


Proposta de zoneamento ambiental
para bacias hidrográficas:
aplicação na Unidade de
Planejamento e Gestão dos
Recursos Hídricos Afluentes
Mineiros do Baixo Paranaíba


Rafael Mendes Rosa

Universidade Federal de Uberlândia.
Instituto de Geografia.
Uberlândia. Minas Gerais. Brasil
rafaelmendesr@hotmail.com

 0000-0001-5235-4132

Vanderlei de Oliveira Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia.
Instituto de Geografia.
Uberlândia. Minas Gerais. Brasil
vanderlei.ferreira@ufu.br

 0000-0003-4033-6564

e-180525

Como citar este artigo:

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O. Proposta de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas: aplicação na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. **Geosp**, v. 26, n. 2, e-180525, ago. 2022. ISSN 2179-0892. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/workflow/index/180525/4>. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2022.180525.pt>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 26 • n° 2 (2022)

ISSN 2179-0892

Proposta de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas: aplicação na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba¹

Resumo

A crescente exploração – quase sempre sem critério – de recursos naturais advertiu da importância de iniciativas voltadas à conservação ambiental. Nesse contexto, o zoneamento ambiental tornou-se um instrumento fundamental na gestão territorial. Este artigo propõe um procedimento metodológico de zoneamento ambiental especificamente orientado para bacias hidrográficas, com aplicação demonstrativa na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba, no estado de Minas Gerais. A proposta contempla a avaliação da vulnerabilidade à perda de solos, da vulnerabilidade qualitativa das águas superficiais e da situação das áreas legalmente protegidas. A metodologia envolve o reconhecimento de conflitos a partir da interseção dessas vulnerabilidades e das áreas legalmente protegidas com o uso da terra, constituindo um modelo de zoneamento capaz de indicar áreas para preservação, recuperação ou manejo. Espera-se que o trabalho possa ser útil aos gestores e que o modelo possa ser aplicado em unidades territoriais análogas.

Palavras-chave: Zoneamento ambiental. Bacias hidrográficas. Afluentes do Baixo Paranaíba.

Environmental zoning proposal for watersheds: application in the Water Resources Planning and Management Unit from Low Paranaíba River, Minas Gerais State, Brazil

Abstract

The growing – and almost always devoid of criterion – exploitation of natural resources raised the importance of initiatives related to environmental conservation. In this

¹ Rafael Mendes Rosa agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de doutorado, processo n. 88882.428732/2019-01.

context, environmental zoning has become a fundamental instrument in territorial management. This article proposes a methodological procedure for environmental zoning specifically oriented for watersheds, with demonstrative application in the Water Resources Planning and Management Unit from Lower Paranaíba River Tributary Watersheds, state of Minas Gerais (Brazil). The proposal includes assessing vulnerability to soil loss, qualitative and quantitative vulnerability of surface waters, and the situation of legally protected areas. The methodology involves recognizing conflicts from the intersection of the above-mentioned vulnerabilities and legally protected areas with land use, constituting a zoning model capable of indicating areas for preservation, recovery, and management. The work is expected to be useful to managers and the model to be applied in similar territorial units.

Keywords: Environmental zoning. Watersheds. Low Paranaíba River.

Propuesta de zonificación ambiental para cuencas hidrográficas: aplicación en la Unidad de Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos Afluentes del Bajo Paranaíba, Minas Gerais, Brasil

Resumen

La creciente y casi siempre desacreditada explotación de los recursos naturales planteó la importancia de las iniciativas de conservación del medio ambiente. En este contexto, la zonificación ambiental se ha convertido en un instrumento en la gestión territorial. Este artículo propone un procedimiento metodológico para la zonificación ambiental específicamente orientada a cuencas hidrográficas, con aplicación en la Unidad de Planificación y Manejo de Recursos Hídricos de las Cuencas Hidrográficas de los Afluentes del Bajo Paranaíba, Minas Gerais (Brasil). La propuesta incluye la evaluación de las vulnerabilidades a la pérdida de suelos, cuali-cuantitativa de las aguas superficiales y las áreas legalmente protegidas. La metodología implica reconocer conflictos desde la intersección de las vulnerabilidades y áreas legalmente protegidas con el uso del suelo para señalar áreas para conservación, recuperación y manejo. Se espera que el trabajo pueda ser de utilidad para los gestores y que el modelo se pueda aplicar en unidades territoriales similares.

Palabras clave: Zonificación ambiental. Cuencas hidrográficas. Afluentes del Bajo Paranaíba.

Introdução

A exploração dos recursos naturais, intensificada após a segunda metade do século XX, trouxe ao debate público a importância da conservação ambiental. A partir da década de 1970, conferências e comissões internacionais foram responsáveis pela introdução mais incisiva do meio ambiente nas políticas públicas. Nesse contexto, foram propostas leis e regulamentações de caráter ambiental para, minimamente, proporcionar um equilíbrio entre ação econômica e a preservação da natureza. Assim, desenvolveram-se e aplicaram em diversos países instrumentos de planejamento e gestão ambiental como o zoneamento ambiental, que constitui uma das principais ferramentas de gerenciamento do território.

No Brasil, o zoneamento para finalidade ambiental foi definido pela Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 1981), embora só tenha sido regulamentado pelo Decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002 (Brasil, 2002). De acordo com esse decreto, o instrumento visa o planejamento territorial, devendo ser obrigatoriamente seguido em planos e projetos de caráter público ou privado. Além disso, sua aplicação permite estabelecer padrões de proteção dos recursos hídricos, dos solos, de conservação da biodiversidade e melhoria das condições de vida da população, entre outros.

Com base nos princípios do Decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002 (Brasil, 2002), o zoneamento ambiental deve ser constituído a partir de potencialidades e fragilidades da paisagem, considerando as atividades produtivas (uso da terra), a vulnerabilidade à perda de solos e a quantidade e a qualidade das águas superficiais. Outro aspecto são as incompatibilidades legais, que consistem nas condições das áreas legalmente protegidas e com ocupações inapropriadas, o que revela conflitos circunstanciais.

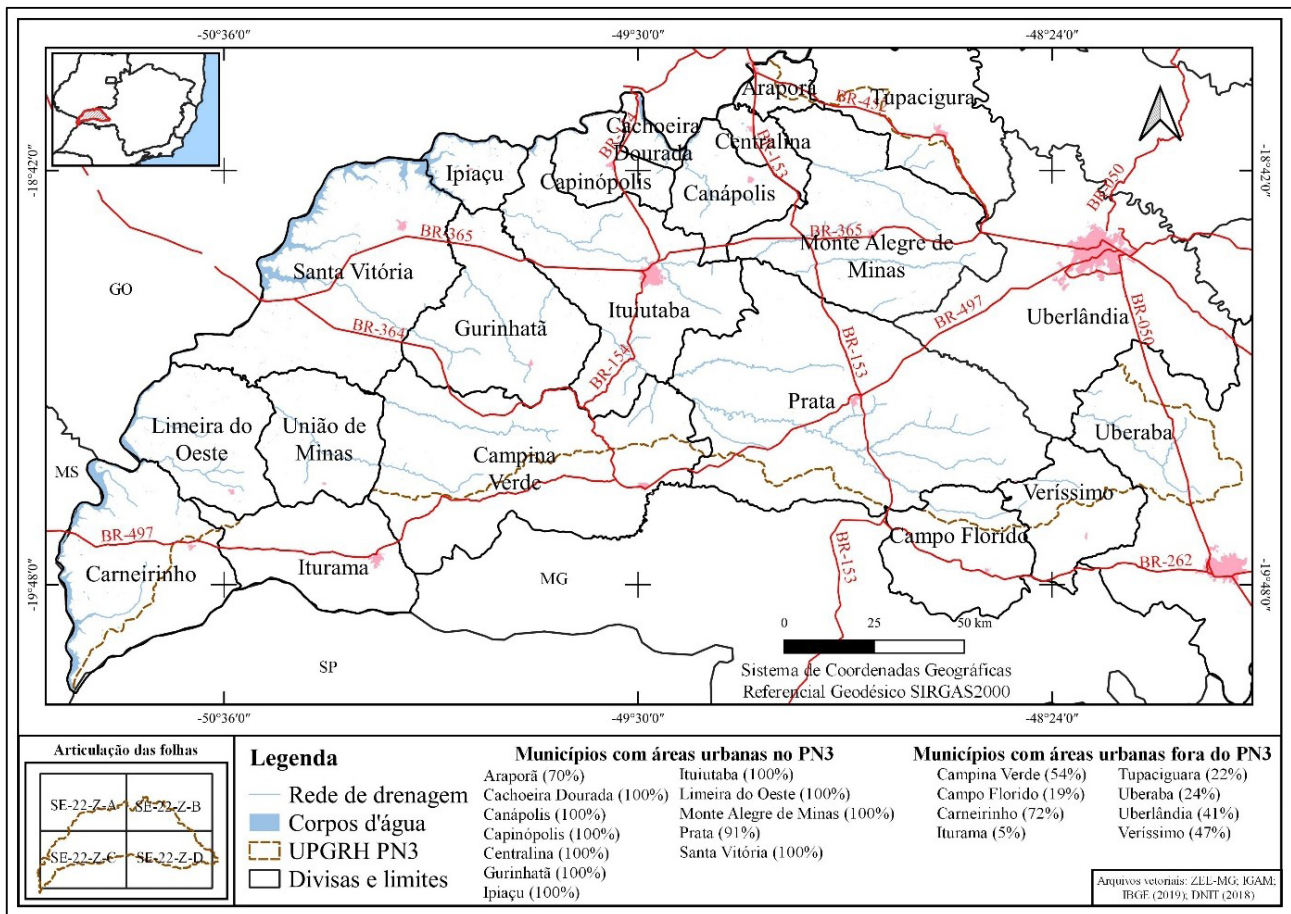
Assim, o presente artigo visa propor um procedimento metodológico de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas por serem as unidades básicas para planejamento e gestão dos recursos hídricos conforme a Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997). Para fins demonstrativos, a metodologia foi aplicada na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma alternativa metodológica para que os planos diretores de recursos hídricos de bacias hidrográficas, inclusive da UPGRH PN3, obtenham um instrumento que considere efetivamente variáveis direta ou indiretamente relacionadas à situação dos recursos hídricos.

A hipótese da pesquisa relatada está amparada na expectativa de viabilidade metodológica de se obter um zoneamento ambiental que contemple informações integradas de componentes físico-geográficos e ambientais, com destaque para variáveis diretamente relacionadas à dinâmica hídrica. Espera-se que o procedimento metodológico possa contribuir como um caminho não só para cobrir a lacuna do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3 (que atualmente não apresenta zoneamento ambiental), mas também para ser uma alternativa a outras unidades territoriais.

Área selecionada para estudo demonstrativo

A área selecionada para estudo é a UPGRH PN3, no estado de Minas Gerais, nas regiões geográficas intermediárias de Uberlândia e Uberaba (Divisão regional do Brasil..., 2017). Trata-se de um conjunto de bacias hidrográficas com área de 26.892,39 km² pertencentes à bacia federal do rio Paranaíba, que é uma entre as 36 UPGRH de Minas Gerais (Igam, 2010). O Mapa 1 mostra essa localização, com os municípios e seus percentuais de ocupação, bem como o acesso por meio de rodovias federais.

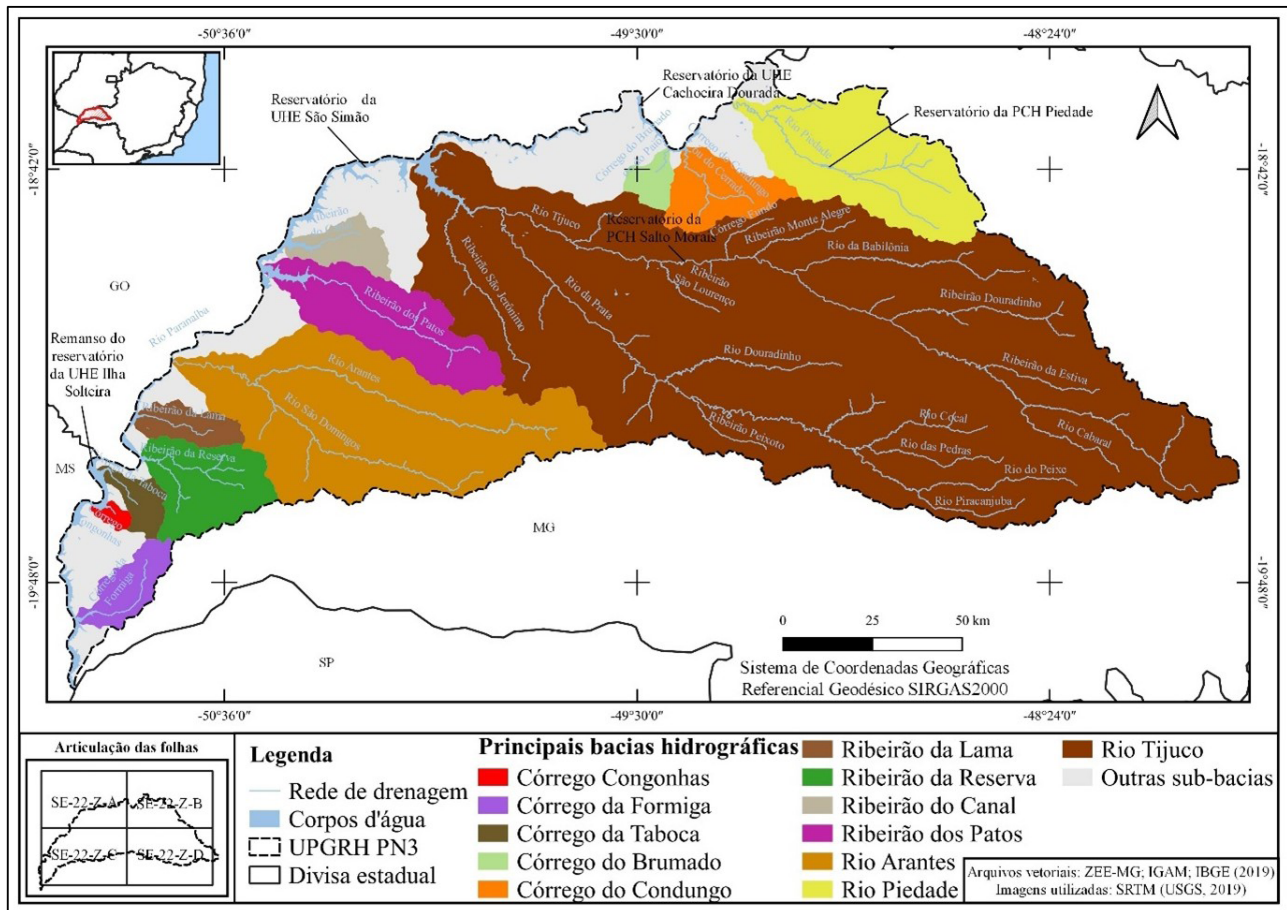
Mapa 1 – Localização da UPGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

Para complementar a localização da área de estudo, indicam-se as principais sub-bacias hidrográficas da UPGRH PN3. No Mapa 2, foram delimitadas 12 bacias hidrográficas, por serem as mais representativas na unidade territorial. Essa condição foi estabelecida devido ao tamanho, à importância dos rios principais ou ao reconhecimento em cartas topográficas oficiais. Entre essas 12 bacias hidrográficas consideradas principais, destacam-se as dos rios Tijuco, Piedade e Arantes, por serem as mais conhecidas em toda a abrangência da área de estudo.

Mapa 2 – Localização das principais bacias hidrográficas da UGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

Procedimentos metodológicos

O procedimento metodológico de zoneamento ambiental baseia-se na integração de variáveis físico-geográficas e ambientais, com destaque para aquelas relacionadas aos recursos hídricos. Dessa forma, a proposta foi conduzida em cinco etapas: (1) obtenção dos mapas temáticos dos componentes físico-geográficos e ambientais, (2) levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos, da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e das áreas legalmente protegidas, (3) reconhecimento de conflitos entre o uso da terra e as duas vulnerabilidades supracitadas e entre o uso da terra e as áreas legalmente protegidas (incompatibilidades legais) por lógica booleana (interseção), (4) configuração da proposta de zoneamento ambiental e (5) indicação de áreas para preservação, recuperação e manejo conforme as indicações da etapa anterior. O Quadro 1 apresenta o resumo dos aspectos levantados e trabalhados.

Na primeira etapa, os temas geologia e solos foram obtidos a partir dos *shapefiles* do IBGE (2018). A declividade foi obtida mediante imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (USGS, [2019]), com fatiamento em classes baseado em Santos et al. (2018): 0% a 3% (plano), 3% a 8% (suave ondulado), 8% a 20% (ondulado) e > 20% (forte ondulado). Os dados de precipitação média anual provêm de estações pluviométricas situadas no interior e nas adjacências da área de estudo (ANA, [s.d.]), período de 1988 a 2018. A precipitação média anual contribuiu para a obtenção da intensidade pluviométrica considerando o período chuvoso

de sete a nove meses (Crepani et al., 2001). Para o mapa de cobertura e uso da terra, usou-se o *shapefile* do TerraClass Cerrado (Mapeamento do uso..., 2015), adequado pelo MapBiomias (2018). Todos os mapas foram criados no *software* QGIS 2.18.25 with GRASS 7.4.2.

A disponibilidade natural das águas superficiais no exutório do rio principal (considerando a $Q_{7,10}$ por ser a vazão de referência de Minas Gerais para outorga de direito de uso dos recursos hídricos) proveio do arquivo vetorial da rede de drenagem, escala 1:100.000 (IDE-Sisema, [2019]; Igam, 2012). Já as áreas de conflito pelo uso da água foram obtidas no *shapefile* do IDE-Sisema (2019). Ressalta-se que o limite máximo de captações na maioria das bacias hidrográficas de Minas Gerais é de 50% da $Q_{7,10}$ e, quando há demanda superior, gera-se uma Declaração de Área de Conflito (DAC) (Igam, 2019a; Minas Gerais, 2019).

A qualidade das águas superficiais baseou-se no relatório de 2018 do Igam (2018, 2019b). Os indicadores são o índice de qualidade das águas (IQA) (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fósforo total, variação da temperatura, turbidez e sólidos totais), contaminação por tóxicos (CT) (arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total) e índice de estado trófico (IET) (fósforo total e clorofila-a.).

Quadro 1 – Resumo dos aspectos levantados e trabalhados na proposta metodológica

etapa	aspectos levantados e trabalhados
(1) mapas temáticos dos componentes físico-geográficos e ambientais	Foram obtidos os temas geologia, declividade, solos, intensidade pluviométrica, cobertura e uso da terra, disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas superficiais.
(2) vulnerabilidade natural à perda de solos, vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e áreas legalmente protegidas	A vulnerabilidade natural à perda de solos foi levantada por meio da adaptação da proposta de Crepani et al. (2001) segundo os cinco primeiros temas da etapa anterior. Com a mesma lógica, estabeleceu-se a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais a partir dos outros três temas. Nas áreas legalmente protegidas, foram levantadas as APP, RL e UC.
(3) reconhecimento de conflitos entre o uso da terra e a vulnerabilidade e entre o uso da terra e as áreas legalmente protegidas	O mapa base é de cobertura e uso da terra, que foi usado na interseção com os mapas de vulnerabilidade natural à perda de solos, vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e áreas legalmente protegidas.
4) proposta de zoneamento ambiental	Foram definidas as zonas de conservação ou de intervenções recuperativas e de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas. As duas zonas visam separar as áreas protegidas por leis ambientais (denominadas áreas legalmente protegidas) daquelas com ocupação consolidada ou onde se desenvolvem atividades produtivas. O interior das duas zonas foi subdividido em áreas (subzonas) em níveis de conflito para subsidiar as indicações da etapa posterior.
(5) indicação de áreas para preservação, recuperação e manejo	A proposta abrange um conjunto de ações a aplicar nas áreas (subzonas) conforme os níveis de conflitos previamente estabelecidos.

fonte: Elaborado pelos autores.

Na segunda etapa, a vulnerabilidade natural à perda de solos foi realizada por meio da adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001), atribuindo-se pesos às variáveis dos seguintes componentes físico-geográficos: (1) litologia, (2) declividade, (3) classes de solo, (4) intensidade pluviométrica e (5) classes de cobertura e uso da terra. Os temas foram sobrepostos para obtenção da média aritmética, por meio da seguinte equação:

$$V = (\text{Lit} + \text{Dec} + \text{Sol} + \text{IP} + \text{CUT})/5 \quad (1)$$

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 seguiram a sugestão de Crepani et al. (2001): valores próximos de 1,0 tendem à estabilidade; próximos de 2,0, indicam condições intermediárias e, próximos de 3,0, vulnerabilidade. Para simplificar a legenda, se definiram cinco faixas (Quadro 2).

Quadro 2 – Graus de vulnerabilidade à perda de solos com valores agregados hidrográficas da UPGRH PN3

unidades de paisagem	valores de vulnerabilidade agregados	grau de vulnerabilidade
U1, U2, U3 e U4	3,0, 2,9, 2,8 e 2,7	vulnerável
U5, U6, U7 e U8	2,6, 2,5, 2,4 e 2,3	moderadamente vulnerável
U9, U10, U11, U12 e U13	2,2, 2,1, 2,0, 1,9 e 1,8	medianamente estável/ vulnerável
U14, U15, U16 e U17	1,7, 1,6, 1,5 e 1,4	moderadamente estável
U18, U19, U20 e U21	1,3, 1,2, 1,1 e 1,0	estável

fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

A vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais foi obtida pela sobreposição dos componentes relativos aos recursos hídricos: (1) disponibilidade das águas superficiais, (2) áreas de conflito pelo uso da água e (3) qualidade das águas superficiais. À disponibilidade de águas superficiais, foram atribuídos valores conforme o Quadro 3.

Para as áreas de conflito pelo uso da água, adotou-se um critério prático e direto: as bacias hidrográficas com conflito declarado têm o maior, e as sem conflito declarado, o menor valor de vulnerabilidade (Quadro 4).

Quadro 3 – Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais

disponibilidade das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	valor de vulnerabilidade	grau de disponibilidade
< 3,00 m ³ /s	3,0	muito baixo
3,00 a 8,00 m ³ /s	2,5	baixo
8,01 a 13,00 m ³ /s	2,0	médio
13,01 a 18,00 m ³ /s	1,5	alto
> 18,00 m ³ /s	1,0	muito alto

fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 4 – Graus de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água

áreas de conflito pelo uso da água	valor de vulnerabilidade	grau de vulnerabilidade
bacias com conflito declarado	3,0	muito alto
bacias sem conflito declarado	1,0	muito baixo

fonte: Elaborado pelos autores.

No tocante à qualidade das águas superficiais, optou-se por uma síntese dos indicadores (IQA, CT e IET). Para a realização do processo, atribuíram-se valores de vulnerabilidade segundo a lógica de que, quanto mais próximo de 3,0, pior é a qualidade das águas superficiais, aplicando-se a seguinte equação:

$$V = (IQA + CT + IET)/3 \quad (2)$$

Onde:

V = vulnerabilidade

IQA = valores de vulnerabilidade do tema índice de qualidade das águas

CT = valores de vulnerabilidade do tema contaminação por tóxicos

IET = valores de vulnerabilidade do tema índice de estado trófico

O Quadro 5 mostra os valores de vulnerabilidade dos indicadores (IQA, CT e IET) e uma escala de cores representativas de cada classe (graus de vulnerabilidade).

Agregaram-se os valores resultantes da sobreposição dos três temas (IQA, CT e IE), sendo indicado na legenda do mapa síntese de qualidade das águas superficiais (Quadro 6).

Diante de todos os temas estabelecidos (disponibilidade das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas), procedeu-se à geração do mapa síntese, que estabelece a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Esse mapa foi obtido a partir da sobreposição dos três temas, novamente por meio de uma equação:

$$V = (DAS + AC + QAS)/3 \quad (3)$$

Onde:

V = vulnerabilidade

DAS = valores de vulnerabilidade do tema disponibilidade das águas superficiais

AC = valores de vulnerabilidade do tema áreas de conflito pelo uso da água

QAS = valores de vulnerabilidade do tema qualidade das águas superficiais

Quadro 5 – Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais

indicador	valor de vulnerabilidade	classe (grau de vulnerabilidade)
IQA	1,0	excelente ($90 < IQA \leq 100$)
	1,5	bom ($70 < IQA \leq 90$)
	2,0	médio ($50 < IQA \leq 70$)
	2,5	ruim ($25 < IQA \leq 50$)
	3,0	muito ruim (≤ 25)
CT	1,2	baixo ($\leq 20\%$ acima do limite legal)
	2,0	médio ($> 20\%$ e $\leq 100\%$ acima do limite legal)
	2,8	alto ($> 100\%$ acima do limite legal)
IET	1,0	ultraoligotrófico ($= 47$)
	1,4	oligotrófico ($47 < IET = 52$)
	1,8	mesotrófico ($52 < IET = 59$)
	2,2	eutrófico ($59 < IET = 63$)
	2,6	supereutrófico ($63 < IET = 67$)
	3,0	hipereutrófico (> 67)

fonte: Adaptado de Igam (2019a).

Quadro 6 – Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados

valores de vulnerabilidade agregados	grau de qualidade
1,0, 1,1, 1,2, 1,3	muito alto
1,4, 1,5, 1,6, 1,7	alto
1,8, 1,9, 2,0, 2,1, 2,2	médio
2,3, 2,4, 2,5, 2,6	baixo
2,7, 2,8, 2,9, 3,0	muito baixo

fonte: Elaborado pelos autores.

Diante dos resultados obtidos pela equação acima os valores de vulnerabilidade qualitativa das águas superficiais foram agregados seguindo os critérios do Quadro 7.

Ainda na segunda etapa, delimitaram-se as áreas legalmente protegidas por meio de arquivos de fontes oficiais ou criados com essa finalidade. Para as unidades de conservação (UC), utilizaram-se os *shapefiles* do IDE-Sisema (2019) e as reservas legais (RL) foram obtidas pelo Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar, [2020]). Para as áreas de preservação permanente (APP), foi realizado um *buffer* da rede de drenagem, obedecendo ao Novo Código Florestal (Brasil, 2012).

Quadro 7 – Graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

valores de vulnerabilidade agregados	grau de vulnerabilidade
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	muito alto
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	alto
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	médio
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	baixo
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	muito baixo

fonte: Elaborado pelos autores.

A terceira etapa é o estabelecimento de conflitos para identificar, por meio de um processo preestabelecido, o quanto as atividades antrópicas, modificadoras da natureza, comprometem a perda de solos, a situação quali-quantitativa das águas superficiais e a preservação das áreas a serem protegidas por leis ambientais. O mapa base é de cobertura e uso da terra, que é usado para interseção com os mapas de vulnerabilidade natural à perda de solos, vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e áreas legalmente protegidas. Especificamente para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais, indicaram-se as bacias hidrográficas conflituosas pelo cálculo da maior classe de conflito. As interseções seguiram os critérios do Quadro 8.

Na quarta etapa, se definiram as zonas de conservação ou de intervenções recuperativas e de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas. A partir dessas duas zonas, foram propostas subdivisões considerando os conflitos previamente instalados. O intuito é determinar que nas duas zonas sejam desenvolvidas ações de melhoria da qualidade ambiental compatível com as particularidades internas, especialmente quanto aos recursos hídricos. Contudo, o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais indica as bacias hidrográficas com prioridade para recuperação e medidas de manejo. O Quadro 9 apresenta os critérios definidos para a subdivisão de áreas (subzonas).

Na quinta etapa, sugerem-se diretrizes de preservação ou recuperação e de manejo para efetivação do instrumento para fins de planejamento e gestão ambiental de bacias hidrográficas.

Resultados e discussão

A UPGRH PN3 é composta predominantemente por arenitos (rochas moderadamente vulneráveis) e por basaltos (rochas moderadamente estáveis). Os depósitos aluviais e as coberturas indiferenciadas, bem menos representativos, são vulneráveis. Quanto à declividade, predomina o relevo suave ondulado (3% a 8%). Os solos são, em grande parte, estáveis, como os latossolos vermelhos e medianamente estáveis/vulneráveis como os argissolos vermelho-amarelos. A precipitação média anual varia de 1.250 mm a 1.550 mm e as classes de cobertura e uso da terra são: áreas urbanizadas, corpos d' água, culturas, pastagens, silvicultura e vegetação nativa.

Quadro 8 – Interseções definidas para o estabelecimento de conflitos

interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade à perda de solos					
	vulnerável	moderadamente vulnerável	medianamente estável/vulnerável	moderadamente estável	estável
áreas urbanizadas	muito alto	muito alto	muito alto	alto	médio
culturas temporárias	muito alto	alto	médio	baixo	baixo
culturas permanentes	muito alto	alto	médio	baixo	muito baixo
pastagens	muito alto	muito alto	alto	médio	baixo
silvicultura	muito alto	alto	médio	baixo	muito baixo
interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais					
	muito alta	alta	média	baixa	muito baixa
áreas urbanizadas	muito alto	muito alto	alto	médio	médio
culturas temporárias	muito alto	muito alto	alto	médio	baixo
culturas permanentes	alto	alto	médio	médio	baixo
pastagens	muito alto	alto	alto	médio	médio
silvicultura	alto	alto	médio	médio	baixo
interseção definida para o conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas					
	unidade de conservação	reserva legal	área de preservação permanente		
áreas urbanizadas	alto	alto	alto		
culturas temporárias	alto	médio	médio		
culturas permanentes	alto	médio	médio		
pastagens	médio	médio	baixo		
silvicultura	médio	médio	médio		

fonte: Elaborado pelos autores.

Com a sobreposição dos cinco temas, foi obtido o resultado da vulnerabilidade natural à perda de solos. Em 73,78% de sua área, a UPGRH PN3 apresentou uma vulnerabilidade classificada como 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 de relevo plano a suave, vales de rios de no mínimo 4ª ordem, além das áreas de vegetação nativa, que constitui uma cobertura de maior estabilidade. Convém ressaltar que o grau de maior

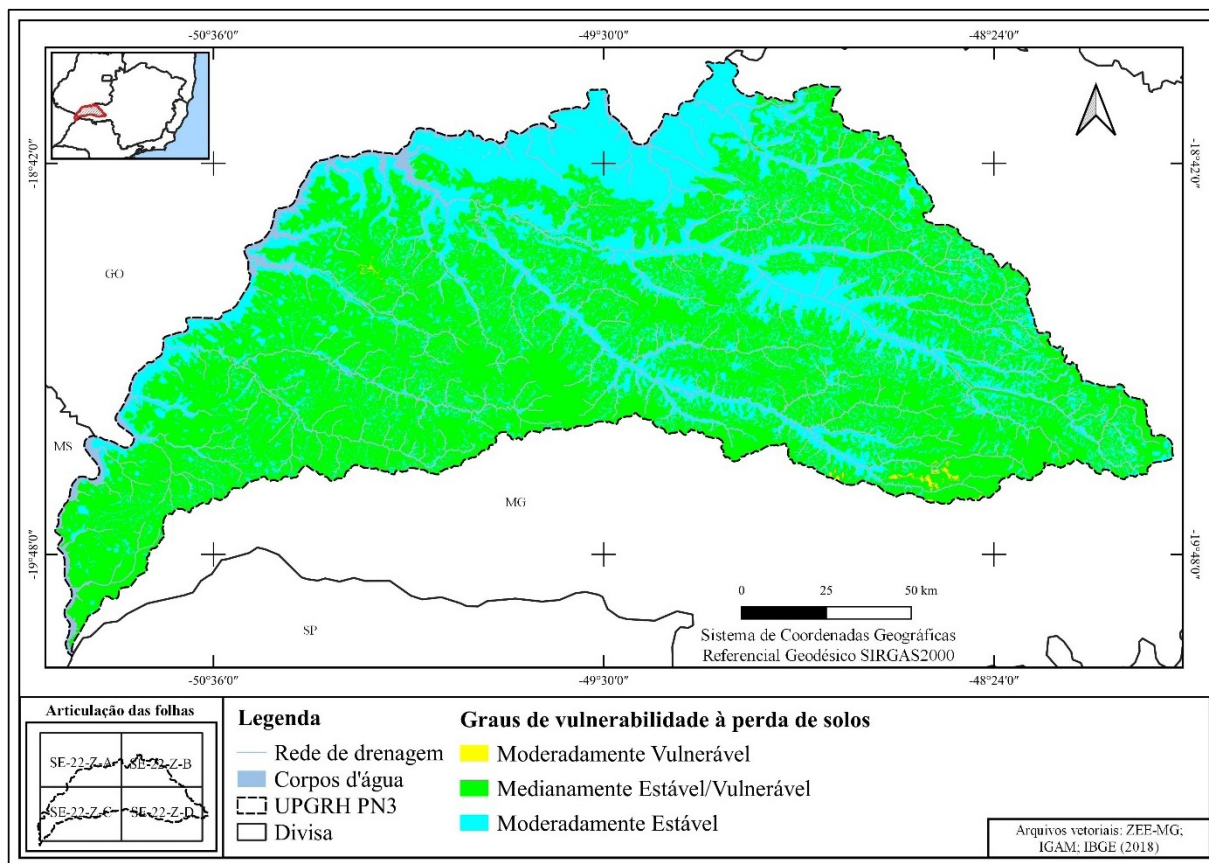
vulnerabilidade à perda de solos na área de estudo é o moderadamente vulnerável, mas em apenas 1,13%, presente nas áreas mais declivosas, sendo insignificante no território da unidade de planejamento. Essas características podem ser observadas no Mapa 3, que apresenta o resultado da vulnerabilidade natural da área de estudo à perda de solos.

Quadro 9 – Critérios de definição de áreas (subzonas)

zona de conservação ou de intervenções recuperativas	
conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas	definição de áreas
alto	áreas para recuperação de baixa urgência
médio	áreas para recuperação de média urgência
baixo	áreas para recuperação de alta urgência
inexistente (vegetação nativa)	áreas para preservação
zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas	
conflito entre uso da terra e vulnerabilidade à perda de solos	definição de áreas
qualquer	áreas urbanizadas
muito alto	áreas inaptas
alto	áreas aptas com restrições relevantes
médio	áreas aptas com restrições moderadas
baixo	áreas aptas com restrições elementares
muito baixo	áreas aptas
inexistente (vegetação nativa a ser inserida na zona de conservação)	áreas para preservação
bacias hidrográficas com prioridade às ações de recuperação e manejo	
prioridade	critérios
muito alta	Bacia hidrográfica com conflito muito alto ou bacia hidrográfica com conflito alto mas que tenha DAC.
alta	Bacia hidrográfica com conflito alto ou bacia hidrográfica com conflito médio, desde que tenha DAC. Quando o conflito for alto e houver DAC e ainda outra bacia na mesma situação, definir a prioridade para a que tiver a DAC mais antiga da UPGRH.
média	Bacia hidrográfica com conflito médio ou bacia hidrográfica com conflito alto, desde que não tenha DAC e ao menos duas bacias hidrográficas já tenham DAC na UPGRH.
baixa	Bacia hidrográfica com conflito baixo ou bacia hidrográfica com conflito médio, desde que não tenha DAC e ao mesmo tempo no mínimo duas bacias hidrográficas já tenham DAC na UPGRH.
muito baixa	Bacia hidrográfica com conflito muito baixo.

fonte: Elaborado pelos autores.

Mapa 3 – Vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto à disponibilidade natural das águas superficiais, as bacias dos ribeirões da Reserva e dos Patos (a oeste), do ribeirão São Jerônimo (afluente da margem esquerda do rio Tijuco) e do córrego do Condungo ou do Cerrado (ao norte) apresentam as menores disponibilidades naturais. A bacia hidrográfica do rio Tijuco tem a maior disponibilidade de águas superficiais, apresentando uma parte muito alta (rio Tijuco) e alta (rio da Prata). Já a bacia hidrográfica do ribeirão São Jerônimo apresenta disponibilidade muito baixa.

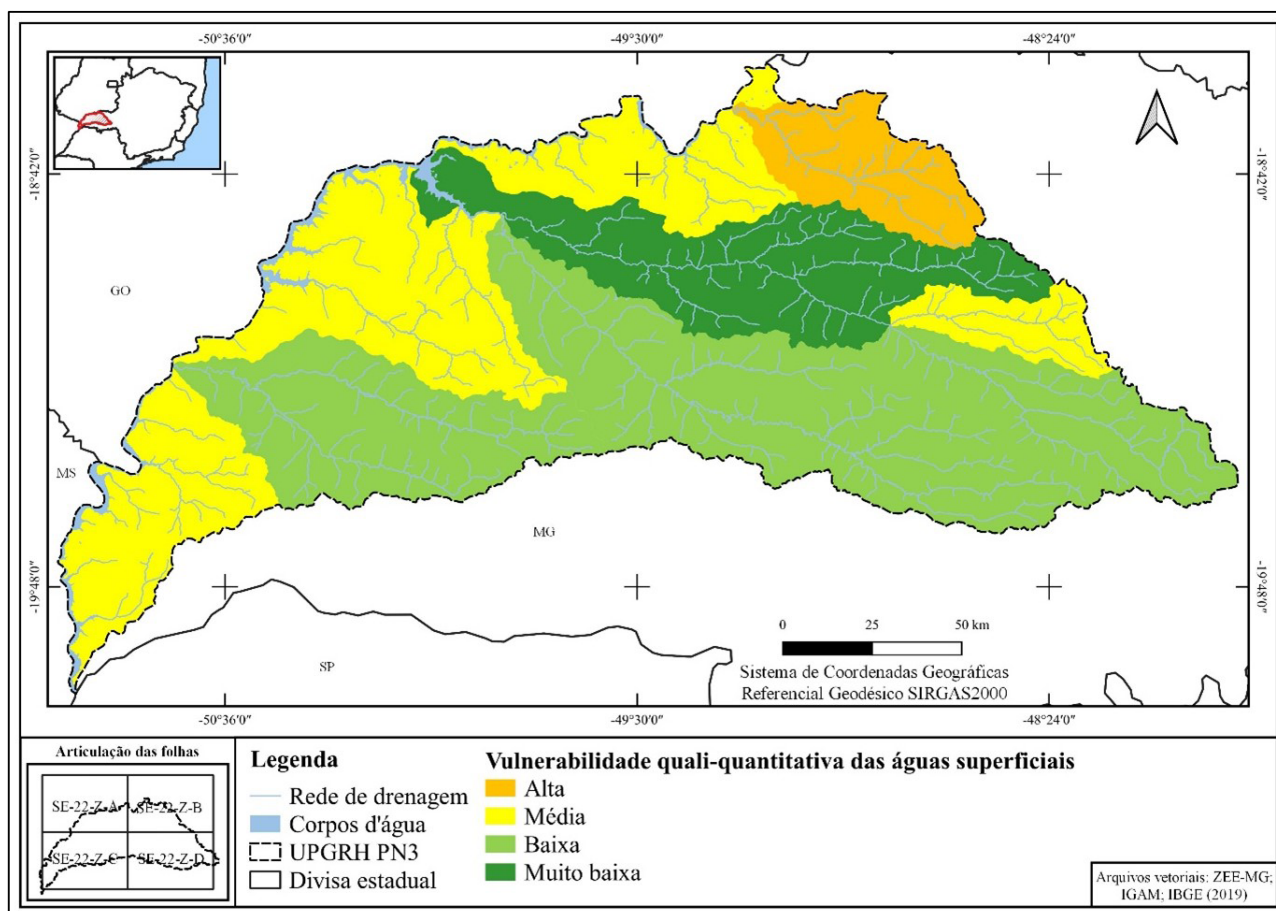
A UPGRH PN3 tem sete bacias em conflito pelo uso da água, sendo três áreas na bacia do rio Piedade (alto Piedade, bacia do ribeirão Bebedouro e o baixo Piedade) e outras quatro na bacia do ribeirão Douradinho (alto Douradinho, ribeirão Água Limpa, ribeirão Panga e baixo Douradinho). Sobre a qualidade das águas superficiais, em geral a UPGRH PN3 tem alta qualidade, exceto a bacia do alto rio Tijuco, de qualidade média.

Conhecendo a disponibilidade das águas superficiais, as áreas de conflito pelo uso da água e a qualidade das águas superficiais, procedeu-se à sua integração. A vulnerabilidade alta, presente em 6,54% da UPGRH PN3, só é encontrada na bacia do rio Piedade. As áreas de vulnerabilidade média, que abrangem 31,93%, representam bacias dos córregos da Formiga, Congonhas, Taboca, ribeirões da reserva, da Lama, dos Patos, do Canal e de São Jerônimo (porções oeste e central), além dos córregos do Brumado ou do Paiol, Condungo ou do Cerrado (norte) e ribeirão Douradinho (leste). Em 43,90%, tem-se a vulnerabilidade baixa, encontrada nas bacias dos rios Arantes (oeste), da Prata (central) e do alto rio Tijuco (leste). A vulnerabilidade

muito baixa, presente em 15,56%, está restrita a uma parte da bacia do rio Tijuco. O Mapa 4 apresenta a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.

As áreas legalmente protegidas abrangem UC, RL e APP. Conforme o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Snuc), a área de estudo compreende uma de proteção integral (Refúgio de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata) e seis de uso sustentável (RPPN), (Brasil, 2000). Já as RL delimitadas são as averbadas e/ou aprovadas pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR) (Sicar, [2020]), visto que as demais ainda são passíveis de aprovação.

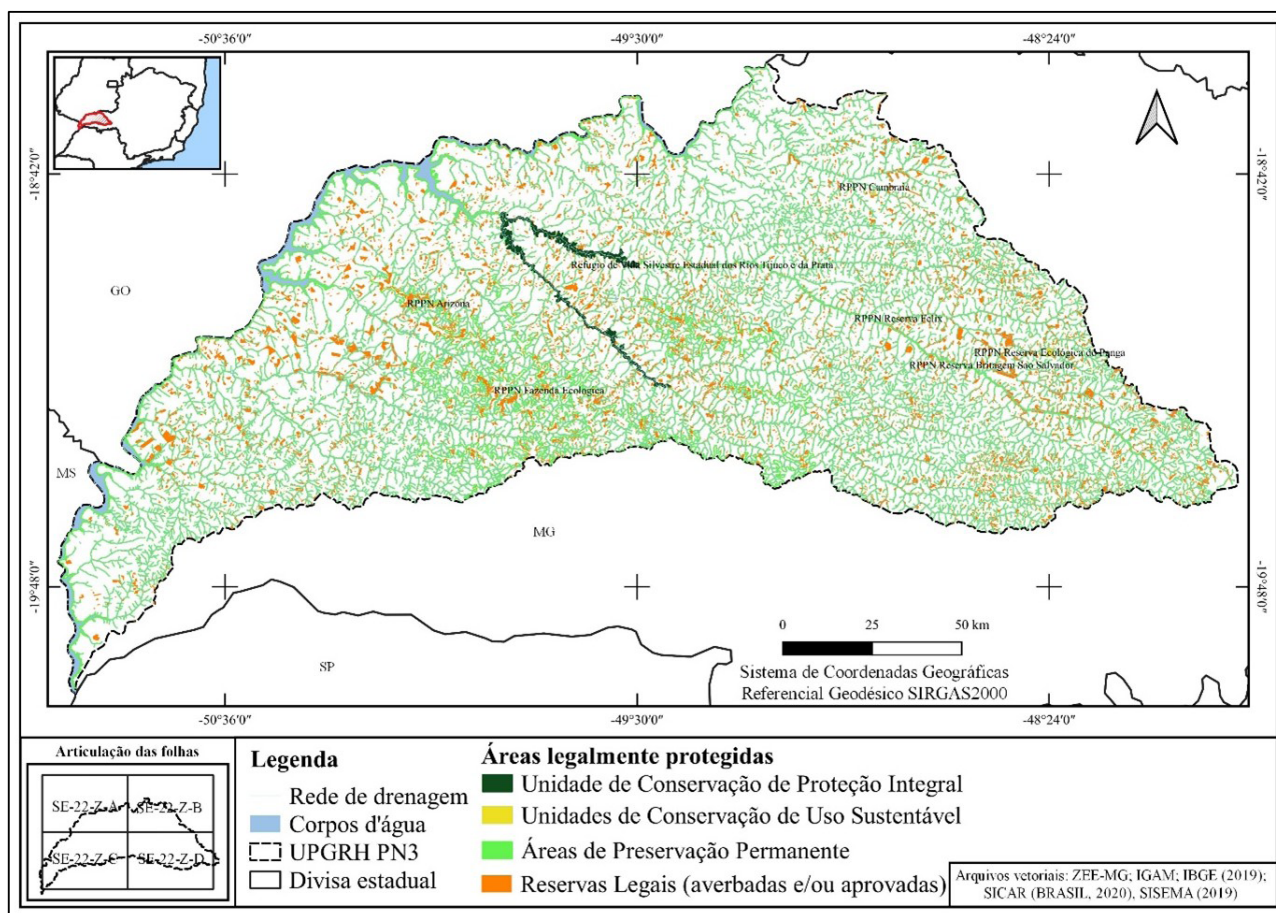
Mapa 4 – Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

Nas APP, as faixas foram definidas pela largura dos cursos d'água, sendo de 30 m aqueles de até 4ª ordem, por apresentarem largura inferior a 10 m. Os cursos d'água de 5ª ordem em diante, como o ribeirão da Reserva, os rios Arantes, Piedade e trecho do rio da Prata, têm APP de 50 m, por ter largura entre 10 m e 50 m. As exceções são o baixo rio da Prata e o rio Tijuco, com larguras entre 50 m e 200 m, caso em que a APP tem 100 m. Para as APP dos reservatórios artificiais, mantiveram-se os 100 metros, embora o Novo Código Florestal (Brasil, 2012) tenha alterado essa determinação. O Mapa 5 apresenta as áreas legalmente protegidas com UC, RL e APP.

Mapa 5 – Áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3

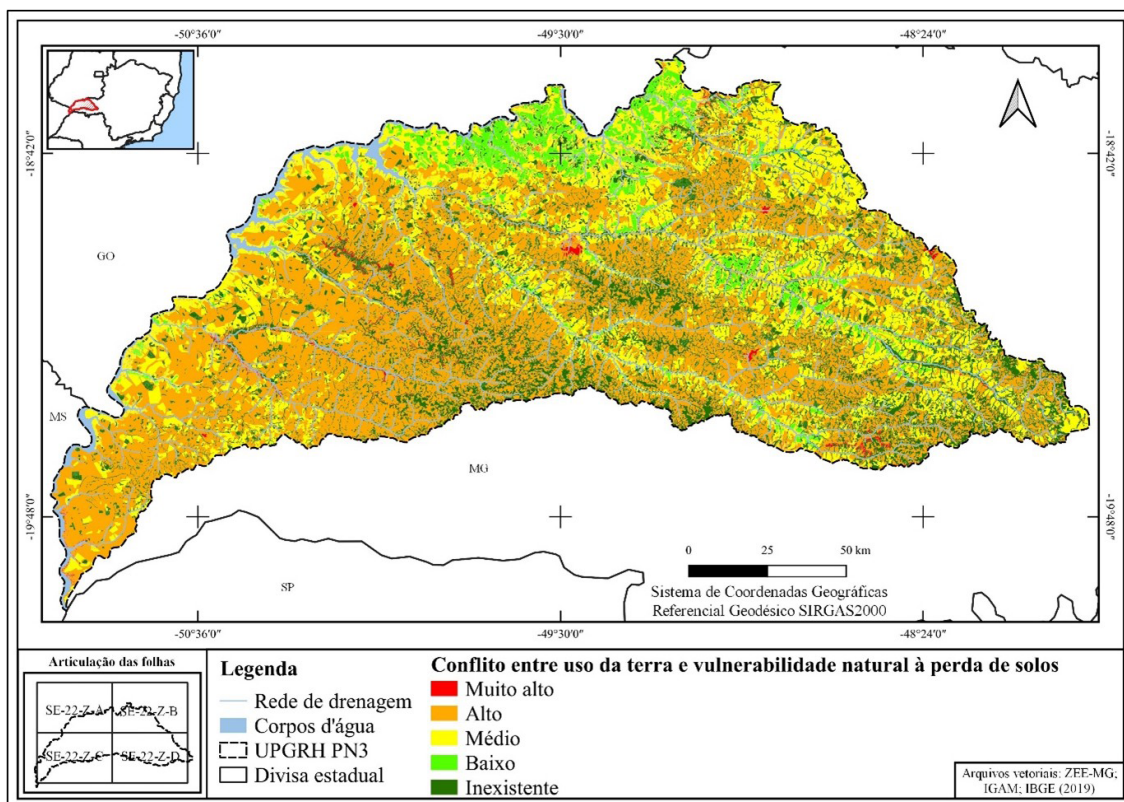


fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos, vulnerabilidade qualitativa das águas superficiais e áreas legalmente protegidas, procedeu-se a terceira etapa da metodologia: reconhecimento de conflitos entre o uso da terra e as duas vulnerabilidades e entre o uso da terra e as áreas legalmente protegidas (incompatibilidades legais), mediante interseção (lógica booleana). Para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos buscou-se determinar as condições que cada uso da terra interfere no desencadeamento de processos erosivos. As pastagens predominantes determinaram um conflito alto em grande parte da área de estudo, o que decorreu da interseção entre pastagens e áreas medianamente estáveis/vulneráveis.

A segunda classe em abrangência correspondeu ao conflito médio, onde as pastagens estão em áreas moderadamente estáveis, além de culturas (temporárias e permanentes) e silvicultura em áreas medianamente estáveis/vulneráveis. O conflito baixo foi identificado nas porções de culturas (temporárias e permanentes) e silvicultura em áreas moderadamente estáveis. Por fim, nas áreas urbanizadas, situadas em terrenos medianamente estáveis, e pastagens, em áreas moderadamente vulneráveis, apresentaram um conflito muito alto. Diante dessas considerações, o Mapa 6 mostra resultado do conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos.

Mapa 6 – Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3



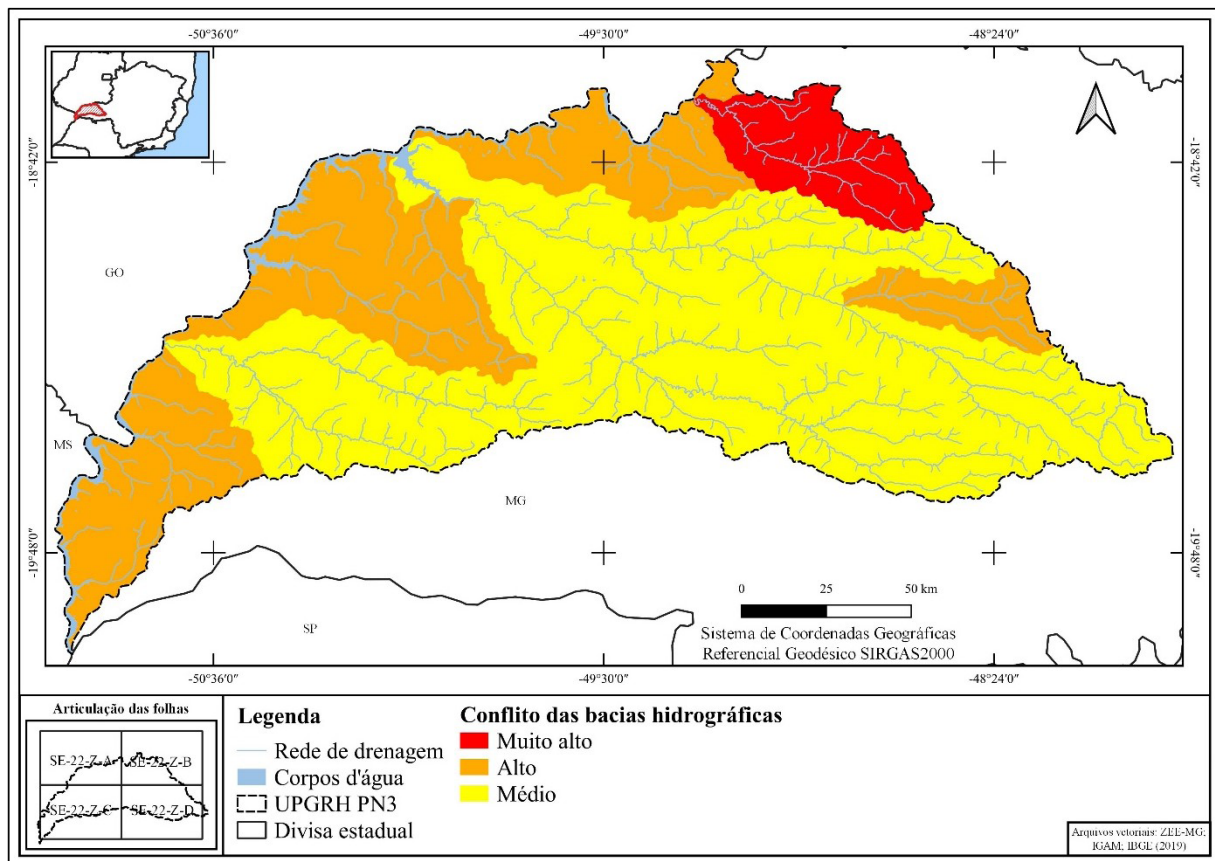
fonte: Elaborado pelos autores.

A identificação do conflito nas bacias hidrográficas, obtido pela interseção entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais, visou refletir quanto os usos da terra podem afetar as águas superficiais. As áreas com predomínio de usos da terra com conflito muito alto, como ocorre na bacia do rio Piedade, refletem essa perspectiva, pois retratam o território de maior conflito pelo uso da água. Nessa bacia hidrográfica, há uma significativa demanda de água para atividades econômicas, mas suas águas superficiais têm baixa disponibilidade. Nesses termos, a pressão sobre os recursos hídricos é um conflito a ser identificado e mitigado por meio de ações de recuperação e manejo.

Após o processo de interseção e, em seguida, a identificação do predomínio dos usos da terra conflitantes, foi possível apresentar os conflitos das bacias hidrográficas. Diante disso, a bacia hidrográfica do rio Piedade apresentou o maior conflito. Outras bacias que, fosse por ter DAC ou onde se desenvolviam usos conflitantes, acabaram definindo o conflito alto, como foram os casos das bacias hidrográficas do rio Douradinho e do ribeirão São Jerônimo, respectivamente. Mostrando melhor os resultados, o Mapa 7 dá o grau de conflito das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

O levantamento do conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas na UPGRH PN3 mostrou que o conflito médio ocorre basicamente quando há culturas (temporárias e permanentes) em RL e APP, pastagens em RL ou silvicultura em APP. As pastagens em APP geram baixo conflito, e pequenas áreas de culturas em UC, conflito alto. Foi definido que não há conflito quando a área protegida legalmente apresenta vegetação nativa.

Mapa 7 – Conflito das bacias hidrográficas da UPGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

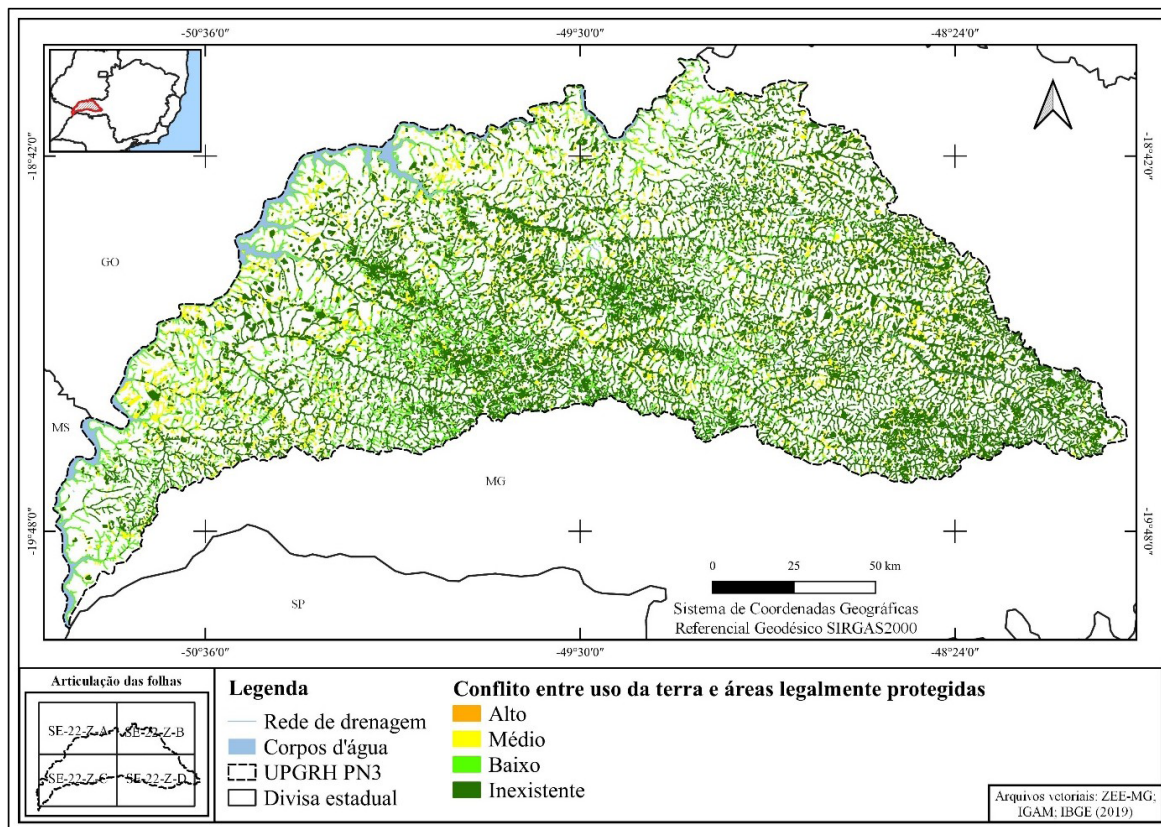
Embora haja culturas e silvicultura também em APP e outras áreas legalmente protegidas, a recuperação pode não ter a mesma urgência das pastagens, visto que as ocupações irregulares por culturas e silvicultura são mais restritas em termos de área. As culturas temporárias e permanentes em áreas legalmente protegidas apresentam os maiores graus de conflito, mas correspondem a uma área muito pequena. O grau de conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas pode ser observado no Mapa 8.

A partir dos conflitos identificados, avançou-se para estabelecer o zoneamento ambiental, sendo constituídas inicialmente duas zonas. A primeira, zona de conservação ou de intervenções recuperativas, corresponde às áreas protegidas, sendo estabelecida por condições ecológicas e legais. A outra, zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas, definida pelo aspecto econômico, refere-se às ocupações que se encontram estabelecidas e, simultaneamente, dedicam-se a atividades econômicas, desde que sejam implantadas práticas adequadas de manejo, além da adequação aos preceitos legais previstos.

Na zona de conservação ou de intervenções recuperativas, o estabelecimento do conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas permitiu a indicação das áreas com necessidade de recuperação e a respectiva urgência. Para a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas, o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos permitiu apontar as aptidões e restrições das atividades produtivas. O conflito entre uso da terra

e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais indicou as bacias hidrográficas com prioridade para recuperação e manejo. Essa determinação visa contribuir com a organização do direcionamento das ações na unidade territorial estudada.

Mapa 8 – Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

A vegetação nativa encontrada na zona de conservação ou de intervenções recuperativas deve continuar sendo preservada, ao passo que as áreas ocupadas por culturas (temporárias e permanentes), pastagens e silvicultura devem ser recuperadas. As áreas inaptas na zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas também devem ser recuperadas e aquelas consideradas aptas são passíveis de restrições, devendo-se aplicar medidas adequadas à qualidade ambiental. Assim, foram estabelecidas subdivisões nas duas zonas em que há diferentes urgências de recuperação (zona de conservação ou de intervenções recuperativas) e de restrição (zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas). As subdivisões e as bacias prioritárias para recuperação são apresentadas na Tabela 1.

As áreas para recuperação da zona de conservação ou de intervenções recuperativas e as áreas aptas com restrições da zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas da bacia hidrográfica do rio Piedade devem ser prioritárias no planejamento das ações recuperativas e de manejo da UPGRH PN3. A bacia do ribeirão Douradinho é a segunda em prioridade, seguida das demais, porém igualmente importantes de serem realizadas ações de recuperação e manejo. A partir dos resultados e da discussão até aqui apresentados, o Mapa 9 contempla o zoneamento ambiental da UPGRH PN3.

Tabela 1 – Zonas e bacias prioritárias de ações de recuperação e manejo da UPGRH PN3

zona de conservação ou de intervenções recuperativas		
subdivisão da zona (subzona)	área	percentual
áreas para preservação	5.335,14 km ²	19,84%
áreas para recuperação de baixa urgência	1,27 km ²	0,01%
áreas para recuperação de média urgência	953,29 km ²	3,54%
área para recuperação de alta urgência	563,77 km ²	2,09%
total	6.853,47 km²	25,48%
zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas		
subdivisão da zona (subzona)	área	percentual
áreas aptas com restrições elementares	1.076,45 km ²	4,01%
áreas aptas com restrições moderadas	6.252,17 km ²	23,25%
áreas aptas com restrições relevantes	11.890,15 km ²	44,22%
áreas inaptas	199,43 km ²	0,74%
áreas urbanas consolidadas	63,61 km ²	0,23%
total	19.481,81 km²	72,45%
corpos d'água		
corpos d'água	557,11 km ²	2,07%
total (zonas + corpos d'água)	26.892,39 km²	100%
bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo		
prioridade	área	percentual
muito alta (bacia do rio Piedade)	1.759,20 km ²	6,54%
alta (bacia do ribeirão Douradinho)	922,66 km ²	3,43%
média (demais bacias hidrográficas)	8.221,56 km ²	30,57%
baixa (bacias dos rios Tijuco e Arantes)	15.988,97 km ²	59,46%
total	26.892,39 km²	100%

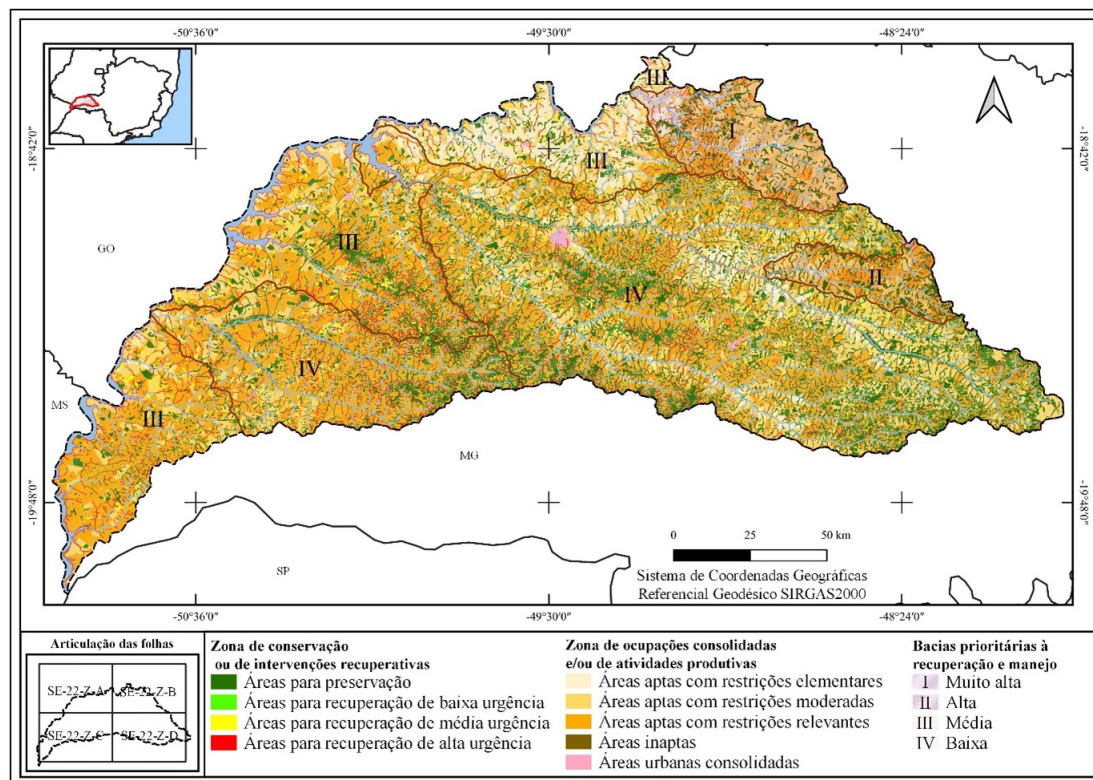
fonte: Elaborado pelos autores.

O zoneamento ambiental proposto consiste numa ferramenta com sugestões objetivas ao planejamento e a gestão ambiental da UPGRH PN3. Com o estabelecimento das duas zonas, cada uma tem ações específicas para a melhoria da qualidade ambiental do território como um todo. A zona de conservação ou de intervenções recuperativas foi subdivida em quatro áreas e a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas em cinco, cuja organização dos trabalhos de recuperação e manejo deve ter como critério as bacias hidrográficas prioritárias para recuperação e manejo. Assim, sugerem-se diretrizes de recuperação e manejo para as áreas (subzonas) definidas pela proposta de zoneamento ambiental (Quadro 10).

É importante ressaltar que a adoção do zoneamento ambiental proposto não inviabiliza as ações já indicadas pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3, devendo-se tratar como uma complementação das recomendações em futuras revisões. Além das medidas

para gestão dos recursos hídricos e atividades dos setores produtivo e governamental, o presente zoneamento ambiental retira a flexibilidade de implementação das indicações do Plano Diretor que se demonstram muito genéricas. Essa rigidez do presente zoneamento foi determinada pelo levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos e também pelas ocupações inapropriadas das áreas legalmente protegidas (conflitos), complementado pela definição das bacias hidrográficas prioritárias para ações de recuperação e manejo.

Mapa 9 – Zoneamento ambiental da UPRH PN3



fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 10 – Diretrizes de preservação, recuperação e manejo da UPRH PN3

zona	área (subzona)	cobertura e uso da terra	diretrizes de preservação ou recuperação	ações de preservação ou recuperação
zona de conservação ou de intervenções recuperativas	áreas para preservação	vegetação nativa (100%)	manutenção da vegetação nativa	medidas gerais de proteção da cobertura vegetal nativa
	áreas para recuperação de baixa urgência	culturas temporárias (5,51%) culturas permanentes (94,49%)	recomposição da vegetação nativa das áreas de incompatibilidade legal	- regeneração natural sem manejo - semeadura direta - enriquecimento - adensamento - Nucleação - plantio por mudas - controle das plantas competidoras

Quadro 10 – Cont.

zona	área (subzona)	cobertura e uso da terra	diretrizes de preservação ou recuperação	ações de preservação ou recuperação
zona de conservação ou de intervenções recuperativas	áreas para recuperação de média urgência	culturas temporárias (16,15%) culturas permanentes (21,18%) pastagens (60,36%) silvicultura (2,31%)	recomposição da vegetação nativa das áreas de incompatibilidade legal	<ul style="list-style-type: none"> - regeneração natural sem manejo - semeadura direta - enriquecimento - adensamento - Nucleação - plantio por mudas - controle das plantas competidoras
	áreas para recuperação de alta urgência	pastagens (100%)		
zona	área (subzona)	cobertura e uso da terra	diretrizes de manejo do uso da terra	ações de manejo do uso da terra
zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas	áreas aptas com restrições elementares	culturas temporárias (59,97%) culturas permanentes (35,16%) pastagens (0,81%) silvicultura (4,06%)	manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições elementares	<ul style="list-style-type: none"> - plantio direto - aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes - técnicas de terraceamento - plantio em nível
	áreas aptas com restrições moderadas	culturas temporárias (25,80%) culturas permanentes (30,85%) pastagens (35,60%) silvicultura (7,75%)	manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições moderadas	<ul style="list-style-type: none"> - plantio direto - integração lavoura-pecuária - aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes - técnicas de terraceamento - técnicas de plantio e formação de pastagens - técnicas de controle de processos erosivos - plantio em nível e corte controlado da silvicultura

Quadro 10 – Cont.

zona	área (subzona)	cobertura e uso da terra	diretrizes de preservação ou recuperação	ações de preservação ou recuperação
zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas	áreas aptas com restrições relevantes	culturas temporárias (0,04%) culturas permanentes (0,24%) pastagens (99,72%)	manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições relevantes	- plantio direto - integração lavoura-pecuária - aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes - técnicas de terraceamento - técnicas de plantio e formação de pastagens - adoção da capacidade de suporte das pastagens - técnicas de controle de processos erosivos
	áreas inaptas	pastagens (100%)	recomposição da vegetação nativa das áreas inaptas	- regeneração natural sem manejo - semeadura direta - enriquecimento - adensamento - nucleação - plantio por mudas - controle das plantas competidoras
	áreas urbanas consolidadas	áreas urbanizadas (100%)	melhoria ambiental das áreas urbanizadas	- redução relativa da - impermeabilização do solo urbano - ampliação do sistema de tratamento de esgoto - gestão efetiva dos resíduos sólidos

fonte: Elaborado pelos autores.

Considerações finais

O presente artigo apresentou resultados de uma pesquisa destinada à proposição metodológica de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas, importante instrumento a ser considerado nos Planos Diretores de Recursos Hídricos. A metodologia foi aplicada na UPGRH PN3 não apenas para fins demonstrativos, mas também como uma contribuição às futuras revisões do Plano Diretor de Recursos Hídricos da referida unidade de planejamento. O zoneamento ambiental pode contribuir para o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas, pois é capaz de indicar especificidades paisagísticas do território, condição básica para decisões relativas ao meio ambiente e, em particular, aos recursos hídricos.

A integração de componentes físico-geográficos e ambientais consiste num princípio de qualquer metodologia de zoneamento ambiental. A questão é estabelecer os componentes relevantes e os procedimentos adequados para atingir os objetivos propostos. Nesta pesquisa, os componentes selecionados estão, de alguma forma, relacionados a aspectos que sintetizam a paisagem e a situação dos recursos hídricos (em especial das águas superficiais), além das áreas legalmente protegidas. Os resultados obtidos mostram que é possível obter um produto cartográfico a partir da integração de componentes físico-geográficos e ambientais variados, especialmente vinculados funcionalmente à dinâmica hidrológica, pois foram capazes de fornecer diferentes graus de vulnerabilidade e conflitos.

Assim, a apresentação do zoneamento ambiental ensejou uma combinação de aspectos ecológicos e econômicos, visto que se estabelecem critérios objetivos de recuperação e ações de manejo a ser aplicados conforme a situação de cada área (subzona). Enquanto a zona de conservação ou de intervenções recuperativas tem duas diretrizes com ações ecologicamente fortes, a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas apresenta diretrizes com ações voltadas à sustentabilidade das áreas (subzonas), o que configura o tratamento das relações ecológicas e econômicas esperadas num zoneamento ambiental. Por isso, esse produto cartográfico pode ser considerado pelos gestores da unidade de planejamento, especialmente devido à possibilidade de aplicação como política pública.

Entende-se que o zoneamento ambiental proposto pode ser uma ferramenta útil de planejamento e gestão da área de estudo, principalmente se integrada com outros instrumentos de política ambiental. De qualquer modo, ressalta-se que possíveis críticas são indispensáveis para aperfeiçoamento dos procedimentos metodológicos e, por conseguinte, para o avanço das pesquisas em geografia e meio ambiente. Por fim, espera-se que as ideias aqui desenvolvidas sirvam a futuras revisões do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3 ou que a metodologia seja aplicada em unidades territoriais análogas.

Referências

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas.**

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

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012.

Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei n. 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 União**. Brasília, DF, 11 jul. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 9 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 23 mar. 2019.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei n. 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 União**. Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZAO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, SP: Inpe, 2001.
- DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Rodovias do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas#maprodo>. Acesso em: 19 nov. 2018.
- DIVISÃO REGIONAL DO BRASIL em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 6 maio 2020.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arquivo vetorial do território brasileiro**. [2019]. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 15 set. 2019.

- IBGE. 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. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 13 fev. 2019.
- IDE-SISEMA. INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS. SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, [2019]. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 2 dez. 2019.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018**: resumo executivo anual. Belo Horizonte: Igam, 2019a. 327 p.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portaria n. 48, de 04 de outubro de 2019b. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>. Acesso em: 22 out. 2019.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Séries Históricas de Monitoramentos da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais (1º, 2º, 3º e 4º trimestres de 2018)**. Belo Horizonte: Igam, 2018. Planilhas.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Rede de drenagem de Minas Gerais em formato shapefile**. Belo Horizonte: Igam, 2012. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 19 set. 2019.
- IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais – 2010**. Belo Horizonte: Igam, 2010. Disponível em: http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/UPGRH_Minas_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://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 dez. 2019.
- MAPEAMENTO DO USO e cobertura da terra do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- MINAS GERAIS. Decreto n. 47.705, de 4 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG, 2019. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49498>. Acesso em: 22 out. 2019.

- SANTOS, H. G.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CUNHA, T. J. F.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5a ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SICAR. **Sistema Nacional de Cadastro Ambiental**. [2020]. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global**. [2019]. Courtesy of the US Geological Survey. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 18 nov. 2019.

Contribuição dos autores:

Rafael Mendes Rosa: concepção do estudo, levantamento dos dados e da bibliografia relativa ao tema, aplicação da estratégia metodológica, inclusive das técnicas de geoprocessamento, além da redação e formatação do texto.

Vanderlei de Oliveira Ferreira: contribuição na definição do objeto de estudo, acompanhamento da definição e da aplicação do roteiro metodológico, indicação de fontes relativas ao tema e colaboração na redação dos resultados e na revisão final.

Editor do artigo:

Fernando Villela

Recebido em: 01 jul. 2021
Aprovado em: 22 jun. 2022