



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Vulnerabilidade Ambiental das Unidades Territoriais das Paisagens do Município de Francisco Beltrão PR

Julio Caetano Tomazoni¹, Elisete Guimaraes² Eduardo Caetano Tomazoni³

¹Pós Doutor em Química Inorgânica, Doutor e Mestre em Geologia, Especialista em Cartografia e Georreferenciamento Rural, Geógrafo, UTFPR Campus Francisco Beltrão, Brasil.caetano@utfpr.edu.br (autor correspondente). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão. Linha Santa Bárbara, s/n – CEP 85601-970 – Caixa Postal 135 – Francisco Beltrão – PR, <https://orcid.org/0000-0002-7932-0255>. ²Doutora e Mestre em Química Inorgânica, Especialista em Metodologia do Ensino Tecnológico, Bacharel e licenciada em Química, UTFPR Campus Francisco Beltrão, Brasil.guimaraes@utfpr.edu.br. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão. Linha Santa Bárbara, s/n – CEP 85601-970 – Caixa Postal 135 – Francisco Beltrão – PR, <https://orcid.org/0000-0003-3050-7331>. ³Advogado inscrito na OAB/PR sob o nº 91.628. Atualmente subcoordenador do setor trabalhista patronal do Ordakovski & Portes Lantier - OPL Advogados Associados. Mestrando em Direito pela Universidade Positivo - UP, Especialista em Direitos e Processos do Trabalho e Previdenciário pela Academia Brasileira de Direito Constitucional - ABDConst e Especialista em Direito Aplicado pela Escola da Magistratura do Paraná - EMAP. Graduado em Direito pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, <https://orcid.org/0009-0007-6990-3493>.

Artigo submetido em 29/01/2024 e aceito em 02/04/2024

RESUMO

Este trabalho apresenta uma aplicação prática da metodologia de mapeamento da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo e foi desenvolvido sobre o território do Município de Francisco Beltrão, localizado no Sudoeste do Estado do Paraná, Brasil, com área de 73.294,4125ha. Nele avaliou-se a vulnerabilidade potencial que está associada à potencialidade natural sem a ação antrópica e a vulnerabilidade emergencial que está associada à relação ao grau de impacto antrópico. Determinada a vulnerabilidade potencial, verificou-se que a área de estudos é naturalmente protegida da vulnerabilidade ambiental, pois, 79,8% de sua área possui grau moderadamente estável; 19,2%, possui, grau medianamente estável/vulnerável; e 0,9%, tem grau estável. Determinou-se a vulnerabilidade emergencial a partir da vulnerabilidade para o uso da terra em quatro coleções do MapBiomias: 1992, 2002, 2012 e 2022. O grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável é o predominante. Em 1992 compreendia 74,6% do território; em 2002, 73,4%; em 2012, 69,3% e em 2022, 67,4%. O grau de vulnerabilidade moderadamente estável, aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 21,2% do território; em 2002, 22,4%; em 2012, 25,9% e em 2022, 27,0%. O grau estável variou: 3,9% do território em 1992; 3,8%, em 2002; 4,2% em 2012 e 4,5% em 2022. O grau moderadamente vulnerável variou de 0,4% do território em 1992 para 1,1% em 2022. Analisando estatisticamente a correlação entre a vulnerabilidade potencial e a vulnerabilidade emergencial em 2022, obtém-se um coeficiente de correlação $r = 0,0111785616$. Esse valor, se transportado para o coeficiente de determinação R^2 , torna-se em 0,0001249602. Isso significa que as duas formas de vulnerabilidade estão correlacionadas em 0,012%, indicando uma correlação fraca ou praticamente inexistente, ou seja, que as áreas com vulnerabilidade emergencial em 2022 são, na grande maioria, diferentes que a vulnerabilidade potencial.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Potencial, Vulnerabilidade Emergencial, Uso dos Solos.

Environmental Vulnerability of Territorial Units of the Landscape of the Municipality of Francisco Beltrão PR

ABSTRACT

This work presents a practical application of the methodology for mapping landscape vulnerability to soil loss and was developed on the territory of the Municipality of Francisco Beltrão, located in the Southwest of the State of Paraná, Brazil, with an area of 73,294.4125ha. It assessed potential vulnerability, which is associated with natural potential without human action, and emergency vulnerability, which is associated with the degree of human impact. Having determined the potential vulnerability, it was found that the study area is naturally protected from environmental vulnerability, as 79.8% of its area has a moderately stable degree; 19.2% have a moderately stable/vulnerable level; and 0.9%, has a stable degree. Emergency vulnerability was determined based on vulnerability for land use in four MapBiomias collections: 1992, 2002, 2012 and 2022. The moderately stable/vulnerable degree of vulnerability is predominant. In 1992 it comprised 74.6% of the territory; in 2002, 73.4%; in 2012, 69.3% and in 2022, 67.4%. The moderately stable degree of vulnerability appears in second place, with the following behavior: in 1992 it covered 21.2% of the territory; in 2002, 22.4%; in 2012, 25.9% and in 2022, 27.0%. The stable degree varied: 3.9% of the territory in 1992; 3.8%, in 2002; 4.2% in 2012 and 4.5% in 2022. The moderately vulnerable degree varied from 0.4% of the territory in 1992 to 1.1% in 2022. Statistically analyzing

Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

the correlation between potential vulnerability and emergency vulnerability in 2022 , a correlation coefficient $r = 0.0111785616$ is obtained. This value, if transported to the coefficient of determination R^2 , becomes 0.0001249602. This means that the two forms of vulnerability are correlated at 0.012%, indicating a weak or practically non-existent correlation, that is, that the areas with emergency vulnerability in 2022 are, in the vast majority, different than the potential vulnerability.

Key words: Potential Vulnerability, Emergency Vulnerability, Land Use.

Introdução

A natureza tem lidado com mudanças significantes nas condições ambientais da Terra desde que a vida apareceu pela primeira vez, há cerca de 3,5 bilhões de anos. Por essa razão, os especialistas em ambiente dizem que quando se enfrenta uma mudança climática isso se torna um problema para a humanidade e outras espécies. Assim, dever-se-ia começar a entender como a natureza tem lidado com essas mudanças e tentar imitar as soluções que ela apresenta (Miller & Spoolman, 2015).

Após a revolução industrial, no Planeta Terra iniciou-se um processo de intensa poluição ambiental. Nas últimas décadas, a degradação ambiental ganhou mais força, aliada às novas tecnologias de produção e ao anseio por mais lucros, num processo desenfreado de alteração ambiental.

A degradação ambiental, na moderna literatura ambiental científica e de divulgação, é quase sempre ligada à uma mudança artificial ou perturbação de causa humana, é geralmente uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente. O agente causador de degradação ambiental é sempre o ser humano, pois processos naturais não degradam ambiente, apenas causam mudanças (Sánchez, 2013).

Apesar dos muitos avanços científicos e tecnológicos, a humanidade é totalmente dependente do ambiente seja para ter ar e água limpos, como comida, abrigo, energia e tudo mais que precisa para se manter viva e saudável. Portanto, a humanidade é parte, e não está à parte do restante da natureza (Miller & Spoolman, 2015).

Torna-se claro que as discussões ambientais geralmente giram em torno da sustentabilidade, que é um assunto instigante e muito debatido. Ela advém da percepção de que a atividade humana está consumindo os recursos naturais a uma velocidade que ultrapassa a capacidade de recuperação da natureza. A sustentabilidade implica na manutenção desses recursos para as gerações futuras (Spiro & Stigliani, 2009).

Os recursos naturais de caráter renováveis, como o solo, as florestas, a fauna silvestre, a água usada pelas plantas, as fontes, cujo uso e preservação adequados se convencionou denominar amplamente de conservação do solo,

têm sido insensivelmente maltratados por uma verdadeira agricultura de exploração. Isso tem sido provocado pelos agricultores, na sua ignorância, ou na luta contra limitações de ordem econômico social. Os solos estão desaparecendo, levados pela água e varridos pelo vento. Atualmente, a destruição da finíssima camada viva do planeta aumenta numa proporção não igualada na história. E, quando o solo desaparecer, as regiões férteis que existiram serão desérticas e inabitáveis (Bertoni & Lombardi Neto, 2012).

O processo erosivo é um fenômeno natural no contexto do equilíbrio dinâmico ambiental, no entanto, a ação antrópica, através do desmatamento de áreas geomorfologicamente ativas, através do desnudamento e manejo inadequado dos solos em práticas agrícolas ou loteamentos urbanos, para citar alguns exemplos, podem intensificar severamente as taxas de erosão, resultando prejuízos de ordem ambiental, econômica e social (Nörnberg & Rehbein, 2021).

Segundo Costa, Souza, Silva (2021) os estudos integrados de um determinado território exigem compreender o funcionamento do ambiente natural com ou sem intervenções humanas. Nesse contexto, a elaboração do Zoneamento Ambiental baseia-se em metodologias que exploram as interações entre os aspectos físicos e humanos, incorporando múltiplas disciplinas. É crucial ressaltar que a delimitação das unidades de paisagem, sob uma ótica de vulnerabilidade ambiental, fornece uma base importante para o planejamento territorial. Portanto, para avaliar a vulnerabilidade ambiental, é essencial integrar conhecimentos sobre as características do meio físico e humano (tais como solos, relevo, rochas, hidrografia, clima, uso e cobertura do solo), uma vez que esses elementos estão intrinsecamente interligados, influenciando os fluxos de matéria e energia de forma contínua.

A metodologia para o estudo de vulnerabilidade passou por várias adaptações ao longo dos anos, impulsionada pelos avanços tecnológicos na geração de mapas e na capacidade de sobreposição e interligação entre os elementos da paisagem, bem como pelas mudanças teóricas que orientavam os pesquisadores para diferentes objetivos específicos. Vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade, cada uma com suas abordagens e métodos, desempenharam papéis essenciais na

construção de metodologias capazes de lidar com a complexa realidade atual das áreas de estudo (MEDEIROS et al, 2023).

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas para a proposição de métodos de avaliação da capacidade e conflito de uso, aptidão agrícola, fragilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade natural e ambiental etc., que indicam condições da paisagem, associadas às características físico-naturais e/ou às alterações antrópicas. Tais avaliações permitem o entendimento dessas condições e, geralmente, possibilitam também a análise da ocorrência de processos erosivos hídricos, e de sua provável intensificação, se não forem observadas tais características (SANTOS et al. 2024).

No âmbito da bacia hidrográfica ocorrem diversos processos, dentre eles estão as relações de vulnerabilidade ambiental à erosão linear. A ideia de vulnerabilidade, embora seja bastante utilizada em pesquisas desde a década de 1980, possui significado amplo como potencial de perda, pois não se especifica qual perda que está sendo descrita. Assim, entende-se a concepção de vulnerabilidade como potencial de perda de solo pela erosão pluvial que se manifesta na paisagem sob a forma de sulcos, ravinas e voçorocas (Fushimi, Oliveira, Nunes, 2023).

A erosão é um fenômeno natural que faz parte do equilíbrio dinâmico ambiental. No entanto, a intervenção humana, como o desmatamento de áreas ativas do ponto de vista geomorfológico, o desnudamento e o manejo inadequado dos solos em práticas agrícolas ou em loteamentos urbanos, entre outros exemplos, pode intensificar consideravelmente as taxas de erosão. Isso resulta em danos ambientais, econômicos e sociais significativos (Nörnber & Rehbein, 2021).

Os métodos de fragilidade ambiental e vulnerabilidade ambiental através do uso integrado de diferentes variáveis ambientais - relevo, tipo de solo, precipitação e uso da terra - associadas aos modelos computacionais aplicados ao estudo da fragilidade para fins de ordenamento territorial, resultam em mapeamentos temáticos, nos quais uma área de estudo é classificada segundo uma escala de fragilidade ambiental e possibilitam analisar e identificar fatores de pressão e impactos sobre o ambiente e consequentemente auxiliam no processo de planejamento territorial e tomada de decisões.

Para mensurar a perda de solo através de erosão hídrica laminar existem vários modelos matemáticos determinantes que podem ser empregados, envolvendo a modelagem de parâmetros ambientais e dos processos dinâmicos envolvidos. A modelagem para a análise dos Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

efeitos do uso do solo e dos processos hidrossedimentológicos possibilita integrar um conjunto de parâmetros e procedimentos de simulação que consegue assemelhar-se às condições reais, auxiliando no entendimento da situação atual da área onde for aplicada, bem como no planejamento de ações preventivas (Vansan & Tomazoni, 2020).

O conceito de vulnerabilidade tem sido amplamente discutido nas últimas décadas em diferentes áreas de conhecimento, podendo apresentar vários significados dependendo do fenômeno abordado. No que diz respeito à área ambiental, a vulnerabilidade é definida, como a susceptibilidade que o ambiente possui quando submetido a um impacto potencial provocado por alguma ação humana. Esse conceito está associado, portanto, às características físicas naturais e às atividades antrópicas da paisagem (Carvalho, Silva, Salvio, 2022).

Como já foi mencionado, muitos modelos podem ser utilizados para quantificar a erosão. Um modelo em destaque é a análise da vulnerabilidade à perda de solo proposta por Crepani, Medeiros e Palmeira (2008). Para eles a noção de vulnerabilidade tem sido matéria de discussão entre os termos utilizados quando se trata de riscos e vulnerabilidades.

Os supracitados autores, em seus estudos, adotaram a metodologia de mapeamento da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo, desenvolvida por eles, com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico. Essa metodologia está fundamentada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e na potencialidade das imagens de satélites para estudos integrados que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.

Tricart (1977), para analisar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem, utiliza a caracterização morfodinâmica dessas unidades baseada na ecodinâmica, dentro das seguintes categorias:

1) meios estáveis – cobertura vegetal densa; dissecação moderada; e ausência de manifestações vulcânicas.

2) meios intergrades – equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.

3) meios fortemente instáveis – condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas; relevo com vigorosa dissecação; presença de solos rasos; inexistência de cobertura vegetal densa; planícies e fundos de vales sujeitos a inundação; e geodinâmica interna intensa.

Crepani et al. (1996) apud Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), fundamentados nesses

princípios criaram um modelo no qual buscaram a avaliação de forma relativa e empírica do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem, denominada Unidade Territorial Básica – UTB. O modelo apresenta três categorias morfodinâmicas, onde se tem como resultado a atribuição de valores que variam de 1,0 a 3,0 e ao identificar a condição morfodinâmica tende-se a

apresentar estabilidade ou instabilidade, conforme apresentado no Tabela 1.

Após essa primeira aproximação Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), procuraram contemplar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, construindo uma escala de vulnerabilidade à perda de solo para situações que ocorressem naturalmente, como se constata na Tabela 2.

Tabela 1 - Avaliação da Estabilidade das Categorias de Morfodinâmicas

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2008)

Tabela 2 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

Unidade de Paisagem	Média			Grau de Vulnerabilidade	Grau de Saturação			
					Vermelho	Verde	Azul	Cores
U1	↑ V U N E R A B I L I D A D E ↓	3,0		Vulnerável	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		2,7			255	153	0	
U5		2,6		Moderadamente vulnerável	255	204	0	
U6		2,5			255	255	0	
U7		2,4			204	255	0	
U8		2,3			153	255	0	
U9		2,2		Medianamente estável/vulnerável	102	255	0	
U10		2,1			51	255	0	
U11		2,0			0	255	0	
U12		1,9			0	255	51	
U13		1,8		Moderadamente estável	0	255	102	
U14		1,7			0	255	153	
U15		1,6			0	255	204	
U16		1,5			0	255	255	
U17		1,4		Estável	0	204	255	
U18		1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001)

Nessa tabela, quando há o predomínio de processos pedogenéticos, atribuíram-se valores próximos a 1; nas situações intermediárias o valor atribuído fica em torno de 2; já, quando predominam os processos morfogenéticos atribuíram-se valores próximos a 3. Na escolha das cores obedeceram aos critérios de comunicação visual associando às cores quentes as matizes do vermelho, amarelo e laranja e às cores frias as matizes do azul e do verde.

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo realizar uma aplicação prática da metodologia de mapeamento da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo desenvolvida por Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), visando apresentar métodos para avaliar e controlar a Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

erosão do solo. O trabalho foi desenvolvido sobre o território do Município de Francisco Beltrão no Estado do Paraná, Brasil.

Para efetivação do trabalho e determinação da vulnerabilidade à perda de solo, primeiro será determinado a vulnerabilidade potencial, através dos parâmetros: vulnerabilidade para o tema geologia, vulnerabilidade para o tema geomorfologia, vulnerabilidade para o tema solos, vulnerabilidade para o tema vegetação e vulnerabilidade para o tema clima.

Com resultado obtido na sequência será determinada a vulnerabilidade emergencial da unidade de paisagem. Para isso serão usados os parâmetros: vulnerabilidade potencial da unidade de paisagem e a vulnerabilidade para o uso da terra

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

O Município de Francisco Beltrão, indicado na Figura 1, está localizado no Sudoeste

do Estado do Paraná, Brasil e possui Área de 73.294,4125ha e Perímetro de 217.068,7419m.

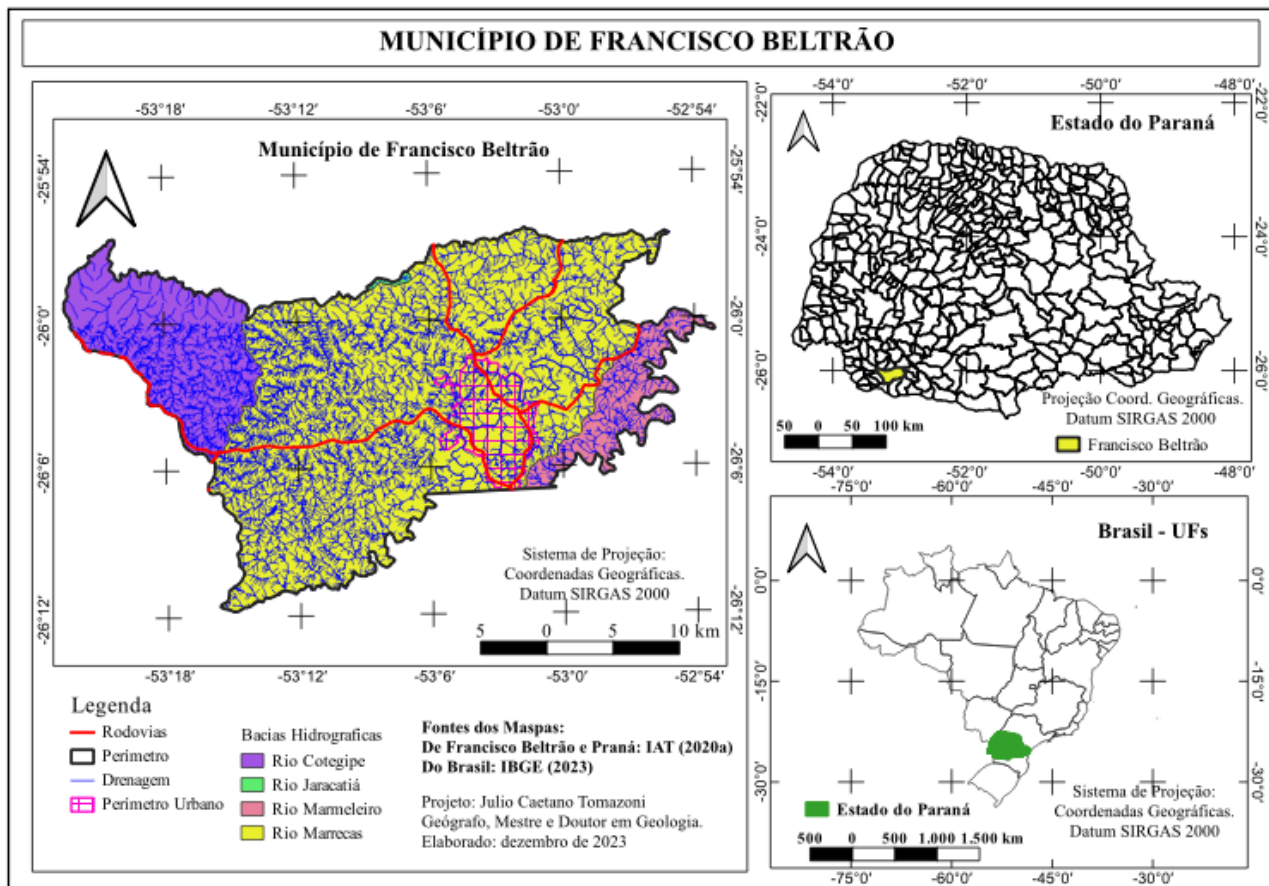


Figura 1 - Município de Francisco Beltrão e Localização o Estado do Paraná e Brasil.

Fonte: Autores (2024).

Mapeamento de vulnerabilidade à perda de solo

Para Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), o mapa de vulnerabilidade à perda de solo representa a análise do meio físico e biótico para a ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais.

Na metodologia adotada neste estudo para geração do mapa final de vulnerabilidade à perda de solo, cada componente da paisagem: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação/uso da terra e clima é uma imagem raster com resolução espacial de 30 m do banco de dados do software Qgis 3.30. Essas imagens têm o valor de seus pixels numa escala de 1 a 3 conforme Tabela 2 acima representada, indicando o seu grau de vulnerabilidade à perda de solo.

A equação usada para os cálculos é a 1.

$$V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5} \dots\dots\dots(1)$$

Em que:

Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

V – Vulnerabilidade da unidade de paisagem;

G – Vulnerabilidade para o tema geologia;

R – Vulnerabilidade para o tema geomorfologia;

S - Vulnerabilidade para o tema solos;

Vg - Vulnerabilidade para o tema vegetação/uso da terra;

C - Vulnerabilidade para o tema clima.

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade para o tema geologia

Para Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), a contribuição da geologia para análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e o grau de coesão das rochas que a compõe. Para o grau de coesão das rochas, os autores entendem que se refere à intensidade da

ligação entre os minerais ou partículas que as constituem.

Os autores acima mencionados apresentaram uma relação com a posição das rochas mais comumente encontradas na superfície terrestre, dentro da escala de vulnerabilidade à perda de solo relacionada a denudação (intemperismo + erosão). Nessa escala, as rochas menos suscetíveis à perda de solo foram os Quartzitos ou Metaquartzitos, para os quais os autores adotaram o grau 1. Já, os mais suscetíveis foram os Sedimentos inconsolidados: aluviões e

colúvios, dentre outros, para os quais adotaram o grau 3.

A estrutura geológica do município de Francisco Beltrão é constituída por rochas basálticas, desse modo, para as rochas Andesitos, Dioritos e Basaltos os autores adotaram o valor 1,5 que é um grau de suscetibilidade à erosão intermediário. Portanto, para a vulnerabilidade do tema geologia, para todo o território de Francisco Beltrão o valor considerado foi 1,5, como se observa na Tabela 3, além de mais detalhes e informações.

Tabela 3 - Escala de Vulnerabilidade à Denudação das Rochas Mais Comuns

Rochas	Escala de Vuln.	Rochas	Escala de Vuln.	Rochas	Escala de Vuln.
Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0	Milonito, Quartzo, Muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerado, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Horblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurólita xisto, Xisto granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fenólito, Nefelina sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Matessiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios, etc	3,0

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2008).

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade para o tema geomorfologia

Em relação à geomorfologia, são analisados os seguintes índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

Segundo Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade da

rocha. A amplitude altimétrica, que está relacionada ao aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial para o runoff. Por outro lado, a declividade tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo runoff. As Tabelas 4, 5 e 6, mostram os 21 valores de escala de vulnerabilidade adotados.

Tabela 4 - Valores de Vulnerabilidade Para a Intensidade de Dissecação do Relevo (Amplitude Interfluvial)

Amplitude do interflúvio (m)	Vuln.	Amplitude do interflúvio	Vuln.	Amplitude do interflúvio	Vuln.
>5000	1,0	3250 – 3500	1,7	1500 – 1750	2,4
4750 – 5000	1,1	3000 – 3250	1,8	1250 – 1500	2,5
4500 – 4750	1,2	2750 – 3000	1,9	1000 – 1250	2,6
4250 – 4500	1,3	2500 – 2750	2,0	750 – 1000	2,7
4000 – 4250	1,4	2250 – 2500	2,1	500 – 750	2,8
3750 – 4000	1,5	2000 – 2250	2,2	250 – 500	2,9
3500 – 3750	1,6	1750 – 2000	2,3	<250	3,0

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2008).

Tabela 5 - Valores de Vulnerabilidade Para a Amplitude Altimétrica

Amplitude Altimétrica (m)	Vuln.	Amplitude Altimétrica (m)	Vuln.	Amplitude Altimétrica (m)	Vuln.
<20	1,0	77 – 84,5	1,7	141,5 – 151	2,4
20 – 29,5	1,1	84,5 – 94	1,8	151 – 160,5	2,5
29,5 – 39	1,2	94 – 103,5	1,9	160,5 – 170	2,6
39 – 48,5	1,3	103,5 – 113	2,0	170 – 179,5	2,7
48,5 – 58	1,4	113 – 122,5	2,1	179,5 – 189	2,8
58 – 67,5	1,5	122,5 – 132	2,2	189 – 200	2,9
67,5 – 77	1,6	132 – 141,5	2,3	> 200	3,0

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2008).

Tabela 6 - Valores de Vulnerabilidade para a Declividade das Encostas

Declividade		Vuln.	Declividade		Vuln.	Declividade		Vuln.
Grau	Percent.		Grau	Percent.		Grau	Percent.	
<2	<3,5	1,0	9,9 – 11,2	17,4 – 19,8	1,7	19,1 – 20,4	34,6 – 37,2	2,4
2 – 3,3	3,5 – 5,8	1,1	11,2 – 12,5	19,8 – 22,2	1,8	20,4 – 21,7	37,2 – 39,8	2,5
3,3 – 4,6	5,8 – 8,2	1,2	12,5 – 13,8	22,2 – 24,5	1,9	21,7 – 23,0	39,8 – 42,4	2,6
4,6 – 5,9	8,2 – 10,3	1,3	13,8 – 15,2	24,5 – 27,2	2,0	23,0 – 24,4	42,4 – 45,3	2,7
5,9 – 7,3	10,3 – 12,9	1,4	15,2 – 16,5	27,2 – 29,6	2,1	24,4 – 25,7	45,3 – 48,1	2,8
7,3 – 8,6	12,9 – 15,1	1,5	16,5 – 17,8	29,6 – 32,1	2,2	25,7 – 27	48,1 – 50	2,9
8,6 – 9,9	15,1 – 17,4	1,6	17,8 – 19,1	32,1 – 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2008).

Determinação da Amplitude Altimétrica e Intensidade de Dissecação do Relevo

Para determinação dos índices aqui propostos, utilizou-se a metodologia de Crepani, Medeiros e Palmeira (2008) adaptada pela OPENGIS (2023) e o primeiro passo foi obter um Modelo Digital de elevação da área de estudos. Para isso foi usado o MDE SRTM - Shuttle Radar Topography Mission com resolução espacial de 30 m, que foi baixado do site da EMBRAPA. Esse MDE teve sua projeção reprojetada de EPSG4326 (Lat/Long) Datum WGS84, para EPSG 31982 (UTM) Datum Sirgas 2000. Na sequência, recortou-se o MDE, para que ficasse com um retângulo envolvente maior do que o da área de estudos.

A partir do MDE com o novo sistema de projeção, utilizou-se a ferramenta Raster/Análise/Preencher sem dados, para eliminar as depressões (pixels defeituosos) existentes no Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

mesmo, gerando o MDE_Sem_Depressao.tif. O arquivo foi gerado na linha de comando Depressionless DEM, ficando desabilitadas as linhas de comando Flow Direction e Problem áreas.

Depois de gerado o MDE_Sem_Depressao, adotou-se o procedimento para inverter o mesmo, processo que trouxe as bases para o topo. Para esse fim multiplicou-se o MDE_Sem_Depressao por (-1), processo que é feito na Calculadora Raster, criando o arquivo MDE_Invertido.tif. No MDE gerado, as áreas que eram mais baixas passam a ser as mais altas e vice-versa.

Sobre o MDE_Invertido foi aplicado o algoritmo r.fill.dir, para estabelecer as direções de fluxo. O arquivo foi gerado na linha Flow Direction com o nome de: MDE_DirecaoFluxo.tif, ficando desabilitado Depression less DEM e Problem areas. Gerado o MDE_DirecaoFluxo.tif, usou-se a ferramenta Raster/Análise/Preencher sem dados

para corrigir pixels defeituosos (sem dados), gerando MDE_DirecaoFluxoCor.tif.

Sobre o MDE_DirecaoFluxoCor.tif aplicou-se o algoritmo r.watershed para gerar as meias bacias. Em Minimum size of exterior watershed basin, colocamos o valor 300. O objetivo aqui é gerar as meias bacias, então deixamos marcado apenas Half-basins, e salvamos um arquivo com a denominação: MeiasBacias.tif. Gerado o raster com as meias-bacias, efetuou-se sua vetorização, através da ferramenta Raster/Converter/Raster para vetor, gerando o arquivo: MeiasBacias.shp.

Ao abrir a tabela de atributos do arquivo MeiasBacias.shp, verificou-se que só apresentava o campo DN (Número digital), de modo que se fez necessário inserir nessa tabela de atributos o valor da maior cota altimétrica da bacia. Para isso utilizou-se o algoritmo estatísticas zonais o MDE_Sem_Depressao.tif, digitando na linha de comando Estatísticas Zonais, na Camada de entrada colocou-se MeiasBacias e em Camada raster MDE_Sem_Depressao e em Estatística a Calcular foi selecionado: Intervalo, que é a informação de dissecação vertical. Em estatísticas Zonais encontra-se salvar no arquivo e criou-se o arquivo MeiasBacias1.shp. Ao abrir a tabela de atributos do arquivo MeiasBacias1.shp, verificou-se que existia o campo _range. Ressalta-se que as linhas que contém a informação null deve-se ao fato de ter sido considerada uma área maior além da área de estudos, com uma margem de segurança e, nesses casos, o programa não conseguiu criar meias bacias nesses locais.

Para dar sequência, abriu-se a tabela de atributos do arquivo MeiasBacias1 e criou-se o campo Área (em tipo campo deixou-se número inteiro) e procedeu-se o cálculo da área em “m²” de cada meia bacia. Instituiu-se o campo Perim (em tipo campo foi deixado número inteiro) e calculou-se o perímetro em “m”. A seguir foi criado o campo CompBac para cálculo do comprimento da bacia. O comprimento da bacia é igual ao perímetro dividido por 2. Continuando, calculou-se a largura da bacia que é a área da bacia dividida pelo comprimento, com intuito de criar o campo LargMed.

Para o campo de dissecação vertical criou-se um campo chamado DV que será igual ao campo _range. Após, foi gerado também o campo DH de dissecação horizontal que é igual à largura média (LargMed).

Para calcular a dissecação vertical, instituiu-se o campo IDV_Calc (em tipo campo foi deixado com número decimal com precisão de uma casa decimal) e utilizou-se a seguinte regra de

acordo com a Tabela 5, acima demonstrada, para gerar o campo:

```
CASE
WHEN "DV" < 20 THEN 1
WHEN "DV" >= 20 and "DV" < 29.5 THEN 1.1
.
.
Completou-se a regra de acordo com a Tabela 5.
.
.
WHEN "DV" >= 189 and "DV" < 200 THEN 2.9
WHEN "DV" >= 200 THEN 3
END
```

Gerado o campo IDV_Calc, foi selecionada a camada MeiasBacias1 e utilizado a ferramenta Raster/Converter/Converter vetor para raster (rasterizar), que gerou o arquivo A_AmplitudeAltimetrica.tif. Para gerar o arquivo configurou-se conforme a seguir: Camada de entrada: MeiasBacias1; Campo a usar para o valor burn-in: IDV_Calc; Unidades de tamanho de saída: Unidades georreferenciados; Resolução Horizontal/Largura: 30; Resolução Vertical/altura: 30; Extensão de saída: Calcular a partir da camada MDE_Sem_Depressao; em Rasterizado colocou-se: A_AmplitudeAltimetrica.tif.

Para calcular a dissecação horizontal, foi criado o campo IDH_Calc (em tipo campo deixamos número decimal com precisão de uma casa decimal) e utilizada a seguinte regra de acordo com a Tabela 4, já apresentada, para gerar o campo:

```
CASE
WHEN "DH" > 5000 THEN 1
WHEN "DH" >= 4750 and "DH" < 5000 THEN 1.1
.
.
Completou-se a regra de acordo com a Tabela 4.
.
.
WHEN "DH" >= 500 and "DH" < 750 THEN 2.8
WHEN "DH" >= 250 and "DH" < 500 THEN 2.9
WHEN "DH" < 250 THEN 3
END
```

Gerado o campo IDH_Calc, selecionou-se a camada MeiasBacias1 e utilizando a ferramenta Raster/Converter/Converter vetor para raster (rasterizar), foi gerado o arquivo G_GrauDissecacao.tif. Para gerar o arquivo procedeu-se conforme a seguir: Camada de entrada: MeiasBacias1; Campo a usar para o valor burn-in: IDH_Calc; Unidades de tamanho de saída: Unidades georreferenciados; Resolução Horizontal/Largura: 30; Resolução Vertical/altura: 30; Extensão de saída: Calcular a partir da camada

MDE_Sem_Depressao; em Rasterizado colocou-se: G_GrauDissecacao.tif

Determinação da Vulnerabilidade para a Declividade das Encostas

Para gerar uma imagem raster da declividade em porcentagem, foi selecionado o MDE_Sem_Depressao e utilizando a ferramenta: Raster/Análise/Declividade e gerou-se o arquivo DeclividadePorcent.tif.

Para criar o arquivo da vulnerabilidade para a Declividade das Encostas, usou-se o algoritmo r.recode da Caixa de Ferramentas de Processamento. Em input layer foi selecionado o arquivo DeclividadePorcent; em file containing recode rules foi marcado um arquivo txt, com as regras a seguir especificadas; em Recoded gerado o arquivo D_VulnerabilidadeDeclividade.tif.

0.0:3.5:1.0

3.5:5.8:1.1

.

.

Completou-se a regra de acordo com a Tabela 6, acima exposta.

.

.

48.1:50:2.9

50.0:100:3.0

Cálculo da Vulnerabilidade para a Geomorfologia

Para cálculo foi utilizada a equação 2

$$R = \frac{G + A + D}{3} \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

R – Vulnerabilidade para o tema geomorfologia;

G – Vulnerabilidade atribuída ao grau de dissecação (G_GrauDissecacao.tif);

A – Vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica (A_AmplitudeAltimetrica.tif);

D – Vulnerabilidade atribuída à declividade (D_VulnerabilidadeDeclividade.tif).

Com a Ferramenta Raster/Calculadora raster foi utilizada a Equação 2 calculada a R – Vulnerabilidade para o tema geomorfologia, gerando o arquivo R_VulnerabilidadeGeomorfologia.tif em formato Float 32bits, e resolução espacial de 30m.

O algoritmo r.recode foi utilizado para classificar o arquivo R_VulnerabilidadeGeomorfologia.tif. Recortou-se o arquivo pelo limite de Francisco Beltrão e foi Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

gerado o mapa final de Vulnerabilidade para o tema geomorfologia.

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade para o tema solo

Segundo Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), a chuva é a causa principal da erosão hídrica laminar, ou em sulcos, ou em ravinas. A chuva é o agente ativo da erosão e o solo o agente passivo. A capacidade de um solo resistir à erosão é chamada erodibilidade, que é função das suas condições internas ou intrínsecas, como sua composição mineralógica e granulométricas e suas características físicas e químicas, bem como das suas condições externas ou dos atributos da superfície do solo, relacionados ao seu manejo.

Na determinação da vulnerabilidade de cada tipo de solo deve ser considerado o grau de maturidade que é o produto direto do balanço da morfogênese/pedogênese. Ela indica se prevalecem os processos erosivos da morfogênese, comum em solos jovens e pouco desenvolvidos, ou se as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, que gera solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos.

Para a área de estudos, utilizou-se de acordo com Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), os graus de vulnerabilidade dos solos indicados na Tabela 7. Nas associações de solos efetuou-se uma ponderação em função dos tipos de solos que as compõem.

Para gerar o arquivo raster de vulnerabilidade para o tema solo, primeiro faz-se a importação do mapa de solos do Estado do Paraná em formato vetorial (shp) elaborado por Bhering et al (2008), recortando o mesmo pelo limite do território de Francisco Beltrão e gerando um mapa de solos da área de estudos. Na tabela de atributos desse arquivo criou-se um campo denominado Vulnerab (vulnerabilidade), e foram digitados os índices de acordo com a Tabela 7. Gerado o campo Vulnerab, selecionou-se a camada MapaSolosFrancisco Beltrao.shp e utilizando a ferramenta Raster/Converter/Converter vetor para raster (rasterizar), gerou-se o arquivo S_VulnerabilidadeSolo.tif. Para gerar o arquivo foi configurado conforme a seguir: Camada de entrada: MapaSolosFrancisco Beltrao.shp; Campo a usar para o valor burn-in: Vulnerab; Unidades de tamanho de saída: Unidades georreferenciados; Resolução Horizontal/Largura: 30; Resolução Vertical/altura: 30; Extensão de saída: Calcular a partir da camada MapaSolosFrancisco Beltrao.shp; em Tipo de dado de saída: Float 32bits; em Rasterizado: S_VulnerabilidadeSolo.tif.

Tabela 7 - Valores de Vulnerabilidade para o Tema Solos

Sigla	Descrição dos solos	Vulnerabilidade	
		Índice	Grau
LVdf2	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico	1,00	Estável
LVdf7	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico	1,00	
LVdf8	LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico	1,00	
LVef2	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico	1,50	Moderadamente estável
NVdf4	NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico + LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico	1,50	
NVdf3	NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico úmbrico	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVdf6	NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	2,00	
NVef2	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico	2,00	
NVef3	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico	2,00	
NVef6	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico chernossólico	2,00	
NVef4	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico + GEISSOLO indiscriminado	2,50	Moderadamente vulnerável
RRe12	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico chernossólico +CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico saprolítico + NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico	2,50	
RRe9	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico +NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico chernossólico + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico	2,50	

Fonte: adaptado de Crepani, Medeiros e Palmeira (2008) e EMBRAPA (2006).

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal e uso da terra

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem está diretamente ligada à sua capacidade de proteção do solo das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração.

Portanto, aos processos morfogenéticos relacionam-se às coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto os processos pedogenéticos ocorrem em casos que a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e a maturação do solo (Crepani, Medeiros E Palmeira, 2008).

Para a referida área de estudos determinou-se a vulnerabilidade da cobertura vegetal, inicialmente verificando a vegetação primitiva que cobria a área de estudos e para esse propósito elaborou-se o mapa Fitogeográfico de Francisco Beltrão a partir do Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná (IAT, 2020c). Segundo tal fonte, a formação florestal que cobria todo o município de Francisco Beltrão era a Floresta Ombrófila Mista Montana, também conhecida como Floresta com Araucária ou Mata dos Pinhais.

Segundo Crepani et al. (2001), são atribuídos valores próximos a 1,0 (estabilidade) para cobertura vegetal das unidades de paisagem Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

natural do tipo Floresta Ombrófila Mista, independentemente da sua posição topográfica (Aluvial, Submontana, Montana e Alto-montana), em razão disso adotou-se o índice 1,3.

Para interpretação da vulnerabilidade com base no uso da terra, foram utilizadas as formas de uso das coleções baixadas do site do MapBiomias (2023). Para o município de Francisco Beltrão baixou-se as coleções dos anos de 1992, 2002, 2012 e 2022. Nessas coleções foram detectadas as formas de uso, que estão discriminadas na Tabela 8. Com auxílio dos dados de Crepani et al. (2001), Crepani, Medeiros e Palmeira (2008) e OPENGIS (2023) Lopes e Saldanha (2016), interpretou-se a vulnerabilidade para cada forma de utilização, bem como seus índices e graus.

Para criar os índices de vulnerabilidade que constam na Tabela 8, utilizou-se o algoritmo r.recode da Caixa de Ferramentas de Processamento para atribuir os pesos de vulnerabilidade para cada forma de uso das imagens baixadas do site do MapBiomias para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022. Em input layer selecionamos um de cada vez os arquivos das imagens já especificadas dos quatro anos; em file containing recode rules, selecionamos um arquivo txt, com as regras para atribuição dos pesos; em Recoded geramos um arquivo para cada ano estudado (Vg_VulnerabilidadeUsoTerra1992.tif, Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2002.tif,

Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2012.tif, e
Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2022.tif).

Tabela 8 - Valores de Vulnerabilidade para o Tema Uso do Solo

Forma de uso	Índice	Grau	Fonte
Floresta	1,3	Estável	Crepani et al. (2001)
Reflorestamento	1,5	Moderadamente estável	Adaptado pelos autores
Hidrografia	1,5	Moderadamente estável	Lopes e Saldanha (2016)
Pastagem	2,0	Medianamente estável/vulnerável	OPENGIS (2023)
Agricultura e pastagem	2,4	Moderadamente vulnerável	Adaptado pelos autores
Lavouras de soja	2,7	Vulnerável	Crepani, Medeiros e Palmeira (2008)
Agricultura em geral	2,7	Vulnerável	Crepani, Medeiros e Palmeira (2008)
Área urbana	3,0	Vulnerável	OPENGIS (2023)
Solo exposto	3,0	Vulnerável	OPENGIS (2023)

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade para o tema clima

Referente ao tema clima, para a determinação da vulnerabilidade, inicialmente fez-se o georreferenciamento do Mapa de Precipitação pluviométrica do Estado do Paraná constante no Atlas climático do estado do Paraná elaborado por NITSCHKE et al. (2019). Na sequência foi criado uma camada vetorial e digitalizadas as isoietas de precipitação para todo o Estado. Elaborou-se um campo precipitação mensal na tabela de atributos do arquivo, sendo convertida a precipitação anual em mensal.

Usou-se o método da Interpolation/Interpolação TIN. Por esse método, a partir das isoietas gerou-se um arquivo raster com

precipitação mensal, para cada pixel interpolado. Submeteu-se esse dado raster ao algoritmo r.recode com base na Tabela 9, gerando o arquivo raster C_VulnerabilidadeClima.tif, que depois foi recortado para o limite do município de Francisco Beltrão.

00.0:50.0:1.0

50.0:75.0:1.1

.

.

Completou-se a regra de acordo com a Tabela 9.

.

.

500.0:525.0:2.9

525.0:1000.0:3.0

Tabela 9 - Valores de Vulnerabilidade para o Tema Clima

Precipitação (mm/mês)	Vulnerabilidade	Precipitação (mm/mês)	Vulnerabilidade	Precipitação (mm/mês)	Vulnerabilidade
<50	1,0	200 – 225	1,7	375 – 400	2,4
50 – 75	1,1	225 – 250	1,8	400 – 425	2,5
75 – 100	1,2	250 – 275	1,9	425 – 450	2,6
100 – 125	1,3	275 – 300	2,0	450 – 475	2,7
125 – 150	1,4	300 – 325	2,1	475 – 500	2,8
150 – 175	1,5	325 – 350	2,2	500 – 525	2,9
175 – 200	1,6	350 – 375	2,3	>525	3,0

Fonte: adaptado de Crepani, Medeiros e Palmeira (2008)

Metodologia adotada para determinação da vulnerabilidade das unidades de paisagens

Para determinar a vulnerabilidade para cada unidade de paisagem utilizou-se conforme sugerido por OPENGIS (2023) a Vulnerabilidade potencial e a Vulnerabilidade emergencial.

2.2.6.1. Vulnerabilidade potencial

A vulnerabilidade potencial está associada à potencialidade natural sem a ação antrópica. Para determiná-la, utilizou-se a equação 1, introduzida na Ferramenta do Qgis 3.30 Raster/Calculadora raster cujos termos foram substituídos pelos respectivos arquivos rasters de cada tema que a compõe, ficando assim constituída:

$$Vp_VulnerabilidadePotencialUnidadePaisagem = ((1,5 + R_VulnerabilidadeGeomorfologia + S_VulnerabilidadeSolo + 1,3 + C_VulnerabilidadeClima)/5)$$

Na Vulnerabilidade para o tema geologia, adotou-se o valor 1,5 para toda a área de estudos, pois todo o município de Francisco Beltrão é constituído por rochas basálticas.

Na Vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal e uso da terra, foi adotado o valor 1,3, valor adotado por Crepani et al. (2001), para a formação florestal que cobria todo o município de Francisco Beltrão que era a Floresta Ombrófila Mista Montana, ou Floresta com Araucária ou Mata dos Pinhais.

Vale lembrar que todos os arquivos continham a mesma área de abrangência (Território de Francisco Beltrão), a mesma resolução espacial dos pixels (30m) e o mesmo formato Float 32bits.

2.2.6.2. Vulnerabilidade emergencial

A Vulnerabilidade emergencial está associada à relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade potencial. Para calculá-la usou-se a metodologia de de OPENGIS (2023) e procedeu-se da seguinte forma:

$$Ve = \frac{(Vp + Vg)}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Em que

Ve = Vulnerabilidade Emergencial da Unidade de Paisagem (Ve_VulnerabilidadeEmergencialUnidadePaisagem);

Vp = Vulnerabilidade Potencial da Unidade de Paisagem (Vp_VulnerabilidadePotencialUnidadePaisagem.tif);

Vg = Vulnerabilidade para o Uso da Terra (Vg_VulnerabilidadeUsoTerra.tif).

Como foi considerada a Vulnerabilidade para o uso da terra para quatro coleções do MapBiomias (1992, 2002, 2012 e 2022), foi necessário rodar a Ferramenta do Qgis 3.30 Raster/Calculadora raster por quatro vezes, sempre substituídos os arquivos desse tema na equação, que eram: Vg_VulnerabilidadeUsoTerra1992.tif, Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2002.tif, Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2012.tif e Vg_VulnerabilidadeUsoTerra2022.tif.

Convém lembrar que todos os arquivos tinham a mesma área de abrangência (Território de

Francisco Beltrão), a mesma resolução espacial dos pixels (30m) e o mesmo formato Float 32bits.

Após rodar a ferramenta por quatro vezes foram obtidos os arquivos:

Ve_VulnerabilidadeEmergencialUnidade Paisagem1992;

Ve_VulnerabilidadeEmergencialUnidade Paisagem2002;

Ve_VulnerabilidadeEmergencialUnidade Paisagem2012; e

Ve_VulnerabilidadeEmergencialUnidade Paisagem2022.

Utilizou-se o algoritmo r.recode, para classificar esses quatro arquivos, com intuito de gerar os mapas finais classificados da Vulnerabilidade da unidade de paisagem, para os quatro anos estudados.

Resultados e discussão

Vulnerabilidade para o tema geologia

Conforme o Mapa Geológico do Estado do Paraná, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais:CPRM (2021) a geologia do Município de Francisco Beltrão assim se enquadra:

K1βpr:Formação Paranapanema: derrames de basaltos pahoeohoe espessos e inflados. Localmente rubbly pahoeohoe. Camada vulcanoclástica na base da unidade.

K1βpi:Formação Pitanga (pi): derrames delgados de lavas básicas do tipo pahoeohoe simples e/ou composto, associados a depósitos vulcanoclástico máficos (brechas, tufo-brechas e tufos). Intercalações comuns com arenitos e lamitos. Subordinadamente ocorrem derrames rubbly pahoeohoe e derrames pahoeohoe tabulares espessos. Localmente ocorrem paleolagos de lavas com disjunções colunare hexagonais de grande porte 134,4±1,1Ma (U-Pb SHRIMP). Membro Três Pinheiros (tp): derrames de lavas básicas hipohialinas de cor preta.

A espacialização desses dados consta na Figura 2, e a quantificação na Tabela 10.

Analisando os dados da Tabela 10, para o tema geologia, 100% da área do município de Francisco Beltrão possui vulnerabilidade 1,5, que a enquadra no grau moderadamente estável.

Tabela 10 - Dados da vulnerabilidade para o tema geologia

Sigla	Área		Vulnerabilidade
	ha	%	
K1βpr	40924,1984	55,8	1,5
K1βpl	32370,2141	44,2	1,5
Total	73.294,4125	100,0	

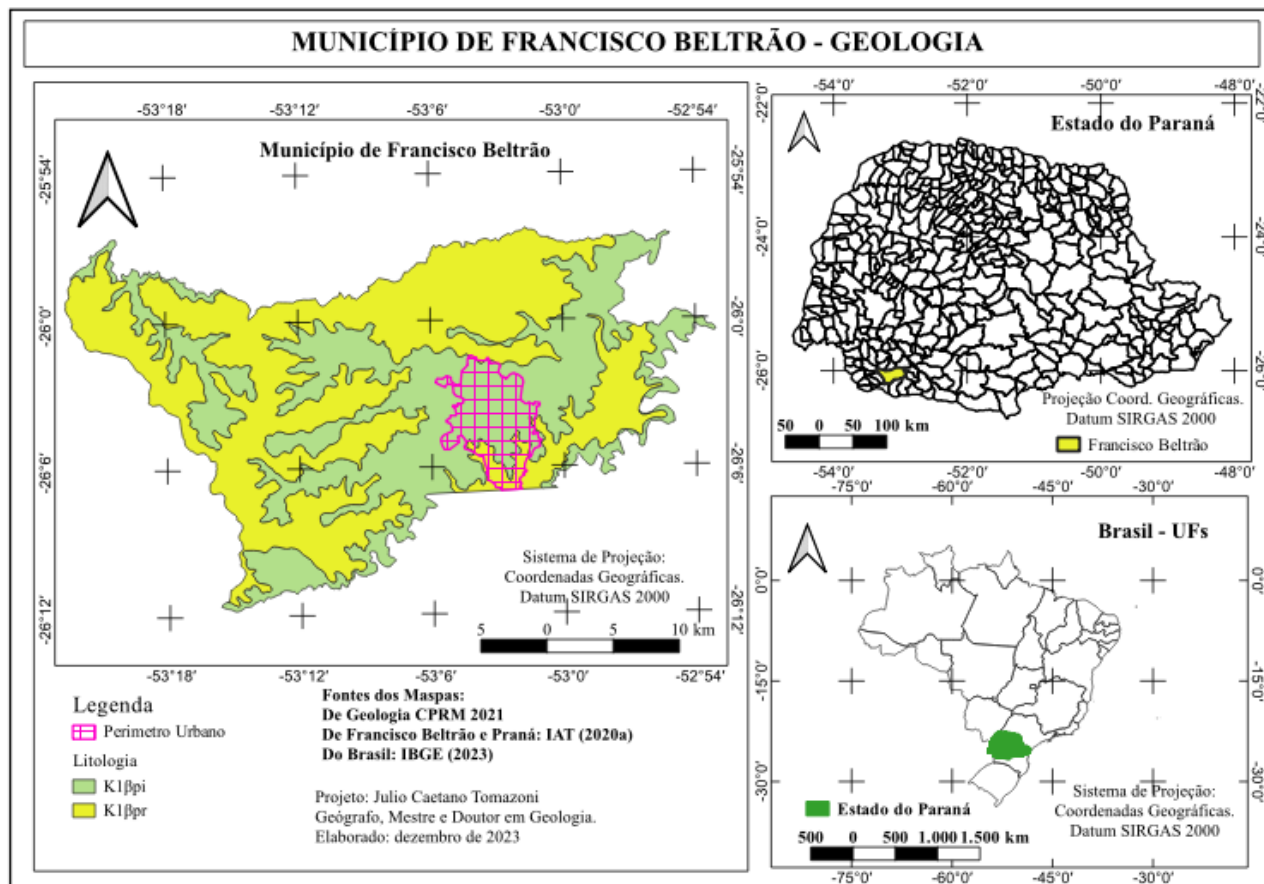


Figura 2 – Mapa Geológico de Francisco Beltrão. Fonte: CPRM (2021).

3.2 Vulnerabilidade para o tema geomorfologia

A determinação da vulnerabilidade para o tema geomorfologia é resultante da média ponderada das vulnerabilidades atribuídas ao grau de dissecação, à amplitude altimétrica e à declividade. A espacialização desses dados consta na Figura 3 e a quantificação na Tabela 11.

Os dados da Tabela 11, demonstram que em termos de vulnerabilidade para o tema

geomorfologia, em 72,7% do território de Francisco Beltrão há vulnerabilidade entre 1,8 e 2,2 – grau medianamente estável/vulnerável; em 18,2% da área há vulnerabilidade entre 2,3 e 2,6 – grau moderadamente vulnerável; em 8% da área a vulnerabilidade fica entre 1,4 e 1,7 – grau moderadamente estável e em 1,1% do território a vulnerabilidade fica entre 2,7 e 3,0 – grau vulnerável.

Tabela 11 - Dados da Vulnerabilidade para o Tema Geomorfologia

Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área ha	% da área
1,0 a 1,3	Estável	0,0000	0,0
1,4 a 1,7	Moderadamente estável	5894,6941	8,0
1,8 a 2,2	Medianamente estável/vulnerável	53296,0710	72,7
2,3 a 2,6	Moderadamente vulnerável	13323,9503	18,2
2,7 a 3,0	Vulnerável	779,6972	1,1
Total		73294,4125	100,0

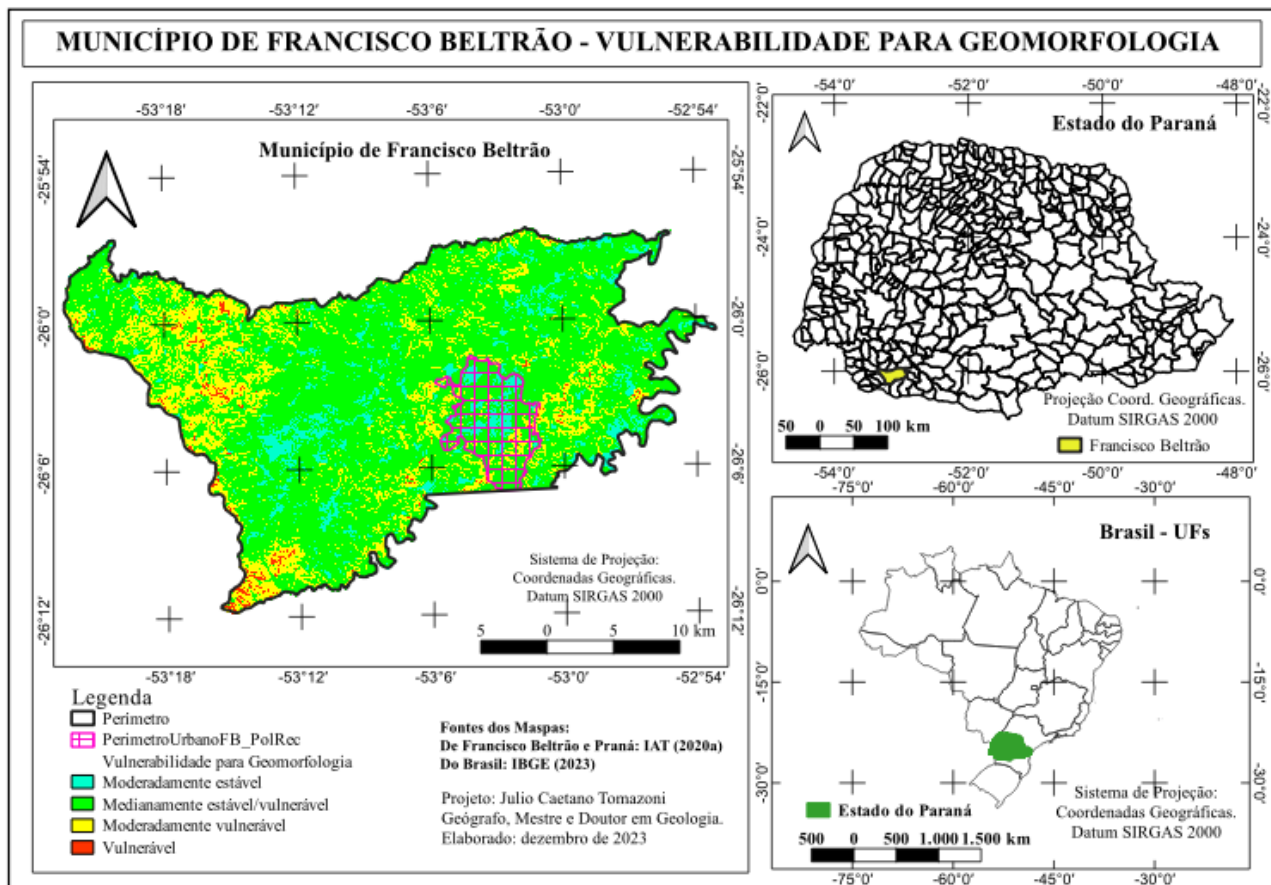


Figura 3 - Mapa da Vulnerabilidade para o Tema Geomorfologia

Vulnerabilidade para o tema solo

Os solos e as associações de solos que ocorrem na área, demonstrados Tabela 12 e na Figura 4, estão nas seguintes proporções:

RRe9 - Neossolo Regolítico Eutrófico + Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico, em 41,6% da área;

NVdf6 - Nitossolo Vermelho Distroférico típico, em 15,8% da área;

LVdf8 - Latossolo Vermelho Distroférico úmbrico, em 15,2% da área;

LVdf2 - Latossolo Vermelho Distroférico úmbrico, em 11,9% da área;

NVdf4 - Nitossolo Vermelho Distroférico úmbrico + Latossolo Vermelho Distroférico úmbrico, em 3,8% da área;

NVef2 - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico, em 3,2% da área;

LVef2 - Latossolo Vermelho Eutroférico + Nitossolo Vermelho Eutroférico, em 2,3% da área;

RRe12 - Neossolo Regolítico Eutrófico chernossólico + Chernossolo Argilúvico Férrio

saprolítico + Nitossolo Vermelho Distroférico típico, em 1,7% da área;

NVef6 - Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico, em 1,5% da área;

NVdf3 - Nitossolo Vermelho Distroférico úmbrico, em 1,4% da área;

NVef4 - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico + Geissolo indiscriminado, em 1% da área;

LVdf7 - Latossolo Vermelho Distroférico úmbrico, em 0,7% da área;

NVef3 - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico, em menos de 0,1% da área.

Portanto, predominam neossolos, seguidos dos nitossolos e dos latossolos.

Com base na Tabela 12, verifica-se que os solos com graus de vulnerabilidade moderadamente vulneráveis ocorrem em 32.410,7928 ha, ou 44,3 % da área; os solos de grau estável ocorrem em uma área de 20.337,9201 ha ou 27,8% do território; os solos medianamente estável/vulneráveis ocorrem em 16.088,3475 ha ou 21,9 % do território; já os solos moderadamente estáveis ocorrem em 4457,3521 ha ou 6,1 % da área.

Tabela 12 - Dados da Vulnerabilidade para o Tema Solo

Sigla	Descrição dos solos	Área		Vulnerabilidade	
		ha	%	Índice	Grau
LVdf2	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico úmbrico	8752,4988	11,9	1,00	Estável
LVdf7	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico úmbrico	478,2984	0,7	1,00	Estável
LVdf8	LATOSSOLO VERMELHO Distroférico úmbrico	11107,1229	15,2	1,00	Estável
LVef2	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico NITOSSOLO VERMELHO	1651,0464	2,3	1,50	Moderadamente estável
NVdf4	Distroférico úmbrico + LATOSSOLO VERMELHO Distroférico úmbrico	2806,3057	3,8	1,50	Moderadamente estável
NVdf3	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico úmbrico	1055,7240	1,4	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVdf6	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico	11608,9685	15,8	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVef2	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico	2325,7142	3,2	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVef3	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico	3,0040	0,0	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVef6	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico chernossólico	1094,9368	1,5	2,00	Medianamente estável/vulnerável
NVef4	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico + GEISSOLO indiscriminado NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico chernossólico +CHERNOSSOLO	701,5780	1,0	2,50	Moderadamente vulnerável
RRe12	ARGILÚVICO Férrico saprolítico + NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico +NITOSSOLO	1219,6174	1,7	2,50	Moderadamente vulnerável
RRe9	VERMELHO Eutroférico chernossólico + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico	30489,5974	41,6	2,50	Moderadamente vulnerável
Total		73294,4125	100,0		

Fonte: adaptado de Crepani, Medeiros e Palmeira (2008) e EMBRAPA (2006).

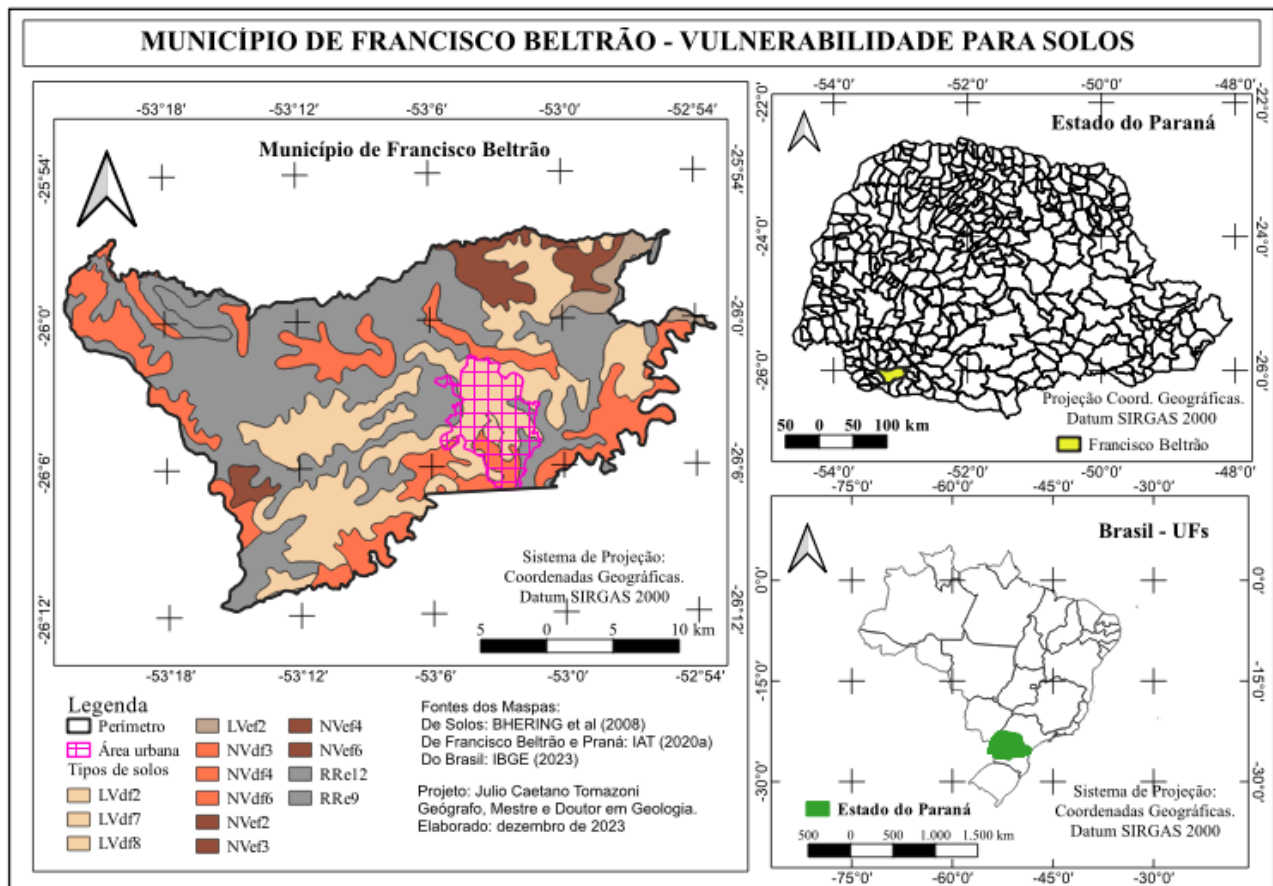


Figura 4 - Mapa da Vulnerabilidade para o Tema Solo. Fonte: Bhering et al. (2008), IAT (2020a) e IBGE (2023)

Vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal e do uso da terra.

A área de estudos era coberta pela vegetação primitiva caracterizada como Floresta Ombrófila Mista, que tinha a seguinte característica: reconhecida por uma rica miscigenação florística e designada como Mata de Araucárias, ou Pinhais, é predominante na região Sul do Brasil, com maior área de ocorrência sobre o Planalto Meridional (Coutinho, 2016, p-79), apesar de apresentar algumas disjunções em refúgios nas Serras do Mar e Mantiqueira, sugerindo que no passado ocorresse mais ao norte (IBGE, 2012 p-81).

É denominada mista por apresentar um dossel formado exclusivamente pela araucária, que é uma espécie de gimnosperma, e um sub-bosque onde predominam espécies dicotiledôneas. O pinheiro brasileiro ou *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, é a principal característica dessa floresta e pode sobreviver de 200 a 500 anos (Coutinho, 2016, p-78).

Acredita-se que o vulcanismo entre as Eras Jurássica e Cretácea foi um fator considerável para o despovoamento vegetal no Planalto Meridional. Isso torna possível a validação da hipótese de que a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze tenha sua

disseminação pelo Escudo Atlântico enquanto este estava unido à grande plataforma afro-brasileira no Paleozóico (IBGE, 2012, p-81).

Essa formação florestal se distribui pelos planaltos do Rio Grande do Sul, e estados de Santa Catarina e Paraná. Seu clima é quente-temperado úmido, com temperaturas médias anuais de 10 a 18°C, podendo chegar a temperaturas mínimas de -10°C em alguns dias de inverno. Os níveis pluviométricos giram em torno de 1500 mm anuais, não havendo período de seca. Os solos são provenientes de arenitos e basalto, profundos, férteis e bem drenados (Coutinho, 2016, p-79).

Conforme já mencionado, a característica mais marcante é o pinheiro Araucária, ou pinheiro brasileiro que pode atingir 50 metros de altura e até 2,5 metros de diâmetro, sendo que a densidade varia entre 5 a 25 indivíduos por hectares. Essa espécie possui raízes pivotantes com até 2 metros de profundidade (Coutinho, 2016, p-79).

A floresta Ombrófila Mista pode ser identificada por quatro formações:

a) Formação aluvial: formada em terraços antigos associados à rede hidrográfica, estando associada a espécies que podem variar de acordo com a situação geográfica e a altitude (IBGE, 2012, p-81). Por estarem associadas a cursos d'água, também são chamadas de florestas ripárias, ciliares

ou de galeria, constituem manchas de vegetação que resultam em trechos florestais com florística e estrutura própria. Exercem importante função na estabilidade do regime hídrico das planícies de inundações. A fragmentação dessas florestas compromete a segurança e a qualidade de vida de comunidades instaladas nesses ambientes;

b) Submontana: ocorre em altitudes inferiores a 400 metros. Essa formação compreende pequenas disjunções localizadas em diferentes pontos do Cráton sul-rio-grandense e de outras áreas da periferia do Planalto das Araucárias (IBGE, 2012, p-81);

c) Montana: ocorre aproximadamente entre as altitudes de 400 a 1000 metros. Atualmente reduzida a poucas localidades, já ocupou quase inteiramente o planalto acima de 500 metros de altitude nos três estados sulinos. Na década de 1950 podia se observar a Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze ocupando e emergindo de submatas associadas a outras espécies, entre os terrenos da cidade de Lages (SC) e Rio Negro (PR). Entre o Norte de Santa Catarina e o Sul do Paraná o pinheiro brasileiro estava associado à imbuia e

formava agrupamentos característicos que, atualmente, foram substituídos pela monocultura de soja e trigo (IBGE, 2012, p-81,82);

d) Alto-Montana: compreendendo altitudes superiores a 1000 metros, teve maior ocorrência no Parque Nacional Aparados da Serra, localizado na crista do Planalto Meridional, na divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul até a década 1960, quando se iniciou a exploração dos últimos remanescentes expressivos da cultura (IBGE, 2012, p-88).

A Floresta Ombrofila Mista Montana era a que ocorria no município de Francisco Beltrão segundo Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná (IAT, 2020). Segundo Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), tem índice de vulnerabilidade 1,3 e grau Estável.

Em relação às formas de uso que ocorreram e ocorrem no município de Francisco Beltrão, segundo coleções do MapBiomias (2023), estas estão resumidas nas Figuras 5, 6 e 7 e Tabela 13.

Tabela 13 - Uso do solo e Índice e Grau de Vulnerabilidade e 1992, 2002, 2012 e 2022

Forma de uso	Áreas ha				Vulnerabilidade	
	1992	2002	2012	2022	Índice	Grau
Floresta	14253,23	15407,73	17565,28	18619,01	1,3	Estável
Reflorestamento	635,53	609,73	2677,05	3306,84	1,5	Moderadamente estável
Hidrografia	304,94	156,92	169,24	243,67	1,5	Moderadamente estável
Pastagem	11734,92	12675,85	7996,78	5081,95	2,0	Medianamente estável/vulnerável
Agricultura e pastagem	19146,63	21821,01	20696,22	19597,08	2,4	Moderadamente vulnerável
Lavouras de soja	4456,76	7533,78	15604,16	21868,26	2,7	Vulnerável
Agricultura em geral	21804,85	13572,29	6495,91	1776,56	2,7	Vulnerável
Área urbana	923,70	1469,41	1983,56	2501,99	3,0	Vulnerável
Solo exposto	33,85	47,71	106,21	299,05	3,0	Vulnerável
Total	73294,41	73294,41	73294,41	73294,41		

Fonte: MapBiomias (2023).

Analisando a Tabela 13 e a Figura 5, conforme dados do MapBiomias 2023, o uso do solo no município de Francisco Beltrão se constituía, conforme descrito a seguir: A agricultura e pastagem, que teve um pequeno acréscimo no período, pois em 1992 abrangia 26,12% do território, em 2002, 29,77%, em 2012, 28,24% e em 2022 26,74%. As florestas tiveram um crescimento no período de 1992 até 2022, passando de 19,45% do território para 25,40%. As lavouras de soja foram as que mais aumentaram no período, em 1992 cobriam apenas 6,08% do território e no transcorrer do período tiveram constante aumento,

chegando em 2022, com a cobertura de 29,84% da área de estudos. As áreas com agricultura em geral foram as que mais diminuíram no período, em 1992 cobriam 29,75% do território e no transcorrer do período tiveram constante diminuição, chegando em 2022, com a cobertura de 2,42% da área de estudos. As áreas com pastagem sofreram grande diminuição no período, em 1992 representavam 16,01% da área e em 2022, apenas 6,93% do território. As áreas com reflorestamento também cresceram no período de 0,87% da área em 1992, chegaram em 2022 com 4,51% da área. As áreas urbanas aumentaram no período, haja vista que em

1992 cobriam apenas 1,62% do território e no transcorrer do período tiveram constante aumento, chegando em 2022 com a cobertura de 3,41% do território. A hidrografia teve tendência de diminuição, de 0,42% em 1992, chegou em 2022, com 0,33% da área. Os solos expostos aumentaram nesse mesmo período de 0,05% em 1992 para 0,41% da área em 2022.

Em 1992, a agricultura em geral ocupava 29,75% do território de Francisco Beltrão; a agricultura e a pastagem 26,12%; as florestas 19,45%; as pastagens 16,01%; as lavouras de soja 6,08%; a área urbana 1,26%, o reflorestamento 0,87%; a hidrografia 0,42% e o solo exposto 0,05%.

Em 2002, a agricultura e a pastagem alcançavam 29,77% do território de Francisco Beltrão; as florestas 21,02%; a agricultura em geral 18,52%; a pastagem 17,29%; as lavouras de soja

10,28%; a área urbana 2%; o reflorestamento 0,83%; a hidrografia 0,21%; e o solo exposto 0,07%.

No ano de 2012 a agricultura e a pastagem abrangiam 28,24% do território de Francisco Beltrão; as florestas 23,97%; as lavouras de soja 21,29%; as pastagens 10,91%; a agricultura em geral 8,86%; o reflorestamento 3,65%; as áreas urbanas 2,71%; a hidrografia 0,23%; e o solo exposto 0,14%.

Já, em 2022, as lavouras de soja atingiam 29,84% do território de Francisco Beltrão; a agricultura e a pastagem 26,74%; as florestas 25,40%; as pastagens 6,93%; o reflorestamento 4,51%; as áreas urbanas 3,41%; a agricultura em geral 2,42%; o solo exposto 0,41%; e a hidrografia 0,33%.

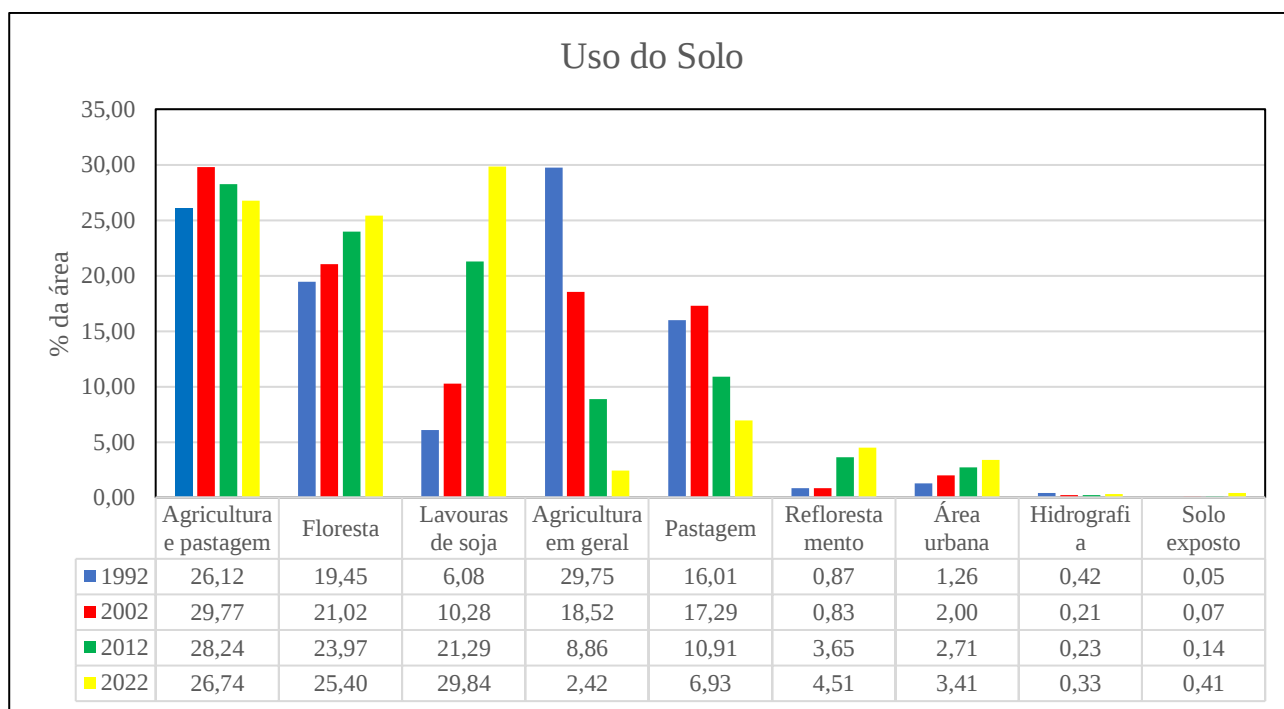


Figura 5 - Gráfico Demonstrando Uso do Solo nos Anos 1992, 2002, 2012 e 2022.

Com base na Figura 6, o setor da agropecuária que abrange as formas de uso pastagem, agricultura e pastagem, lavouras de soja e agricultura em geral, sempre ocupou a maior parte da área do município, mas decresceu na série histórica, pois em 1992 abrangia 77,96% da área, em 2002, 75,86%, em 2012, 69,30% e em 2022, 65,93%. As florestas tiveram um crescimento de 1992 para 2002 e 2012, entretanto, para 2022 mantiveram respectivamente as seguintes proporções do território de Francisco Beltrão: 19,45%, 21,02%, 23,97% e 25,40%. As urbanas nessas quatro décadas, tiveram um crescimento de 1992 para 2002, para 2012 e para 2022,

mantiveram respectivamente as seguintes proporções do território de Francisco Beltrão: 1,26%, 2,00%, 2,71% e 3,41%. As áreas com reflorestamento em 1992 cobriam 0,87% do território, em 2002 totalizava 0,83%; em 2012 chegou a 3,65% e em 2022 encontra-se com 4,51%, demonstrando que no período todo tiveram crescimento. Referente à hidrografia, em 1992 cobriam 0,42% do território, em 2002 0,21%; em 2012 0,23% e em 2022 0,33%, demonstrando que no período todo tiveram decréscimo. Sobre as áreas com solo exposto, em 1992 cobriam 0,05% do território, em 2002 0,07%; em 2012 0,14% e em 2022 0,41%, demonstrando que no período todo

tiveram crescimento, mas insignificantes no município.

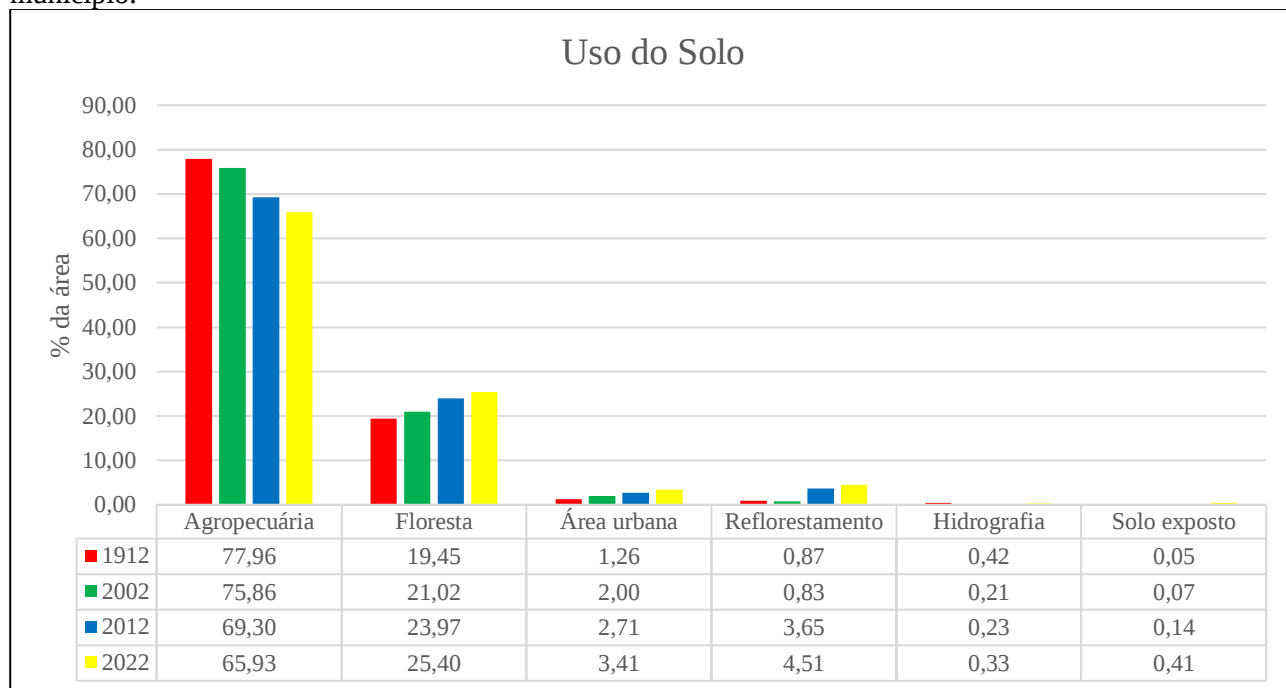


Figura 6 Gráfico Demonstrando Uso do Solo Por Setor no Anos 1912, 2002, 2012 e 2022

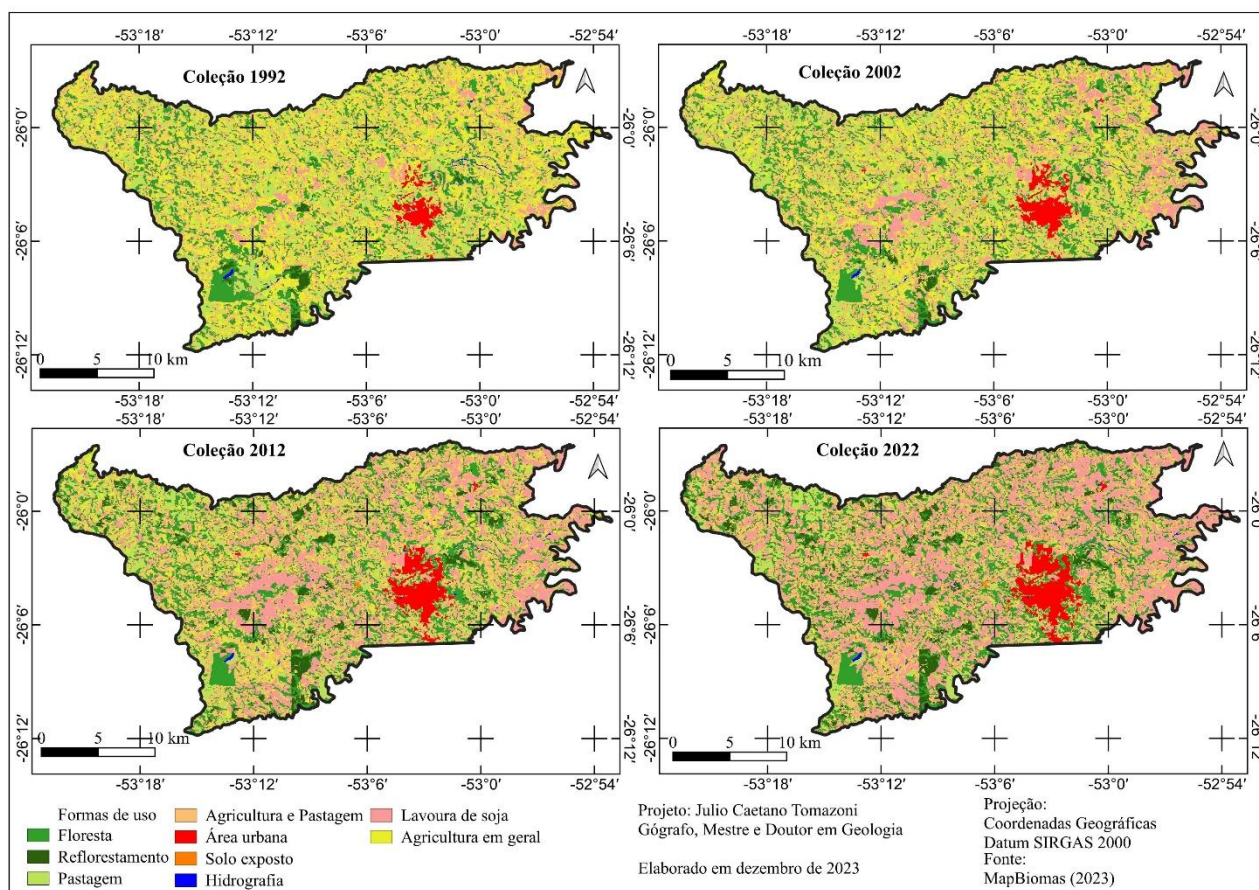


Figura 7 - Mapa da Vulnerabilidade para o Tema Uso do Solo

Fonte: MapBiomas (2023).

Referente ao grau de vulnerabilidade para o uso do solo, vale o que fica demonstrado na Figura 8.

O Grau Vulnerável (índice 2,7 a 3,0) que abrange as formas de uso denominadas Lavouras de soja, Agricultura em geral, Área urbana e Solo exposto foi o predominante, comportando-se da seguinte forma: em 1992 abrangia 37,14% do território, em 2002, 30,87%, em 2012, 33,0% e em 2022, 36,08%.

Em segundo lugar aparece o Grau Moderadamente Vulnerável (índice 2,3 a 2,6), que corresponde à forma de uso Agricultura e pastagem, apresentando o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 26,12% do território, em 2002, 29,77%, em 2012, 28,24% e em 2022, 26,74%.

Na sequência está o Grau Estável (índice 1,0 a 1,3) sendo o local de ocorrência das Florestas, com o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 19,45% do território, em 2002, 21,02%, em 2012, 23,97% e em 2022, 25,40%.

Em quarto lugar ocorre o Grau Medianamente Estável/vulnerável (índice 1,8 a 2,2), local de Pastagens, com o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 16,01% do território, em 2002, 17,29%, em 2012, 10,91% e em 2022, 6,93%.

Por fim ocorre o Grau Moderadamente Estável (índice 1,4 a 1,7), local de Reflorestamento e Hidrografia, comportando-se da seguinte forma: em 1992 abrangia 1,28% do território, em 2002, 1,05%, em 2012, 3,88% e em 2022, 4,84%.

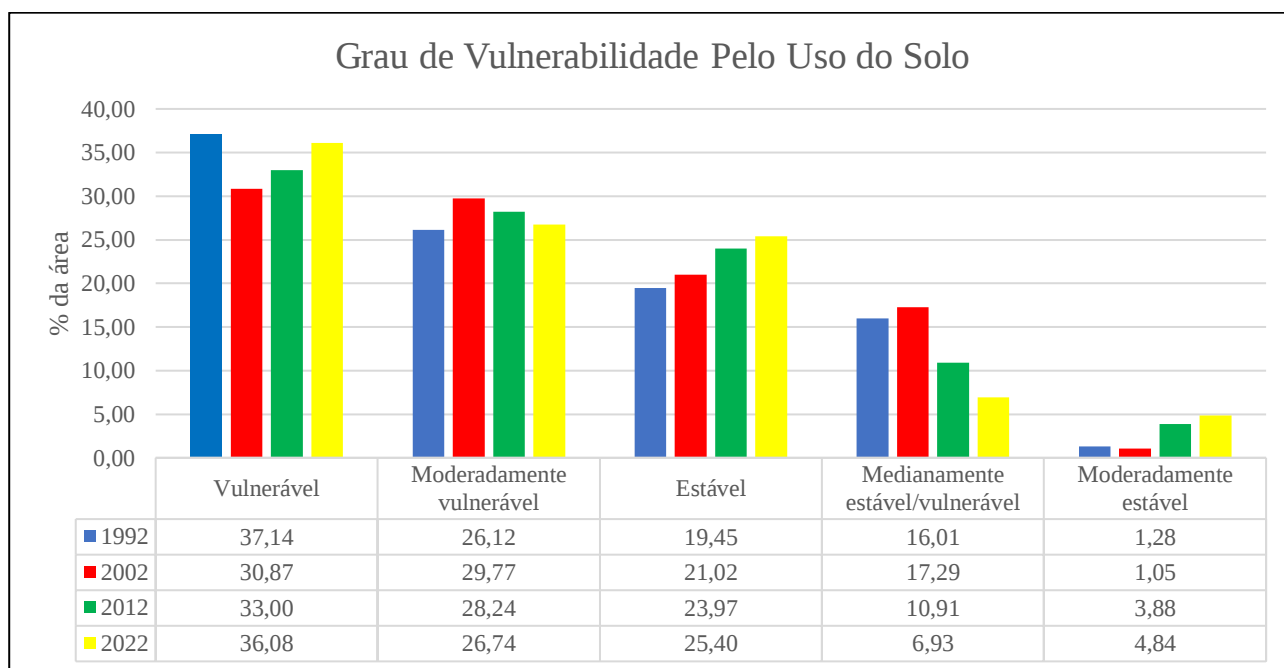


Figura 8 - Grau de Vulnerabilidade para o Tema Uso do Solo

Vulnerabilidade para o tema clima

Em relação à vulnerabilidade para o clima, feita a extrapolação da precipitação média mensal para cada ponto do território do município, constatou-se que os índices pluviométricos mensais ficaram entre 166 mm e 183 mm. Esses dados, quando convertidos para índices de vulnerabilidade conforme demonstrado na Tabela 14 e Figura 9, ficaram entre 1,5 e 1,6, ou seja, ao Grau Moderadamente Estável.

Tabela 14 - Índice e Grau de Vulnerabilidade para o Tema Clima

Vulnerabilidade		Área	
Índice	Grau	ha	%
1,6	Moderadamente estável	11284,31	15,4
1,5	Moderadamente estável	62010,10	84,6
Total		73294,41	100,0

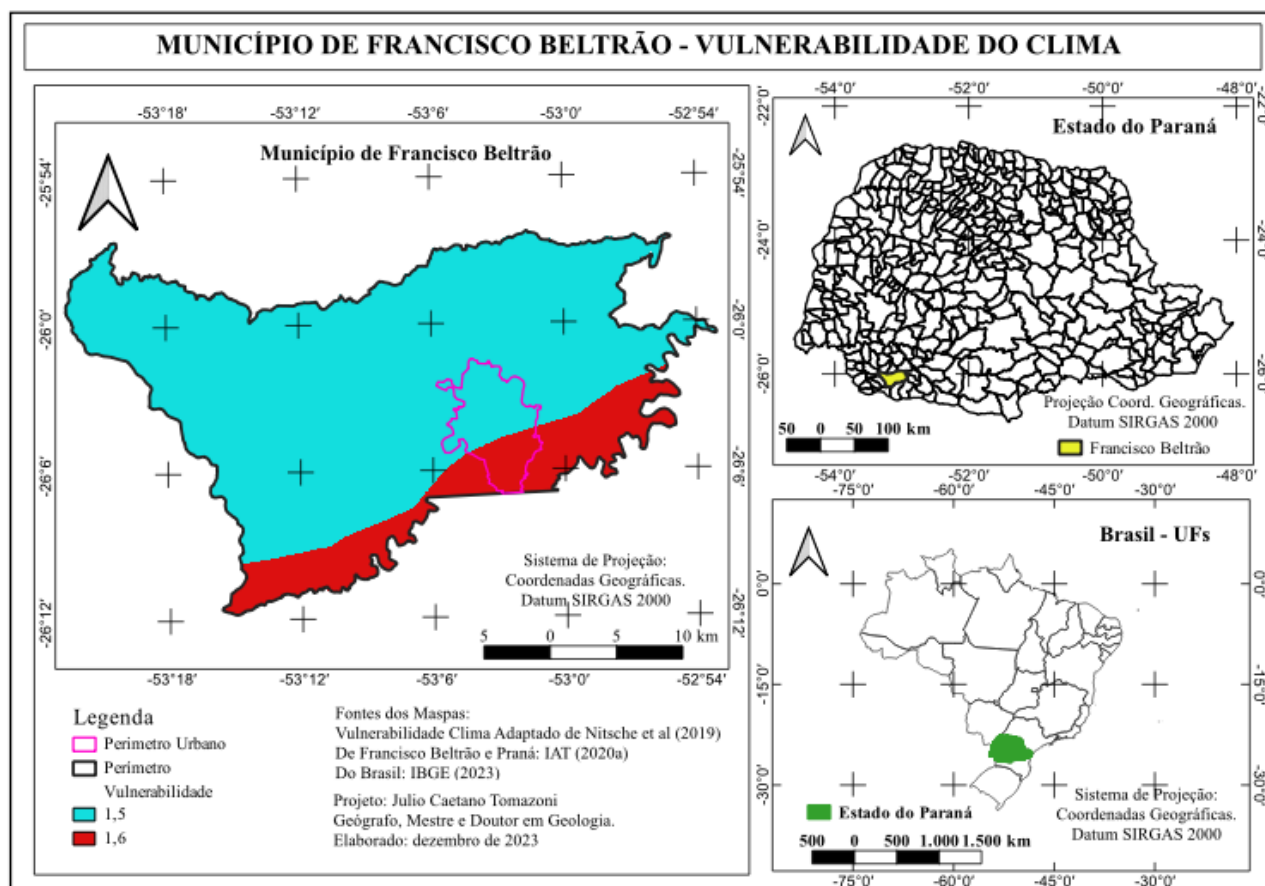


Figura 9 - Índice de Vulnerabilidade para o Tema Clima

Vulnerabilidade das unidades de paisagem

Vulnerabilidade potencial

Ao analisar a vulnerabilidade potencial, que está associada à potencialidade natural sem a ação antrópica, pela Tabela 15 e pela Figura 10 constata-se que o território do município de Francisco Beltrão é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois 79,8% (58520,24ha) de sua área possui índice de 1,4 a 1,7, o que corresponde ao grau Moderadamente Estável; 19,2% (14102,92 ha), possui índice 1,8 a 2,2, ou seja, grau Medianamente Estável/vulnerável; e 0,9% (671,2437 ha), tem índice 1,0 a 1,3 com grau Estável.

A contribuição dos temas na formação da vulnerabilidade potencial ficou assim classificada: em primeiro lugar vulnerabilidade ao tipo de solo, em segundo lugar a geomorfologia, em terceiro

lugar o clima, em quarto lugar a geologia e por último e quinto lugar a vegetação primitiva.

Tabela 15 Vulnerabilidade Potencial das Unidades de Paisagem

Vulnerabilidade		Área	
Índice	Grau	ha	%
1,0 a 1,3	Estável	671,2437	0,9
1,4 a 1,7	Moderadamente estável	58520,24	79,8
1,8 a 2,2	Medianamente estável/vulnerável	14102,92	19,2
2,3 a 2,6	Moderadamente vulnerável	0,00	0,00
2,7 a 3,0	Vulnerável	0,00	0,00
Total		73294,41	100

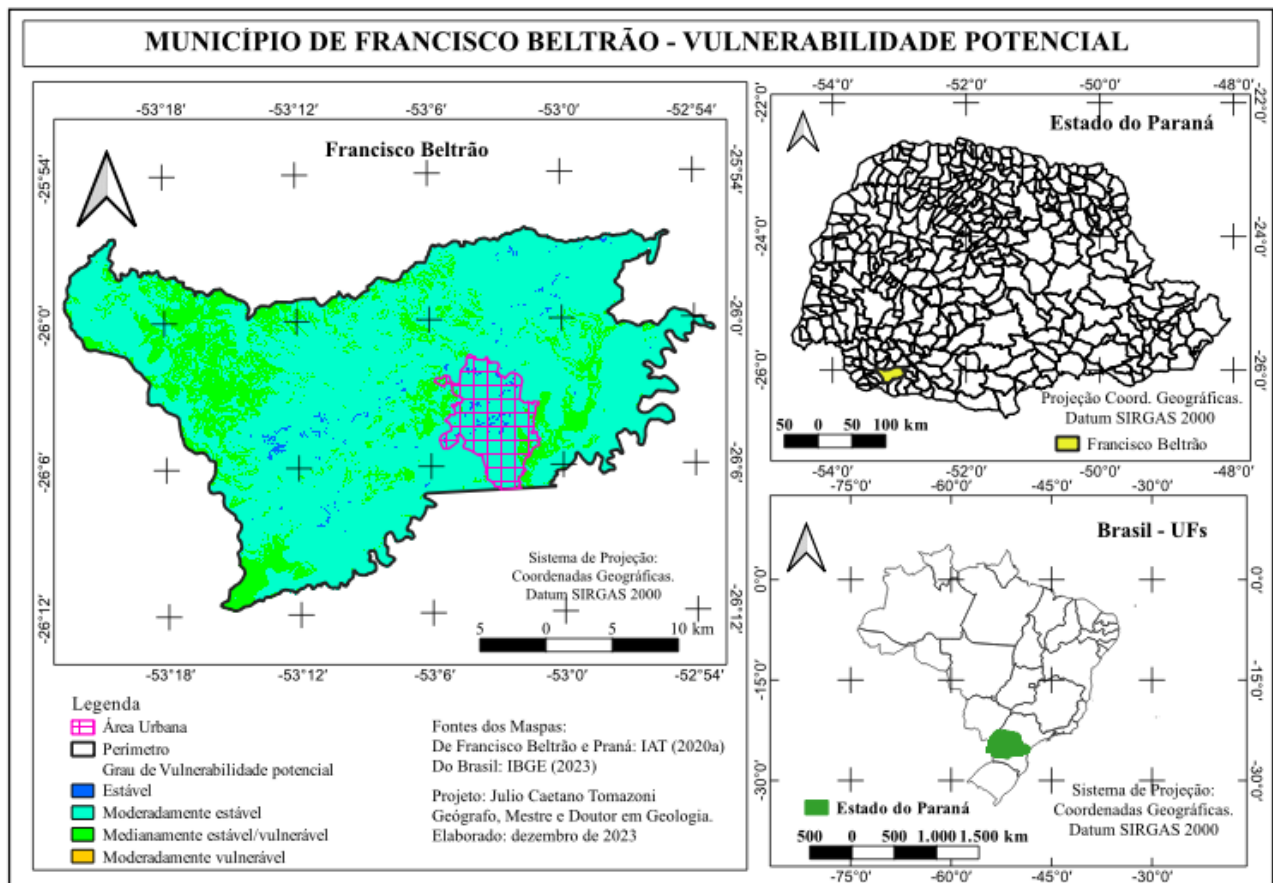


Figura 10 - Vulnerabilidade Potencial das Unidades de Paisagem

Vulnerabilidade emergencial

Determinada a Vulnerabilidade Emergencial, que é resultante da relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade Potencial, analisando a Tabela 16 e as Figuras 11 e 12 é possível efetuar as seguintes constatações:

O grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável (índice ,8 a 2,2) é o predominante. Em 1992 abrangia 74,6% do território, em 2002, 73,4%, em 2012, 69,3% e em 2022, 67,4%. Esse decréscimo na abrangência do território de 1992 para 2022 de 7,2% se deve à diminuição das áreas com atividade agropecuária no período OU nos períodos mais vulneráveis e o aumento das áreas de floresta e reflorestamento nos menos vulneráveis.

O grau de vulnerabilidade moderadamente estável (índice de 1,4 a 1,7), aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992,

abrangia 21,2% do território, em 2002 chegava a 22,4%, em 2012 o patamar era de 25,9% e em 2022 de 27,0%. Verifica-se que nesse período esse tipo de vulnerabilidade teve um aumento de 5,8%, isso se deve ao aumento das formas de uso do solo menos vulneráveis no período.

O grau Estável (índice de 1,0 a 1,3) variou de 3,9% do território em 1992 para 3,8% em 2002, indo para 4,2% em 2012 e para 4,5% em 2022. Essa variação positiva de 0,6% é atribuída ao aumento de formas de uso menos vulneráveis como as florestas.

O grau Moderadamente Vulnerável variou de 0,4% do território em 1992 para 1,1% em 2022. Esse aumento está associado, principalmente, ao incremento de áreas urbanas.

O grau Vulnerável não aparece para nenhum dos anos avaliados

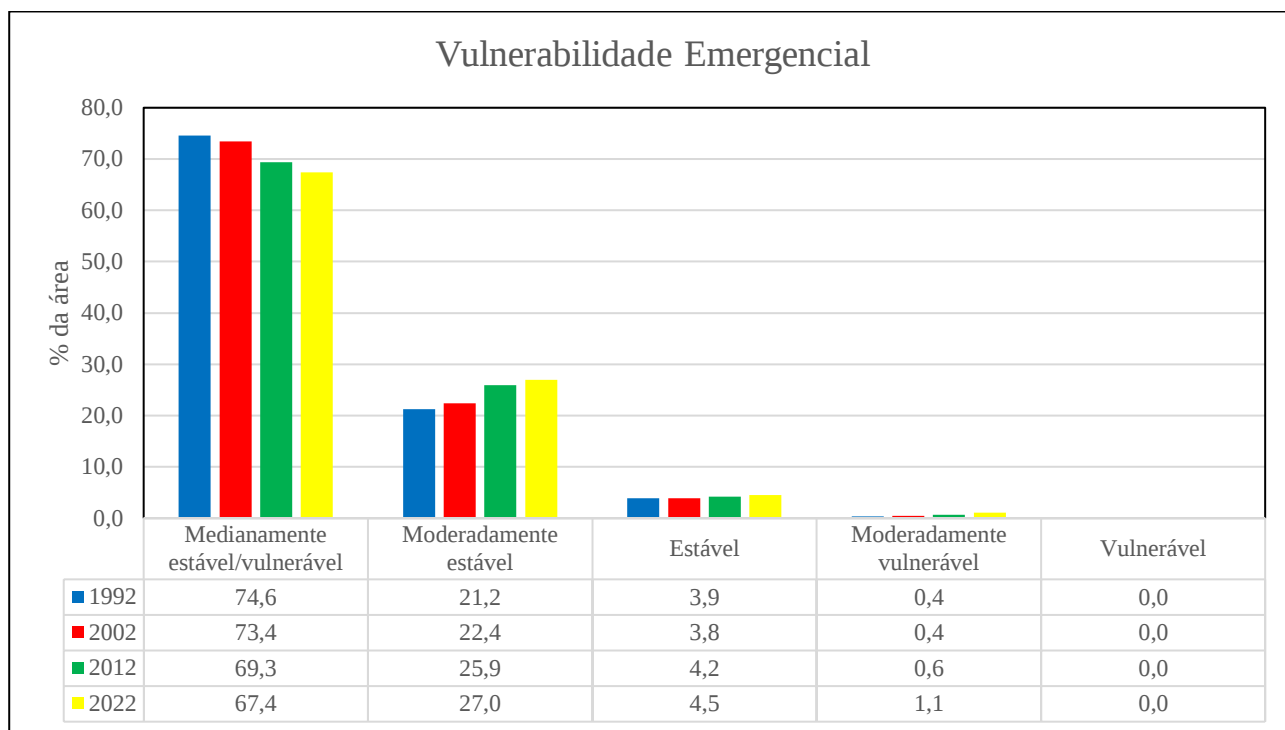


Figura 11 - Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem

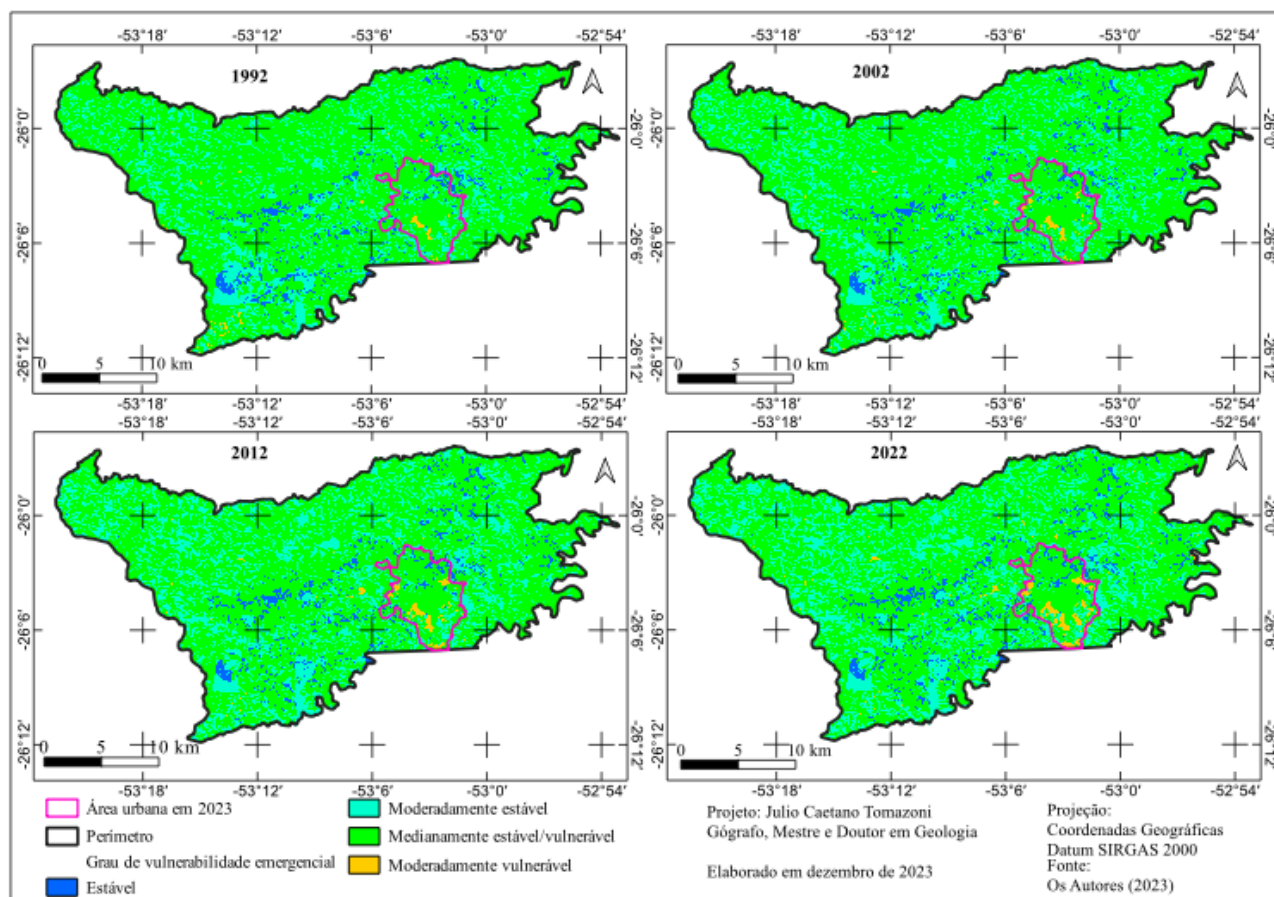


Figura 12 - Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem por Ano de Estudo

Tabela 16 - Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem

Vulnerabilidade		Área ha			
Índice	Grau	1992	2002	2012	2022
1,0 a 1,3	Estável	2834,61	2796,89	3046,45	3288,44
1,4 a 1,7	Moderadamente estável	15540,85	16391,07	18965,14	19785,92
1,8 a 2,2	Medianamente estável/vulnerável	54642,39	53800,28	50816,93	49419,34
2,3 a 2,6	Moderadamente vulnerável	276,56	306,18	465,89	800,71
2,7 a 3,0	Vulnerável	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		73294,41	73294,41	73294,41	73294,41

A tabulação cruzada entre a vulnerabilidade potencial (linhas) e vulnerabilidade emergencial (colunas) para 2022 está representada na Tabela 17.

Para a vulnerabilidade potencial, 671,25 ha eram considerados no grau estável, considerando a vulnerabilidade potencial em 2022, essa área era assim distribuída: grau estável, 130,90 há; moderadamente estável 38,53 ha e medianamente estável/vulnerável 501,81 ha.

Para a vulnerabilidade potencial, 58520,24 ha eram considerados no grau moderadamente estável e em 2022 a vulnerabilidade potencial dessa área era assim distribuída: grau estável 3147,73 ha; moderadamente estável 14438,37 ha, medianamente estável/vulnerável 40281,89 ha e moderadamente vulnerável 652,25 ha.

Para a vulnerabilidade potencial, 14102,92ha eram considerados no grau

medianamente estável/vulnerável, em 2022 a vulnerabilidade potencial, dessa área era assim distribuída: grau estável, 9,81 ha, moderadamente estável, 5309,02 ha, medianamente estável/vulnerável 8635,63 ha e moderadamente vulnerável 148,46 ha.

Analisando estatisticamente a correlação entre a Vulnerabilidade Potencial e a Vulnerabilidade Emergencial em 2022 obtém-se um coeficiente de correlação $r = -0,0111785616$. Esse valor, se transportado para o coeficiente de determinação R^2 , torna-se em 0,0001249602. Isso significa que as duas formas de vulnerabilidade estão correlacionadas em 0,012%, indicando uma correlação fraca ou praticamente inexistente, ou seja, as áreas com vulnerabilidade emergencial em 2022 são, na grande maioria, diferentes que a vulnerabilidade potencial.

Tabela 17 - Tabulação Cruzada Entre a vulnerabilidade Potencial e Vulnerabilidade Emergencial em 2022

Vulnerabilidade potencial	Vulnerabilidade emergencial em 2022 (Área ha)				Total
	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável/vulnerável	Moderadamente vulnerável	
Estável	130,90	38,53	501,81	0,00	671,25
Moderadamente estável	3147,73	14438,37	40281,89	652,25	58520,24
Medianamente estável/vulnerável	9,81	5309,02	8635,63	148,46	14102,92
Moderadamente vulnerável	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3288,44	19785,92	49419,34	800,71	73294,41

Conclusões

O objetivo deste trabalho foi fazer uma aplicação prática da metodologia de mapeamento da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo desenvolvida por Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), visando apresentar métodos para avaliar e controlar a erosão do solo sobre o território do Município de Francisco Beltrão, localizado no Sudoeste do Estado do Paraná, Brasil, com área de 73.294,4125 ha.

A vulnerabilidade para o tema geologia, segundo Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), indicou que 100% da área do município de Francisco Beltrão possui vulnerabilidade 1,5 fato que a enquadra no grau moderadamente estável, pois todo o território é coberto por estruturas geológicas basálticas.

A vulnerabilidade para o tema geomorfologia foi determinada a partir da média ponderada da vulnerabilidade atribuída ao grau de dissecação, da vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica e da vulnerabilidade

atribuída à declividade. Os dados demonstram que 72,7% do território de Francisco Beltrão tem vulnerabilidade entre 1,8 e 2,2 com grau medianamente estável/vulnerável; 18,2% da área apresenta vulnerabilidade entre 2,3 e 2,6 e grau moderadamente vulnerável; em 8% da área a vulnerabilidade fica entre 1,4 e 1,7 ou seja, de grau moderadamente estável; já, em 1,1% do território a vulnerabilidade fica entre 2,7 e 3,0 ou grau vulnerável.

Referente ao tema solo, a vulnerabilidade, neste estudo indicou que predominam no município de Francisco Beltrão neossolos, nitossolos e em menor proporção os latossolos. Os solos com graus de vulnerabilidade moderadamente vulneráveis ocorrem em 32.410,7928 ha, ou 44,3 % da área; os solos de grau estável ocorrem em uma área de 20.337,9201 ha ou 27,8% do território; os solos medianamente estáveis/vulneráveis ocorrem em 16.088,3475 ha ou 21,9 % do território; já, os solos moderadamente estáveis ocorrem em 4457,3521 ha ou 6,1 % da área.

Para determinar a vulnerabilidade para o tema cobertura vegetal e do uso da terra foram utilizados dois procedimentos a saber:

1) determinou-se a vulnerabilidade potencial que, para este tema, leva em consideração a vegetação primitiva que cobria a área, sendo que o território do Município de Francisco Beltrão originalmente era coberto pela Floresta Ombrófila Mista Montana, que segundo Crepani, Medeiros e Palmeira (2008) tem índice de vulnerabilidade 1,3 e grau Estável.

2) determinou-se a vulnerabilidade emergencial com base no uso da terra determinadas segundo coleções do MapBiomias para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022. Em relação à vulnerabilidade pelo uso do solo foi constatado que:

a) em primeiro lugar aparece o Grau Vulnerável (índice 2,7 a 3,0) que abrange as formas de uso Lavouras de soja, Agricultura em geral, Área urbana e Solo exposto, sendo a predominante, comportando-se da seguinte forma: em 1992 abrangia 37,14% do território, em 2002, 30,87%, em 2012, 33,0% e em 2022, 36,08%.

b) em seguida aparece o Grau Moderadamente vulnerável (índice 2,3 a 2,6) que corresponde à forma de uso Agricultura e pastagem, tendo o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 26,12% do território, em 2002 alcançou 29,77%, em 2012 chegou a 28,24% e em 2022 a 26,74%.

c) em terceiro lugar está o Grau Estável (índice 1,0 a 1,3) sendo o local de ocorrência das Floretas com o seguinte comportamento: em 1992 Tomazoni, J. C., Guimarães, E; Tomazoni, E. C.

abrangia 19,45% do território, em 2002 atingiu 21,02%, em 2012 23,97% e em 2022 25,40%.

d) na sequência ocorre o Grau Medianamente estável/vulnerável (índice 1,8 a 2,2), local de Pastagens, com o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 16,01% do território, em 2002 atingiu a 17,29%, em 2012 a 10,91% e em 2022 a 6,93%.

e) por fim ocorre o Grau Moderadamente estável (índice 1,4 a 1,7), local de Reflorestamento e Hidrografia com o seguinte comportamento: em 1992 abrangia 1,28% do território, em 2002 1,05%, em 2012 3,88% e em 2022 4,84%.

Em relação à vulnerabilidade para o clima, após feita a extrapolação da precipitação média mensal para cada ponto do território do município constatou-se os índices de vulnerabilidade entre 1,5 e 1,6 o que corresponde ao Grau Moderadamente estável.

A vulnerabilidade potencial está associada à potencialidade natural sem a ação antrópica. Foi determinada a partir da vulnerabilidade para o tema Geologia, Vulnerabilidade para o Tema Geomorfologia, Vulnerabilidade para o Tema Solo, Vulnerabilidade para o Tema Cobertura Vegetal e Vulnerabilidade para o tema Clima.

Determinada a vulnerabilidade potencial, verificou-se que o território do município de Francisco Beltrão é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois 79,8% (58520,24 ha) de sua área possui índice de 1,4 a 1,7 o que corresponde ao grau Moderadamente estável; 19,2% (14102,92 ha), possui índice 1,8 a 2,2 ou grau Medianamente estável/vulnerável; e 0,9% (671,2437 ha) apresenta índice 1,0 a 1,3, grau Estável.

A vulnerabilidade emergencial está associada à relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade potencial. Para o cálculo utilizou-se a Vulnerabilidade Potencial da Unidade de Paisagem e a Vulnerabilidade para o Uso da Terra. Considerando para a Vulnerabilidade o Uso da Terra para quatro coleções do MapBiomias (1992, 2002, 2012 e 2022), por isso foi possível determinar a vulnerabilidade emergencial para essas quatro décadas.

Após realizar os cálculos constatou-se que o grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável (índice ,8 a 2,2) é o predominante. Em 1992 abrangia 74,6% do território, em 2002, 73,4%, em 2012, 69,3% e em 2022, 67,4%. Esse decréscimo na abrangência do território de 1992 para 2022 de 7,2%, se deve à diminuição das áreas com atividade agropecuária no período mais vulneráveis e o aumento das áreas de floresta e reflorestamento nos menos vulneráveis.

O grau de vulnerabilidade moderadamente estável (índice de 1,4 a 1,7) aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992, abrangia 21,2% do território, em 2002 chegou a 22,4%, em 2012 a 25,9% e em 2022 a 27,0%. Verifica-se que no período esse tipo de vulnerabilidade teve um aumento de 5,8%, isso se deve ao aumento das formas de uso do solo menos vulneráveis no período.

O grau Estável (índice de 1,0 a 1,3) variou de 3,9% do território em 1992 a 3,8% em 2002, de 4,2% em 2012 para 4,5% em 2022. Essa variação positiva 0,6% se deve ao aumento de formas de uso menos vulneráveis como as florestas.

O grau moderadamente vulnerável variou de 0,4% do território em 1992, para 1,1% em 2022. Esse aumento está associado principalmente ao incremento de área urbanas.

O grau vulnerável não aparece nenhum dos anos estudados.

Analisando estatisticamente a correlação entre a vulnerabilidade potencial e a Vulnerabilidade emergencial em 2022, obtém-se um coeficiente de correlação $r = -0,0111785616$. Esse valor, se transportado para o coeficiente de determinação R^2 , torna-se em 0,0001249602 o que significa que as duas formas de vulnerabilidade estão correlacionadas em 0,012%. Isso indica uma correlação fraca ou praticamente inexistente, ou seja, que as áreas com vulnerabilidade emergencial em 2022 são, na grande maioria, diferentes que a vulnerabilidade potencial, demonstra também que a ação antrópica pelo uso do solo altera totalmente a vulnerabilidade ambiental do município e que este fator é o principal responsável pelos impactos ambientais.

Referências

Bertoni, J., Lombardi Neto, F., 2012. Conservação do Solo. 8 ed. São Paulo. SP: Ícone. 355 p.

Bhering, S. B., Dos Santos, H. G., BOGNOLA, I. A., Cúrcio, G. R., Manzatto, C. V., De Carvalho Junior, W., Chagas, C. da S., ÁGLIO, L. D., DE Souza, J. S., 2008. Mapa de Solos do Estado do Paraná. Escala 1:250.000: legenda/Silvio Barge Bhering ... [et al.]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Carvalho, G. O. T., Silva, N. C., Salvio, G. M. M. 2022. Vulnerabilidade ambiental em Áreas de Proteção Ambiental (APA) do Bioma Mata Atlântica na região sudeste brasileira. Santa Maria, Ciência Florestal, v. 32, n. 3, p. 1575-1593, jul./set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509867261>

Coutinho, L. M., 2016. Caracterização dos principais biomas no Brasil. Biomas

Brasileiros. Oficina de Textos. São Paulo. p 35-81.

Costa, F. R. Souza, R. F., Silva, S. M. P., 2021. Análise das Vulnerabilidades Natural e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN). São Paulo, UNESP, Geociências, v. 40, n. 2, p. 459 – 475. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i02.15438>

CPRM - Companhia de pesquisa de recursos minerais, 2021. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Paraná. Escala 1:600.000. <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22492>

Crepani, E.; Hernandez Filho. P.; Florenzano. T. G; Duarte. V., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE.. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>.

Crepani, E., Medeiros. J. S. de., Palmeira. A. F., SILVA. E. F. da., Zoneamento Ecológico-Econômico. In Florenzano, T. G., 2008. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 306 p.

Fushimi, M., Oliveira, R. C., NUNES, J. O. R. 2023. Atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear: estudo de caso nas bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP). Santa Maria, Geografia Ensino & Pesquisa, v. 27, e71887, p. 1-23. DOI <https://doi.org/10.5902/2236499471887>

IAT - Instituto Água e Terra., 2020a. Mapa de Limites Municipais do Paraná. Curitiba: Disponível em: ftp://geo_iat@200.189.114.112/Mapeamento_Uso_e_Cobertura_da_Terra/Limites_Municipais_2020/. Acesso em 28-12-2023.

IAT – Instituto Água e Terra. 2020b. Mapa clima do Paraná. Curitiba. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/clima.rar. Acesso em 28-12-2023

IAT – Instituto Água e Terra. Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná., 2020c. Curitiba. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/fitogeografico.rar. Acesso em 28-12-2023

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. IBGE. 2 ed. ISSN 01303-9598. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-tecnico-da-vegetacao-brasileira.pdf>. Acesso em: 22 jun 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Malhas Territoriais. IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em 28-12-2023.
- Lopes, M. S., Saldanha, D. L. 2016. Análise de Vulnerabilidade Natural à Erosão como Subsídio ao Planejamento Ambiental do Oeste da Bacia Hidrográfica do Camaquã – Rs. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, No 68/9, p. 1689-1708, Out/2016. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv68n9-44437>
- MapBiomass. 2023. Collection 8 of the Annual Land Cover and Land Use Maps of Brazil (1985-2022). DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/VJIJCL>. Acesso em 23-12-2023.
- Medeiros, R. B., Santos, L. C. A., Bezerra, J. F. R., Silva, Q. D., Melo, S. N. 2023. Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave. Uberlândia, MG, Sociedade e Natureza, v.35, e66679. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66679>
- Miller, G. T. Spoolman, S. E., 2015. Ciência Ambiental. Tradução Noveritis do Brasil. Revisão Técnica Sabrina Anselmo Joanitti. São Paulo: Cengage Learning 464 p.
- Nitsche, P. R., Caramori, P. H., RICCE, W. da S., PINTO, L. F. D. 2019. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina (PR): Instituto Agrônomo do Paraná, 210 p. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>
- Nörnberg, S. O. Rehbein, M. O. 2021. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade à Perda de Solos no Município de Pelotas/Rs: Aplicação e Comparação de Modelos. Revista Caminhos De Geografia. Uberlândia-MG v. 22. n. 81 jun./2021 p. 42–59. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG228155365>
- OPENGIS. 2023. Índice de Dissecção do Relevo (IDR). Entalhamento dos Vales e Dimensão Inter fluvial Média no QGIS 3. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FbD8Ig6JJqo>. Acessado em 19-12-2023.
- Sánchez, L. E., 2013. Avaliação de Impacto ambiental: conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos, R. C. R., Santos, A. A. S., Romão, P. A., Oliveira, I. J. 2024. Vulnerabilidade ambiental e a potencialidade à perda de solos no entorno de atrativos turísticos em paisagens do Cerrado, na bacia hidrográfica do rio Caiapó, Caiapônia (GO) – Brasil. Universidad de Jaén (España), Agua y Territorio, 23 · pp. 123-135 · Enero-Junio 2024. https://www.researchgate.net/publication/374221714_Vulnerabilidade_ambiental_e_a_potencialidade_a_perda_de_solos_no_entorno_de_atrativos_turisticos_em_paisagens_do_Cerrado_na_bacia_hidrografica_do_rio_Caiapo_Caiaponia_GO_-_Brasil
- Spiro, T. G., Stigliani, W. M. 2009. Química Ambiental. Tradução Sonia Midori Yamamoto; Revisão Técnica Reinaldo C. Bazito, Renato S. Freire. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 334 p.
- Tricart, J. 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE: Supren.
- Vansan, A. P., Tomazoni, J. C., 2020. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para Estudo da Erosão Hídrica Laminar em Microbacia Hidrográfica do Sudoeste do Paraná. Revista Brasileira de Geografia Física. v.13. n.03. P. 1117 a 1131. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1117-1131>