



ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A EROSÃO E RISCO DE ASSOREAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS EM DELFIM MOREIRA-MG

Pedro de Oliveira Moura Bucker¹

Sara Maria Marques²

Mateus Cortez Marcondes³

Débora Luisa Silva Teixeira⁴

Nívea Adriana Dias Pons⁵

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

O zoneamento ambiental é uma ferramenta utilizada no planejamento do território com base nas medidas de proteção ambiental, garantindo a qualidade do meio, sendo comum a utilização de técnicas de geoprocessamento para a geração de mapas que contribuam com esse planejamento. Este trabalho objetiva analisar a suscetibilidade erosiva de Delfim Moreira (MG) e, em paralelo, os riscos de assoreamento dos corpos hídricos que tem relação intrínseca com as taxas de erosão. Para isso, foi utilizada a combinação dos mapas de solo, declividade, uso e ocupação do solo e distância das drenagens, que juntos resultaram nos mapas de suscetibilidade à erosão e risco de assoreamento dos corpos hídricos. Ao serem analisados, verificou-se que as classes de suscetibilidade à erosão classificadas como alta e muito alta, correspondem a 30% da área do município e estão localizadas nas porções ao sul e nas regiões noroeste e nordeste no interior dos vales, sendo que essas mesmas regiões possuem a maior tendência a terem os canais hídricos assoreados. Por serem áreas que concentram a maioria da população e se encontrarem próximas aos corpos hídricos, intensificam-se tanto os processos erosivos quanto os de assoreamento dos canais. Assim, faz-se necessário que os gestores municipais implementem medidas visando as práticas de manejo do solo conservacionistas, para que ocorram a redução das áreas com alta e muito alta suscetibilidade erosiva e a redução nos processos de assoreamento.

Palavras-chave: AHP, Declividade, Zoneamento ambiental.

¹ Aluno do Curso de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UNIFEI, IRN, pedrombucker@gmail.com.

² Aluna do Curso de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UNIFEI, IRN, saramarques.eng.civil@gmail.com.

³ Aluno do Curso de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UNIFEI, IRN, mateuscortesm@gmail.com.

⁴ Aluna do Curso de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UNIFEI, IRN, deboralsteixeira@gmail.com.

⁵ Professora Doutora do Instituto de Recursos Naturais, UNIFEI, npons@unifei.edu.br.



INTRODUÇÃO

Segundo a lei nº 6.938/81, Zoneamento Ambiental é um instrumento de proteção ambiental que dispõe sobre a organização do território, de acordo com as medidas de proteção ambiental, com intuito de garantir a qualidade dos solos, recursos hídricos e conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável.

O processo de assoreamento dos corpos hídricos ocorre de forma natural, ocasionando a deposição de sedimentos em seus leitos e provocando o aceleração da degradação dos rios, tornando sua utilização imprópria para captação. No entanto, esse processo pode ser acelerado em decorrência da atividade antrópica, com o aumento das taxas de erosão em relação às condições geológicas naturais, em decorrência da retirada da vegetação ciliar e consequente ocupação indevida, elevando a suscetibilidade do solo à erosão (CARVALHO, 2008; VIEIRA et. al., 2020).

Assim, determinar as áreas propensas à degradação possibilita o desenvolvimento de ações que impeçam ou atenuem os impactos sobre os rios, pois estes causam interferência tanto na qualidade da água, quanto no tempo de vida útil de lagos e reservatórios (NETO; NASCIMENTO, 2019).

A cidade de Delfim Moreira está localizada no sul do estado de Minas Gerais, na divisa com o estado de São Paulo (Figura 1), com sede municipal situada nas coordenadas de latitude 22°30'33" S e longitude -45°16'48". Tem como municípios vizinhos as cidades mineiras de Itajubá, Maria da Fé, Wenceslau Braz, Marmelópolis e Virgínia, e as cidades paulistas de Piquete, Campos do Jordão e Guaratinguetá (IBGE, 2020).

Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2018) seu território abrange a unidade de conservação federal de uso sustentável, a Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira (APASM), com área territorial de 408,473 km² e uma população estimada de 8016 habitantes (IBGE, 2020).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para o planejamento sustentável da cidade de Delfim Moreira (MG), ao levantar e analisar dados sobre os riscos erosivos e, consequentemente, sobre os riscos do assoreamento dos corpos d'água.

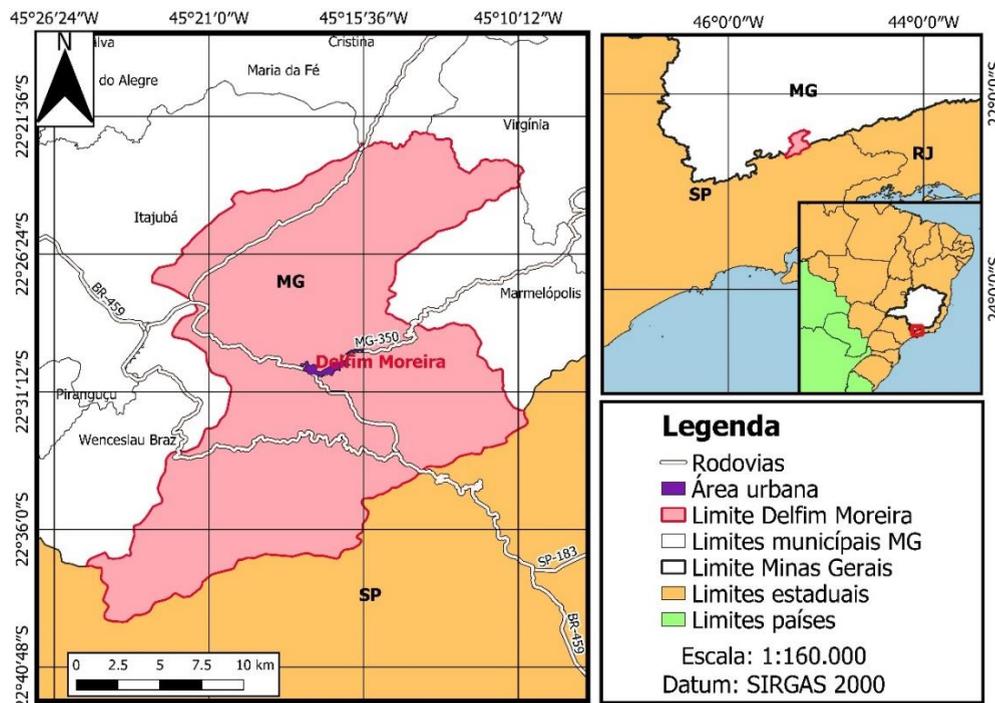


Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso da cidade de Delfim Moreira (MG).

METODOLOGIA

Os Mapas de Suscetibilidade à Erosão (MSE) e de Risco de Assoreamento dos Corpos Hídricos (MRACH) possuem relevância para regiões onde o relevo é um dos principais atores das mudanças no meio físico. No presente trabalho adaptou-se a metodologia proposta por Montaño (2002) que utiliza a combinação dos mapas de solos e declividade, somando-se o mapa de uso e ocupação do solo e resultando no MSE que representa as relações erosivas do meio. Integrando-se ao mapa de distância das drenagens, obteve-se, ainda, o MRACH, o qual indica as áreas com maior fragilidade ao assoreamento.

Os materiais utilizados para a confecção dos mapas foram adquiridos por meio de plataformas gratuitas. A declividade é entendida como um dos fatores preponderantes nas questões erosivas e, devido a isso, optou-se por utilizar um modelo digital de elevação (MDE) do *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)*, em que os *rasters* possuem resolução espacial de 12,5m. A cena selecionada foi a ALPSRP272776730 adquirida no portal de dados Vertex, do órgão *Alaska Satellite Facility*, datada de 03/09/2011.



Enquanto que, para a geração dos dados de uso e ocupação do solo, foram utilizadas as bandas do vermelho, verde e azul do satélite Sentinel2, que possuem resolução espacial de 10m, obtidas por meio do site Copernicus, pertencente à Agência Espacial Europeia (ESA), imageadas em 11/04/2021. Os dados vetoriais de solos foram obtidos por meio do mapa pedológico do Brasil na escala de 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Por último, os dados vetoriais da rede de drenagem do município de Delfim Moreira foram obtidos por meio do IDE-Sisema que atua como a infraestrutura de dados espaciais de meio ambiente do estado de Minas Gerais.

Os procedimentos adotados para o processamento dos dados foram realizados na interface do Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS 3.16.

A partir do MDE foi gerado um *raster* de declividade em que seus valores passaram posteriormente por um processo de reclassificação para a padronização dos valores através das classes de declividade adotadas no padrão de classificação da Embrapa (2006), obtendo o mapa de declividade reclassificado. As bandas do satélite Sentinel2 foram combinadas, resultando no *raster* RGB321 o qual foi submetido ao processo de classificação supervisionada conhecida como máxima verossimilhança, onde foram definidas 3 classes de uso e ocupação do solo principais: classe 1 vegetação, englobando mata nativa e silvicultura; a classe 2 pastagem, englobando a vegetação rasteira e os usos agropecuários da terra; e a classe 3 solo exposto, que englobou as estradas de terra, o solo exposto e a área urbana. Em seguida, os vetores de solos e drenagens foram convertidos para o formato matricial (*raster*), permitindo sua utilização nos processamentos subsequentes.

Para a integração dos mapas foi utilizado o método analítico hierárquico (AHP), que é uma técnica eficaz para as tomadas de decisão complexas (ALMEIDA et. al, 2020). Esse processo envolve a descoberta de soluções, por meio da decomposição de um problema em vários subproblemas de resoluções mais objetivas, onde são analisados separadamente, de forma independente, sem que haja perda de foco na tomada de decisão (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). A AHP foi desenvolvida por Saaty (1980) e baseia-se na comparação de fatores e na atribuição de valores (pesos) de 1 a 9 com base na relevância existente entre os fatores, sendo mais ampla a utilização de valores ímpares.

Para a atribuição dos pesos às variáveis utilizou-se a Tabela 1, onde os valores basearam-se em referências como Valladares et al. (2012); Ribeiro et al. (2016); Meirelles, Dourado e Da Costa, (2018); Agra e Andrade (2021).

Tabela 1: Escala para a comparação de alternativas, adaptado de Saaty (1980).

OPÇÃO	VALORES NUMÉRICOS
IGUAL	1
MARGINALMENTE FORTE	3
FORTE	5
MUITO FORTE	7
EXTREMAMENTE FORTE	9
VALORES INTERMEDIÁRIOS	2, 4, 6, 8

Após a definição dos pesos de cada classe, esses valores são normalizados para que não apresentem inconsistências nos cálculos e, então, é analisada a importância de cada mapa em relação aos demais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observarmos o mapa de declividade (Figura 2), fica evidente o forte controle exercido pelo relevo sobre a cidade de Delfim Moreira, onde mais de 55% de sua área é classificada com seu relevo sendo fortemente ondulado, havendo pouquíssimas regiões com relevo plano. Com base na relevância apresentada pelo mapa de declividade, foram atribuídos pesos mais altos para as classes com maiores declividades vistos na Tabela 2, sendo definida como 35% a importância desse mapa em relação aos demais.



**Mapa de Declividade
Delfim Moreira-MG**

Legenda

- Rodovias
- Área urbana
- Limite Delfim Moreira-MG
- Classes de Declividade
- Relevo plano
- Relevo suavemente ondulado
- Relevo ondulado
- Relevo fortemente ondulado
- Relevo montanhoso
- Relevo escarpado

DESCRIÇÃO	ÁREA
Relevo plano	1.47
Relevo suavemente ondulado	10.91
Relevo ondulado	68.42
Relevo fortemente ondulado	234.07
Relevo montanhoso	88.41
Relevo escarpado	5.86

Escala 1:160.000
Datum: SIRGAS2000

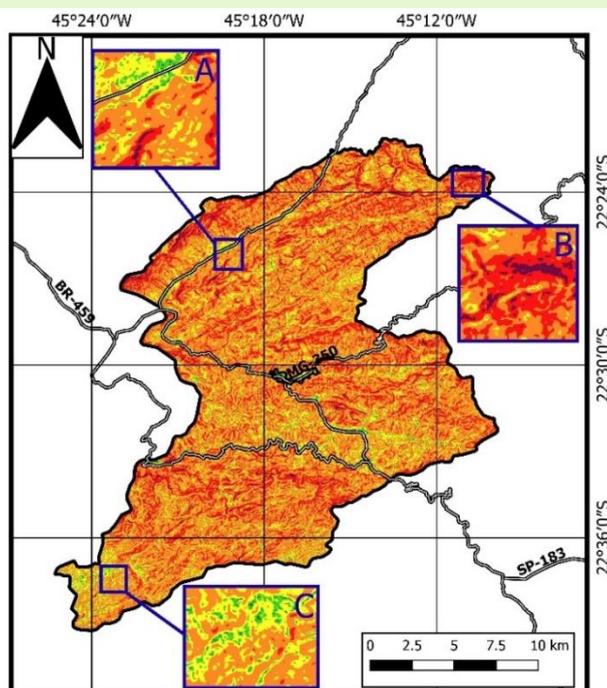


Figura 2: Mapa e respectivas classes de declividade, os quadros de detalhe A, B e C possuem escala de 1:35.000.

Tabela 1: Classes de declividade, pesos e normalização.

DECLIVIDADE (%)	PESO	NORMALIZAÇÃO
0 A 3	1	0.03
3 A 8	3	0.06
8 A 20	5	0.13
20 A 45	7	0.25
45 A 75	7	0.25
>75	9	0.28

Os dados obtidos com a classificação da imagem RGB321 (Figura 3), identificam que a classe 1 vegetação, ocupa cerca de 63.9% da área total, enquanto que a classe 2 pastagem, ocupa 33.4% da área, e a classe 3 solo exposto, ocupa 2.7%.

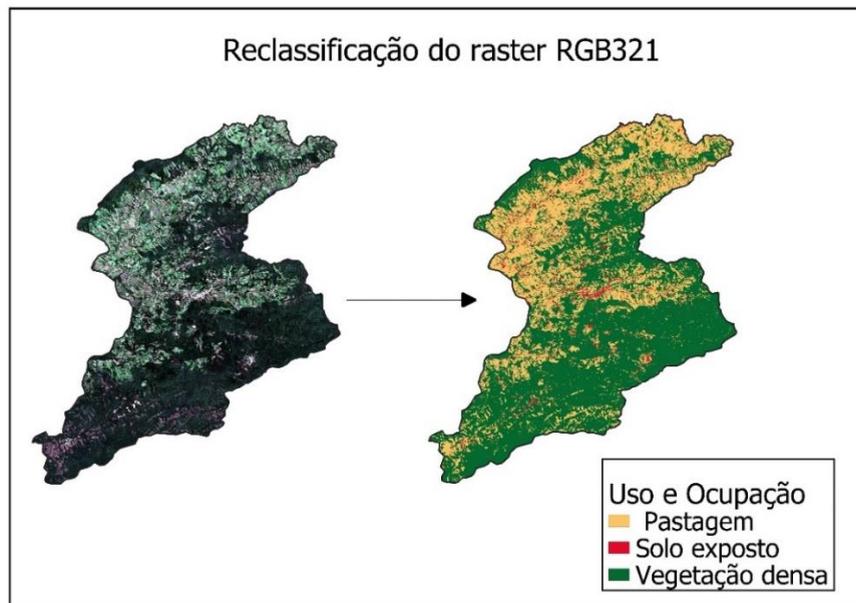


Figura 3: Reclassificação da imagem Sentinel2 para as classes de uso e ocupação.

Portanto, apesar do município apresentar declividades elevadas, essas áreas são em sua maior parte recobertas por vegetação nativa, o que diminui a força dos processos erosivos. Consequentemente, a importância do mapa de uso e ocupação do solo foi definida como 45%, pois, em relação à declividade, ele possui maior poder de controle sobre os mecanismos erosivos, com seus pesos sendo apresentados na Tabela 3.

Tabela 2: Uso e ocupação do solo, pesos e normalização.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	PESO	NORMALIZAÇÃO
PASTAGEM	7	0.31
SOLO EXPOSTO	9	0.48
VEGETAÇÃO	1	0.07

Os solos identificados em Delfim Moreira são compostos das quatro classes presentes na Tabela 4. Os pesos atribuídos aos solos foram baseados nos fatores de textura, estrutura, coesão e erodibilidade, com a importância do mapa de solo sendo de 20%.



Tabela 3: Classes de solos, pesos e normalização.

SOLO	PESO	NORMALIZAÇÃO
LATOSSOLO AMARELO	3	0.10
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	3	0.10
CAMBISSOLO	7	0.31
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	9	0.48

Com a definição da importância de cada mapa foi então gerado o MSE (Figura 4), que indica as áreas com maior suscetibilidade a processos erosivos, as quais se observam que são aquelas com a maior incidência de atividade humana, localizadas nos vales, próximos aos cursos hídricos, nas direções NE-SO, nas partes norte e central do município e em direção a SO.

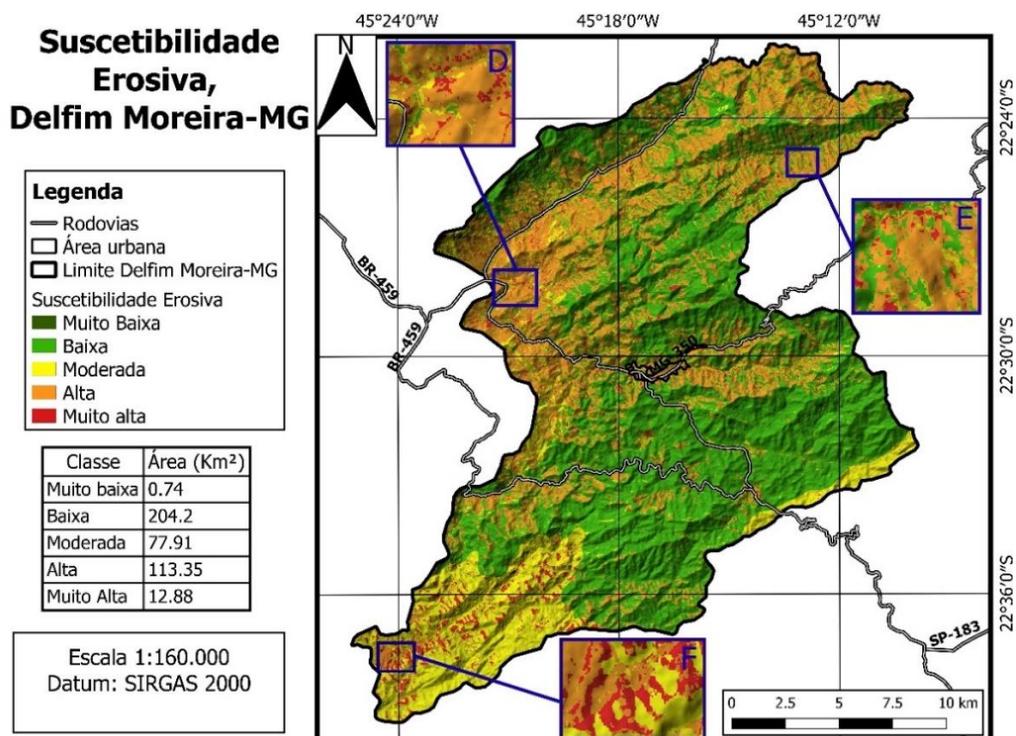


Figura 4: Mapa de suscetibilidade erosiva de Delfim Moreira (MG), os quadros de detalhe D, E e F possuem escala de 1:35.000.

Comparando-se o MSE gerado com os resultados obtidos por Silva et al. (2018) para o município, observa-se que as mesmas áreas ao sul de Delfim Moreira encontram-se com a suscetibilidade erosiva variando de média a alta, mas as porções noroeste e nordeste encontram-se com valores mais elevados de suscetibilidade erosiva e os valores de alta a muito alta correspondem a 30% da área do município. Essas taxas consideradas de média a elevada podem estar associadas às porções centrais e, mais ao norte, ao uso intensivo por atividades agrícolas que ocasionam a compactação do solo. Já no sul podem ser associadas ao aumento da atividade hoteleira/turística, devido ao recente crescimento do número de pousadas, em função de Delfim Moreira fazer divisa com a cidade de Campos do Jordão, que possui integração territorial com fluxos de deslocamentos entre as cidades do Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e sul de Minas Gerais (ABITANTE; FELIX; LIMA, 2019), e é um dos destinos turísticos mais visitados no país.

O aumento da presença da atividade antrópica, seja para os mais diversos fins como turismo e lazer, acaba provocando a redução da vegetação nativa que recobre o solo, além de causar impactos diversos à biodiversidade local, como a geração de ruído, aumento da produção de resíduos e, conseqüentemente, à perda do habitat natural de várias espécies.

Posteriormente, o MSE foi integrado ao Mapa de Distâncias das Drenagens, onde foram definidas três classes de distâncias e suas influências nos processos de assoreamento (Tabela 5). A avaliação da contribuição das distâncias de drenagem no processo erosivo deu-se de forma que, quanto mais próxima da drenagem, maior será o valor atribuído ao pixel da imagem naquele local, sendo maior a chance de os sedimentos atingirem o curso d'água.

Tabela 4: Classes de proximidade das drenagens.

DISTÂNCIA DAS DRENAGENS (M)	PESO	NORMALIZAÇÃO
0 A 15M	9	0.48
15 A 30M	5	0.20
>30M	1	0.07



Para o Mapa de Distâncias das Drenagens foi atribuída a importância de 40%, e 60% para o MSE, devido ao fato de que os processos erosivos apresentam grande relevância para que os sedimentos atinjam as drenagens resultando no MRACH (Figura 5).

Risco de Assoreamento dos Corpos Hídricos, Delfim Moreira-MG

Legenda

- Rodovias
- Área Urbana
- Limite Delfim Moreira-MG
- Classes
- Muito baixo
- Baixo
- Moderado
- Alto
- Muito Alto

Classe	Área(Km ²)
Muito Baixa	181.33
Baixa	185.51
Moderada	28.63
Alta	7.05
Muito Alta	6.5

Escala 1:160.000
Datum: SIRGAS 2000

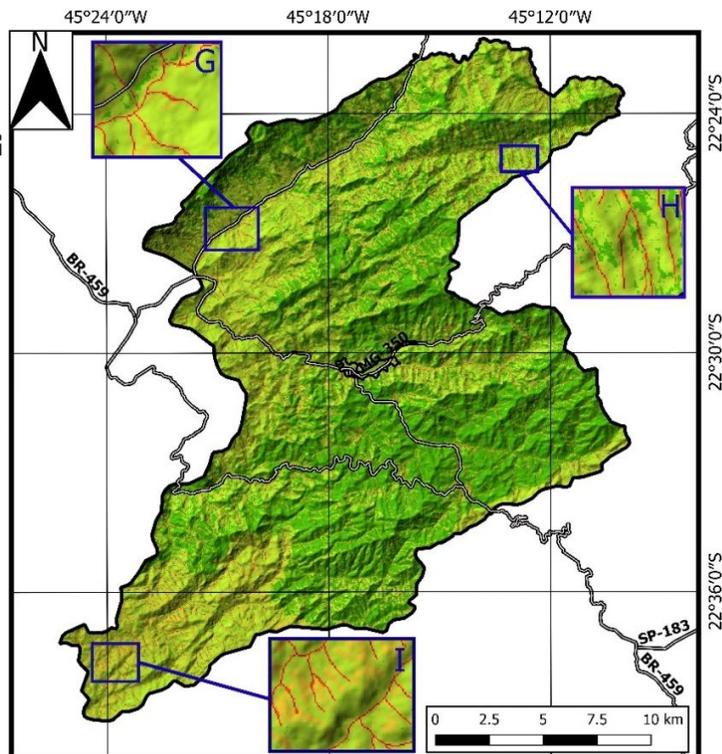


Figura 5: Mapa de risco de assoreamento dos corpos hídricos de Delfim Moreira (MG), os quadros de detalhe G, H e I possuem escala 1:35.000.

O MRACH, assim como o MSE, demonstra que as regiões mais ao norte do município, no interior dos vales, assim como sua porção no extremo sul são os locais em que há a maior concentração das classes moderada a muito alta, com tendência ao assoreamento dos canais hídricos. Essas áreas possuem apenas 3,3% da área total, mas estão presentes em praticamente todos os cursos d'água.

Uma alternativa para a diminuição dos impactos tanto dos processos de erosão do solo, quanto de assoreamento dos corpos hídricos seria a implantação de práticas de manejo do solo conservacionistas, pois auxiliam na redução dos processos de degradação dos solos e seus efeitos sobre os recursos hídricos (MENEZES et al., 2018). Outra alternativa para

reduzir os processos de compactação do solo e, conseqüentemente, os processos erosivos, seria o reflorestamento das matas ciliares, que atuam na retenção de sedimentos e também de poluentes, aumentando a proteção dos cursos d'água.

CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a cidade de Delfim Moreira (MG) tem predominância de declividade elevada, porém a maior parte ainda permanece com cobertura de vegetação nativa, o que diminui os riscos de erosão. Contudo, as áreas próximas aos corpos hídricos, com ocupação humana possuem grande suscetibilidade à erosão. Assim, os corpos hídricos sofrem maior suscetibilidade de assoreamento, o que causa a inutilização do curso d'água para uma possível captação. Com a relevância trazida pelo estudo, recomenda-se a elaboração de planos de ocupação e uso do solo para o município, com intuito de diminuir os impactos causados pelas erosões e, conseqüentemente, o assoreamento dos rios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo suporte para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABITANTE, J. C.; FELIX, R. R. O. M.; LIMA, J. P. Acessibilidade e desenvolvimento urbano: o caso de Campos do Jordão. **Colóquio**, v. 16, n. 3, p. 81-100, 30 jun. 2019.

AGRA, R. M. R. T.; ANDRADE, C. D. Análise multicritério da suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio da Batateira, CE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 119-133, 19 fev. 2021.

ALMEIDA, F. C.; SILVEIRA, E. M. O.; ACERBÍ JUNIOR, F. W.; FRANÇA, L. C. J.; BUENO, I. T.; TERRA, B. J. O. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 81, 5 fev. 2020.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. Interciência, Rio de Janeiro, p. 559, 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **EMBRAPA 2006**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 1 ed. CNPS – Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Rio de Janeiro.



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE**. Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/delfim-moreira.html>. Acesso em 09 de julho de 2021.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **ICMBio 2018**. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira. Volume único. 2018. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano_de_manejo_serra_da_mantiqueira_2018.pdf. Acesso em 09 de junho de 2021.

JUNIOR, P. F. J.; RODRIGUES, C. S. O Método de Análise Hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

MEIRELLES, E.O.; DOURADO, F.; DA COSTA, V. C. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do Rio Paquequer-RJ. **Geo Uerj**, n. 33, p. 26037, 31 dez. 2018.

MENEZES, D.; MINELLA, J. P. G.; LONDERO, A. L.; BERNARDI, F. Monitoramento hidrossedimentológico de pequenas bacias rurais no planejamento conservacionista de solo e água. **Anais... XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, I Partículas das Américas**. Vitória, ES. 2018, pp.1-8.

MONTANÕ, M. **Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental**: O caso do município de São Carlos-SP. 2002. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

NETO, J. A. B.; NASCIMENTO, P. S. R. Espacialização da susceptibilidade à erosão e ao assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe (SE). **Anais... XII Encontro de Recursos Hídricos em Aracaju, Aracaju, SE**. 2019.

RIBEIRO A. D. S. MINCATO R. L.; CURI, N.; KAWAKUBO F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 016, 26 jan, 2016.

SAATY, T.L. The analytic hierarchy process. **McGraw-Hill**, New York, 1980.

SILVA, A. T. Y. L.; GONÇALVES, T. G.; SALOMÃO, F. R.; PONS, N. A. D. Utilização do geoprocessamento para o zoneamento ambiental em Delfim Moreira – MG. **Anais... XV Congresso Nacional do Meio Ambiente, Poços de Caldas, MG**. 2018.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. H.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p.1376-1383, 2012.

VIEIRA, Y. S. S.; STANTON, N. S. G; VILLENA, H.H.; REBOUÇAS, R. C. Impacto antrópico no processo de assoreamento da Enseada da Japuíba, Angra dos Reis (RJ). **Geociências**, v. 39, n. 2, p. 481--91, 17 jul. 2020.