

VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLOS NA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA**NATURAL VULNERABILITY TO SOIL LOSS OF THE WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT UNIT FROM LOW PARANAIBA RIVER, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL**Rafael Mendes Rosa¹Vanderlei de Oliveira Ferreira²**RESUMO**

A vulnerabilidade natural à perda de solos é prevista pelo Decreto 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), como uma etapa para elaboração de zoneamentos ambientais, instrumento da Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981). Desde então, iniciativas de caráter metodológico têm considerado a vulnerabilidade natural à perda de solos como uma parte do modelo de zoneamentos ambientais, sendo a metodologia de Crepani et al. (2001) uma importante referência desses trabalhos. Assim, o presente artigo possui o intuito de apresentar a vulnerabilidade natural à perda de solos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), localizada no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma contribuição para trabalhos de zoneamento, planejamento e gestão ambiental nesse conjunto de bacias hidrográficas com utilização da metodologia de Crepani et al. (2001). Por fim, ressalta-se que, além de apresentar um subsídio aos responsáveis pela gestão da UPGRH PN3, busca-se reforçar a importância, a eficiência e a qualidade de resultados oriundos de dados e procedimentos acessíveis.

Palavras-Chave: Planejamento Ambiental; Geoprocessamento; Perda de Solos.**ABSTRACT**

Natural vulnerability to soil loss is foreseen by Decree 4,297, of July 10, 2002 (BRASIL, 2002) as a step for the elaboration of environmental zoning, an instrument of Law 6,938, of August 31, 1981 (BRASIL, 1981). Since then, methodological initiatives have considered natural vulnerability to soil loss as part of the environmental zoning model, and the methodology by Crepani et al. (2001) an important reference for these works. Thus, the present article aims to present the natural vulner-

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). rafaelmendesr@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5235-4132>

2 Docente da Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU). vanderlei.ferreira@ufu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-6564>

ability to soil loss of the Water Resources Planning and Management Unit from Low Paranaíba River (UPGRH PN3), located in the state of Minas Gerais (Brazil). It is a contribution to works on zoning, planning and environmental management in this set of river basins using the methodology of Crepani et al. (2001). Finally, it should be noted that in addition to presenting a subsidy to those responsible for the management of the UPGRH PN3, it seeks to reinforce the importance, efficiency and quality of results from accessible data and procedures.

Keywords: Environmental Planning; Geoprocessing; Soil Loss.

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade natural à perda de solos é prevista pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002) como um dos indicadores da denominada “Fragilidade Natural Potencial”, etapa de obtenção do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Embora tenha sido regulamentado pelo referido Decreto no ano de 2002, esse instrumento de planejamento e gestão ambiental já era indicado desde a década de 1980. O Decreto corresponde a uma regulamentação da Política Nacional de Meio Ambiente, expressa na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), porém com a denominação de zoneamento ambiental.

Desde então, iniciativas de caráter metodológico têm considerado a vulnerabilidade natural à perda de solos como uma parte do modelo de zoneamentos ambientais. Um dos trabalhos mais importantes no Brasil foi o ZEE desenvolvido para Amazônia Legal, por meio do Decreto nº 99.193, de 27 de março de 1990 (BRASIL, 1990), mas posteriormente ampliado para todo o território nacional. Dessa forma, os trabalhos se iniciaram no ano de 1991 com a criação do Programa de Zoneamento para a Amazônia Legal, destinando recursos para o desenvolvimento de metodologias em várias instituições do País.

Nesse contexto de criação da metodologia do ZEE da Amazônia Legal, diversos especialistas sugeriram alternativas, sendo escolhida a proposta de Becker e Egler (1996), posta em debate no ano de 1997 (MMA, 2011). Diante disso, houve acordos de cooperação técnica com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para treinamento de equipes com vistas à atuação na proposta metodológica (MMA, 2011). Dentre os pesquisadores do INPE, Crepani et al. (1996, 2001)

foram responsáveis especificamente pelo procedimento de obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos. Para a elaboração dessa proposta metodológica, os autores se basearam no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) a partir da sobreposição de mapas temáticos pré-existentes.

A abordagem de Tricart (1977) está relacionada ao estudo da paisagem e gestão do território, considerando que a dinâmica do meio natural é um ponto de partida insubstituível para a gestão do território, embora devam ser levados em consideração os fatores humanos e econômicos. Desse modo, para Tricart (1977) uma Unidade Ecodinâmica é caracterizada pela dinâmica do meio ambiente, considerando os meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis. Com a identificação desses meios em um determinado território pode-se contribuir para uma ocupação racional, determinando áreas de maior ou menor vulnerabilidade e riscos diversos decorrentes de intervenções antrópicas (TRICART, 1977).

Os meios estáveis caracterizam-se pela evolução lenta e constante, sem manifestações catastróficas (como vulcanismo), predominando a pedogênese. A cobertura vegetal impede os processos mecânicos da morfogênese e as vertentes evoluem lentamente. Os meios intergrades possuem influências concomitantes da morfogênese e da pedogênese, concorrendo sobre um mesmo espaço. A avaliação dos meios intergrades é realizada de modo qualitativo (morfogênese na superfície ou em todos os perfis de solos) e quantitativo (balanço entre a pedogênese e a morfogênese). Por fim, nos meios fortemente instáveis, predomina-se a morfogênese, fator determinante do sistema natural, em que os elementos estão subordinados (TRICART, 1977).

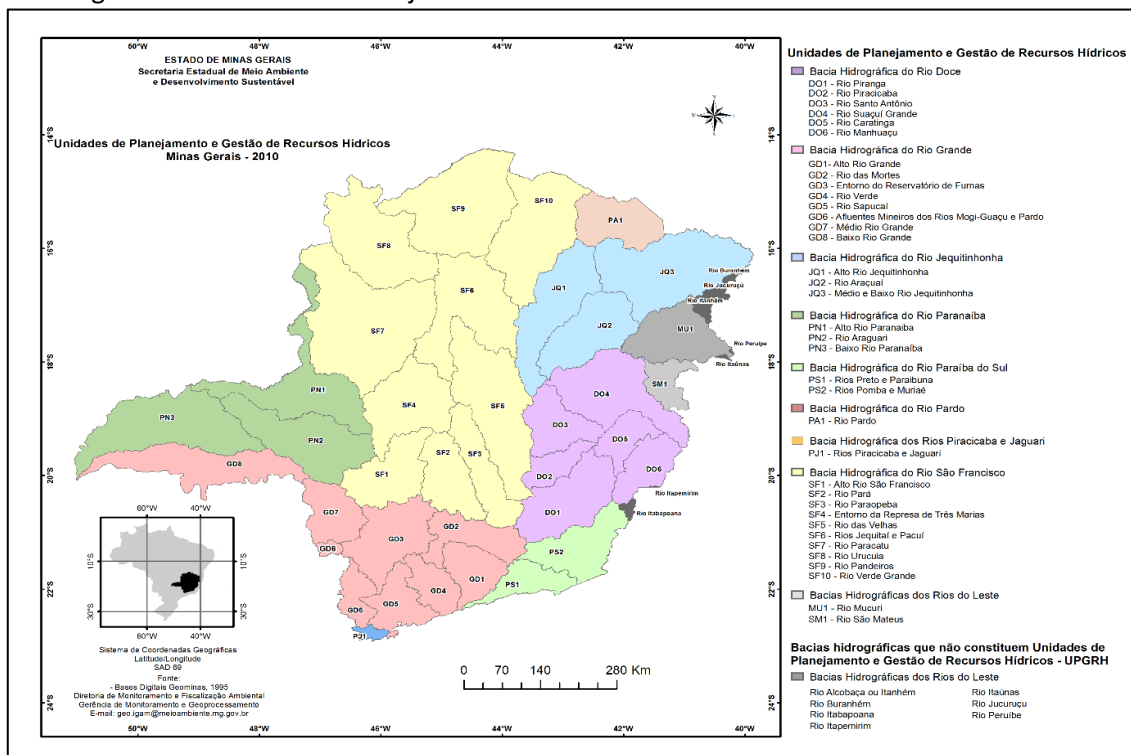
O procedimento metodológico de Crepani et al. (2001) tem sido amplamente utilizado no Brasil para avaliações da perda de solos e elaboração de zoneamentos ambientais. O avanço das geotecnologias pode ser considerado um dos motivos pela preferência dessa metodologia. Para Rosa (2005, p. 81), “as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica”. Assim, como Crepani et al. (2001) apresentam a sobreposição de temas nesse modelo, é imprescindível a utilização de técnicas de geoprocessamento, além do fato de que atualmente existem muitos dados gratuitos disponíveis.

Diante do exposto, o presente artigo possui o intuito de apresentar a vulnerabilidade natural à perda de solos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), localizada no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma contribuição para trabalhos de zoneamento, planejamento e gestão ambiental nesse conjunto de bacias hidrográficas mediante adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001). Além de apresentar um subsídio aos responsáveis pela gestão da UPGRH PN3, busca-se reforçar a importância, a eficiência e a qualidade de resultados oriundos de dados e procedimentos acessíveis.

ÁREA DE ESTUDO

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3) está localizada no estado de Minas Gerais, em parte das Regiões Geográficas Intermediárias de Uberlândia e Uberaba (IBGE, 2017). Trata-se de um conjunto de bacias hidrográficas, cuja área total é de 26.892,39 km², pertencentes à bacia federal do rio Paranaíba, reconhecida como uma dentre 36 UPGRHs do Estado (IGAM, 2010b). Essas UPGRHs (Figura 1) foram definidas pela Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999 (MINAS GERAIS, 1999), e são unidades físico-territoriais que apresentam similaridades regionais em relação aos aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos e políticos, cuja gestão cabe aos Comitês e Agências de Bacia Hidrográfica para uma gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos (IGAM, 2010a).

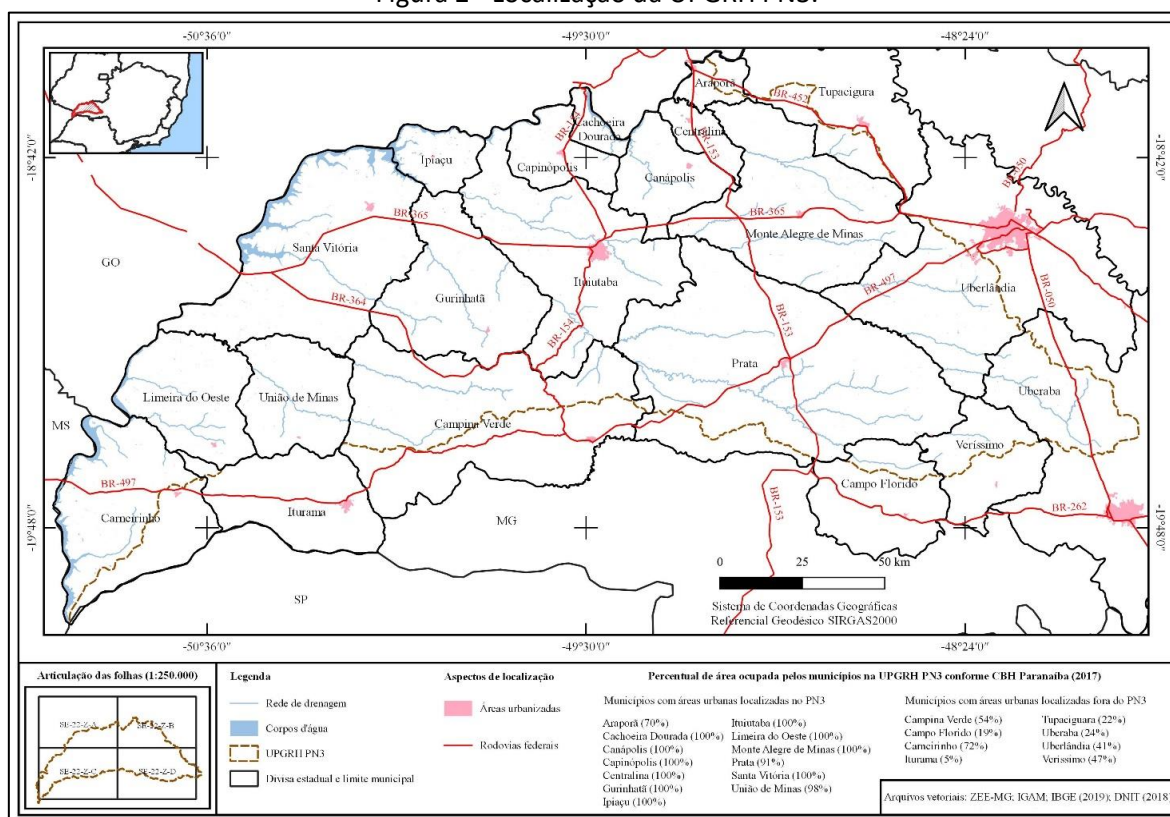
Figura 1 - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais.



Fonte: IGAM (2010b).

Ao todo, a UPGRH PN3 abrange 21 municípios, sendo 10 totalmente inseridos em seu território. Além disso, dos 21 municípios, 13 possuem suas áreas urbanas (sedes administrativas) no interior da unidade, conforme demonstrado no mapa da Figura 2.

Figura 2 - Localização da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

METODOLOGIA

Para obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3 foi realizada uma adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001). A proposta consiste em atribuir pesos (ponderação) às variáveis dos seguintes componentes físico-geográficos: 1) geologia (litologia); 2) classes de relevo (declividade); 3) classes de solos; 4) intensidade pluviométrica; e 5) classes de cobertura e uso da terra. Com a inserção dos pesos nas tabelas de atributos dos shapefiles, os temas

foram convertidos em imagens raster no software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1 e posteriormente sobrepostos para obtenção da média aritmética na calculadora raster, por meio da equação a seguir:

$$V = \frac{(Lit + Dec + Sol + IP + CUT)}{5}$$

Onde:

V = vulnerabilidade

Lit = valores de vulnerabilidade do tema litologia

Dec = valores de vulnerabilidade do tema declividade

Sol = valores de vulnerabilidade do tema solos

IP = valores de vulnerabilidade do tema intensidade pluviométrica

CUT = valores de vulnerabilidade do tema cobertura e uso da terra

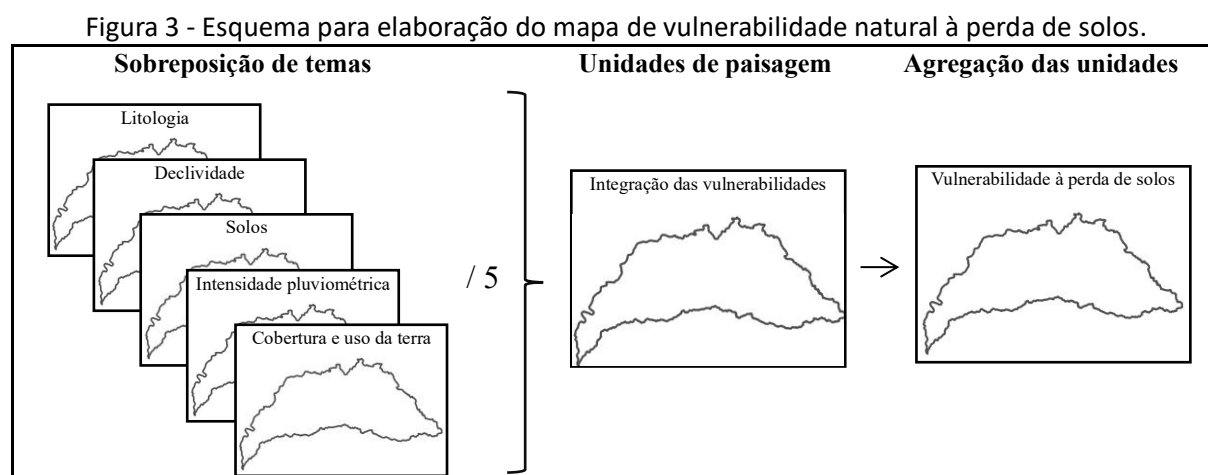
Os referidos pesos, inseridos nos arquivos vetoriais, seguiram as sugestões de Crepani et al. (2001). Valores próximos de 1,0 possuem tendência à estabilidade, próximos de 2,0 têm condições intermediárias e próximos de 3,0 apresentam vulnerabilidade. A Tabela 1 apresenta uma escala que contempla as médias para obtenção dos graus de estabilidade/vulnerabilidade.

Tabela 1 - Escala de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al. (2001).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	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, p. 22).

A sobreposição dos componentes físico-geográficos, realizada na calculadora raster, em um primeiro momento pode apresentar 21 possibilidades, que representa os graus da escala de estabilidade/vulnerabilidade de Crepani et al. (2001). No entanto, o mapa final foi obtido por uma agregação desses valores de vulnerabilidade, também denominado por Crepani et al. (2001) de unidades de paisagem. A Figura 3 demonstra o processo esquematicamente.



Fonte: Elaborado a partir da metodologia de Crepani et al. (2001).

Os mapas de geologia (litologia) e solos foram obtidos pelo arquivo vetorial do IBGE (2018) e a cobertura e uso da terra pelo shapefile do Projeto TerraClass (BRASIL, 2015), atualizado com a imagem do MapBiomass (2018). Contudo, os mapas de declividade e o mapa de precipitação média anual não foram confeccionados por arquivos vetoriais prontos. A declividade foi elaborada com o mosaico de imagens raster SRTM (USGS, 2019) no software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, sendo realizado o fatiamento em classes. Já o mapa de precipitação média anual foi elaborado a partir do banco de dados de chuvas de estações pluviométricas situadas no interior e adjacências da área de estudo, disponibilizados pela ANA (2019), período de 1998 a 2018. Ressalta-se que todos os mapas estão compatíveis com a escala 1:250.000, adotada como escala de trabalho do mapeamento.

É importante ressaltar que a partir dos dados de precipitação média anual procede-se ao estabelecimento da intensidade pluviométrica para sobreposição dos temas conforme Crepani et al.

(2001), considerando a duração do período chuvoso da região. Após a determinação das classes de precipitação média anual, a intensidade pluviométrica também é definida por classes, uma mínima e uma máxima (ambas em mm/mês). A região da UPGRH PN3 possui de sete a nove meses de período chuvoso. Assim, para o cálculo da intensidade pluviométrica máxima divide-se o maior valor de precipitação média anual dentro de uma classe (intervalo) por sete, que corresponde ao número mínimo de meses do período chuvoso. Já para a obtenção da intensidade pluviométrica mínima divide-se por nove o menor valor de precipitação média anual da mesma classe.

Diante do resultado da sobreposição dos temas (mapa de vulnerabilidade natural à perda de solos), realizou-se a agregação dos valores de estabilidade/vulnerabilidade com o intuito de simplificar a legenda, seguindo os intervalos da Tabela 1, escala proposta por Crepani et al. (2001). Dessa forma, a metodologia possui cinco possibilidades de vulnerabilidade natural à perda de solos (estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável), embora nem todos possam estar presentes no mapa final resultante.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

GEOLOGIA

A UPGRH PN3 é composta predominantemente por arenitos, rocha essa considerada como moderadamente vulnerável, enquanto que os basaltos são classificados como moderadamente estáveis. Os depósitos aluviais e as coberturas indiferenciadas, bem menos representativos, são vulneráveis. A Tabela 2 apresenta as unidades geológicas da área de estudo e os respectivos valores de vulnerabilidade natural à perda de solos.

Tabela 2 - Valores de vulnerabilidade das unidades geológicas da UPGRH PN3.

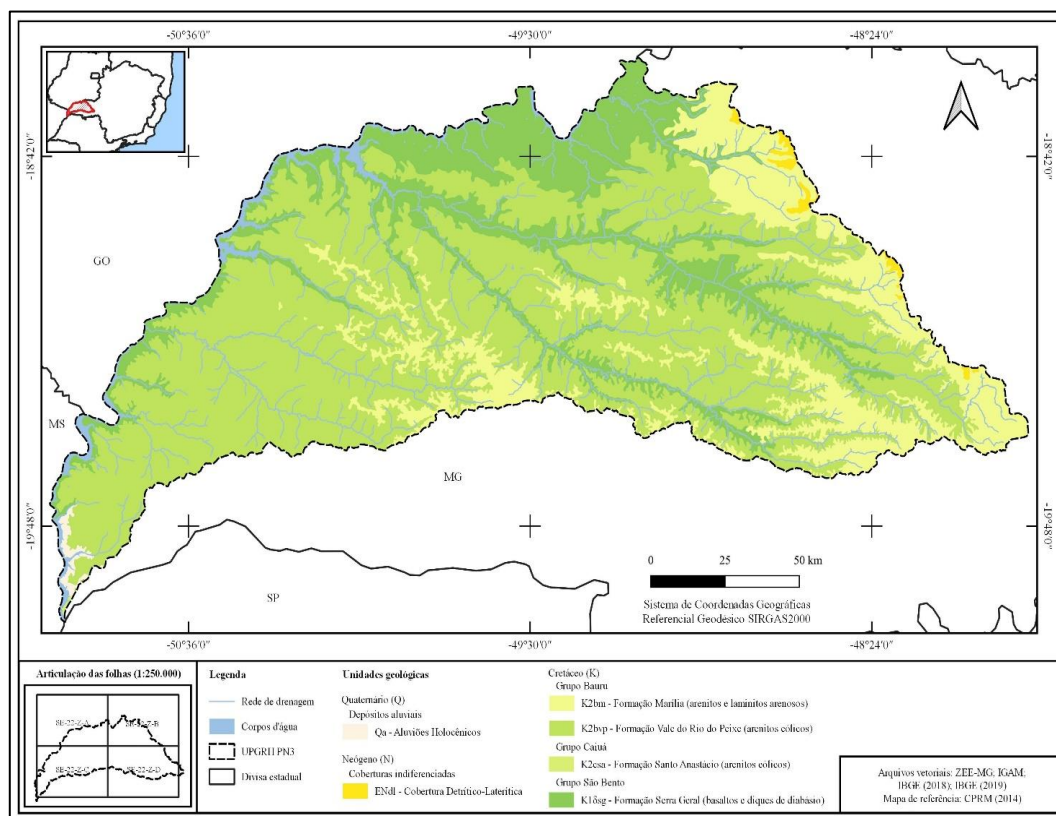
Unidades geológicas	Rochas principais	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Depósitos aluviais				
Qa - Aluviões Holocênicos	Aluviões	95,15 km ²	0,36%	3,0
Coberturas indiferenciadas				
	Lateritas	156,16 km ²	0,58%	3,0

Unidades geológicas	Rochas principais	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
ENdl - Cobertura Detrítico-Laterítica				
Grupo Bauru				
K2bm - Formação Marília	Arenitos	4.499,89 km ²	16,73%	2,4
K2bvp - Formação Vale do Rio do Peixe	Arenitos	16.141,09 km ²	60,02%	2,4
Grupo Caiuá				
K2csa - Formação Santo Anastácio	Arenitos	7,12 km ²	0,03%	2,4
Grupo São Bento				
Klδsg - Formação Serra Geral	Basaltos	5.435,87 km ²	20,21%	1,5
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%	-
Total	-	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2018).

O mapa da Figura 4 contempla as unidades geológicas da UPGRH PN3, que basicamente possui rochas do Cretáceo (Grupos São Bento, Caiuá e Bauru) e coberturas e aluviões do Cenozoico.

Figura 4 - Unidades geológicas da UPGRH PN3.



DECLIVIDADE

Os valores atribuídos à declividade baseiam-se no pressuposto de que quanto maior o percentual de declividade maior a vulnerabilidade natural à perda de solos, conforme a Tabela 3.

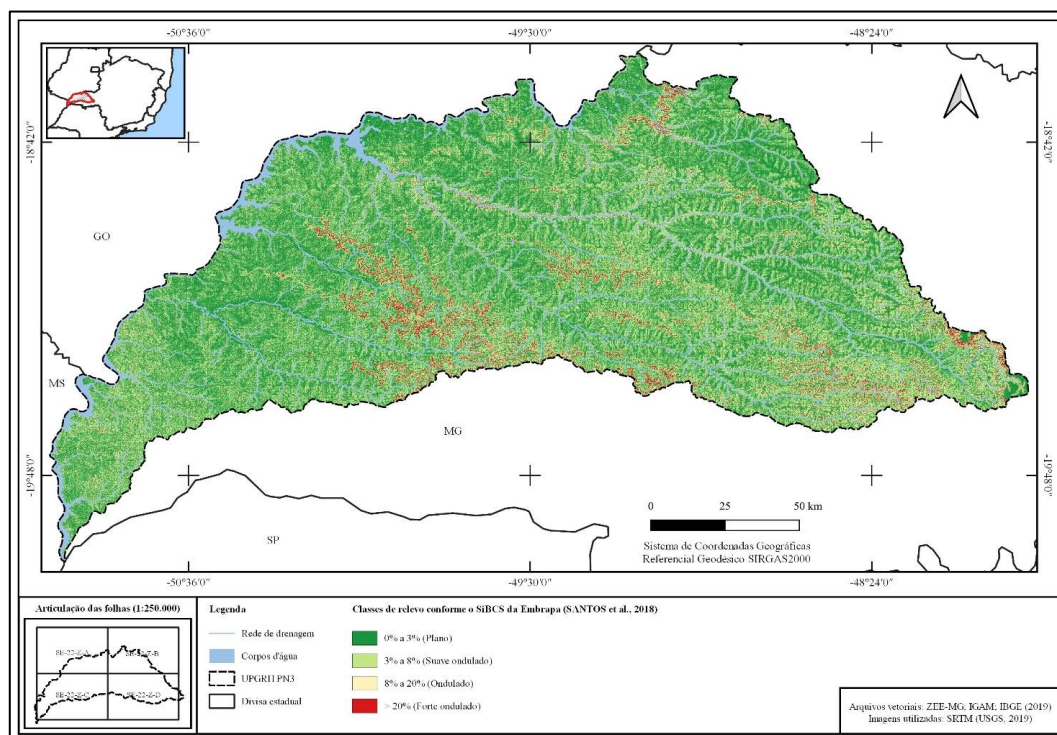
Tabela 3. Valores de vulnerabilidade das classes de declividade da UPRH PN3.

Classes de relevo (declividade)	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Plano (0% a 3%)	3.640,60 km ²	13,54%	1,0
Suave ondulado (3% a 8%)	13.832,61 km ²	51,44%	1,5
Ondulado (8% a 20%)	8.021,14 km ²	29,82%	2,0
Forte ondulado (20% a 45%)	840,93 km ²	3,13%	2,5
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado a partir de USGS (2019).

A espacialização das classes de declividade da UPGRH PN3 encontra-se no mapa da Figura 5, sendo possível observar a predominância de um relevo suave ondulação (3% a 8%).

Figura 5 - Declividade da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado a partir de USGS (2019).

SOLOS

A significativa presença de LATOSSOLOS VERMELHOS indica uma predominância de áreas estáveis. Em menor ocorrência, os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS são medianamente estáveis/vulneráveis e os CAMBISSOLOS HÁPLICOS, GLEISSOLOS HÁPLICOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS constituem as classes de maior vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3 (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de vulnerabilidade das classes de solos da UPGRH PN3.

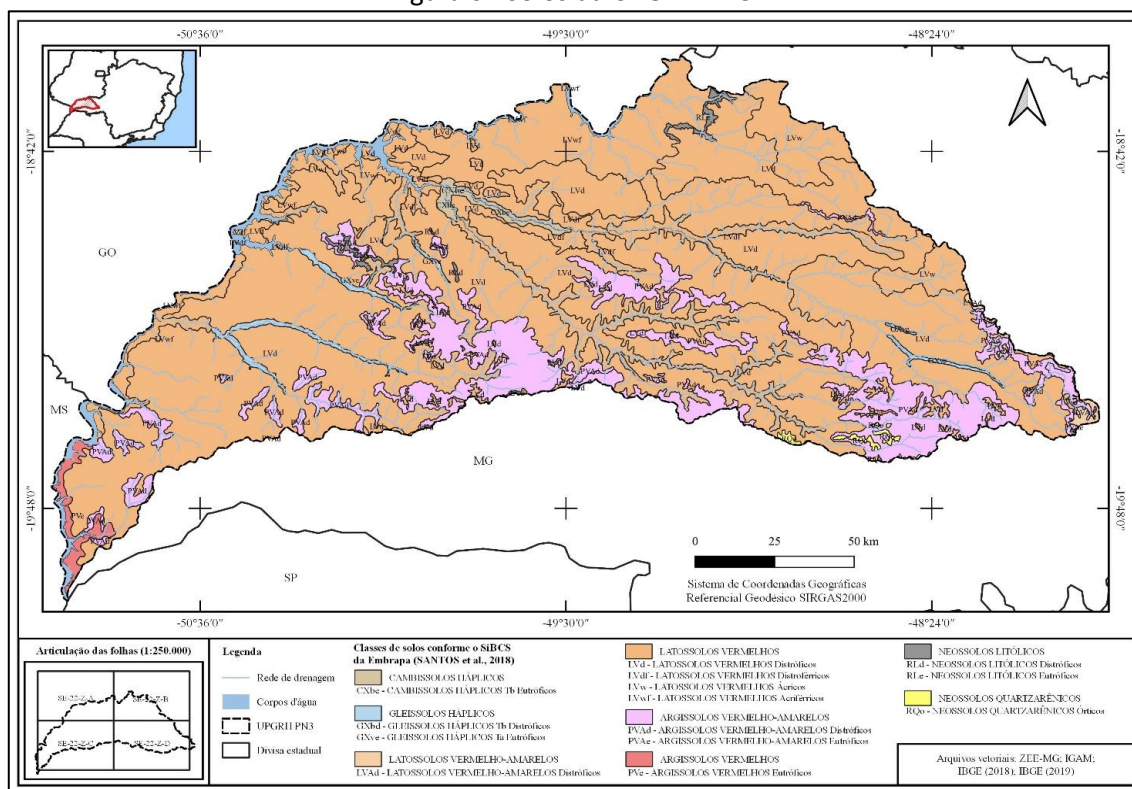
Classes de solos	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
CAMBISSOLOS HÁPLICOS			
CXbe - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos	162,84 km ²	0,61%	2,5
GLEISSOLOS HÁPLICOS			
GXbd - GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos	1,41 km ²	0,01%	3,0
GXve - GLEISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos	259,85 km ²	0,96%	3,0
LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS			
	78,39 km ²	0,30%	1,0

Classes de solos	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
LVAd - LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos			
LATOSSOLOS VERMELHOS			
LVd - LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos	16.908,71 km ²	62,88%	1,0
LVdf - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos	1.416,02 km ²	5,26%	1,0
LVw - LATOSSOLOS VERMELHOS Ácricos	918,96 km ²	3,42%	1,0
LVwf - LATOSSOLOS VERMELHOS Acriférricos	2.450,32 km ²	9,11%	1,0
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS			
PVAd - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos	3.684,27 km ²	13,70%	2,0
PVAe - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos	71,46 km ²	0,26%	2,0
ARGISSOLOS VERMELHOS			
PVe - ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos	192,38 km ²	0,71%	2,0
NEOSSOLOS LITÓLICOS			
RLd - NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos	59,67 km ²	0,22%	3,0
RLe - NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos	64,08 km ²	0,24%	3,0
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS			
RQo - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos	66,92 km ²	0,25%	3,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2018).

A partir do mapa da Figura 6 é possível identificar a predominância dos LATOSSOLOS na UPGRH PN3, o que gera uma condição de estabilidade, do ponto de vista pedológico, à perda de solos.

Figura 6 - Solos da UPRH PN3.



Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2018).

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

A UPRH PN3 apresentou uma precipitação média anual de 1.250 mm a 1.550 mm, entre 1988 e 2018, sendo o cálculo da intensidade pluviométrica apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica da UPRH PN3.

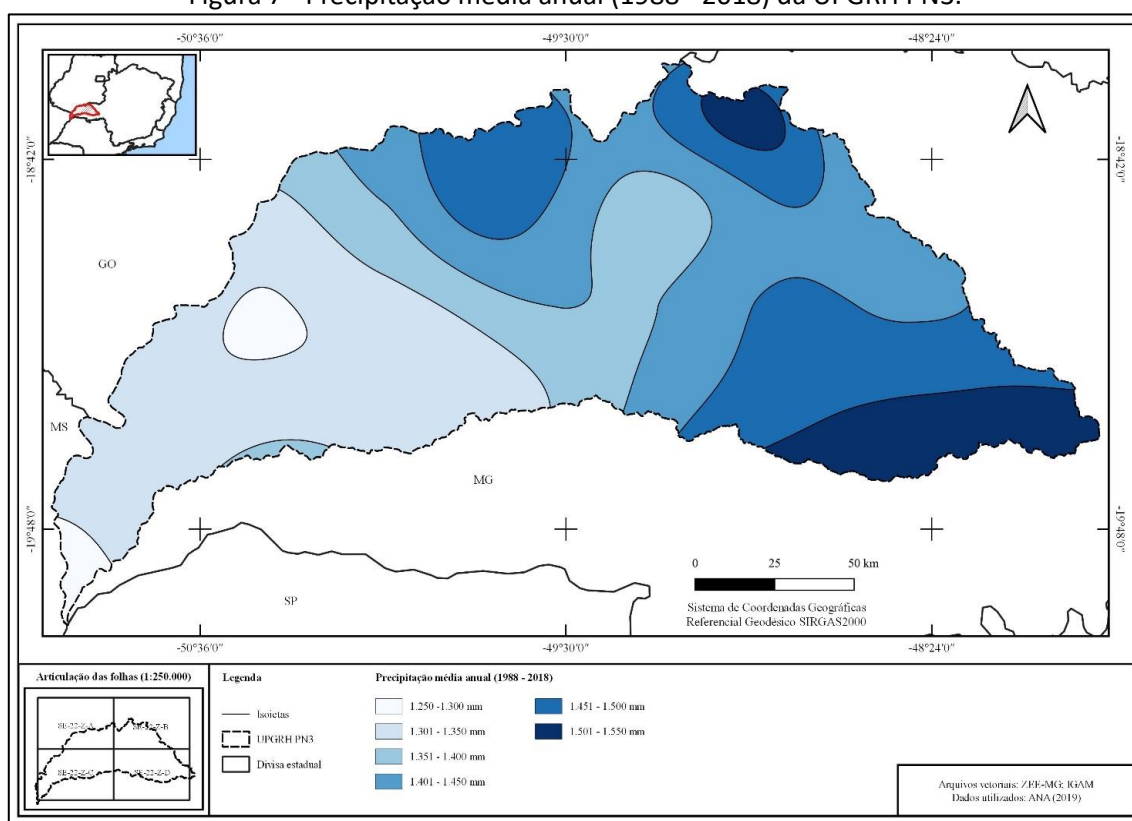
Precipitação média anual	Duração do período chuvoso	Intensidade pluviométrica		Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
		Mínima	Máxima			
1.250 – 1.300 mm	7 a 9 meses	138,88 mm	185,71 mm	800,04 km ²	2,97%	1,6
1.301 – 1.350 mm	7 a 9 meses	144,55 mm	192,85 mm	7.410,07 km ²	27,56%	1,6
1.351 – 1.400 mm	7 a 9 meses	150,11 mm	200,00 mm	4.098,07 km ²	15,24%	1,6
1.401 – 1.450 mm	7 a 9 meses	155,66 mm	207,14 mm	6.664,84 km ²	24,78%	1,7
1.451 – 1.500 mm	7 a 9 meses	161,22 mm	214,28 mm	5.596,48 km ²	20,81%	1,7
1.501 – 1.550 mm	7 a 9 meses	166,77 mm	221,42 mm	2.322,89 km ²	8,64%	1,7

Precipitação média anual	Duração do período chuvoso	Intensidade pluviométrica		Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
		Mínima	Máxima			
Total	-	-	-	26.892,39 km ²	100%	-

Fonte: Elaborado a partir de ANA (2019).

O mapa da Figura 7 demonstra que a média aumenta de oeste de leste na UPGRH PN3.

Figura 7 - Precipitação média anual (1988 - 2018) da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado a partir de ANA (2019).

COBERTURA E USO DA TERRA

A UPGRH PN3 possui sete classes de cobertura e uso da terra: áreas urbanizadas, corpos d’água, culturas (temporárias e permanentes), pastagens, silvicultura e vegetação nativa (Tabela 6).

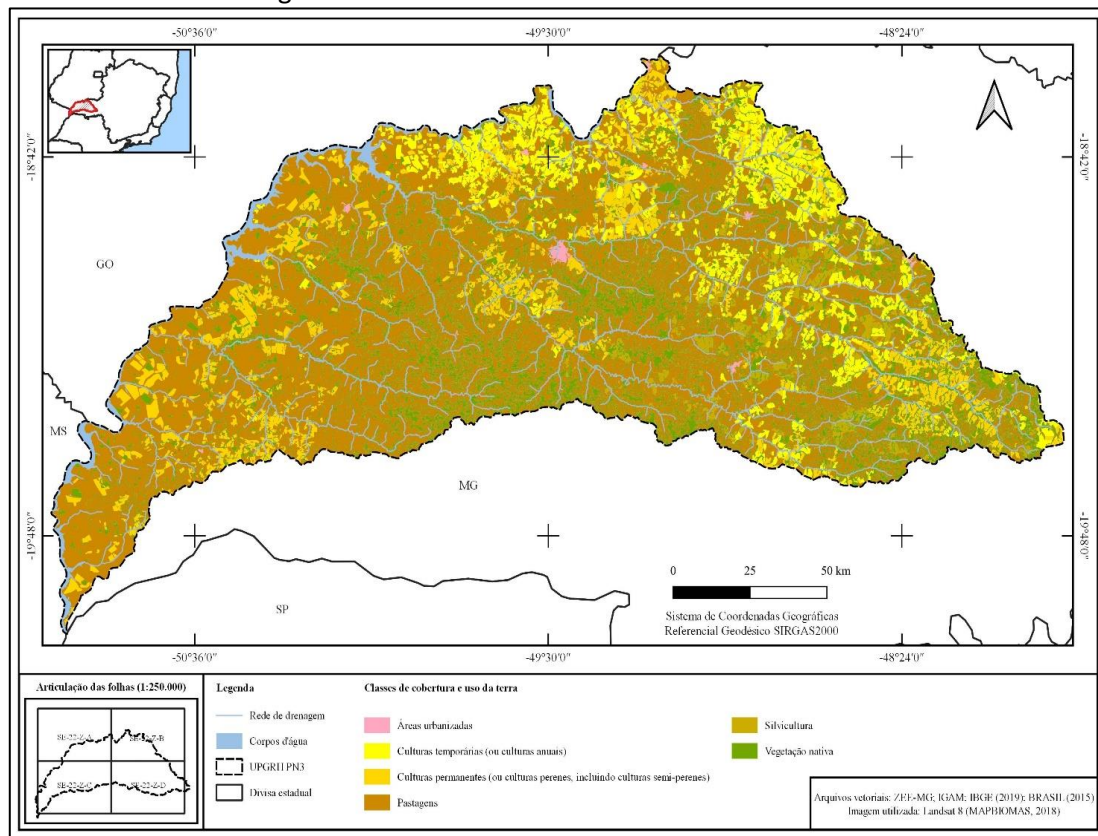
Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade das classes de cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.

Classes de cobertura e uso da terra	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Áreas urbanizadas	63,61 km ²	0,24%	2,8
Culturas temporárias	2.417,12 km ²	8,99%	2,7
Culturas permanentes	2.539,12 km ²	9,44%	2,6
Pastagens	15.429,21 km ²	57,38%	2,8
Silvicultura	551,08 km ²	2,05%	2,6
Vegetação nativa	5.335,14 km ²	19,83%	1,7
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado a partir da Brasil (2015) e MapBiomias (2018).

O mapa da Figura 8 apresenta a distribuição das classes de cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.

Figura 8 - Cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.



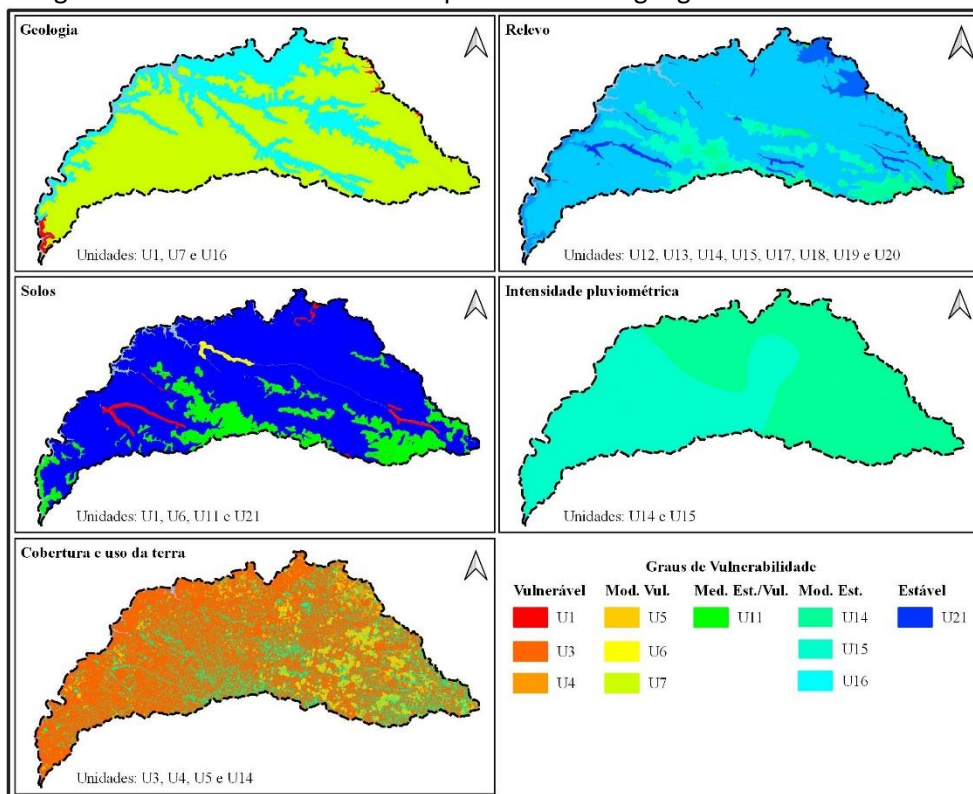
Fonte: Elaborado a partir da Brasil (2015) e MapBiomias (2018).

VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLOS

Conforme os resultados apresentados ficam evidentes que a declividade e os solos, se considerados isoladamente, são os componentes que possuem variáveis com tendência à estabilidade, ao passo que a camada de uso da terra apresenta variáveis com maior grau de vulnerabilidade. Ressalta-se que ocorrem discrepâncias em relação à geologia, pois as diferenças nos valores de vulnerabilidade são significativas de uma rocha para outra. Já a intensidade pluviométrica é o componente mais homogêneo, devido à pouca variação da pluviosidade.

De modo a representar esse resultado, a Figura 9 expõe a estabilidade/vulnerabilidade dos componentes físico-geográficos separadamente, ou seja, anteriormente à sobreposição de seus respectivos mapas temáticos. É possível notar que 11 unidades de paisagem foram contempladas pelos cinco mapas, abrangendo desde a unidade com a maior estabilidade (U21) até a unidade de maior vulnerabilidade (U1). As unidades de paisagem intermediárias também estão presentes, contemplando, assim, todos os graus de estabilidade/vulnerabilidade.

Figura 9 - Vulnerabilidade dos componentes físico-geográficos da UGRH PN3.



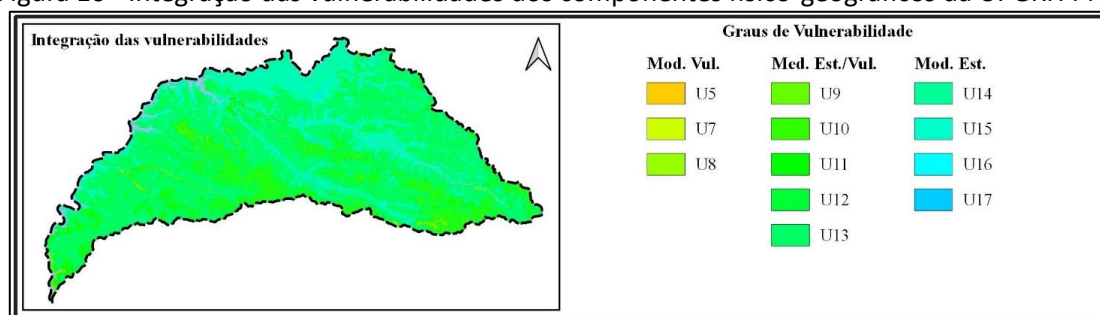
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com a realização do procedimento de sobreposição das estabilidades/vulnerabilidades dos componentes físico-geográficos, a UGRH PN3 resumiu-se a 13 unidades de paisagem, de Crepani et al. (2001). Utilizou-se a calculadora raster do software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, cujos valores das unidades dos componentes físico-geográficos foram somados e, em seguida, divididos pela quantidade de componentes, no caso dividido por cinco (número de componentes). Dessa maneira, foram obtidas 13 categorias (unidades de paisagem), mas com a agregação das unidades, prevaleceram somente três graus de estabilidade/vulnerabilidade.

A partir do processamento no software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, esses três graus de estabilidade/vulnerabilidade correspondem às áreas moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável, de acordo com Crepani et al. (2001). Com a

realização do procedimento de sobreposição dos cinco mapas destaca-se que todas as unidades de paisagem referentes às áreas medianamente estável/vulnerável (U9, U10, U11, U12 e U13) estão presentes na UPGRH PN3, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Integração das vulnerabilidades dos componentes físico-geográficos da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para uma melhor análise e utilização do produto cartográfico da vulnerabilidade natural à perda de solos, realizou-se a agregação das unidades de paisagem inseridas em um dos três graus de estabilidade/vulnerabilidade. Como na área de estudo os graus estável e vulnerável não estão presentes, foram agrupadas as unidades que se encontram nos graus moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável. Assim, a Tabela 7 indica as agregações realizadas em cada grau de estabilidade/vulnerabilidade.

Tabela 7 - Unidades agregadas dos graus de vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

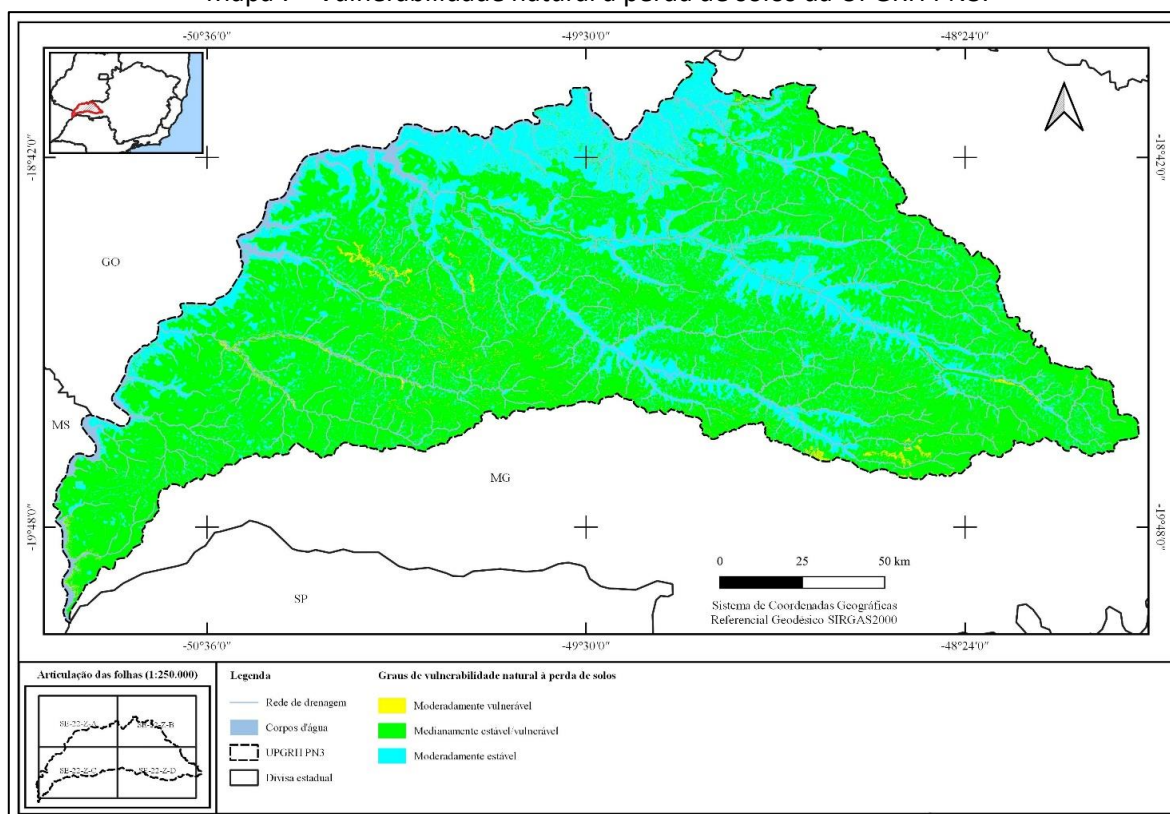
Graus de vulnerabilidade	Unidades agregadas*	Áreas	Percentuais
Moderadamente vulnerável	U5, U6, U7 e U8	304,83 km ²	1,13%
Medianamente estável/vulnerável	U9, U10, U11, U12 e U13	19.840,89 km ²	73,78%
Moderadamente estável	U14, U15, U16 e U17	6.189,56 km ²	23,02%
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%
Total	-	26.892,39 km ²	100%

* Unidades resultantes da média simples após a sobreposição dos componentes físico-geográficos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Diante dos dados obtidos, o Mapa 7 apresenta o resultado da vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

Mapa 7 - Vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A UPGRH PN3 apresentou, em 73,78% de sua área, uma vulnerabilidade natural à perda de solos medianamente estável/vulnerável. Essa vulnerabilidade pode ser encontrada em porções dos divisores topográficos e vertentes das bacias hidrográficas de cursos d'água de até 4ª ordem. O grau moderadamente estável, presente em 23,02%, situa-se em áreas com maior dissecação, como em parte das vertentes e vales de rios de no mínimo 4ª ordem, além das áreas de vegetação nativa, que constitui uma cobertura de maior estabilidade. Convêm ressaltar que o grau de maior vulnerabilidade à perda de solos é o moderadamente vulnerável, porém em apenas 1,13%, como nas áreas mais declivosas, sendo insignificante no território da unidade de planejamento.

Com o estabelecimento das vulnerabilidades de cada variável dos componentes físico-geográficos e posteriormente a sobreposição dos temas no software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, a vulnerabilidade à perda de solos revelou aspectos importantes, passíveis de análise, até para justificativa do resultado obtido. Ao passo que a declividade, maioria das classes de solos e a intensidade pluviométrica apresentaram tendência à estabilidade, grande parte das rochas e das classes de cobertura e uso da terra convergiu à vulnerabilidade. Diante da soma dos valores de vulnerabilidade e, em seguida, divisão pela quantidade de componentes físico-geográficos, houve uma propensão aos graus intermediários. Para fins exemplificativos, o Quadro 1 demonstra situações que levaram ao resultado da sobreposição dos temas.

Quadro 1 - Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

Geologia (rochas)	Declividade	Classes de solos	Intensidade pluviométrica	Cobertura e uso da terra	Cálculos da estabilidade/vulnerabilidade	Resultados (Crepani et al., 2001)
Arenitos	0% a 20%	NEOSSOLOS	1.501 – 1.550 mm	Pastagem	$(2,4 + 2,0 + 3,0 + 1,7 + 2,8) = 2,3$ 5	U8 (Moderadamente vulnerável)
Arenitos	3% a 8%	LATOSSOLOS	1.301 – 1.350 mm	Pastagem	$(2,4 + 1,5 + 1,0 + 1,6 + 2,8) = 1,8$ 5	U13 (Medianamente estável/vulnerável)
Basaltos	3% a 8%	LATOSSOLOS	1.401 – 1.450 mm	Culturas temporárias	$(1,5 + 1,5 + 1,0 + 1,7 + 2,7) = 1,6$ 5	U15 (Moderadamente estável)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observa-se que, de forma pontual, algumas variáveis foram decisivas para determinar a estabilidade/vulnerabilidade da UPGRH PN3, como as diferentes rochas para definir as áreas moderadamente estáveis e medianamente estáveis/vulneráveis e a classe de solo para obtenção das áreas moderadamente vulneráveis. Entre as áreas moderadamente estáveis e medianamente estáveis/vulneráveis, os valores de vulnerabilidade atribuídos às variáveis são similares, exceto para as rochas. Com o valor de 1,5 atribuído aos basaltos e 2,4 aos arenitos, o cálculo enquadrou o grau moderadamente estável para porções onde se encontram os basaltos e medianamente estável/vulnerável onde predominam-se arenitos. As áreas moderadamente vulneráveis tiveram a

propensão ao referido grau de enquadramento devido ao valor 3,0 ter sido imposto à classe dos NEOSSOLOS, variável essa que influenciou o resultado em áreas bastante restritas.

Os graus de maior ocorrência na UPGRH PN3 (moderadamente estável e medianamente estável/vulnerável) possuem certa tendência a seguir limites estabelecidos por tipos de rochas e também pela cobertura vegetal nativa. As áreas moderadamente estáveis, por exemplo, ocorrem basicamente onde predominam os basaltos. De modo fragmentado, esse grau de estabilidade/vulnerabilidade também está presente onde há cobertura vegetal nativa. As áreas medianamente estável/vulnerável localizam-se, em geral, nas porções onde há predomínio de arenitos e declividades variadas. A cobertura vegetal não foi determinante nesse caso, pois a mesma apresentou-se com tendência a estabilidade (moderadamente estável).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho aplicou uma metodologia de obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos na UPGRH PN3. Os resultados demonstram certa homogeneidade da área de estudo em relação aos componentes físico-geográficos utilizados no procedimento (litologia, declividade, solos, intensidade pluviométrica e cobertura e uso da terra). A média aritmética da proposta metodológica utilizada acabou gerando uma predominância do grau medianamente estável/vulnerável na escala de vulnerabilidade à perda de solos. Tal situação indica que a UPGRH PN3 necessita de diretrizes de manejo e conservação dos solos no âmbito dos documentos formais disponíveis para essa finalidade.

Essas diretrizes podem ser desenvolvidas em uma proposta de zoneamento ambiental da UPGRH PN3, visto que a etapa da vulnerabilidade natural à perda de solos pode representar um início dos estudos específicos para a unidade de planejamento. Além disso, reforça-se a ideia que este levantamento se trata de um produto cartográfico sintético desenvolvido a partir de arquivos e software de geoprocessamento gratuitos, demonstrando que com geotecnologias acessíveis é possível obter resultados que contribuam com o planejamento e gestão ambiental de bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em:

<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos estados da Amazônia Legal. Brasília: SAE/MMA.

BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 99.193, de 27 de março de 1990. Dispõe sobre as atividades relacionadas ao zoneamento ecológico-econômico, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D99193.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de janeiro de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado**: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015. 67 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado>. Acesso em: 15 fev. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. Belo Horizonte: CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CODEMIG, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20786>. Acesso em: 05 jan. 2020.

CREPANI, E. et al. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.

CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Rodovias do Brasil**.

Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>. Acesso em: 19 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento de recursos naturais do Brasil escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2018. 8 p. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br> Acesso em: 13 fev. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Comitês e Unidades de Planejamento**. Belo Horizonte: IGAM, 2010a. Disponível em:

<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/83?task=view>. Acesso em: 19 out. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2010b. Disponível em:

http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/UPGRH_Minis_Completa.png. Acesso em: 19 out. 2019.

MAPBIOMAS. **Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2018.

Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 15 dez. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Histórico do ZEE. 2011**. Disponível em:

<https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/item/8186-historico-do-zee?tmpl=component&print=1>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5ª ed., 2018.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977. 97 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global**.

Courtesy of the U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>. Acesso em: 18 nov. 2019.