mayor propensión a sufrir impactos, haciendo más completa su caracterización, posibilitando la implementación de acciones para prevenir y minimizar problemas relacionados con la calidad ambiental. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la fragilidad ambiental de las cuencas de los ríos São Francisco Verdadeiro y São Francisco Falso a través de diferentes enfoques metodológicos, contemplando las propuestas de Ross (1994), Embrapa (1997) y FAO (2006). En primer lugar, se realizó la caracterización de las cuencas hidrográficas a partir de la elaboración de mapas de fragilidad de clases de suelo, pendiente y uso y cobertura del suelo. Las metodologías mostraron diferencias solo para el diseño de los mapas de fragilidad cuando se asignaron a los diferentes rangos de pendiente. A través de la interacción de mapas de pendiente y suelo, fue posible clasificar la fragilidad potencial para cada enfoque. Los mapas de fragilidad potencial se utilizaron junto con los mapas de fragilidad de uso y cobertura del suelo para diseñar mapas de fragilidad emergentes para las dos cuencas. Con base en estos documentos cartográficos, fue posible verificar que las cuencas presentaron predominio de debilidades clasificadas como bajas y muy bajas. La comparación entre las metodologías de Ross (1994), Embrapa (1997) y FAO (2006), a partir de los resultados, permitió observar similitudes para fragilidad media y diferencias significativas para fragilidad potencial baja y alta. El estudio permitió comprender que la propuesta de Ross (1994) fue la más adecuada para el área de estudio, ya que asigna menores espaciamientos a pendientes superiores al 12% de pendiente y mayor importancia a relieves más escarpados (superiores al 30%), donde existe una mayor propensión a la erosión y pérdida de suelo, siendo la pendiente uno de los factores más relevantes para determinar la fragilidad ambiental.

Palabras clave: Fragilidade ambiental; geoprocessamento; Cuenca hidrográfica.

Introdução

A degradação ambiental ocorre, em grande parte, devido às intervenções humanas que acabam interferindo de muitas formas em todo o meio. Por conta disso, faz-se necessário realização do mapeamento da fragilidade ambiental, amplamente utilizado na identificação das áreas que são mais afetadas pela intervenção humana, para conferir devida atenção ao local afetado, evitando, assim, um comprometimento ainda maior.

Nesta perspectiva, verifica-se que as bacias conferem um excelente campo para estudos de fragilidade ambiental, uma vez que seu estado de equilíbrio é capaz de ser facilmente modificado, com consequências que podem ser irreversíveis e que refletirão na qualidade da água, dada a sua sensibilidade aos impactos (Franco, 2010). Sendo assim, os cursos d'água são utilizados como indicadores de manejo do solo pelo homem. Dessa forma, os rios que drenam uma região apresentam suas águas com características físico-químicas próprias, as quais refletem as características pedológicas e geológicas da bacia e as atividades de uso do solo da região à montante.

A fragilidade ambiental é a suscetibilidade do ecossistema a mudanças em seu equilíbrio dinâmico de acordo com suas características intrínsecas e extrínsecas. Estudos recentes usam o conceito para avaliar a suscetibilidade de ecossistemas naturais sob diversas condições, incluindo vulnerabilidade de habitat ecológico (Caniani et al., 2016), poluição de aquíferos (Caniani et al., 2015; Jesiya e Gopinath, 2019), eventos de inundação (Nasiri et al., 2018; Santos et al., 2019) e degradação ambiental (Macedo et al., 2018; Arriagada et al., 2019). No contexto da análise ambiental de bacias hidrográficas, o mapeamento da fragilidade ambiental caracteriza-se como uma importante ferramenta para identificar o nível de degradação que ocorre nos componentes de paisagem como relevo, solo, clima e cobertura vegetal.

Recentes estudos registram a importância de se realizar a análise de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas como Santos e Nascimento (2021), para a bacia do Rio de Janeiro, na Bahia; Albuquerque e Medeiros (2017) no Ceará; Santos et al. (2021) para a bacia hidrográfica do Rio Piracuruca, no Piauí; e Abrão e Bacani (2018) para a bacia do Rio Santo Antônio, no Mato Grosso do Sul.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica tem se apresentado como unidade de gestão e planejamento ambiental, principalmente a partir da institucionalização das leis de recursos hídricos. A partir da década de 1990, com a publicação da lei 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual também cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, inicia-se uma nova fase de gestão ambiental no Brasil (Ribeiro, 2020). Portanto, verifica-se que a identificação dos ambientes naturais e das fragilidades potencial e emergente proporciona uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental e planejamento do território.

Para analisar a fragilidade natural de uma área, são considerados alguns aspectos como: relevo, geologia, hidrografia, vegetação e pluviometria. Através dos resultados obtidos, os índices de fragilidade podem apresentar diferentes graus de fragilidade potencial associados aos aspectos físicos naturais. A partir da fragilidade potencial, é possível definir a fragilidade emergente, em que se atribui a variável humana e, assim, com base nos resultados, pode-se realizar a tomada de decisão que venha a diminuir ou reverter o processo de degradação do meio ambiente (Ribeiro, 2020).

Para ser efetivo, o planejamento das formas de uso e ocupação da terra deve considerar a fragilidade do ambiente à degradação, monitorando processos que afetam diretamente o fornecimento de bens e serviços ambientais, como atividades relacionadas à erosão do solo, assoreamento de cursos d'água e perda de biodiversidade.

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) - voltados ao diagnóstico, gestão e análise ambiental em bacias hidrográficas, entre outras funções - são relevantes por permitir uma análise integrada das diversas características ambientais de uma área. Os dados da bacia hidrográfica possuem uma seção de análise, na qual são trabalhadas e apresentadas as informações espaciais e suas interações. Além disso, o uso de geoprocessamento e imagens de sensoriamento remoto facilitam a integração e inter-relação das informações (Alves, 2021).

Neste sentido, nota-se que a utilização de ferramentas de geoprocessamento auxilia no desenvolvimento de técnicas e metodologias para a identificação de áreas que podem estar sendo modificadas principalmente pela ação antrópica, ocasionando a escassez ou diminuição da qualidade dos recursos naturais. Essas metodologias favorecem a identificação das áreas suscetíveis à degradação, subsidiando ações de planejamento que restrinjam e direcionem o uso

e ocupação do solo. Dito de outro modo, os dados gerados por essas metodologias permitem prevenir e minimizar o surgimento de problemas relacionados à qualidade ambiental (Ribeiro, 2020).

Portanto, o mapa de fragilidade ambiental torna-se uma ferramenta muito importante e amplamente utilizada por órgãos públicos, por proprietários de terras e produtores rurais, pois possibilita que seja feita avaliação das características ambientais, considerando suas restrições e potencialidades de forma integrada (Tomczyk, 2011).

Com aumento do uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, tem-se tornado cada vez mais imprescindível o planejamento físico territorial, devendo ser considerados os fatores ambientais de diversas ordens. Isto é, não se deve levar em conta apenas a potencialidade de uso de determinada área, mas também sua fragilidade em relação à intervenção antrópica (Donha et al., 2006).

Frente ao exposto, convém explicitar que a Mesorregião do Oeste do Paraná apresenta um dos maiores índices de fragmentação da vegetação natural do estado (Tossulino et al., 2007). Essa região faz parte da ecorregião Mata Atlântica do Alto Paraná - uma das 15 ecorregiões identificadas no Bioma Mata Atlântica (Di Bitetti et al., 2003) - e compreende duas importantes áreas protegidas: o Parque Nacional do Iguaçu e a Área de Preservação Permanente do Rio Paraná, localizada às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Seganfredo 2019).

Em vista disso, o presente estudo propõe a caracterização da fragilidade ambiental das bacias dos Rios São Francisco Verdadeiro (BSFV) e São Francisco Falso (BSFF), situados no oeste do Paraná, por meio de diferentes variáveis e abordagens metodológicas, que serão apresentadas na sequência.

Materiais e métodos

Os procedimentos metodológicos foram realizados em duas etapas. A primeira envolveu o mapeamento temático com a construção de cartas de solo, hipsometria, declividade e uso e cobertura da terra. A segunda etapa, por sua vez, constituiu a elaboração das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergentes, com diferentes abordagens metodológicas. Após essas etapas, finalmente foi possível comparar os resultados da análise de fragilidade ambiental com os estudos de potencial erosivo de Fronza (2019), que também analisou as bacias

em estudo. É pertinente esclarecer ainda que todos os mapeamentos foram elaborados em ambiente SIG, no software de livre acesso QGis 2.18.17.

Mapeamento Temático

O processamento dos dados ocorreu integralmente no software QGIS, na versão 2.18.17, com o auxílio da ferramenta GRASS. Sendo assim, basicamente foi criado um projeto, utilizando o SIRGAS 2000 (EPSG:4674) como sistema de coordenadas padrão.

As imagens SRTM foram utilizadas para criar o mapa de declividade, tanto para a metodologia de Ross (1994), quanto para Embrapa (1997) e FAO (2006). Para isso, foi empregada primeiramente a ferramenta declividade, criando um mapa com declividade que varia de 0% a 100%. Posteriormente, usou-se a ferramenta *r.reclass*, adotando as faixas de declividade definidas pelos autores supracitados. Vale ressaltar ainda que, para execução dessa ferramenta, foram utilizadas linhas de comando.

Para o mapa de solos, a classificação ocorreu de acordo com Ross (1994). Além disso, foi utilizado um mapa de solos elaborado por Fronza (2019), contendo dados fornecidos pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná – ITCG, que foram recortados para a área de estudo. Como o mapa do tipo de solos estava em formato vetorial, na tabela de atributos, foi acrescentada uma coluna sobre a fragilidade relacionada para cada classe de solo. Em seguida, os dados de solos foram convertidos para o formato raster utilizando a coluna de fragilidade. Desta forma, foi obtido o mapa do índice de fragilidade do solo.

O mapa de uso e ocupação da terra também foi desenvolvido de acordo com Ross (1994), que classifica os atributos em área urbana, florestas e matas naturais, formações arbustivas naturais e pastagens com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo em curvas de nível e silvicultura de eucaliptos, cultivo de ciclo longo de baixa densidade e culturas de ciclo longo, áreas desmatadas, solo exposto, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, terraplanagens e áreas de mineração. Nesse mapeamento, então, foram identificados os seguintes usos: área de vegetação, agricultura e área urbana.

Com relação às cartas de hipsometria e declividade, verifica-se que foram geradas e recortadas de maneira a limitar-se somente à área de estudo previamente vetorizada. Já a carta de solos foi elaborada com dados fornecidos pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná – ITCG (Paraná, 2008), com escala de 1:250.000.

No que se refere à elaboração do mapeamento de uso e ocupação do solo, evidencia-se que foi empregado o processo de classificação supervisionada, escolhendo-se as cenas mais recentes disponíveis, obtidas pelo satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 metros. Os dados foram convertidos de número digital para reflectância no topo da atmosfera, selecionando a correção pelo método DOS 1. Após essa conversão, os dados foram recortados para a área de interesse e inúmeras assinaturas espectrais foram coletadas para as diferentes classes de uso e cobertura da terra: água, agricultura, pastagem e vegetação. As áreas urbanas foram vetorizadas manualmente após o término e verificação da classificação supervisionada. Ao final, calculou-se a área de cada classe, para ambas as bacias, utilizando-se a ferramenta r.report, do GRASS GIS. A partir dos mapas temáticos, foi possível determinar a fragilidade potencial e fragilidade emergente das bacias. Destaca-se ainda que todos os mapas elaborados foram padronizados e transformados em raster para a sua composição final.

Fragilidade Potencial:

Para elaboração dos mapas de fragilidade potencial, segundo a classificação de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006), foram utilizados como base os mapas de declividade e solos.

Com base nos limites geotécnicos estipulados pelas metodologias desses autores, definiu-se o primeiro critério de classificação: a declividade, organizada em cinco classes de fragilidades (Tabela 1). Nessa classificação, os relevos que apresentaram baixo grau de inclinação foram classificados como relevos com menor fragilidade e, por conseguinte, os relevos que apresentaram alto grau de inclinação foram considerados de alta fragilidade, tendo em vista os riscos aos processos erosivos e movimentos de massa.

Tabela 1 - Classificação da Fragilidade de acordo com a declividade			
Classes de Fragilidade	Declividade (Ross, 1994)	Declividade (Embrapa, 1997)	Declividade (FAO, 2006)
1 – Muito Baixa	< 6%	< 3%	< 5%
2 – Baixa	6 - 12%	3 - 8%	5 – 10%
3 – Média	12 - 20%	8 - 20%	10 – 15%
4 – Alta	20 - 30%	20 - 45%	15 – 30%
5 – Muito Alta	> 30%	> 45%	> 30%

Outro fator analisado na definição da fragilidade potencial foi o tipo de solo (Tabela 2). Neste sentido, os solos mais intemperizados, profundos e de boa drenagem, como os Latossolos e Nitossolos, foram classificados como solos de baixa fragilidade. Em contrapartida, os solos mais rasos e mal drenados, como os Neossolos e Gleissolos, foram classificados como de alta fragilidade.

Tabela 2 - Classificação da Fragilidade de acordo com os tipos de solo

Classes de Fragilidade	Solos (Ross, 1994)
1– Muito Baixa	Latossolo Vermelho, textura argilosa
2 – Baixa	Nitossolo Vermelho, textura argilosa
3 – Média	Latossolo Vermelho, textura média
4 – Alta	Argissolo Vermelho, textura média/arenosa
5 – Muito Alta	Neossolos, Gleissolos, Organossolos

Com base nos níveis de fragilidade de solo e declividade, foi possível classificar a fragilidade de cada ponto de forma individual, estipulando pesos que variam de muito baixa (1) até muito alta (5). Para realização do cálculo da fragilidade potencial, utilizou-se a calculadora raster do software QGIS. Para tanto, levando em consideração as metodologias dos autores mencionados anteriormente, foram empregadas as seguintes equações:

Fragilidade potencial segundo Ross (1994):

$$(D + S) / 2 = FP \quad (1)$$

Em que: D = Declividade; S = Solos e FP = Fragilidade Potencial

Fragilidade potencial segundo Embrapa (1997):

$$(D + S) / 2 = FP \quad (2)$$

Em que: D = Declividade; S = Solos e FP = Fragilidade Potencial

Fragilidade potencial segundo FAO (2006):

$$(D + S) / 2 = FP \quad (3)$$

Em que: D = Declividade; S = Solos e FP = Fragilidade Potencial

Fragilidade Emergente:

No que tange à elaboração do mapa da fragilidade emergente, seguindo a classificação estabelecida por Ross (1994), foram definidas as classes de fragilidade para, desse modo, classificar o mapa de uso e ocupação do solo. Sendo assim, uma área de mata natural e florestas foi definida como área de proteção muito alta, ou seja, de fragilidade muito baixa. Neste sentido, uma área de solo exposto possui baixa proteção e, por isso, foi classificada com fragilidade muito alta (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação da Fragilidade de acordo com o Uso e Ocupação da Terra	
Classes de Fragilidade	Uso e Ocupação (Ross, 1994)
1 - Muito Baixa	Florestas e Matas Naturais
2 – Baixa	Formações arbustivas naturais e pastagens com baixo pisoteio de gado
3 – Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível e silvicultura de eucaliptos
4 – Alta	Cultivo de ciclo longo de baixa densidade e culturas de ciclo longo
5 - Muito Alta	Áreas desmatadas, solo exposto, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas, terraplanagens e áreas de mineração

Cabe enfatizar que, para realizar os cálculos da fragilidade emergente, com a calculadora raster do software QGIS, foram consideradas as equações apresentadas abaixo:

Fragilidade Emergente segundo Ross (1994):

$$(FP + UO) / 2 = FE \quad (4)$$

Em Que: FP = Fragilidade Potencial, UO = Uso e Ocupação e FE = Fragilidade Emergente

Fragilidade Emergente segundo Embrapa (1997):

$$(FP + UO) / 2 = FE \quad (5)$$

Em Que: FP = Fragilidade Potencial, UO = Uso e Ocupação e FE = Fragilidade Emergente

Fragilidade Emergente segundo FAO (2006):

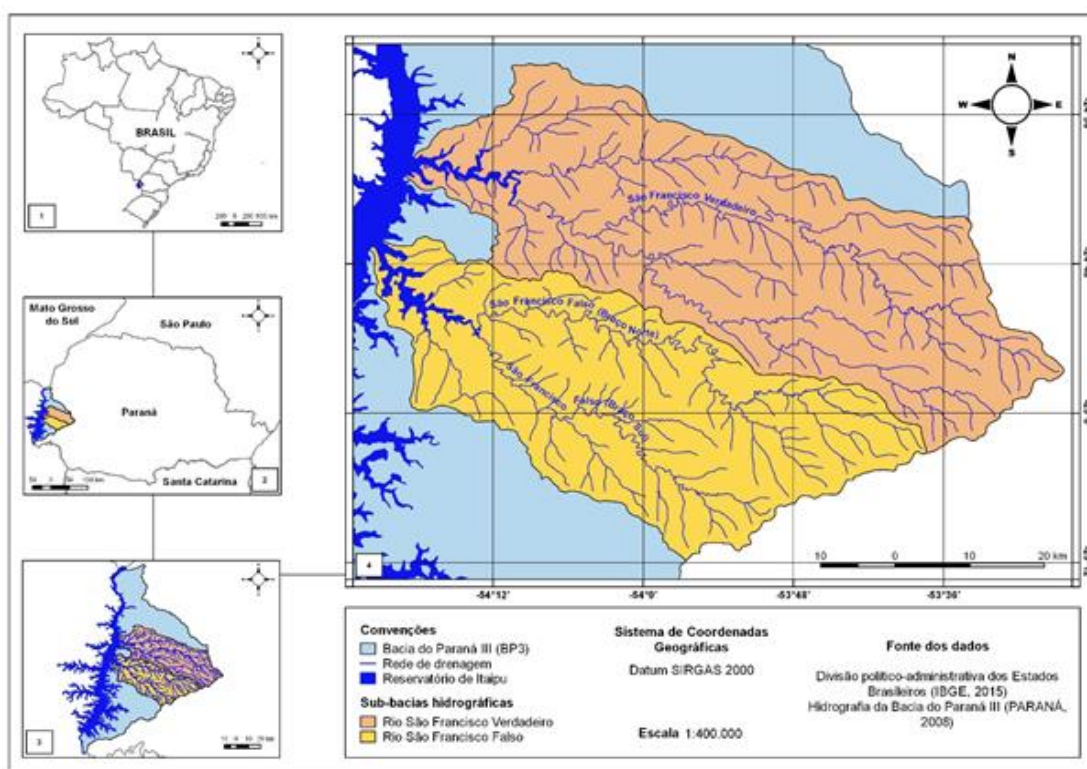
$$(FP + UO) / 2 = FE \quad (6)$$

Em Que: FP = Fragilidade Potencial, UO = Uso e Ocupação e FE = Fragilidade Emergente

Caracterização da Área de Estudo

As bacias hidrográficas do Rio São Francisco Verdadeiro e Rio São Francisco Falso encontram-se situadas na região Oeste do Estado do Paraná e dentro da unidade hidrográfica do Paraná 3 (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo



Tais bacias abrangem de maneira total e ou parcial o território de 17 municípios, sendo eles: Cascavel, Céu Azul, Diamante D'Oeste, Entre Rios do Oeste, Marechal Cândido Rondon, Matelândia, Missal, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia, Santa Helena, Santa Tereza do Oeste, São José

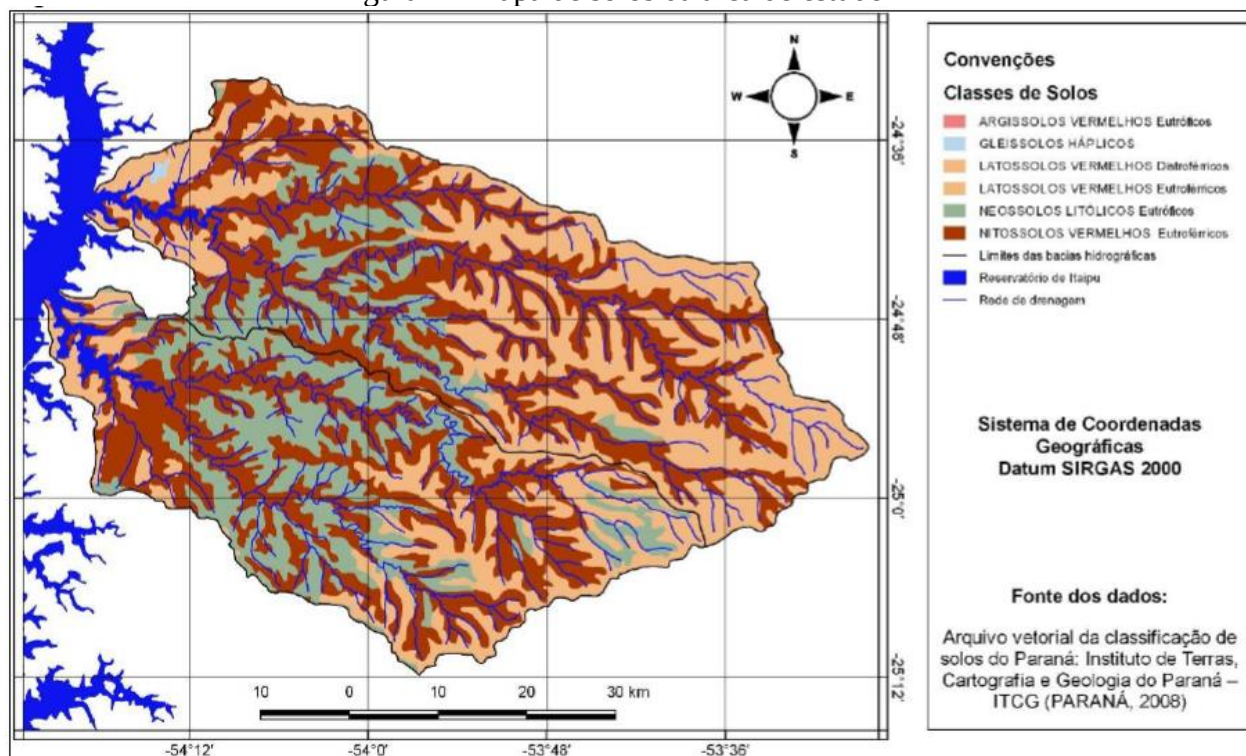
das Palmeiras, São Pedro do Iguaçu, Toledo e Vera Cruz do Oeste. Verifica-se, então, que as Bacias Hidrográficas do São Francisco Verdadeiro e Falso compõem um conjunto de bacias que formam a Bacia do Paraná 3 (BP3) e dispõem de aproximadamente 2144 km² e 1703 km², respectivamente, de área na mesorregião Oeste do Paraná (Itaipu, 2009).

Resultados e Discussão

Os mapas de declividade, de classe de solos e de uso e ocupação foram elaborados e utilizados para obtenção dos resultados das fragilidades ambientais potencial e emergente.

Em relação à condição pedológica das bacias (Figura 2), é possível observar que os principais solos encontrados na área de estudo são os Latossolos, Neossolos e Nitossolos. Nas áreas próximas às redes de drenagem, evidencia-se a presença de Nitossolos Vermelhos e, em áreas de alto curso das bacias, há predominância dos Latossolos Vermelhos de textura argilosa. Os Neossolos, por sua vez, estão localizados principalmente nas áreas de médio curso da bacia. Além disso, verifica-se que os Argissolos e Gleissolos têm a menor ocorrência na área de estudo, estando localizados próximos ao leito dos rios e as margens do reservatório de Itaipu.

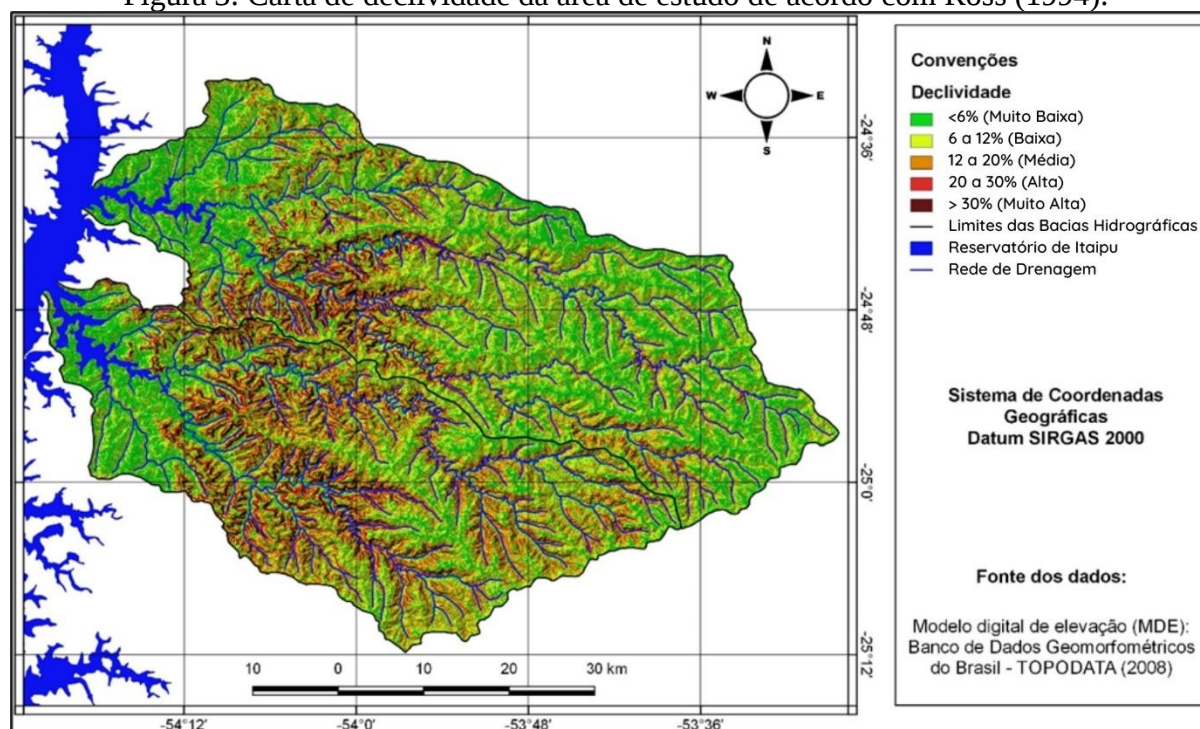
Figura 2 - Mapa de solos da área de estudo



Fonte: Fronza (2019)

A respeito das condições topográficas, nota-se diferentes índices de inclinação no setor de alto, médio e baixo curso das bacias (Figura 3). No setor de alto curso, onde ocorrem terrenos mais elevados, para a BSFV, há relevos mais planos onde predominam declividades na faixa de muito baixa a baixa (0-12%).

Figura 3: Carta de declividade da área de estudo de acordo com Ross (1994).



Já no setor de médio curso, há ocorrência de relevos mais dissecados, onde é mais intensa a presença de declividades na faixa de baixa a alta (6-30%), com faixas de declividade muito alta (>30%). No setor de baixo curso, onde há terrenos com menor elevação, próximos ao lago de Itaipu, observa-se novamente áreas com relevos de baixa dissecação, com declividade predominantemente muito baixa (<6%).

Na BSFF, constata-se que o comportamento geomorfológico se assemelha ao da BSFV, com exceção da região de alto curso da bacia, onde também ocorrem relevos com declividade média a alta (12-30%).

Neste sentido, pode-se afirmar que, de modo geral, em ambas as bacias, predominam as classes de declividade muito fraca e fraca. Evidencia-se, também, que a BSFF possui frações maiores de declividades médias, forte e muito forte devido ao maior grau de dissecação do

terreno que também ocorre no setor de alto curso. Tal fato é menos expressivo na BSFV, uma vez que há ocorrência de relevos mais planos.

No que tange especificamente à carta de uso e ocupação da terra, foi possível perceber a predominância das atividades agrícolas, tendo em vista que abrange cerca de 65% do total da área de estudo por apresentar um terreno mais dissecado, com declividades entre 20 e 30%. De acordo com Fronza (2019), a pastagem apresenta uma fração de 6,16% e a vegetação 20,75%. Nota-se, então, que a BSFF apresenta uma maior área destinada à pastagem e isso acontece porque terrenos mais declivosos possuem maiores restrições quanto à mecanização agrícola. Já a BSFV tem a maior parte de sua área ocupada por agricultura, uma vez que seu terreno é menos dissecado e apresenta maiores porções de solo do tipo Latossolos, propícios para a mecanização agrícola.

Especificamente sobre a classificação da fragilidade potencial (Figura 4), destaca-se que foi obtida por meio da avaliação objetiva das características naturais do ambiente. Tal classificação está relacionada à susceptibilidade do ambiente em condição de submissão às intervenções ou perturbações antrópicas. Trata-se, portanto, de uma questão que merece atenção porque, quando o equilíbrio dinâmico é quebrado, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de susceptibilidade à degradação ambiental (Sporl; Ross, 2004; Albaladejo et al., 2021).

Ademais, reafirma-se que, neste estudo, foram utilizadas as características de declividade e tipo do solo. Diante disso, é pertinente destacar que, como a fragilidade potencial é a média do índice da fragilidade da declividade com o índice de fragilidade do tipo de solo, nem sempre, quando o índice de fragilidade da declividade for classificado como baixa, a fragilidade potencial será baixa também.

Visando comparar os dados obtidos a partir da utilização das três metodologias, elaborou-se a Tabela 4. A partir dessa comparação, pode-se observar que o estudo utilizando a metodologia de Ross (1994) apresentou maiores áreas de fragilidade potencial baixa (50,9%), valor próximo à fragilidade potencial quando empregada a metodologia da Embrapa (1997) (51,43%). Em contrapartida, as metodologias obtiveram resultados diferentes quanto as fragilidades potenciais muito baixa e média. Isto porque, para Ross (1994), a classe muito baixa obteve 15,2%, enquanto, para Embrapa (1997), obteve apenas 3,7%. No caso da classe média,

de um lado, o emprego da metodologia de Ross (1994) apresentou apenas 16,2% e, de outro, para Embrapa (1997), apresentou 25,8%.

Figura 4. Fragilidade Potencial segundo Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006)

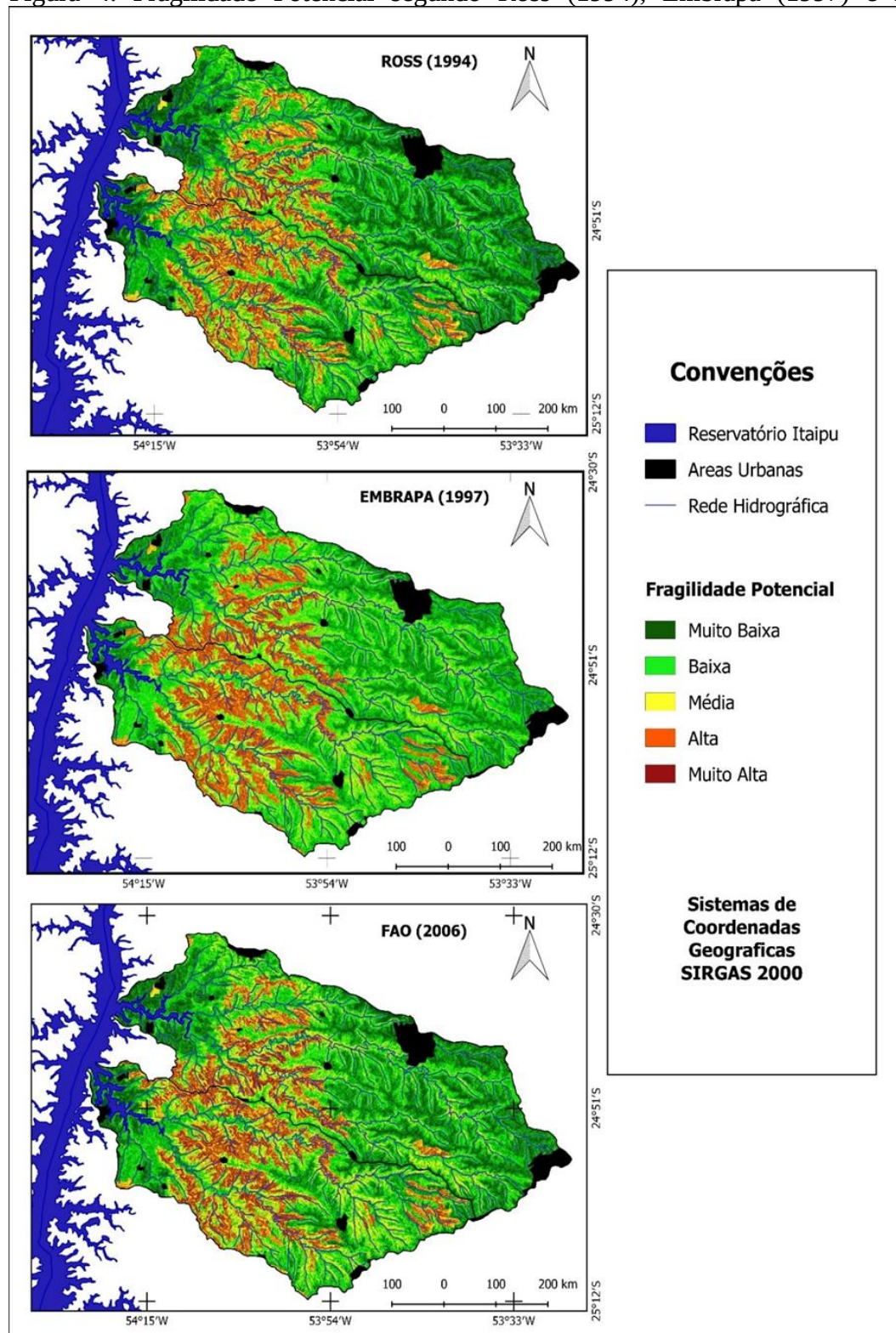


Tabela 4 - Fragilidade Potencial em Percentagem e Km²

Fragilidade Potencial	(Ross, 1994)		(Embrapa, 1997)		(FAO, 2006)	
	Área em Km ²	Área em %	Área em Km ²	Área em %	Área em Km ²	Área em %
Muito Baixa	596,05	15,18%	151,53	3,86%	432,41	11,01%
Baixa	1998,53	50,89%	2019,99	51,43%	1925,05	49,01%
Média	636,57	16,21%	1012,54	25,78%	840,23	21,39%
Alta	494,41	12,59%	541,53	13,79%	405,42	10,32%
Muito Alta	201,9	5,14%	201,87	5,14%	324,43	8,26%
Total	3927,5	100,00%	3927,5	100,00%	3927,5	100,00%

As metodologias de Embrapa (1997) e FAO (2006) apresentaram valores para a fragilidade muito baixa bem diferenciados, pois Embrapa (1997) apresentou 3,86% enquanto FAO (2006) 11,01%. Pode-se notar então que, para essa área, a metodologia de FAO (2006) apresentou mais espaços com menor fragilidade do que a metodologia da Embrapa (1997). A respeito disso, é necessário esclarecer que o modelo de cálculo de fragilidade da metodologia de FAO (2006), para essa área, é menos rigoroso quando comparado com o da Embrapa (1997). Porém, no que se refere às classificações de fragilidades baixa, média, alta e muito alta, as duas metodologias apresentaram um percentual aproximado.

Já entre as fragilidades potenciais, baseadas nas metodologias de Ross (1994) e FAO (2006), foi possível perceber que apresentaram diferenciação mais acentuada nas áreas com fragilidades médias: 16,21%, 636,57 Km² para Ross (1994) e 21,39%, 840,23 Km² para FAO (2006). Pode-se afirmar, então, que o primeiro possui uma metodologia em que a fragilidade potencial é menos acentuada em relação à metodologia do segundo.

Para estabelecer a fragilidade emergente de uma área determinada, não basta somente conhecer a relação entre as variáveis naturais e antropogênicas, é também necessário aplicar a metodologia selecionada e/ou na área de interesse. Na Tabela 5, apresentada a seguir, observa-se os valores numéricos correspondentes aos índices de fragilidade emergente e, na Figura 5, a fragilidade emergente da área de acordo com as metodologias de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006).

Observando a fragilidade emergente das bacias, de acordo com a metodologia Ross (1994), é possível verificar que o índice de fragilidade que mais se acentua é a média, com sua

área de ocupação distribuída em toda bacia, cobrindo cerca de 64,27% e uma área de 2524,12 km².

Figura 5. Fragilidade Emergente segundo Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006)

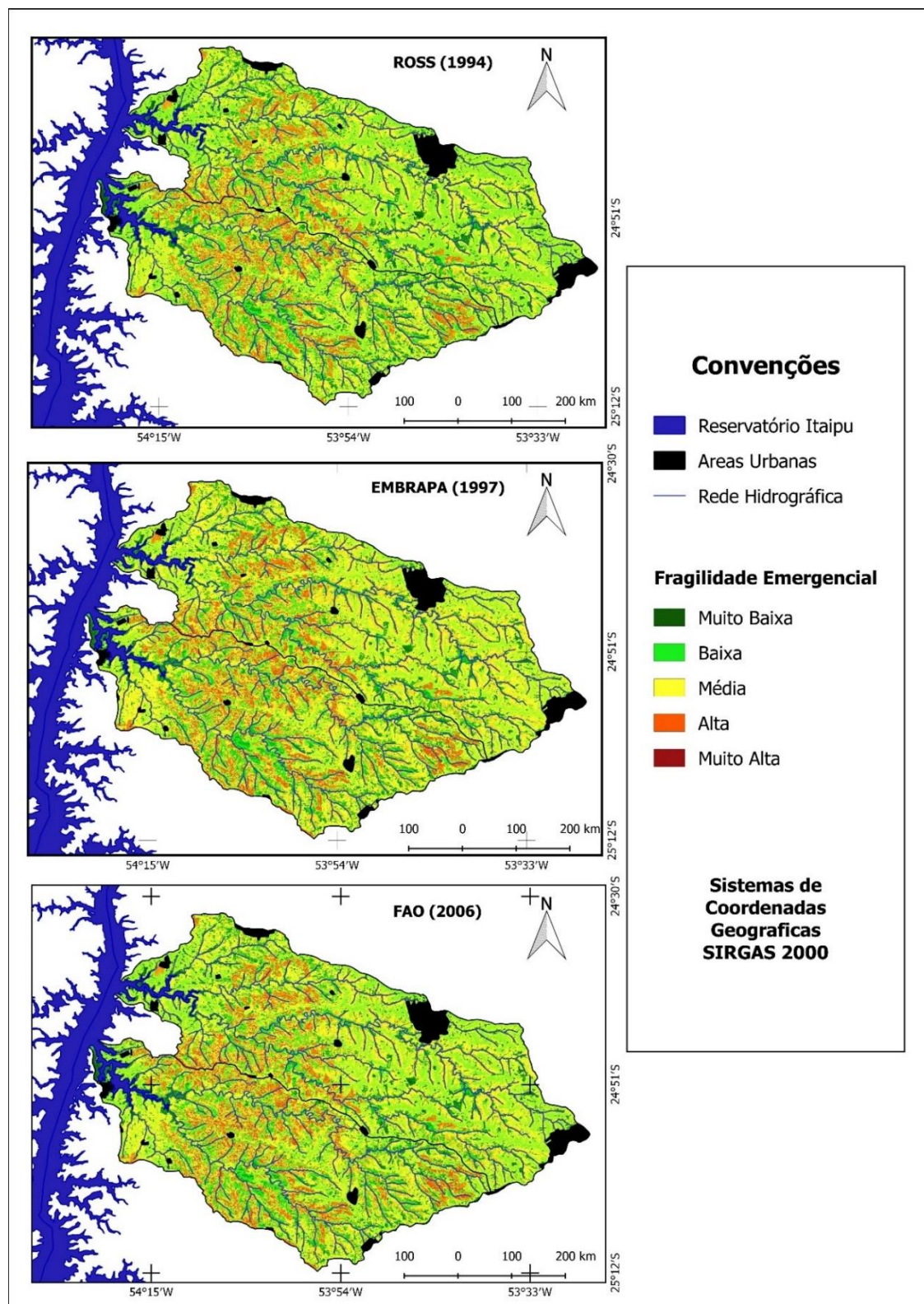


Tabela 5 - Fragilidade Emergente em Percentagem e Km²

Fragilidade Potencial	(Ross, 1994)		(Embrapa, 1997)		(FAO, 2006)	
	Área em Km ²	Área em %	Área em Km ²	Área em %	Área em Km ²	Área em %
Muito Baixa	281,42	7,17%	150,6	3,83%	230,98	5,88%
Baixa	687,21	17,50%	790,25	20,12%	697,15	17,75%
Média	2524,12	64,27%	2579,4	65,67%	2490,8	63,42%
Alta	412,13	10,49%	405,69	10,33%	485,98	12,37%
Muito Alta	22,59	0,58%	1,57	0,04%	22,55	0,57%
Total	3927,5	100,00%	3927,5	100,00%	3927,5	100,00%

Na proposta em que emprega os índices de Ross (1994), a fragilidade muito alta é quase imperceptível, representando apenas 0,58% e uma área de apenas 22,59 km². Para a Metodologia da Embrapa (1997), a fragilidade emergente que mais se acentua é a fragilidade média, cobrindo cerca de 65% da área total da bacia, com a ocorrência nos setores baixos e médios ao longo das duas bacias. A alta fragilidade tem maior credencial na área média do curso. Também é verificado que o alto índice de fragilidade não é muito representado, apenas 0,04% da área de estudo. Sobre isso, é válido ressaltar que essas áreas são encontradas em locais de maior dissecação, especialmente onde as declividades são até 30% nas bacias.

Verifica-se que, na proposta da FAO, a fragilidade emergente que se destaca também é a média, em áreas que ocupam 63,42%. Essa fragilidade tem uma área de 2490,8 Km² e está localizada de forma disseminada através de vários setores das bacias, principalmente perto dos cursos hídricos, onde estão presentes os Nitossolos e declividades entre baixas e muito baixas. Por outro lado, a fragilidade com menor porcentagem é a muito alta, visto que possui somente 0,57% e 22,5 Km² de área ocupada, uma fração menor que as demais fragilidades.

Ao confrontar as metodologias de Ross (1994) e Embrapa (1997), nota-se que as diferenças maiores se referem à fragilidade emergente muito baixa, tendo em vista que Embrapa (1997) apresenta um percentual de 3,83% e Ross (1994) apresenta o percentual de 7,17%. Da mesma forma, verificando a metodologia da Embrapa (1997) com a metodologia de FAO (2006), percebe-se que a fragilidade emergente muito alta é a que mais difere entre as duas, já que para FAO (2006) há 22,55 Km², representando áreas mais abrangentes do que para Embrapa (1997), com 1,57 Km². Diante disso, acredita-se que a principal diferença entre os resultados observados nos mapas de fragilidade emergente está relacionada ao menor distanciamento entre os níveis de declividade de solo no método de cálculo.

A espacialização das áreas com alta e muito alta fragilidade ambiental, de acordo com as metodologias abordadas neste estudo, apresentadas na Figura 6, concentram-se de forma setorizada na região central das bacias, abrangendo principalmente a porção que compreende o médio curso. Também se observa uma concentração de fragilidades alta no setor leste da bacia do rio São Francisco Falso.

Áreas que apresentam fragilidade ambiental caracterizada como alta e muito alta, conforme as propostas de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006), estão localizadas na região de média vertente. Nessas áreas, estão presentes individualmente solos do tipo Neossolos, solos menos profundos e menos estáveis, algumas vezes inseridos com Nitossolos, solos que são agricultáveis e férteis, mas que se deparam em relevos íngremes (entre 20 e 30%). Além disso, ainda nessa área, há relevos mais dissecados com faixas de ondulação maiores e declividades entre a 30 e 40% de declividade. Ainda que ocorram relevos com alta dissecação, é possível verificar uso de atividades agrícolas intercaladas por pastagens. Nesses setores, também se nota escassas áreas com vegetação natural, fato que resulta no elevado nível de fragilidade adjunto ao uso do solo e, em consequência, da fragilidade emergente.

É pertinente pontuar ainda que outros autores também elaboraram análises de fragilidade ambiental. Lira (2022), por exemplo, realizou um estudo de fragilidade ambiental na Bacia Arroio Marreco no Oeste do Paraná, utilizando a lógica Fuzzy, com parâmetros como tipos de solo, declividade e uso e ocupação dos solos de acordo com a metodologia de Ross (1994). Amorim (2021), por sua vez, analisou a microbacia do Murundú-Paiol no sudoeste de estado de São Paulo, propondo uma metodologia diferenciada, também utilizando parâmetros como uso e ocupação do solo e declividade, estabelecendo comparação com a metodologia de Ross (1994), que é a mais usual. Já Campos (2021) integrou a metodologia de Ross (1994) com a de Crepani (2001) para verificar a fragilidade ambiental na bacia do Rio Caratinga – MG, onde as duas metodologias possuem variáveis e índices diferentes.

Aliás, também existem outros índices ambientais nas bacias dos rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso, como com relação ao potencial erosivo (Figura 7), desenvolvido em trabalhos precedentes, como o de Fronza (2019). Neste sentido, ao se relacionar os dados com as áreas de fragilidade ambiental, pode-se verificar interações importantes no âmbito da análise espacial.

Figura 6. Espacialização das áreas de Alta e Muito Alta Fragilidade Emergente das Bacias do Rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso. (Ross, 1994)

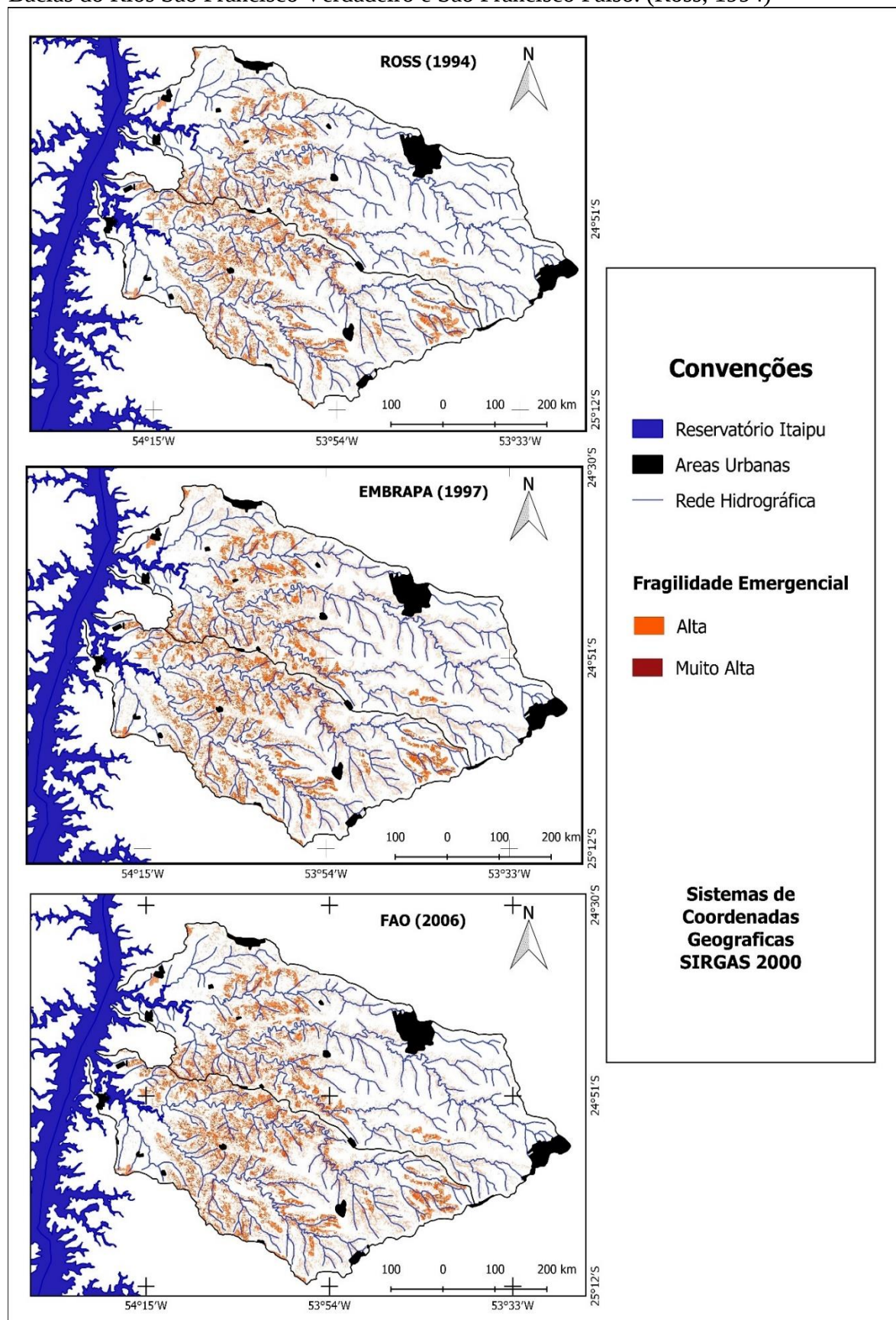
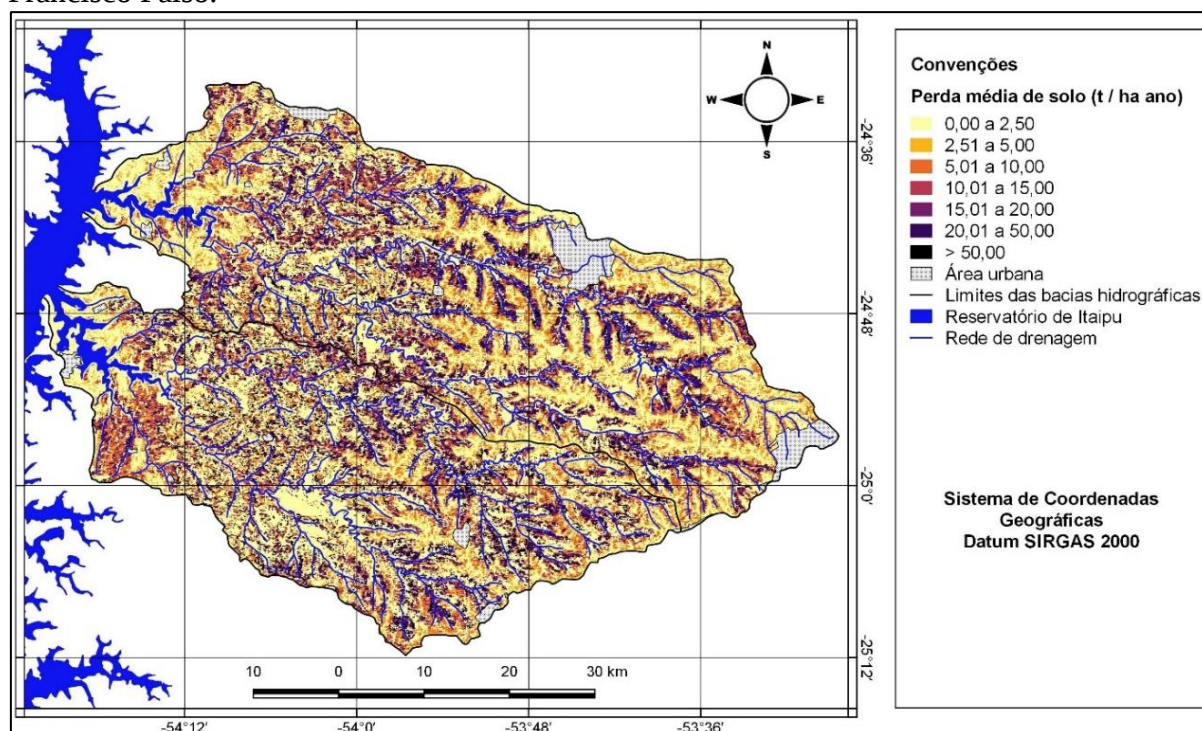


Figura 7. Carta de potencial erosivo das Bacias do São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso.



Ressalta-se que o cálculo do potencial erosivo das bacias foi realizado através da Equação Universal de Perda de Solo, elaborado por Franza (2019).

Pode-se observar com a correlação entre a fragilidade ambiental e o potencial erosivo que, nos setores de alto e baixo curso dos rios, onde a fragilidade ambiental é baixa e muito baixa, os níveis de potencial erosivo também são baixo e muito baixo. A presença de Latossolos faz com que os níveis de fragilidade ambiental e potencial erosivo seja baixo por serem solos que possuem uma boa drenagem e, por esse motivo, tornam-se mais resistentes.

Já no setor de médio curso dos rios, onde a fragilidade ambiental está classificada entre alta e muito alta, os níveis de potencial erosivo também se encontram em mais elevados. Diante disso, pode-se constatar que, nas áreas onde concentram potencial médio e alto de perda de solo no setor de médio curso, também ocorrem solos mais frágeis, como os Neossolos e o uso intensivo de pastoreio e agricultura. Sendo assim, tais áreas ficam mais suscetíveis a uma maior quantidade de perda de solo, resultando consequentemente em uma fragilidade ambiental alta e muito alta.

Em outros estudos, também foi verificada a forte influência do fator LS (comprimento de rampa e declividade) para a predição da erosão do solo. Barbosa et al. (2015) verificaram

que os maiores valores de erosão, para sua área em estudo, foram regiões de relevo dissecado com maior incidência de chuvas, onde os fatores LS e R (erosividade das chuvas) combinavam-se de maneira mais acentuada.

De acordo com Demarchi e Zimback (2014), nessas regiões onde o fator LS apresenta valores elevados, predomina o escoamento superficial da água pluvial, promovendo o arraste das partículas de solo.

Ao comparar a fragilidade ambiental emergente e o potencial erosivo, percebe-se ainda que, além dos setores de médio curso, os setores de alto curso e baixo curso, também merecem atenção no segmento médio baixo da vertente. Isto porque o potencial erosivo é alto nesses segmentos e a fragilidade emergente caracteriza-se como média.

Dessa forma, a fragilidade emergente, caracterizada como média, indica a necessidade de práticas de conservação do solo nesses setores. Nesse processo comparativo, verifica-se em menor proporção áreas em que o potencial erosivo se apresenta baixo, enquanto a fragilidade emergente caracteriza-se como alta. Essa realidade ocorre especificamente nas áreas com presença dos Gleissolos, em que a realidade pedológica e topográfica indica baixa perda de solo, mas alta fragilidade ambiental.

Assim, esse conjunto de correlações e comparações metodológicas evidenciam que, diferentes variáveis e análises podem demonstrar resultados diferenciados, com importantes variações espaciais no processo de determinação de índices de fragilidade e/ou vulnerabilidade ambiental em estudos de bacias hidrográficas.

Considerações Finais

- Frente as considerações e dados apresentados até o momento, verifica-se que, para as fragilidades emergentes, as metodologias de Ross (1994), Embrapa (1997) e FAO (2006) mostram similaridade em relação às classes de fragilidade média, entretanto, apresentam resultados diferentes em valores percentuais no que se refere à área total para as fragilidades baixa e alta.
- Levando em consideração os resultados obtidos em Km², nota-se uma melhor visualização da diferença entre as metodologias. Por exemplo, a faixa da fragilidade emergente muito alta é cerca de 14 vezes maior em área nas metodologias de Ross

(1994) e FAO (2006), quando comparada a mesma faixa para metodologia da Embrapa (1997).

- Nesta perspectiva, entende-se que tais variações de espaçamento nas porcentagens de fragilidade associadas à declividade são muito importantes e podem ser determinantes no processo de aplicação de análise de fragilidade, tendo maior influência nos índices de fragilidade potencial baixa e nos índices de fragilidade emergente alta.
- Para áreas que tenham uma fragilidade ambiental alta e muito alta, propõem-se uma análise detalhada das práticas de uso e manejo aplicadas na área no contexto atual, buscando avaliar, por exemplo, problemas com cultivos de ciclo curto sem práticas conservacionistas. Nessas áreas caracterizadas com alta e muito alta fragilidade emergente, podem ser realizados manejo adequado, com aplicação de Sistema de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF), adubação orgânica, rotação de culturas, culturas em faixas, entre outras práticas. Além disso, também é necessário primeiramente a avaliação local para posterior indicação de cultivos adequados à realidade físico-natural.
- Por fim, nas áreas caracterizadas com média fragilidade emergente, especialmente aquelas localizadas nos setores médio baixo das vertentes, podem ser indicadas práticas de controle de erosão, tais como, correto distanciamento dos terraços, plantio em nível e recomposição das áreas de mata ciliar.

Referências

- Abrão, C. M.R., Bacani, V. M. (2018) Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. *Boletim Goiano De Geografia*, v.38, n. 3, p. 619–645. <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>
- Albaladejo J. et al. (2021) Eco-Holistic Soil Conservation to support Land Degradation Neutrality and the Sustainable Development Goals. *CATENA*, 196, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104823>
- Albuquerque, E. L.S., de Medeiros, C. N. (2017) Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará, *Ateliê Geográfico*, v. 11, n. 1, p.109–126, 2017. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i1.39018>

Alves, W. S.; Martins, A. P.; Pôssa, É. M.; Moura, D. M. B. de; Morais, W. A.; Ferreira, R. S.; Santos, L. N. S. dos. (2021) Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [S.L.], v. 22, n. 22, p. 100495-100505. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100495>.

Amorim, A.T., do Nascimento, E. R. L., de Sousa, J. A. P. et al. (2021) Geomorphometric environmental fragility of a watershed: a multicriteria spatial approach. *Environ Monit Assess* 193, 850. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09634-6>

Arriagada, L., Rojas, O., Arumí, J.L., Munizaga, J., Rojas, C., Farias, L., Vega, C. (2019) A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors: a case study in mediterranean Chile. *Sci. Total Environ.* 651, 1517–1533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.237>.

Barbosa, A. F.; Oliveira, E. F.; Mito, C. L.; Filho, A. C. P. (2015, janeiro) Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Rio de Janeiro*, v. 38, n. 1, p.170-179,

Campos, J. A., da Silva, D. D., Moreira, M. C. et al. (2021) Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. *Environ Earth Sci* 80, 264. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09553-2>

Canani, D., Lioi, D., Mancini, I., Masi, S. (2015) Hierarchical classification of groundwater pollution risk of contaminated sites using fuzzy logic: a case study in the Basilicata Region (Italy). *Water* 7. Pg 2013–2036. <https://doi.org/10.3390/w7052013>.

Canani, D., Labella, A., Lioi, D. S., Mancini, I. M., Masi, S. (2016) Habitat ecological integrity and environmental impact assessment of anthropic activities: a GIS-based fuzzy logic model for sites of high biodiversity conservation interest. *Ecol. Indic.* 67, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.038>.

Crepani E., Medeiros J. S., Filho P. H. et al (2001) Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. *INPE*, São José dos Campos.

Demarchi, J. C.; Zimback, C. R. L. (2014) Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Revista Energia na Agricultura*, 29(2), p. 102-114, Botucatu.

Di Bitetti M. S., Placci G., Dietz L. S. (2003) *Uma visão de Biodiversidade para a Ecorregião Florestas do Alto Paraná – Bioma Mata Atlântica: planejando a paisagem de conservação da biodiversidade e estabelecendo prioridades para ações de conservação* [online]. Available from: http://www.mma.gov.br/estruturas/pda/arquivos/prj_mc_061_pub_liv_001_rf.pdf

Donha, A. G.; Souza, L. C. de P.; Sugamoto, M. L. (2006, março) Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], 10(1), p. 175-181.

Embrapa. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro. 212p.

____. Land and Water Digital Media Series. 1990. Disponível em: <<http://www.fao.org/landandwater/agll/key2soil.stm>>.

____. Guildelines for soil description. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 2006.

Franco G.B. (2010). *Fragilidade Ambiental e Qualidade da Água na Bacia do Rio Almada – Bahia*. (Tese de Doutorado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Fronza, F. L. (2019) *Determinação do Potencial Erosivo do Solo nas Bacias dos Rios São Francisco Falso e São Francisco Verdadeiro, Região Oeste do Estado do Paraná*. (Dissertação de Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná.

Ghezzi, A. O. (2018). *Avaliação e Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina - Pr, com o auxílio de Geoprocessamento*. (Dissertação de Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Itaipu Binacional. (2009). *Programa de Estímulo à Qualidade do Sistema de Plantio Direto na Palha, na Bacia Hidrográfica Paraná 3*.

Jesiya, N. P., Gopinath, G. (2021). A customized fuzzyAHP-GIS based DRASTIC-L model for

P.d.S. Anjinho, et al. Land Use Policy 100 (2021) 104946 *intrinsic groundwater vulnerability assessment of urban and peri urban phreatic aquifer clusters*. Groundw. Sustain. Dev. 8, 654–666. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.03.005>.

Lira, K. C. S.; Francisco, H. R.; Feiden, A. (7 de fevereiro de 2022). Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. Sociedade & Natureza, [S.L.], v. 34, n. 1. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v34-2022-62872>.

Macedo, D. R., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Callisto, M. (2018). Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. Sci. Total Environ. 635, 1267–1279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.216>.

Mello K. et al. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

Nasiri, H., Yusof, M. J. M., Ali, T. A. M., Hussein, M. K. B. (2018) District flood vulnerability index: urban decision-making tool. *Environ. Sci. Technol.* (Tehran) 6, 2249–2258. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1797-5>.

Paraná. (2018). *Instituto Ambiental do Paraná. Dados sobre RPPN no Estado do Paraná*.

Ribeiro, A. C. P. (2020). *Comparação de metodologias para análise da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: estudo de caso dos rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso, região oeste do Paraná*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, Paraná.

Ross, J. L. S. (1994). Análise Empírica da fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia USP*, São Paulo, v. 8, p. 63-74.

Santos, F. de A. dos, Mendes, L. M. S., da CRUZ, M. L. B. (2021). Suscetibilidade biofísica a inundações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. *Ateliê Geográfico*, 15(1) 266–285, <https://doi.org/10.5216/ag.v15i1.64590>

Santos, J. Y. G. dos, Nascimento, R. Q. (2021) Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia, *Boletim Goiano De Geografia*, 41(1). <https://doi.org/10.5216/bgg.v41.65397>

Santos, Reis, E., Pereira, S., Santos, M. (2019) A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Sci. Total Environ.* 667, 325–337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.328>.

Seganfredo, D.; Cunha, B.; Leopold, V. M.; Cielo-filho, R.; Câmara, C. D. (2019) Landscape Ecology in a Watershed of the Ocoy River, Western Parana State, Brazil. *Floreste e Ambiente*, [s. l.], v. 26. DOI <https://doi.org/10.1590/2179-8087.027915>.

Sporl C., Ross, J. L. S, (2004). Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. *GEOUSP - Espaço e Tempo*. 15: 39-49. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>

Tomczyk, A. M. A. (2011) GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. *Applied Geography*, 31(1), p. 339 – 351, 2011.

Tossulino, M. G. P., Schaitza E. G., Siqueira J. D. P., Sayama C., Morato S.A.A. Ulandowski LK et al. (2007) *Resumo executivo da avaliação ecológica rápida do Corredor Iguaçu-Paraná Curitiba: IAP.*

Trautenmuller, A. C. (2018). *Geoprocessamento Aplicado na Determinação da Fragilidade Ambiental da Sub-Bacia Hidrográfica Pc5 Do Rio Ibirapuitã-Rs*. 51 f. (Monografia de Especialização) - Curso de Especialização em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.