

ESPAZIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA PONDERADA: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO FERREIRA, SANTA MARIA - RS

Gustavo Soares Arrial

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, Brasil
gustavo.arrial@acad.ufsm.br

Anderson Augusto Volpato Scoti

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, Brasil
anderson.sccoti@ufsm.br

RESUMO

O avanço desordenado da ação humana sobre o meio e suas consequências mais intensas evidenciam a necessidade de abrangentes estudos ambientais, para possibilitar uma interpretação do espaço e das articulações a serem realizadas, onde devem ser considerados aspectos físicos, bióticos, químicos e antrópicos. Com isso, este artigo apresenta a aplicação da Análise Hierárquica Ponderada (AHP) em Sistemas de Informação Geográfica na bacia hidrográfica do arroio Ferreira, Santa Maria - RS. Com o objetivo de delimitar e espacializar a suscetibilidade a impactos ambientais na área da bacia hidrográfica, a partir dos critérios de geologia, solos, uso e ocupação da terra e geomorfologia. O método AHP foi utilizado para sintetizar esses critérios e seus respectivos subcritérios, permitindo uma análise espacial da suscetibilidade a impactos ambientais. Foram identificadas 5 classes de suscetibilidade, sendo que as classes mais altas ocupam 31,29% da área de estudo, na porção sudeste de BH. Os resultados evidenciam a necessidade de planejamento ambiental, mitigação de impactos, recuperação de áreas degradadas e implementação de atividades de menor impacto, como as desenvolvidas pela agroecologia. Conclui-se que o método AHP é confiável para análises multicritério em estudos, oferecendo subsídios para o planejamento e ações de mitigação de impactos ambientais em bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Multicritério. SIG. Ambiente. Planejamento Ambiental.

SPACIALIZATION OF SUSCEPTIBILITY TO ENVIRONMENTAL IMPACTS THROUGH ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: CASE STUDY IN THE ARROIO FERREIRA WATERSHED, SANTA MARIA - RS

ABSTRACT

The disorderly advancement of human action on the environment and its increasingly consequences the need for comprehensive environmental studies to enable an interpretation of space and the articulations to be carried out, taking into account physical, biotic, chemical, and anthropic aspects of the environment. This article presents the application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Geographic Information Systems in the Arroio Ferreira watershed, Santa Maria - RS. In order to delimit and spatialize susceptibility to environmental impacts in the watershed area, based on criteria such as geology, soils, land use and occupation, and geomorphology. The AHP method was used to synthesize these criteria and their respective sub-criteria, allowing for a spatial analysis of susceptibility to environmental impacts. Five classes of susceptibility were identified, with the highest classes occupying 31.29% of the study area, in the southeastern portion of the watershed. The results highlight areas with different levels of susceptibility and the need for environmental planning, impact mitigation, restoration of degraded areas, and implementation of low-impact activities, such as those developed by agroecology. It is concluded that the AHP method is reliable for multicriteria analysis in environmental studies, providing support for planning and actions to mitigate environmental impacts in watersheds.

Keywords: Multicriteria. SIG. Environment. Environmental Planning.

INTRODUÇÃO

É notável o avanço desordenado da ação humana sobre o meio e suas consequências cada vez mais intensas. Fruto da tentativa cruel da conquista humana sobre a natureza, perpetrada pela classe dominante na busca pela acumulação infinita de capital, os impactos ambientais afetam áreas cada vez mais amplas da superfície terrestre. Assim, eles não estão restritos apenas aos grandes centros urbanos, mas também a pequenas e médias cidades, zonas rurais, zonas inóspitas e aonde quer que o capitalismo alcance.

Rachel Carson, pioneira em estudos ambientais, já alertava sobre as consequências desse avanço em sua obra "Primavera Silenciosa", lançada em 1962, quando escreveu:

À medida que o ser humano avança rumo a seu objetivo proclamado de conquistar a natureza, ele vem escrevendo uma deprimente lista de destruições, dirigidas não só contra a Terra em que ele habita como também contra os seres vivos que a compartilham com ele (Carson, 2018, p. 83).

Como resultado dos avanços desordenados da ação humana, observam-se transformações do espaço geográfico e impactos socioambientais diversos. Dessa forma, constata-se a necessidade de se realizar abrangentes estudos ambientais para possibilitar uma interpretação do espaço e das articulações a serem realizadas para mitigar esses impactos, onde devem ser levados em conta os aspectos físicos, bióticos, químicos e antrópicos do meio.

Diversos ramos científicos têm realizado cada vez mais estudos ambientais a partir de diferentes óticas, como é o caso da Geografia, que estuda a sociedade através da sua organização espacial, também chamado de espaço geográfico (Corrêa, 2000). Na perspectiva geográfica, são considerados desde elementos do meio físico, como as formações geológicas e as formas do relevo, até os elementos sociais, econômicos, culturais, religiosos, geopolíticos, como os diferentes usos da terra e as tensões político-sociais, além das transformações e dinâmicas do sistema político-econômico ao qual estamos subjugados, o sistema capitalista (Jesus *et al.*, 2021; Sánchez, 2020).

Na Geografia existem modelos que buscam representar as dinâmicas da relação sociedade e natureza, segundo Silva (2001), os modelos ambientais retratam sínteses que contemplam a distribuição territorial de critérios físicos, bióticos e socioeconômicos que influenciam o ambiente. O autor ressalta que esses modelos não conseguem abarcar simultaneamente todos os aspectos da realidade ambiental, necessitando restringir-se aos eventos e critérios mais relevantes (Silva, 2001). Nesse contexto Moura (2007) afirma que a avaliação ambiental busca correlacionar variáveis atreladas a um objeto de estudo e, o que não afeta o objetivo é eliminado.

A definição dos critérios mais relevantes depende do tipo de modelo ambiental retratado, sendo que em alguns casos é necessário considerar aspectos do meio físico como a geologia e solos e, em outros a pluviosidade, temperatura média e ocupação urbana. Nesses e em outros casos, é possível representar tais modelos com a utilização de dados georreferenciados e ferramentas de geoprocessamento.

O geoprocessamento é uma área do conhecimento que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais no tratamento de informações geográficas e de suas ferramentas, a exemplo dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais tornam análises espaciais complexas possíveis de serem realizadas (Câmara; Medeiros, 1998; Fitz, 2010). O geoprocessamento viabiliza a formulação de perguntas e explicações sobre ocorrências ou problemas na área de estudo (IBGE, 2013) e levam o(a) pesquisador(a) a informações novas e integradas do espaço geográfico, com uma visão mais abrangente do tema e área em questão.

No que diz respeito aos critérios, a geologia ocupa um lugar de importância, pois apresenta informações que ajudam no entendimento da dinâmica superficial dos terrenos e serve de subsídio para questões como processos erosivos, permeabilidade do solo, disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas (Santos, 2009), identificação de áreas de risco a movimentos de massa, estabilidade das encostas e avanço do intemperismo (Botelho, 2020). Na Bacia Hidrográfica do Arroio Ferreira (BHAF), existe uma diversidade de litotipos, associados às coberturas e sedimentos Fanerozóicos, com destaque à formação Santa Maria membro Alemoa, rica em elementos fossilíferos, e à Formação Passo das Tropas, para recarga do aquífero.

A inserção do critério solos em estudos ambientais possibilita, por exemplo, o estudo de suas potencialidades e fragilidades, além da erosão (Santos, 2009). Pode-se afirmar que esse é critério natural de maior importância em processos erosivos, em razão de suas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas (Salomão, 2020). Além disso, talvez seja o critério mais afetado diretamente pela ação

antrópica de caráter irracional (Botelho, 2020). Na BHAF, são observados solos com diferentes perfis de desenvolvimento, sendo que o avanço de técnicas agrícolas não adequadas e a expansão urbana representam um risco, tanto no avanço da erosão como na contaminação do solo e corpos d'água (Arrial, 2023).

Quanto ao critério de geomorfologia, aqui considerada como os compartimentos do relevo, auxilia na interpretação de diversas questões ambientais, como a intensidade dos processos erosivos e deposicionais, potencial do uso do solo, inundações, movimentos de massa, entre outros (Santos, 2009). Além disso, permite interpretar “[...] a relação entre as configurações superficiais do terreno, a distribuição dos núcleos ou aglomerados humanos e dos usos do solo em função das limitações impostas pelo relevo” (Santos, 2009, p. 78).

O uso e ocupação da terra “retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais” (Santos, 2009, p. 97). Juntos, representam um critério que está sujeito a rápidas modificações, como a substituição de culturas agrícolas, que podem ser alteradas de um ano para o outro, assim como porções naturais podem ser convertidas em lavouras ou áreas urbanas em poucos meses. Na bacia hidrográfica em análise, observou-se uma rápida expansão urbana entre as décadas de 1980 e 1990, consolidada com a regularização dos lotes no bairro Nova Santa Marta e COHAB Tancredo Neves. A procura pela habitação urbana nessas áreas foi fomentada pela implementação de um Distrito Industrial e pela proposta da construção de um hospital Regional (Nascimento; Moura, 2014).

Para realizar o estudo ambiental proposto nesse trabalho, empregou-se o método de Análise Hierárquica Ponderada (AHP), o qual permite uma síntese dos diferentes critérios analisados (Saaty, 1990). Neste método, os critérios (geologia, solos, geomorfologia e uso e ocupação da terra) são colocados numa matriz pareada e organizados segundo seu grau de importância. O AHP é uma maneira eficiente de análise de impactos ambientais, especialmente quando aplicado em unidades geográficas como as bacias hidrográficas (BH). As bacias hidrográficas, por terem limites espacialmente delimitados e dinâmicas físicas integradas, facilitam a compreensão e a espacialização das interações entre os fluxos de matéria e energia (Westphalen; Santos, 2004), o que torna o AHP um método particularmente adequado para sua avaliação.

Com base nas características descritas ao longo desse trabalho, como a influência dos solos nos processos erosivos, a configuração geomorfológica que afeta o uso do solo e a intensa modificação do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, esse estudo tem como objetivo mapear a suscetibilidade a impactos ambientais dessa bacia a partir do método de Análise Hierárquica Ponderada e gerar subsídios que possam servir de base na tomada de decisões futuras.

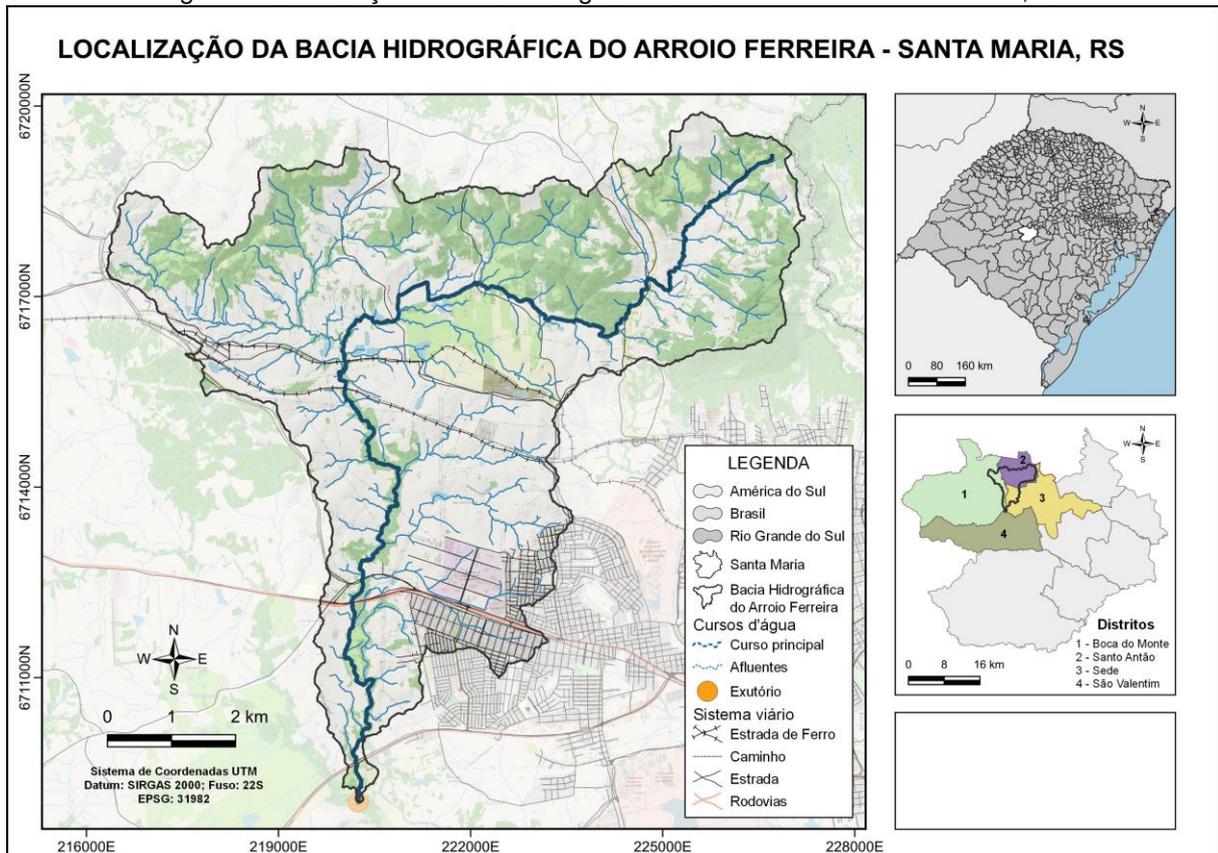
MATERIAIS E MÉTODOS

Situada na porção norte do município de Santa Maria, região central do Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica do arroio Ferreira abrange parte do distrito sede e dos distritos rurais de Santo Antônio, Boca do Monte e São Valentim, sendo que nesse último se encontra seu exultório. A BHAF (Figura 1) faz parte da bacia hidrográfica do Vacacaí/Vacacaí-mirim e seu curso principal é classificado como de 5ª ordem (Strahler, 1952), com pouco mais de 21 km de extensão e área total de, aproximadamente, 49,73 km² (Arrial, 2023).

A bacia está em área de transição entre o Planalto das Araucárias e a Depressão Central e é coberta pelos biomas Pampa e Mata Atlântica (IBGE, 1986). Nos seus limites são observadas áreas de expansão urbana, um antigo lixão desativado (Figura 2A) e um aterro sanitário ativo (Figura 2B).

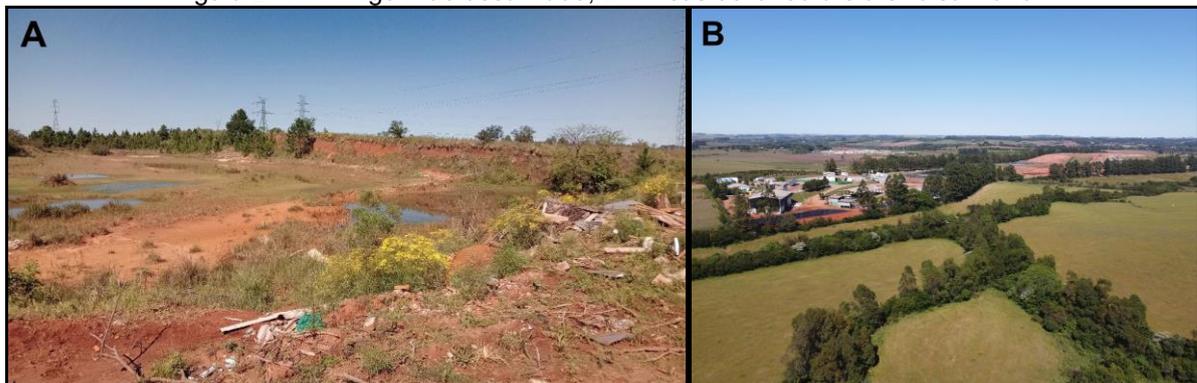
Predominantemente rural e com propriedades rurais de tamanhos que variam de menos de 1 a 10 módulos fiscais (MMA, 2024), a BHAF é composta majoritariamente por áreas de campo associadas à vegetação arbustiva e arbórea, dispersa ao longo de toda sua extensão, seguida de áreas de lavoura, principalmente em sua porção central, em áreas de menor declividade e planícies de inundação. As áreas com vegetação arbórea estão presentes principalmente nas áreas de maior declividade do Rebordo do Planalto, caracterizado por seu relevo festonado, ao passo que a área urbana está localizada na porção sudeste da BHAF (Arrial; Scoti, 2023), onde também passa uma importante rodovia do centro do estado, a BR 287.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Arroio Ferreira - Santa Maria, RS



Fonte: Arrial (2023).

Figura 2 - A - Antigo lixão desativado; B - Áreas de lavoura e aterro sanitário

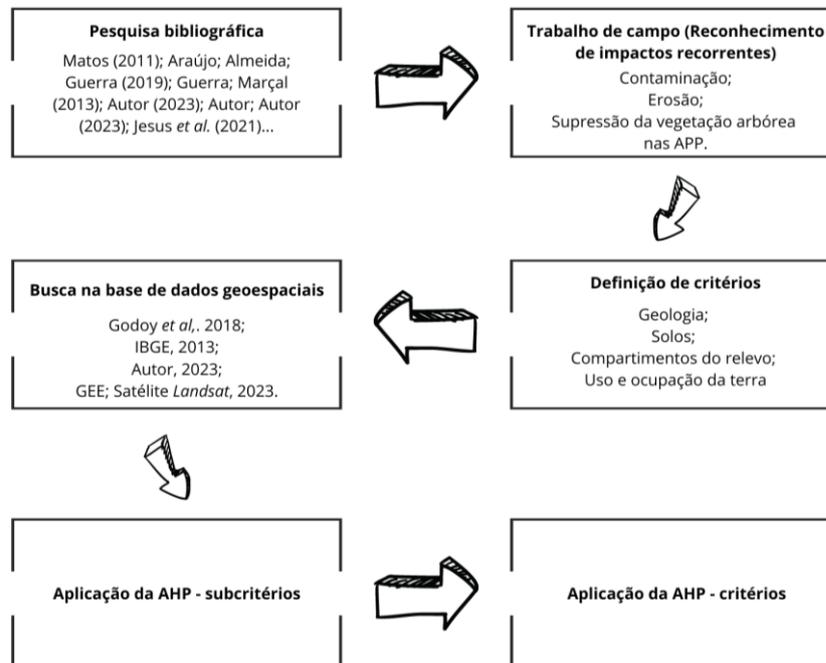


Fonte: Acervo dos autores (2022).

Na figura 3, é apresentada a sistematização dos passos seguidos no decorrer do trabalho, desde a pesquisa bibliográfica inicial à aplicação da AHP nos critérios considerados e, mais adiante, a explicação de cada um desses passos.

Primeiramente, foram verificados alguns dos impactos ambientais recorrentes da atividade antrópica na área da BHAF a partir do trabalho de campo, realizado no dia 28 de outubro de 2022. Foi percorrido um caminho que teve início no baixo curso, seguindo o curso d'água principal da BHAF até a porção nordeste da área de estudo, onde estão as principais nascentes do arroio Ferreira. Nesse caminho buscou-se observar áreas onde a atividade humana era presente, como áreas naturais suprimidas pela agropecuária, construção de estradas e erosão.

Figura 3 - Fluxograma com os procedimentos metodológicos adotados



Fonte: Organizado pelos autores (2024).

Nessas áreas, foram selecionados os impactos ambientais mais frequentes, os quais são: erosão superficial/subsuperficial, contaminação das águas superficiais e subterrâneas e supressão de Áreas de Preservação Permanente (APP), em especial junto aos cursos de água. Com base nas problemáticas observadas, foram definidos critérios que influenciam e são influenciados direta e/ou indiretamente por esses impactos ambientais, como geologia (Porosidade, permeabilidade e grau de coesão), solos (Granulometria e perfil de desenvolvimento), uso e ocupação da terra (Formações naturais, áreas com diferentes níveis de antropização e uso de insumos agrícolas) e compartimentos do relevo (Grau de dissecação e características morfológicas). Esses critérios foram escolhidos pelo fato de o uso e ocupação da terra poderem ocasionar impactos como a poluição do meio físico, água e ar (Matos, 2011), impermeabilização do solo e aumento do escoamento superficial (Araújo; Almeida; Guerra, 2009), erosão (Guerra; Marçal, 2013) e compactação do solo (Araújo; Almeida; Guerra, 2009). Os compartimentos do relevo podem estar associados a maiores ou menores taxas de erosão, deposição de materiais, infiltração e acúmulo de água nos solos. Formações geológicas sedimentares, pouco coesas, estão mais propensas à erosão devido à sua natureza sedimentar e, dependendo de sua origem, eólica, fluvial ou lacustre, as taxas de erosão podem apresentar diferentes valores. Outro aspecto diz respeito à propriedade de porosidade e permeabilidade das rochas sedimentares. As vulcânicas apresentam uma maior resistência à erosão, já os depósitos aluvionares podem ser bastante afetados por atividades antrópicas como o descarte irregular de resíduos sólidos e líquidos, conseqüentemente, contaminando esses depósitos. Além disso, foram consideradas a disponibilidade de dados georreferenciados (Tabela 1) e bibliografias especializadas de tais critérios.

Tabela 1 - Fonte e escala dos critérios

Critérios	Fonte	Escala
Geologia	Godoy <i>et al.</i> (2018)	1:100.000
Solos	IBGE (1986)	1:250.000
Compartimentos do relevo	Topodata (2008)	1:150.000
Uso e cobertura da terra	Arrial; Scoti (2023)	1:150.000

Fonte: Organizado pelos autores (2024).

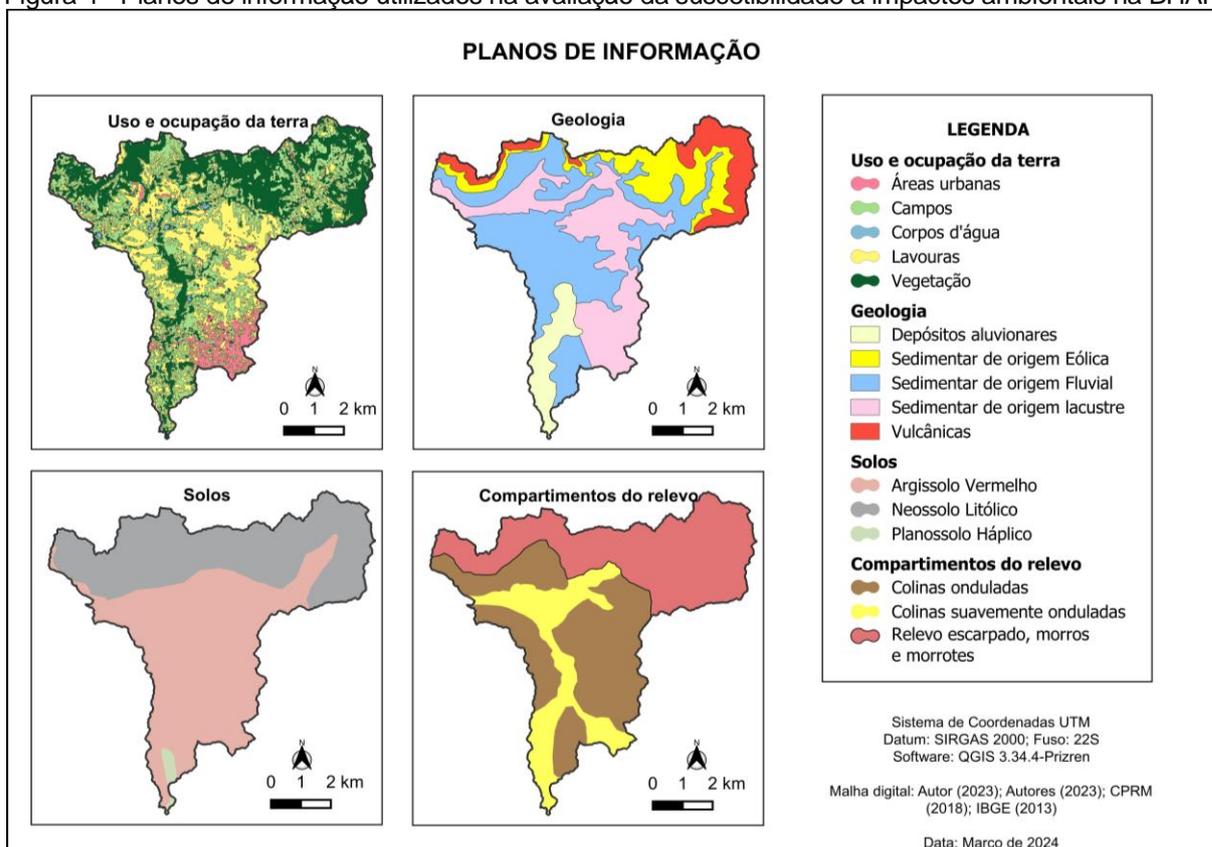
Em relação a geologia, foram observadas nove unidades litoestratigráficas na área da BHAF. A partir disso, foi realizado o agrupamento dessas unidades conforme suas características de composição e textura, resultando em cinco grupos: Vulcânicas (Fm Serra Geral - Fácies Caxias e Gramado); Sedimentar de origem Eólica (Fm Botucatu e Guará); Sedimentar de origem Fluvial (Fm Caturrita, Sanga do Cabral e Fm Santa Maria - membro Passo das Tropas); Sedimentar de origem lacustre (Fm Santa Maria membro alemoa); e Depósitos aluvionares.

Os dados de solos são provenientes do Banco de Dados e Informações Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:250.000, referentes à BHAF, onde há solos dos tipos Neossolos Litólico, Argissolos Vermelho e Planossolos Háplico, sendo esse último o tipo predominante na área urbana.

Os dados de compartimentos do relevo são provenientes do trabalho de Arrial (2023), que utilizou dados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), com resolução espacial de 30 metros, e se valeu da associação entre declividade e *geomorphons* (Jasiewicz; Stepinski, 2013; Robaina; Trentin; Laurent, 2016; Robaina *et al.* 2017; Gouveia; Ross, 2019) para identificar padrões similares nas formas do relevo e delimitar os compartimentos do relevo na BHAF. Os quatro tipos de compartimento do relevo são: colinas onduladas; colinas suavemente onduladas, planícies de inundação e relevo escarpado, morros e morrotes.

Os dados de uso e ocupação da terra são provenientes do trabalho de Arrial; Scoti (2023). Nesse trabalho, os autores utilizaram uma imagem do satélite *Landsat 9*, datada de 17 de novembro de 2022, com resolução espacial de 30 metros e, após, identificaram e coletaram amostras das classes de Corpos d'água, Áreas urbanas, Vegetação, Lavouras e Campos. Em seguida, aplicaram o método *Classification and Regression Trees* através da plataforma *Google Earth Engine*, para gerar uma classificação supervisionada do uso e ocupação da terra na área da BHAF, validada com o Índice *Kappa* e trabalho de campo. A espacialização dos critérios e subcritérios é demonstrada na Figura 4.

Figura 4 - Planos de informação utilizados na avaliação da suscetibilidade a impactos ambientais na BHAF



Fonte: Arrial; Scoti (2023); CPRM (2018); IBGE (2013). Elaborado pelos autores (2024).

A definição dos pesos que foram atribuídos aos critérios, teve como base o conhecimento sobre a área de estudo, além de um referencial teórico sobre geologia (Arrial, 2023; Dias, 2021; Santos, 2009; Santos, 2010), pedologia (Arrial, 2023; Dias, 2021; Santos, 2009), uso e ocupação da terra (Arrial, 2023; Arrial; Scoti, 2023; Costa et al, 2018; Dias, 2021; Paula; Ribeiro, 2022) e geomorfologia (Arrial, 2023; Costa et al, 2018; Dias, 2021; Gouveia; Ross, 2019; Robaina *et al*, 2022), que auxiliou na atribuição dos graus de importância.

Após a organização dos dados, foi realizada a aplicação da AHP nos critérios e nos seus respectivos subcritérios (diferentes usos da terra, formações geológicas, pedológicas e geomorfológicas), o que resultou nos mapas de suscetibilidade ambiental por subcritério e na síntese final baseado em multicritério (Moura, 2007; Santos, 2010; Paula; Ribeiro, 2022; Costa *et al*. 2018; Carvalho; Curi, 2013).

Os valores são expressos de maneira qualiquantitativa, usando nove diferentes graus de importância, atribuídos por subcritérios e critérios onde os graus de importância tiveram como base as bibliografias já citadas. A partir disso, considerou-se uma escala onde os valores inteiros representam o grau "mais importante", enquanto os valores inversos (de 1/9 a 1/2) representam o grau "menos importante". Esses termos vão desde "Extremamente mais/menos importante", quando um critério é absolutamente mais/menos importante que outro, ou "Igual importância" (1), quando dois critérios têm a mesma relevância na modelagem do problema.

No *software Libre Office Calc*, os critérios e subcritérios foram organizados conforme seu grau de importância nos impactos estudados e foram atribuídos valores de 1 a 9 a cada um deles. Após, foi feito o cálculo da soma dos valores da matriz e do autovetor (Av) dos critérios, além dos cálculos para encontrar o Produto Vetorial (Pv), Lambda (λ), Lambda máximo ($\lambda_{máx}$), o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência dos valores da matriz. Com o uso da AHP, a razão de consistência é quem determina a validade estatística dos pesos atribuídos na matriz, a consistência deve ser inferior a 0,15 (SAATY, 1990; DIAS, 2021; ROBAINA *et al.*, 2022).

Os valores do autovetor de cada critério foram levados ao ambiente SIG (QGIS versão 3.34) e, na calculadora *raster*, foi realizada a multiplicação do autovetor pela camada dos critérios e, em seguida a soma das camadas. Dessa forma, teve-se como resultado a síntese de suscetibilidade a impactos ambientais na BHAF. O *raster* foi classificado em cinco classes de intervalos iguais, de menor a maior suscetibilidade, sendo elas: Muito baixa; Baixa; Média; Alta; e, Muito Alta.

Para a validação e análise dos resultados foram utilizados dados coletados em campo, publicações científicas que faziam referência a áreas próximas à BHAF e dados censitários do IBGE.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram uma grande disparidade entre as classes de suscetibilidade, tanto nos mapas de subcritérios, como no mapa síntese. É interessante ressaltar que, apesar de se tratarem de áreas de alta suscetibilidade, por exemplo, como no caso da classe "relevo escarpado, morros e morrotes", a aplicação do AHP faz com que sejam consideradas de suscetibilidade menor quando comparadas a outros critérios, o que demonstra como o método AHP diminui a subjetividade na modelagem do problema. Os subcritérios apresentaram razão de consistência entre 0,066 e 0,087 (Tabela 2), o que demonstra consistência estatística nos graus de importância atribuídos na matriz pareada.

Tabela 2 - Matriz pareada evidenciando os graus de importância atribuídos aos subcritérios utilizados na definição da suscetibilidade ambiental da BHAF

Uso e ocupação	a	b	c	d	Soma	Autovetor	Razão de Consistência
a	1	3	5	9	18	0,482	
b	0,33	1	3	7	11,33	0,303	
c	0,2	0,33	1	5	6,53	0,175	0,0863
d	0,11	0,14	0,2	1	1,45	0,38	
Total					37,32	1	

a) Área urbana; b) Lavouras; c) Campoa; d) Vegetação

Geologia	a	b	c	d	e	Soma	Autovetor	Razão de Consistência
a	1	3	5	7	9	25	0,436	0,0662
b	0,33	1	3	5	7	16,33	0,284	
c	0,2	0,33	1	3	5	9,53	0,166	
d	0,14	0,2	0,33	1	3	4,67	0,081	
e	0,11	0,14	0,2	0,33	1	1,17	0,031	
Total						57,33	1	

a) Sedimentar de origem lacustre; b) Sedimentar de origem fluvial; c) Sedimentar de origem eólica; d) Depósitos aluvionares; e) Vulcânicas

Solos	a	b	c	Soma	Autovetor	Razão de Consistência
a	1	5	7	13	0,696	0,0694
b	0,2	1	3	4,2	0,224	
c	0,14	0,33	1	1,47	0,079	
Total				18,67	1	

a) Argissolo vermelho; b) Planossolo háplico; c) Neossolo lítico

Relevo	a	b	c	Soma	Autovetor	Razão de Consistência
a	1	3	7	11	0,588	0,0753
b	0,33	1	5	6,33	0,339	
c	0,14	0,2	1	1,34	0,071	
Total				18,67	1	

a) Relevo escarpado, morros e morrotes; b) Colinas suavemente onduladas; Colinas onduladas

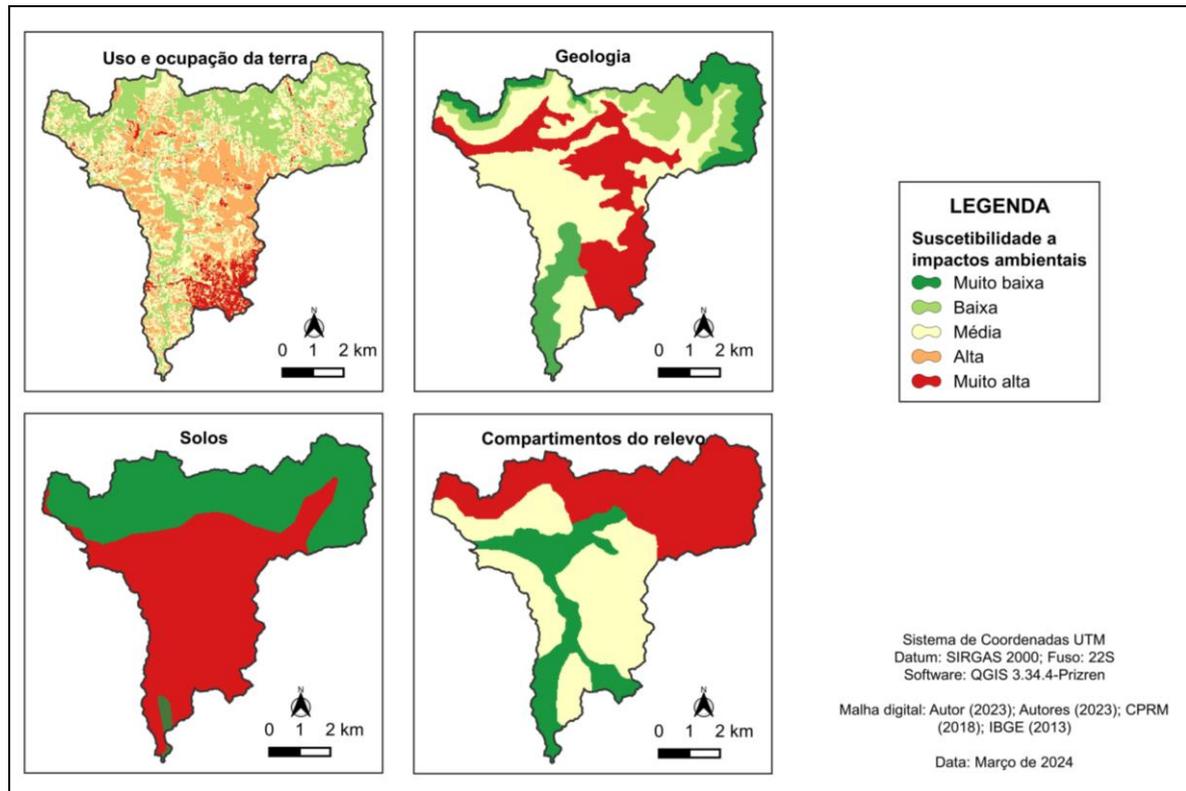
Fonte: Organizado pelos autores (2024).

A espacialização da suscetibilidade a impactos ambientais por subcritério é apresentada na figura 5.

Os valores da matriz pareada da síntese estão na tabela 03, onde os critérios de uso e ocupação da terra (a), geologia (b), solos (c) e geomorfologia (d) estão organizados conforme sua importância nos impactos ambientais considerados. A razão de consistência de 0,0534 é considerada excelente, pois evidencia que o grau de importância atribuído a cada variável possui consistência estatística. Os valores obtidos na matriz possibilitaram expandir e cartografar os diferentes níveis de suscetibilidade a impactos ambientais para a bacia hidrográfica.

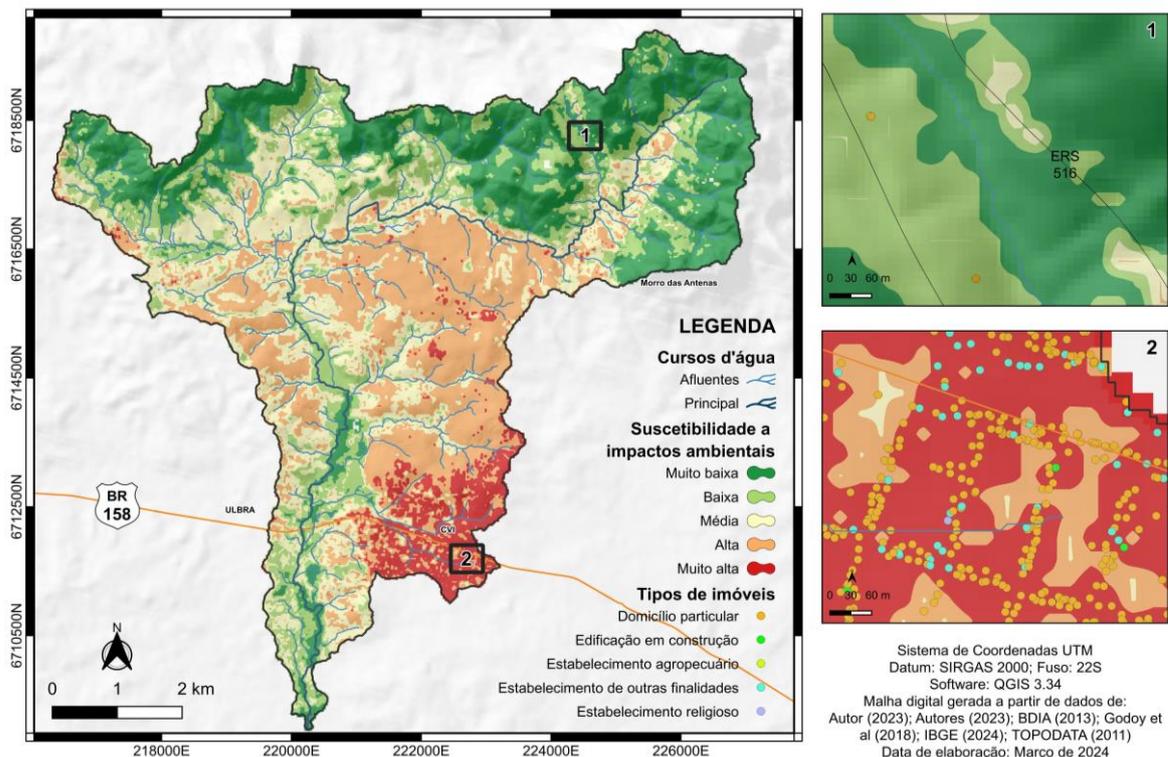
Na figura 6, é demonstrada a síntese da suscetibilidade a impactos ambientais na BHAF, e também, duas aproximações em áreas de menor e maior suscetibilidade. Ao analisar o mapa, observa-se que as áreas mais suscetíveis a impactos ambientais se encontram na porção Central e Sul, enquanto que as porções menos propensas a alterações se encontram ao norte da bacia hidrográfica.

Figura 5 - Suscetibilidade ambiental por subcritério



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 6 - Mapa síntese da suscetibilidade a impactos ambientais na bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria, RS



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Tabela 3 - Matriz pareada evidenciando os graus de importância atribuídos aos critérios utilizados na definição da suscetibilidade ambiental da BHAF

Crítérios	a	b	c	d	Soma	Autovetor	Razão de Consistência
a	1	3	5	7	16	0.507	0,0534
b	0.333	1	3	5	9.333	0.295	
c	0.2	0.333	1	3	4.533	0.143	
d	0.142	0.2	0.333	1	1.672	0.053	
Total					31.538	1	

Fonte: Organizado pelos autores (2024).

As classes de maior suscetibilidade, alta e muito alta, representam 13,02km² e 2,54km², respectivamente. Essas porções, encontram-se associadas a áreas com Argissolos Vermelho, predominância de campos e lavouras nas áreas rurais e de áreas urbanas no distrito sede, relevo ondulado e suavemente ondulado e formações sedimentares de origem fluvial e lacustre. Em áreas rurais, predominam as lavouras (Figura 7), em especial o cultivo de soja, onde há um grande uso de agrotóxicos em todas as fases do cultivo. Dessa forma, os principais problemas estão ligados a contaminação da água e a compactação dos solos. Destaca-se que são áreas de recarga do aquífero, com isso, a suscetibilidade a contaminação de água subterrânea é elevada.

Figura 7 - Áreas de lavouras, resquícios de mata ciliar e aterro sanitário ativo



Fonte: Acervo dos autores (2022).

Vale ressaltar, ainda, que quanto maior for o uso de veneno (agrotóxico), mais problemas aparecem, devido ao desequilíbrio criado no ambiente por esse uso. Como consequência, esses problemas são equivocadamente “resolvidos” com o aumento de uso de venenos, assim forma-se uma espiral em que o uso de venenos começa antes ou após o surgimento de espécies consideradas pragas para a

agricultura, que com o tempo se tornam mais abundantes, levando a um aumento no uso de venenos para controlar essas pragas, consolidando um ciclo vicioso alicerçado no uso de agrotóxicos (Paulus; Muller; Barcellos, 2000). Paulus; Muller; Barcellos (2000) afirmam que os venenos “ajudam a resolver um problema que eles mesmos criaram, e que continuam criando, porque não resolvem a causa, mas atacam as consequências.” (2000, p. 11). Portanto, nessa lógica, quanto mais tempo passar, torna-se mais provável que as áreas de maior suscetibilidade entrem em colapso ambiental e que a recuperação dessas áreas se torne algo próximo ao impossível.

Na BHAF, assim como em outras áreas do Rio Grande do Sul, a cultura da soja é a principal responsável pelas mudanças nos tipos de cobertura da terra. No caso da área de estudo, as porções que antes eram ocupadas para a criação de gado bovino estão gradativamente sendo substituídas por lavouras de soja. Esse fato corrobora com o que foi relatado no trabalho de Kuplich, Capoane e Costa (2018), onde as autoras destacam a rápida escalada das lavouras de soja sobre as áreas de campo. A partir disso, pode-se concluir que esse processo apresenta impactos sobre o meio físico e antrópico, gerando perda de biodiversidade, intensificação da erosão e compactação dos solos, contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

A implementação do aterro sanitário trouxe um controle sobre o descarte dos resíduos produzidos em Santa Maria e municípios vizinhos, outrora descartados em um lixão a céu aberto. O aterro sanitário ocupa uma área de 24 hectares, com capacidade de receber 2,5 milhões de toneladas de resíduos, com sua vida útil estimada em 30 anos (CRVR, 2024).

A erosão laminar e a formação de ravinas são comuns nessas áreas, dada as características dos solos e das rochas. Além da redução da fertilidade dos solos, a erosão afeta os cursos de água que recebem os sedimentos, visto que estão sujeitos ao assoreamento. Cheliz, Rodrigues e Ladeira (2023), ao avaliarem os impactos das ações antrópicas no Oeste Paulista, apresentaram as diferentes intervenções associadas ao uso e ocupação em bacias hidrográficas, entre os registros está a erosão e assoreamento. Os autores apresentam algumas propostas para amenizar os danos causados ao ambiente, demonstram que é necessário conhecer os componentes do ambiente para efetuar um planejamento eficiente.

Na aproximação 2 da figura 6 é possível notar uma grande densidade de domicílios/estabelecimentos antrópicos na área da BHAF, principalmente com domicílios particulares na zona urbana, o que pode levar a diversos impactos ambientais, como a impermeabilização do solo, mudanças no curso natural dos afluentes nessa parte e despejo irregular de dejetos. As áreas urbanas estão sujeitas a processos de alagamentos, dada às modificações que são feitas nos cursos de água. No bairro Nova Santa Marta, em porções vizinhas à área drenada pela BHAF, tem-se registros de erosão de margem, conforme é descrito por Lenhard (2022). Outro agravante ambiental registrado na área de estudo é urbanização e a implementação de lavouras sobre áreas de recarga do aquífero. Folmann e Foletto (2013) destacam em seu trabalho a necessidade da implementação de uma rede coletora de esgoto cloacal em Santa Maria e, conforme as autoras, essa ação reduzirá a contaminação das águas armazenadas no arenito basal Santa Maria.

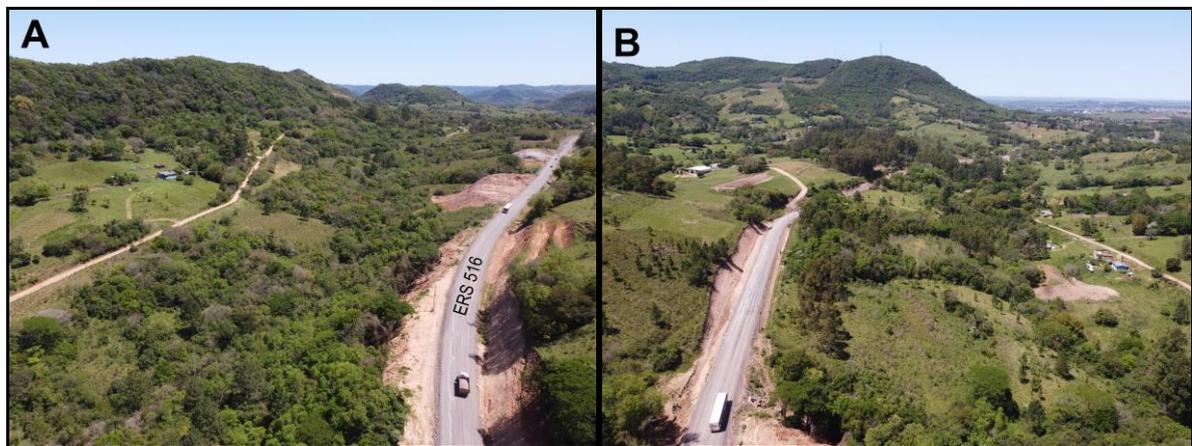
O processo de ocupação urbana foi intensificado a partir da ocupação da antiga fazenda Santa Marta, que deu origem a sete loteamentos (Andrade, 2013), sendo que alguns deles ocupam áreas drenadas pela BHAF. Segundo Cardozo (2013), a ocupação urbana nessa área ocorreu de maneira desordenada, sem distribuição de água tratada e coleta de resíduos, expondo a população que necessitava de habitação e o meio físico a riscos à saúde.

A classe de suscetibilidade média foi diagnosticada em 11,56km² da BHAF, em áreas de Argissolos Vermelhos, relevo ondulado e suavemente ondulado, nas margens de afluentes do curso d'água principal, lavouras e campos. Nessa classe, os campos apresentam uma menor intervenção antrópica por serem áreas de pousio ou abandono, exceto quando são utilizadas para pecuária. Algumas porções com formações sedimentares de origem fluvial e lacustre são identificadas nessas áreas, pelo fato de possuírem cobertura vegetal composta de áreas de campos e pousio, não sendo observados processos erosivos significativos. As áreas de média suscetibilidade demandam atenção e planejamento para que os impactos ambientais não se tornem altos ou muito altos. Lira, Francisco e Feiden (2022), ao analisarem a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco, no município de Toledo no Paraná, usando o método AHP e Lógica *Fuzzy*. Os resultados revelaram áreas de média fragilidade em que, mesmo assim os autores recomendaram que ações de planejamento sejam desenvolvidas no processo de uso e ocupação, para evitar danos ambientais mais severos.

As áreas de menor suscetibilidade a impactos ambientais, classe muito baixa e baixa, representam 12,85km² e 9,37km², respectivamente, da área da BHAF. Elas estão localizadas ao norte, principalmente ao nordeste e também nas margens do curso d'água principal e alguns afluentes, em áreas predominantemente rurais. Além disso, são associadas às áreas de Neossolos Litólico e Planossolos Háplicos, com predominância de vegetação arbórea e campos. O relevo é escarpado e as rochas predominantes são formações vulcânicas, sedimentares de origem eólica e depósitos aluvionares.

Na aproximação 1 da Figura 6, é possível notar a pressão antrópica exercida em áreas que estão classificadas como muito baixas e baixas. Um dos agentes é uma estrada, a ERS 516 (Figuras 8A e 8B), que liga os municípios de Santa Maria e São Martinho da Serra. Ela representa uma pressão ao ambiente devido as alterações causadas pelas estradas, como corte e aterro, e mais recentemente, às obras de pavimentação.

Figura 8 - Vista da estrada ERS 516 no alto curso da BHAF. Nessa área, são comuns pequenas propriedades rurais, que pela proximidade com a área urbana de Santa Maria, são usadas como áreas de lazer. A – Direção norte, sentido São Martinho da Serra; B – Sentido Sul, área urbana de Santa Maria



Fonte: Acervo dos autores (2022).

Sobre os impactos causados pelas rodovias, Teixeira *et al.* (2020), ao utilizarem técnicas de geoprocessamento para investigar os impactos gerados por essas infraestruturas, destacam que por um lado, as estradas trazem benefícios socioeconômicos, mas por outro lado, causam impactos ambientais, como principalmente, o aumento da morte de animais por atropelamento, além de servirem de vetores para a entrada de espécies invasoras. As estradas, ao cortarem as vertentes, transformam-se em canais de drenagem efêmeros, e para que isso não se configure como um impacto, é necessário que a drenagem e o comportamento da água na vertente sejam planejados e ocorra a construção de obras estruturais (Marinheski, 2017; Cunha; Thomaz, 2015).

Nesse sentido, apesar desse estudo espacializar áreas de suscetibilidade a impactos ambientais, são necessários aprofundamentos para a definição de ações a serem tomadas. Essas ações devem ser pensadas de forma a considerar as diferentes esferas da vida da população que ali vive, como a cultural, a social, a religiosa, a econômica, com o objetivo de garantir uma maior participação e integração desses atores nas transformações de sua realidade local.

Com vistas a uma relação de maior equilíbrio com a terra, sugere-se a agroecologia, entendida como um paradigma produtivo que abrange saberes, conhecimentos, técnicas e práticas que respeitam as diferentes condições de cada população e geografia (Leff, 2001). Nesse modelo é reconhecido que deve-se transcender o paradigma predatório da agricultura capitalista, e são propostas práticas sustentáveis de relação com a terra (Leff, 2001). Onde, "As práticas agroecológicas recuperam o sentido do valor de uso (ecológico) da terra e seus recursos, e o devolvem a seu verdadeiro ser" (Leff, 2001, p. 41). Alguns exemplos de implementação dessas práticas em realidades próximas às da BHAF, são encontrados nos municípios gaúchos de Santa Maria, Paraíso do Sul (Romeiro;

Guimarães, 2022), Viamão (Timm *et al*, 2022; Fernandes *et al*, 2022), Cacique Doble, Caxias do Sul, Porto Alegre, Gravataí, Nova Prata, Torres (Fernandes *et al*, 2022).

A agroecologia está ligada a temas como “Apoio a feiras e circuitos curtos de comercialização”, “Alimentação escolar”, “Agricultura urbana e periurbana”, “Educação ambiental”, “Conservação das águas e resgates de mananciais”, “Conservação ambiental”, entre outros (Londres *et al*. 2021). Além disso, os serviços ambientais oferecidos com a implementação de sistemas agroecológicos não apenas contribuem para a produtividade, mas também aumentam a capacidade de adaptação e resistência às mudanças climáticas (Leff, 2001). O aumento dessas capacidades é relevante no contexto da crise climática atual, a qual já é descrita como ‘Ebulição Global’, devido à aceleração das mudanças climáticas e seus severos impactos nos ecossistemas e na vida no planeta de modo geral.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A BHAF apresentou diversas áreas classificadas como elevadas para suscetibilidade a impactos ambientais, às quais merecem atenção especial da população, do poder público e organizações pertinentes. Com a aplicação de planejamento e políticas de mitigação de impactos, recuperação de áreas degradadas e, levando em conta que grande parte da área da BHAF é utilizada para fins agropecuários, sugere-se a implantação de práticas agroecológicas com vistas a uma melhor relação com a terra, além de uma melhor adequação com as características físicas, culturais, sociais, econômicas, etc. e evitar que tais áreas cheguem a estágios irreversíveis de recuperação. Essa conduta também pode ser válida para áreas de classes de média e menor suscetibilidade, com a intenção de preservar o que resiste e evitar um aumento nos níveis de suscetibilidade dessas áreas.

Os resultados aqui apresentados podem servir como subsídio a um planejamento ambiental futuro, como por exemplo, na revisão do Plano Diretor Municipal, onde também podem ser levados em conta outros critérios como clima, fauna e flora, dinâmica populacional e qualidade das águas. Além disso, pode ser realizado um mapeamento, utilizando exemplos de práticas agroecológicas já realizadas na BHAF ou em bacias hidrográficas vizinhas, como forma de demonstrar que há outras formas de relação com a terra, não somente a monocultura.

Um empecilho para a realização desse trabalho foi a dificuldade de encontrar dados georreferenciados de uma mesma escala, o que pode ter diminuído um pouco a precisão do trabalho, porém a discrepância de escala não foi consideravelmente grande, situando-se dentro dos limites ideais para área em questão. O critério de solos foi o de menor escala e o mais difícil de encontrar, sugere-se a realização de trabalhos sobre esse tema numa escala maior na região de Santa Maria, a qual conta com a Universidade Federal de Santa Maria e mão de obra qualificada, gerando subsídios a trabalhos de diferentes escalas, como em subbacias hidrográficas menores que a BHAF.

Conclui-se também, que o método AHP foi confiável para a análise ambiental multicritério empregada nesse trabalho, no qual os critérios e subcritérios puderam ser sintetizados e representados espacialmente, o que possibilitou uma análise geográfica e gerou subsídios para outros trabalhos acadêmicos e estudos ambientais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 322p, 2020. ISBN: 978-85-286-1095-6.

ARRIAL, G. S. Análise dos impactos ambientais na bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, município de Santa Maria, RS. 2023. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/30224>. Acesso em: 12 dez. 2023.

ARRIAL, G. S.; SCCOTI, A. A. V. Aplicação do *Classification and Regression Trees* no mapeamento do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria-RS. In: SEMANA DE GEOGRAFIA DA UEL, 29., 2023, Londrina-PR. **Anais**. [...]. Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina. v. 1, n. 1, p. 80-92, 2023. Disponível em: <https://sites.uel.br/semanadegeografia/anais/>. Acesso em: 24 jan. 2024.

- BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. J.; BOTELHO, R. G. M. (org). **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 269-300. ISBN: 978-85-286-0738-3.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. rev. amp. São José dos Campos, SP: INPE. 1998. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/. Acesso em: 27 fev. 2024.
- CARDOZO, S. B. A. Questões socioambientais do bairro Nova Santa Marta, na cidade de Santa Maria, RS. 2013. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9401/CARDOZO%2C%20SANDRA%20BEATRIZ%20E%20ANDRADE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 abr. 2024.
- CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. ed. 1. São Paulo, SP: Editora Gaia, 6. reimp., 2018. ISBN: 978-85-7555-235-3.
- CARVALHO, J. R. M.; CURTI, W. F. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG: UFU. v. 25, n. 1, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100008>
- CHELIZ, P. M.; RODRIGUES, J. A.; LADEIRA, F. S. B. O papel do meio físico e relevo na ocupação humana: potencialidades, vulnerabilidades e impactos ambientais (enchentes, erosão e assoreamento) na trajetória histórica da região de Araraquara (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 16, n. 1, p. 584-632, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p584-632>
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1999. ISBN: 85-212-0177-X.
- CORRÊA, R. L. **Região e Organização Espacial**. 7. ed. São Paulo: Editora Ática, 2000.
- COSTA, C. W.; LORANDI, R.; SERIKAWA, V. S.; FERREIRA, T. S.; STANGANINI, F. N.; NETO, P. S. G.; LOLLO, J. A. Análise multicritério aplicada à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários na Bacia do Ribeirão do Meio (Leme, SP), em escala 1:50.000. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG: UFU. v. 30, n. 1, p. 205-227, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-9>
- CRVR. **Unidade de Santa Maria**. Santa Maria: Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos, 2020. Disponível em: <https://crvr.com.br/area-de-atuacao/central-de-tratamento-de-residuos-de-santa-maria/>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. É possível reduzir a turbidez da água em bacia rural por meio de implantação de caixas de infiltração. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 16, n. 4, 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i4.725>
- DIAS, D. F. Utilização da Análise Hierárquica Ponderada para o estudo dos processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do rio Ibicuí - RS. 2021. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23584/TES_PPGGEOGRAFIA_2021_DIAS_DANI%C3%89LLI.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 abr. 2024.
- FERNANDES, L.; BECKER, C.; OYAMBURO, D.; INÁCIO, L.; SILVA, I. Municípios Agroecológicos: fomentos e incentivos à agroecologia nos municípios do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE AGROECOLOGIA, v. 17, n. 3, 2022. **Anais** [...]. Pelotas, RS: Associação Brasileira de Agroecologia, 2022. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6856> Acesso em: 04 jun. 2024.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. 2008. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 1. reimp., 2010. ISBN: 978-85-86238-82-6.
- FOLLMANN, F. M.; FOLETO, E. M. Importância de rede coletora de esgoto em área de recarga de aquífero. R. Ra'e Ga. Curitiba: UFPR. v. 29, 2013. <https://doi.org/10.5380/raega.v29i0.30527>
- GODOY, M. M.; SCHERER, O. L. B.; BINOTTO, R. B.; KISCHLAT, E. E.; DREHER, A. M. **Geologia e recursos minerais da folha Santa Maria SH.22-V-C-IV**: estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 179p, 2018. ISBN 978-85-7499-481-9. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20464>. Acesso em: 23 jan. 2024.

- GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v. 37, p. 123–136, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>
- GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2008.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 190p, 2012. ISBN: 978-85-286-1192-2.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281615>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH 22 Porto Alegre e parte das folhas SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro: Projeto RADAM Brasil, 1986. ISBN: 8524002530. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=219048>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**. v. 182, p. 147-156, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- JESUS, M. S.; SILVA, M. G.; TAVARES, M. S.; SILVA, L. G. O. C.; SANTOS, R. E. M.; BRANDÃO, T. M.; COSTA, I. M. N. B. C.; AMORIM, E. O. C. Métodos de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Development**. v. 7, n. 5. p. 38039-38070, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-321>
- KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre-RS; SPGG/RS. Disponível em: <http://200.198.145.164/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4102>. Acesso em: 22 abr. 2024.
- LEFF, E. Agroecologia e Saber Ambiental. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre: EMATER/RS, v. 3, n. 1, p. 35-56, 2002. Disponível em: <https://www.emater.tche.br/site/arquivos/revistas/958934218.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2024.
- LENHARD, M. O risco à erosão em cabeceira de drenagem no bairro Nova Santa Marta em Santa Maria – RS: diagnóstico, mitigação e urbanização. 2022. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23766>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 190p, 2012. ISBN: 978-85-286-1192-2.
- LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. *Classification of environmental fragility in watershed using Fuzzy logic and AHP method*. **Sociedade & Natureza**. V. 34, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62872>
- LONDRES, F.; MONTEIRO, D.; BROCHARDT, V.; MASELI, M.; JOMALINIS, E. (Org.) **Municípios Agroecológicos e políticas de futuro**: iniciativas municipais de apoio à agricultura familiar e à agroecologia e de promoção da segurança alimentar e nutricional. Rio de Janeiro: Articulação Nacional da Agroecologia. ed. 2, 2021. ISBN: 978-65-89039-01-3. Disponível em: <https://agroecologia.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Municipios-Agroecologicos-e-Politicas-de-Futuro.pdf> Acesso em: 04 jun. 2024.
- MARINHENSKI, V. A erosão em estradas não pavimentadas na bacia do rio do Atalho, em Cruz Machado – PR. **Boletim de Geografia**. Maringá-PR: EDUEM. v. 35, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.28802>
- MATOS, A. T. **Poluição ambiental**: impactos no meio físico. Viçosa, MG: Editora UFV. 1 reimp, 256p, 2011.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Cadastro Ambiental Rural**. 2024. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/estados/downloads>. Acesso em: 17 abr. 2024.

- MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis-SC. **Anais**. [...]. Florianópolis, SC: INPE. p. 2899-2906, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- OSGEO. **QGIS**. Versão 3.34.4. [Prizren]: OSGEO, 2024.
- PAULA, L. G. S.; RIBEIRO, S. M. C. Aptidão das áreas no entorno do Parque Estadual do Rio Doce para implementação de sistemas agroflorestais com base em análise multicritério. **Ciência Florestal**. Santa Maria, RS. v. 32, n. 1, p. 474–492, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509839173>
- PAULUS, G; MÜLLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica. Porto Alegre, RS: EMATER/RS, 2000. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/agroecologia/livros/AGROECOLOGIA%20APLICADA%20-%20PRATICA%20E%20METODOS%20PARA%20UMA%20AGRICULTURA%20DE%20BASE%20ECOLOGICA.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V.; SCCOTI, A. A. V. *Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil*. **Revista Ra'E Ga**. Curitiba, PR. v. 41, p. 37-48, 2017. <https://doi.org/10.5380/raega.v41i0.48724>
- ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, SP: UGB, v. 17, n. 2, p. 287-298, 2016. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.857>
- ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; SCCOTI, A. A. V.; PETCH, C. Utilização da Análise Hierárquica Ponderada em atributos do relevo para zoneamento de suscetibilidade a voçorocamentos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria/RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.15, n. 2, p. 994-1008, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p994-1008>
- ROMEIRO, J. B.; GUIMARÃES, G. M. Comunidade que Sustenta a Agricultura (CSA): uma experiência que acontece em Santa Maria, RS. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE AGROECOLOGIA, v. 17, n. 3, 2022. **Anais** [...]. Pelotas, RS: Associação Brasileira de Agroecologia, 2022. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6903>. Acesso em: 29 maio 2024.
- SAATY, T. L. *How to make a decision: The analytic hierarchy process*. **European Journal of Operational Research**. Holanda do Norte, Países Baixos, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. ISBN: 978-85-286-0738-3.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2. reimp., 2010. ISBN 975-8586238-79-6.
- SANTOS, A. A. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da Serra do Rola Moça**. 2010. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-953QZL>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2 reimp., 2009. ISBN: 978-85-86238-62-8.
- SILVA, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, RJ, 2001. ISBN: 85-902162-1-7.
- SEIFFERT, N. F. **Política Ambiental Local**. Florianópolis, SC: Editora Insular Ltda. 2008. ISBN: 987-85-7474-382-0.
- STRAHLER, A. N. *Dynamic basis of geomorphology*. **Bulletin of the Geological Society of America**. v. 63, n. 9, 1952. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)

TEIXEIRA, F. Z.; GONÇALVES, L. O.; BIASOTTO, L. D.; NÓBREGA, R. A. A.; KINDEL, Andreas. Ferramentas geográficas para análise e mitigação de impactos ambientais causados por infraestruturas viárias de transporte terrestre. In: SUTIL, T.; PEREIRA, J. R.; LADWIG, N. I.; ZOCHE, J. J.; PEREIRA, J. L. (org.). **Geoprocessamento na análise ambiental**. Criciúma-SC: UNESC, 2020. <https://doi.org/10.18616/geop08>

THE DOCUMENT FOUNDATION. **LibreOffice**. Versão 7.4.7.2. The Document Foundation. 2022.

TIMM, F. T.; FOLLADOR, K. R.; FANEZE, L. S.; MACHADO, G. R.; DUARTE, T. S.; NASCIMENTO, P. C. Sistema de plantio direto de hortaliças em hortas orgânicas de estudo no Assentamento Filhos de Sepé, em Viamão/RS. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE AGROECOLOGIA, v. 17, n. 3, 2022. **Anais** [...]. Pelotas, RS: Associação Brasileira de Agroecologia, 2022. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6723>. Acesso em: 29 maio 2024.

WESTPHALEN, L. A.; SANTOS, L. J. C. Caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do rio Itaqui/PR: subsídio para o mapeamento da fragilidade potencial. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5. 2004. **Anais** [...], Santa Maria, RS: UFSM. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/app/webroot/sinageo/5/2/Laiane%20Ady%20Westphalem.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

Recebido em: 10/06/2024

Aceito para publicação em: 29/10/2024