

Áreas de risco de erosões do tipo movimento de massa do solo em Lagoa Dourada, Minas Gerais – Brasil

Erosion risk and soil mass movement areas in Lagoa Dourada, Minas Gerais – Brazil

DOI:10.34117/bjdv7n1-244

Recebimento dos originais: 11/12/2020

Aceitação para publicação: 11/01/2021

Victor Henrique Resende Lima

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037 – 37200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: victor.lima@estudante.ufla.br

Junior Cesar Avanzi

Doutor em Ciência do Solo e Professor Adjunto no Departamento de Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Caixa Postal 3037 – 37.200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: junior.avanzi@ufla.br

Marx Leandro Naves Silva

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas e Professor Titular no Departamento de Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Caixa Postal 3037 – 37.200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: marx@ufla.br

RESUMO

A identificação de áreas de risco de erosão do tipo movimentos de massa de solo em centros urbanos é de suma importância para a prevenção de desastres socioambientais. Neste estudo foram utilizados dados de declividade estruturados em quadrículas no formato GeoTiff do portal TOPODATA, visando a identificação das áreas de risco localizadas no perímetro urbano do município Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil. Para realizar o processamento das imagens, conversão para arquivos vetoriais e geração de mapas utilizou-se o software QGIS, SIG de código aberto. Os locais com declividades entre 20 e 30% e aqueles acima de 30% foram consideradas, respectivamente, como de risco “Forte” e “Muito Forte” de erosão do tipo movimento de massa de solo. Observou-se que a maioria das áreas de riscos estão localizadas nos arredores do perímetro urbano do município, ocorrendo em quantidades expressivas em Cambissolos, mesmo este apresentando menor abrangência em área quando comparado aos Latossolos. O alto índice pluviométrico no início de 2020, provocaram movimentos de massa de solo expressivos no município, sendo que a maioria destes deslocamentos estiveram nas áreas classificadas como sendo de risco, o que demonstrou que os intervalos de declividade

utilizados foram adequados e podem auxiliar na prevenção de desastres socioambientais e no planejamento urbano.

Palavras-chave: SRTM, Declividade, Desastres Socioambientais, TOPODATA.

ABSTRACT

Identification of erosion risk and soil mass movements areas in urban centers is of paramount importance for the prevention of socio-environmental disasters. In this study, slope data structured in squares in the GeoTiff format of the TOPODATA portal were used, aiming at the identification of risk areas located in the urban perimeter of the municipality Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brazil. To perform image processing, conversion to vector files and mapping, QGIS –open source GIS– was used. Location with slopes between 20 and 30% and above 30% were considered, respectively, as “Strong” and “Very Strong” risk of erosion and soil mass movements. It was observed that most of the risk areas are located in the vicinity of the urban perimeter of the municipality, occurring in a significant amount in Cambisol (Inceptisol), even though they present less coverage in area when compared to the Latosol (Oxisol). The high rainfall in early 2020, caused soil mass movements in the municipality, and most of these displacements were in the areas classified as being at risk, which demonstrated that the slope intervals used were adequate and can help in prevent socio-environmental disasters and urban planning.

Keywords: SRTM, Slope, Socio-Environmental Disasters, TOPODATA.

1 INTRODUÇÃO

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2020) define o movimento de massa de solo como os movimentos de decida de solos e rochas influenciados pela gravidade e intensificados pela ação da água, popularmente conhecidos como deslizamentos, escorregamentos, ruptura de talude e queda de barreiras. A ocorrência desses fenômenos está relacionada aos riscos naturais, que representam a probabilidade de ocorrer perdas de vidas ou ferimentos provocados por um desastre em um determinado local ou região, ocasionadas pelas ações de um fenômeno natural ou pela interferência do homem (FREIRE; LIMA; SILVA, 2018).

De acordo com as informações do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED, 2013) compilados de Brasil (2013), entre as décadas de 1990 e 2000 o desastre que mais teve variação foi o movimento de massa, com aumento de 21,7 vezes, gerando 15,6% das mortes, ficando atrás somente de enchente, que gerou 58,15% das mortes. No período de 1991 a 2012 foram registrados 699 eventos de movimento de massa em território brasileiro, 79,8% deles localizados na região sudeste do país, afetando

em torno de cinco milhões e meio de pessoas, com um total de 535 mortes, a maioria na região sudeste (3.980.016 de afetados e 525 mortos –98% do total de mortes–).

Estudos conduzidos por Braz e Gaspar Junior (2017) relatam que a topografia do terreno pode desencadear modificações nas condições naturais da erodibilidade do solo –facilidade do solo em sofrer erosão–, podendo ser agravada pelas atividades antrópicas. Carvalhais et al. (2019) destacaram que a remoção da vegetação, os cortes verticalizados no talude, despejo do material sem a devida compactação, a construção de moradias em locais irregulares, a precipitação intensa aliados à baixa capacidade de infiltração, armazenamento e escoamento superficial de água no solo são os principais fatores que influenciam na instabilidade de taludes e encostas, favorecendo o processo de ruptura e movimento de massa, que pode ser hidráulico ou por pressão.

Para avaliar áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a erosão por deslocamento de massa do solo, Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) utilizaram pesos de 25% para declividade e 20% para o tipo de solo como variáveis para obtenção do mapa das áreas com potencial risco de deslizamento de solo. Ferrão et al. (2016) utilizaram a declividade como indicador de risco e o peso de 23,53% no que tange à estabilidade dos taludes de corte.

Machado e Zacarias (2016) citam que a gestão de risco e desastres representa uma maneira de reduzir os efeitos de enchentes, desabamentos e deslizamentos de solo à sociedade, sendo necessário o uso de ferramentas adequadas para avaliação e previsão de desastres socioambientais por parte do órgão públicos.

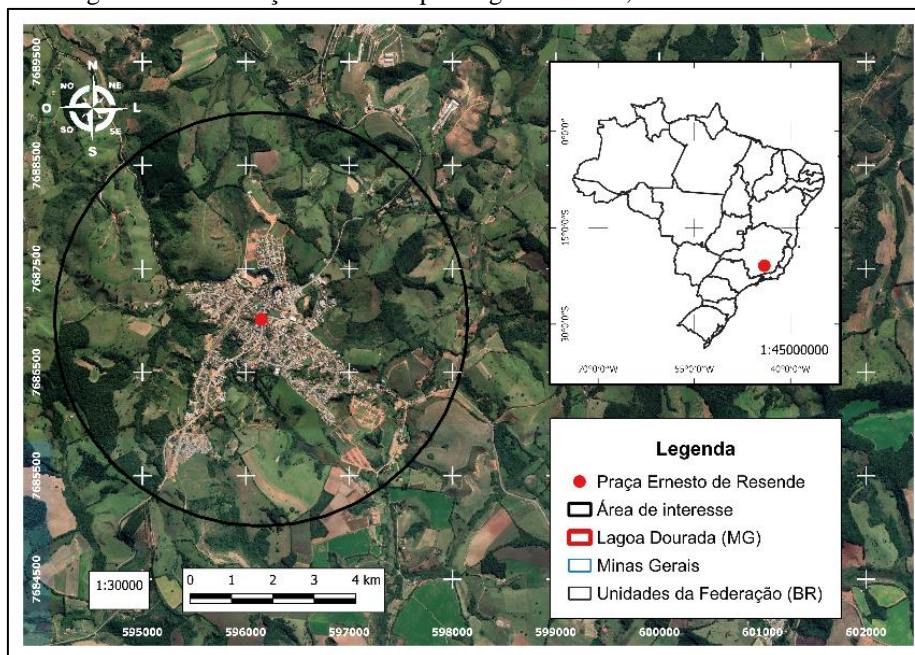
A partir de então, uma ferramenta de grande aplicabilidade na gestão de riscos e desastres consiste no emprego do Sistema de Informações Geográficas (SIG), gerando informações e dados para a identificação de áreas com potencial de movimento de massa de solo, acompanhar o uso e ocupação do solo, a influência do relevo e da declividade para a adoção de medidas de prevenção (MEIRELLES; CAMARA; ALMEIDA, 2007; SBROGLIA et al., 2016).

Deste modo, o objetivo desse trabalho consistiu em identificar áreas com potenciais riscos de erosão e movimento de massa de solo no perímetro urbano de Lagoa Dourada - Minas Gerais, Brasil, utilizando de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica. A escolha por esse município foi influenciada pela ocorrência de precipitação intensa na região no início do ano de 2020, que acarretou severos problemas de enchentes e movimento de massa de solo no município.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo consistiu no perímetro urbano do município de Lagoa Dourada, Minas Gerais, Brasil, que está localizado na região Campos das Vertentes e no bioma da Mata Atlântica. Possui uma população estimada de 13.063 habitantes e uma área de 476.693 km² (IBGE, 2020). A Figura 1 demonstra a localização do município e a praça central como referência.

Figura 1 - Localização do município Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil.

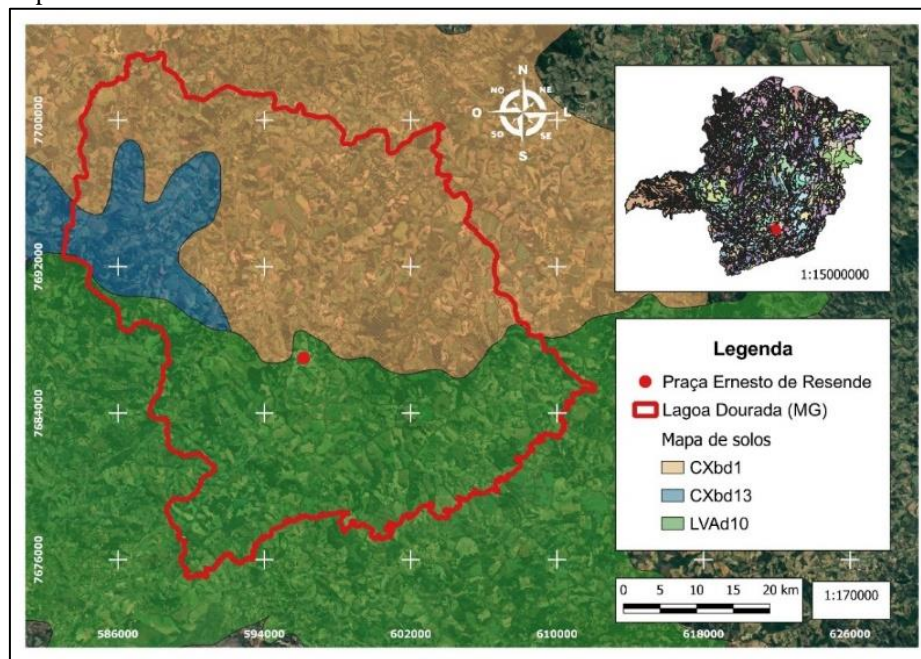


Fonte: SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

Segundo informações da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2020), o município está inserido nas UPGRH GD 2 - CBH Vertentes do Rio Grande e SF 3 - CBH do Rio Paraopeba. O solo do município corresponde às classes do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd 10) e Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd 1 e CXbd 13) (EMBRAPA, 2018), e como compartimentos de relevo o Planalto Centro-Sul Mineiro e Planalto dos Campos das Vertentes (SISEMA, 2020). Em razão da escala de mapeamento, os solos citados acima ocorrem associados à outras classes de solo. O CXbd1 (Cambissolo Háplico distrófico típico) encontra-se em associação com o Neossolo Litólico Distrófico típico; o CXbd13 (Cambissolo Háplico distrófico típico) ocorre em associação com o Neossolo Litólico Eutrófico típico e o Argissolo Acinzentado Distrófico típico; já o LVAd10 (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico) está em associação com o Cambissolo Háplico

Tb Distrófico típico (Figura 2). Estas associações de solo, no caso deste estudo, podem apontar a classe predominante como de maior vulnerabilidade à ocorrência de erosão.

Figura 2 – Mapa de solo no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil. CXbd1 - Cambissolo Háplico distrófico típico em associação com Neossolo Litólico Distrófico típico; CXbd13 - Cambissolo Háplico distrófico típico em associação com Neossolo Litólico Eutrófico típico e Argissolo Acinzentado Distrófico típico; LVAd10 - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em associação com Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.



Fonte: SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

No que se refere à zona climática, o município está localizado em uma Zona Tropical Brasil Central, mesotérmico brando, média entre 10 e 15°C, semi-úmido de 4 a 5 meses e índice de umidade de Thornthwaite Úmido B2 ($40 \leq Iu < 60$) (SISEMA, 2020). A Classificação climática de Köppen para a região é Cwa, clima temperado húmido com inverno seco e verão quente (MARTINS et al., 2018) e precipitação normalmente varia entre 1400 e 1500 mm por ano (ANA, 2020).

Para avaliar as áreas de risco de erosão do tipo movimento de massa de solo foi utilizado os dados do projeto TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta informação de declividade encontra-se estruturada em quadrículas no formato GeoTiff (raster), com pixel de resolução de 30 por 30 m e expressos em porcentagem (%). Os dados foram gerados a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (INPE, 2020).

Para realizar o processamento das imagens, conversão para arquivos vetoriais e geração de mapas foi utilizado o software QGIS 3.10.5, um Sistema de Informação

Geográfica (SIG) de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU (QGIS, 2020).

As imagens de declividade obtidas pelo portal TOPODATA foram reprojctadas no QGIS para o DATUM SIRGAS 2000 Fuso 23 Sul, código 31.983 definido pela European Petroleum Survey Group (EPSG). Desse modo, a simbologia contendo essa camada foi alterada para banda simples falsa-cor, com gradiente de cor espectral, adotando os intervalos de declividade em função dos riscos de processos erosivos e escorregamentos de solo, expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de declividade em função dos riscos de erosão e escorregamentos de solo.

Declividade (%)	Categorias Hierárquicas
0 - 6	Muito Fraca
6 - 12	Fraca
12 - 20	Média
20 - 30	Forte
> 30	Muito Forte

Fonte: Ross (1994).

Estudos conduzidos por Costa Júnior e Cabral (2019) e Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) utilizam valores próximos de 30° (graus) de declividade –*i.e.* 58%– como parâmetro para caracterizar as principais áreas de risco de erosão e movimentos de massa. Entretanto, no presente estudo optou-se por utilizar a metodologia e categorização proposta por Ross (1994) por se tratar de intervalos de classe mais preservacionista e que propõem o uso mais restrito do solo. Juntamente com esse argumento, as categorias hierárquicas “Forte” e “Muito Forte” englobam os três tipos de relevos mais declivosos, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de relevo em função da declividade.

Declividade (%)	Relevo
0 - 2	Plano
2 - 5	Suave Ondulado
5 - 10	Moderadamente Ondulado
10 - 15	Ondulado
15 - 45	Forte Ondulado
45 - 70	Montanhoso
>70	Escarpado

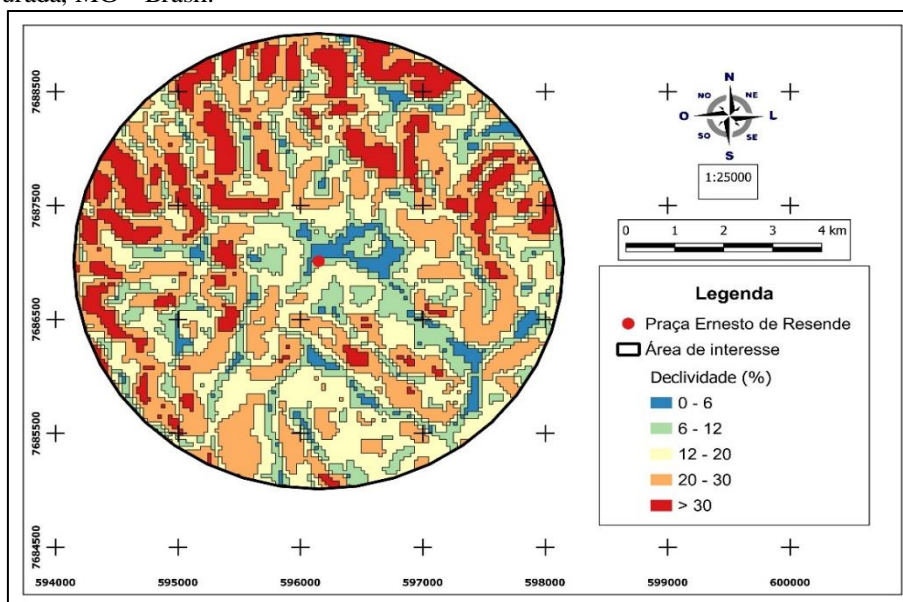
Fonte: INCRA (2007).

Uma vez que o objeto de estudo foi o perímetro urbano do município de Lagoa Dourada (MG), para delimitar a área de interesse foi criado um arquivo vetorial no

formato Shapefile (SHP) do tipo ponto para localizar a Praça Ernesto de Resende, principal ponto de referência no centro da cidade, situada nas coordenadas 20° 54' 53,07" Sul de latitude e 44° 4' 31,51" Oeste de longitude. A partir dessa camada, utilizou-se a ferramenta Buffer para criar um círculo com raio de 2 km, adotando a referida praça como centro e possuindo área de 1252,191 ha. A distância do raio adotada englobou o perímetro urbanizado, loteamentos em construção, áreas de expansão urbana e alguns imóveis rurais.

Após a reprojeção, alteração da simbologia da camada raster e criação do arquivo vetorial da área de interesse, foi realizada a poligonização da camada raster contendo a declividade, transformando para um arquivo vetorial tipo Shapefile, permitindo o cálculo de áreas com os intervalos de declividades predefinidas. No processo de transformação de raster para vetor, os valores de declividades expressos em casa decimais acima de 0,5 foram arredondados para o valor inteiro acima (exemplo: 24,55% foi considerado como 25%). Deste modo, trabalhou-se com números inteiros de declividade e com uma condição mais restrita de uso e ocupação do solo. Em seguida, utilizou-se todos os polígonos contendo a declividade que estavam dentro da camada máscara da área de interesse, o círculo com raio de 2 km, usando a ferramenta Recorte, conforme Figura 3.

Figura 3 - Poligonização do raster e interseção na camada máscara, na área de interesse no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado de SISEMA (2020).

Por fim, as áreas de riscos de erosão do tipo movimento de massa de solo foram classificadas como os locais que possuem declividade superior a 20% de inclinação,

conforme proposto por Ross (1994). Deste modo, nessas áreas manteve-se a simbologia de cores, enquanto nas demais –declividades inferiores a 20%–, foram desabilitadas, para facilitar a identificação e mensuração na área de interesse.

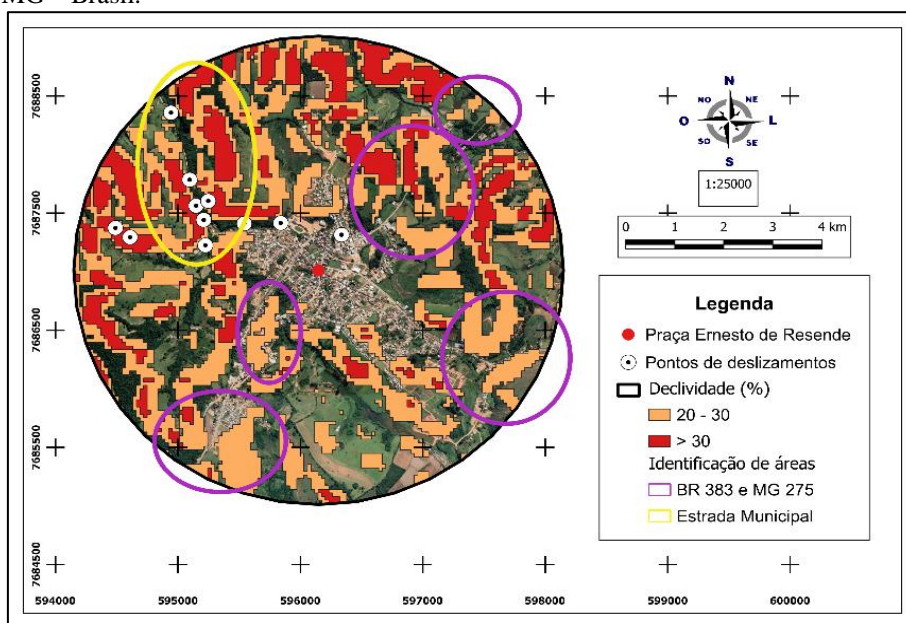
Para validação da metodologia aplicada, foram selecionadas áreas aleatoriamente na região em que poderia gerar maior ocorrência de vítimas fatais, em razão do risco de deslocamento de massa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM RISCO DE MOVIMENTO DE MASSA DE SOLO

Dentro da área de interesse foram identificados 407,514 ha com declividade de 20 a 30% e 169,871 ha para declividade superior a 30%, o somatório dessas áreas representam 46,11% da área de estudo, conforme pode ser visualizado na Figura 4. Deste modo, pode-se inferir que o município de Lagoa Dourada (MG) apresentou elevado risco de movimento de massa, uma vez que uma porcentagem significativa da área possui declividade superior a 30%. Ressalta-se ainda que declividades mais acentuadas possui maior probabilidade de ocorrência de solos mais rasos, os quais são naturalmente mais vulneráveis ao movimento de massa de solo.

Figura 4 - Identificação das áreas de risco de movimentos de massas no perímetro urbano de Lagoa Dourada, MG – Brasil.

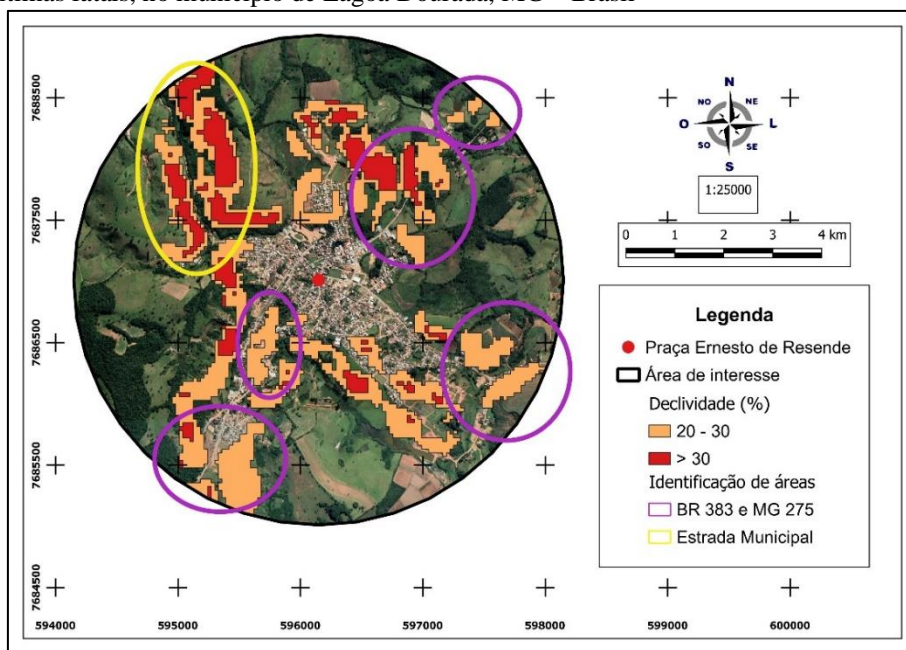


Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Em estudo sobre áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió (AL), Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) observaram que 77% da região estudada possui áreas críticas a algum grau de risco de deslizamento, levando em conta a declividade, tipo de solo, geomorfologia, pluviometria e litologia.

No presente estudo, verificou-se que grande parte das áreas com elevado risco de movimento de massa de solo localiza-se em imóveis rurais. Entretanto, para validação e verificação dos resultados gerados, optou-se pelos locais mais próximos das áreas residenciais, loteamentos em construção, estradas municipais e rodovias (Figura 5), uma vez que nestas condições, um desastre pode acarretar em vítimas fatais. Após este procedimento, as áreas com declividade de 20 a 30% reduziram para 209,863 ha e aquelas com declividade superior a 30% reduziu-se para 63,126 ha.

Figura 5 - Identificação das áreas de risco ao deslocamento de massas, considerando as regiões com maior risco de vítimas fatais, no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil



Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Observou-se que as áreas classificadas como risco de movimento de massa de solo e erosão foram observadas predominantemente no entorno dos bairros residenciais. A Figura 5 demonstra as principais áreas de risco que foram próximas às rodovias BR 383 e MG 275, sendo destacadas na cor roxo, enquanto as áreas próximas a estrada municipal que liga aos povoados do Matatu, Canjica, Ressaca, Mutuca, Ressaca e Cachoeira dos Forros, foram destacadas na cor amarelo.

3.2 MOVIMENTOS DE MASSA DE SOLO OCORRIDOS EM 2020

Diante das intensas precipitações ocorridas nos meses de janeiro e fevereiro de 2020, a população vivenciou situações de deslizamento de solo proporcionados pelas chuvas em excesso. Conforme informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), o Índice de Precipitação Padronizado (Standard Precipitation Index – SPI) correspondente à precipitação mensal em fevereiro de 2020 foi de umidade severa e extrema para a região. De acordo com a Figura 6, é possível observar o pior cenário que foi registrado no perímetro urbano do município.

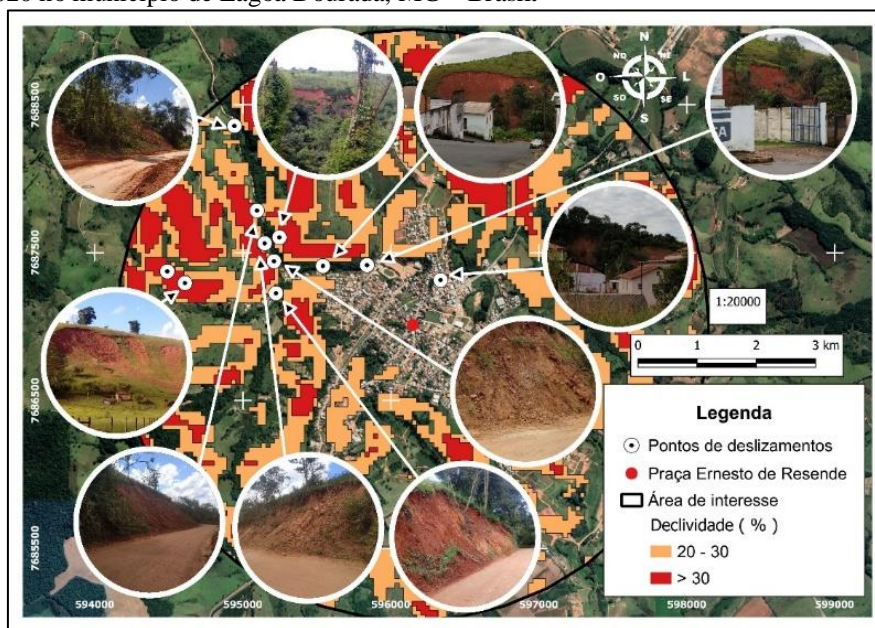
Figura 6 - Movimento de massa de solo ocorrido no início de 2020 em área urbana da cidade de Lagoa Dourada, MG - Brasil.



Fonte: Os autores (2020).

A maioria dos cenários de movimento de massa de solo ocorreram próximos ou nos locais identificados nesse trabalho como sendo as áreas de risco, o que demonstra que os intervalos de declividades utilizados foram adequados para identificação dessas áreas. A Figura 7 identifica espacialmente na área de estudo, algumas situações observadas no município.

Figura 7 - Localização de pontos de movimento de massa de solo, com registro fotográfico, ocorridos no início de 2020 no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Castrignano, Casalvara e Oliveira (2017) observaram que em áreas de relevo forte ondulado, juntamente com precipitação de 125,9 mm (valor acumulado de 5 dias), foram as principais causas ocorrência de deslizamento de solo em uma vertente em Iretama (PR), sendo que a presença da vegetação de grande porte intensificou este processo. Neste sentido, o presente estudo corroborou com os resultados de Castrignano, Casalvara e Oliveira (2017). Provavelmente, o maior peso da vegetação mais exuberante favoreceu a quebra do equilíbrio ocasionando um cisalhamento do solo.

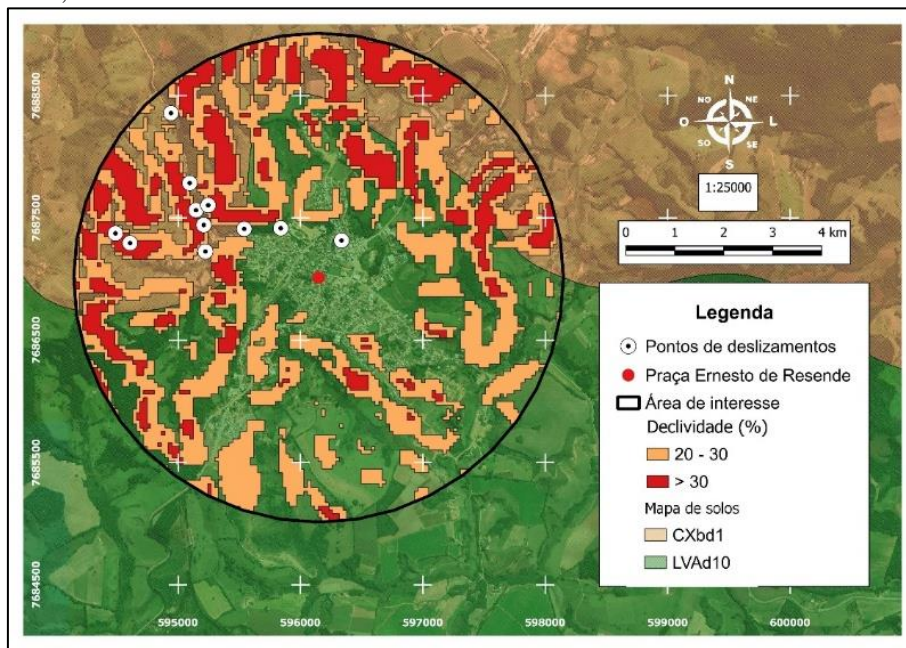
Costa Júnior e Cabral (2019) afirmam que a aplicação do SIG é uma ferramenta robusta para determinar áreas de restrição de ocupação do solo. A manipulação de dados traz grandes benefícios para aperfeiçoar o levantamento em campo e na representação dos resultados com mapas, imagens de satélites e fotos aéreas. Desse modo, o conhecimento em detalhes do local de estudo e os eventos ocorridos no município foram cruciais para aprimorar e validar os resultados obtidos no presente trabalho.

3.3 TIPO DE SOLO E MOVIMENTOS DE MASSA OBSERVADAS

Conforme demonstrado pela Figura 8, observa-se as áreas de risco de erosão e movimento de massa de solo em função de sua tipologia. Nos locais de ocorrência de Cambissolos, foram observados 141,069 ha (34,62%) com declividade de 20 a 30% e 115,170 ha (67,80%) para declividade superior a 30%, totalizando 256,239 ha de áreas de risco na área de interesse (44,39%). Outro fato observado, a maioria dos cenários de

movimento de massa ocorridos no município no início de 2020 ocorreram nas áreas classificadas como Cambissolo - CXbd 1 (ou próximos da faixa de transição com Latossolo Vermelho-Amarelos Distróficos - LVAd 10, mesmo o primeiro possuindo menor representatividade dentro da área de interesse que o segundo, 408,605 ha versus 843,586 ha.

Figura 8 - Mapa de solos com as áreas de risco elevado para o deslocamento de massa no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado de SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

Sabe-se que em razão da escala do mapeamento, as classes de solo apresentadas na Figura 8 estão em associação com outras classes de solo. Normalmente, os Latossolos estão localizados em regiões de baixa declividade, e, portanto, menor risco à erosão.

No Latossolo - LVAd 10, foram observados 266,437 ha (65,38%) com declividade de 20 a 30% e 54,693 ha (32,20%) para declividade superior a 30%, totalizando 321,130 ha de áreas de risco na área de interesse (55,61%). Desse modo, conclui-se que os Cambissolos, mesmo possuindo área duas vezes menor que os Latossolos, possuem quase metade das áreas de risco observadas no presente estudo.

As áreas mais críticas para erosão e movimento de massa de solo (maior que 30% de declividade) estão em maior representatividade no Cambissolo – CXbd 1 (67,80%). Assim, quando expansão urbana não considera um planejamento de ocupação, áreas podem, estas podem sofrer impactos ambientais, como o processo de erosão e movimento de massa de solo (Figura 4), mesmo em solos altamente resistente a esse processo, como

é o caso dos Latossolos (Figura 8 e Tabela 3). A Tabela 3 permite analisar e comparar criticamente os dados informados acima.

Tabela 3. Comparação das áreas de risco em função do tipo de solo.

Declividade (%)	Área de interesse (ha)	CXbd 1 (ha)	Percentual (%)	LVA _d 10 (ha)	Percentual (%)
20 - 30	407,514	141,069	34,62	266,437	65,38
> 30	169,871	115,170	67,80	54,693	32,20
Total	577,385	256,239	44,39	321,130	55,61

Fonte: Os autores (2020).

A ocorrência de Cambissolos é frequentemente observada em locais de relevo íngremes. Esta classe de solo apresenta pouca profundidade dos horizontes A e B incipiente –horizonte C mais próximo a superfície–, e maior presença do silte, com ausência de estrutura e o domínio de pseudomorfos de caulinitas, propicia uma baixa capacidade de retenção e infiltração de água possibilitando o aumento do escoamento de água superficial, condições estas que favorecem a ocorrência de erosão por deslocamento de massa (EMBRAPA, 2002; OLIVEIRA et al 2010). Rocha (2003) verificou em taludes de voçorocas que o horizonte C apresenta menor resistência ao cisalhamento quando comparado aos horizontes sobrejacentes.

Oliveira et al (2010) reportaram que o avanço do processo de desabamento de encosta progride muito mais rápido quando os sulcos atingem o horizonte C. Estudos de Silva et al. (2005) demonstraram que sob chuva natural os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos (CXbd) possuem maiores valores anuais de perda de solo, potencial de arraste de sedimentos (PAS) e perda de água quando comparados ao Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf), o que demonstra uma maior susceptibilidade dos Cambissolos aos processos erosivos, conforme observado no presente trabalho.

Estudos de Ferreira et al. (2011) em Nazareno (MG) avaliando a vulnerabilidade de solos à ocorrência de voçorocas, observaram que o Cambissolo apresentou maiores teores de silte + areia fina do que os Latossolos, tornando-os mais propensos ao processo de erosão. Oliveira et al. (2010), avaliando a erosão em estradas, identificaram Cambissolo com teores elevados de silte em relação à argila e baixas quantidade de matéria orgânica. Tais condições influenciam significativamente nos aspectos físicos do solo para infiltração e retenção de água, resistência a impactos de chuva e carregamento de partículas, acarretando em maior risco a erosão dessa classe de solo em comparação aos Latossolos, conforme também observado no presente estudo.

3.4 ÁREAS DE ELEVADA DECLIVIDADE NÃO CLASSIFICADAS

Alguns locais situados dentro do perímetro urbano do município não foram classificados como área de risco de movimento de massa de solo mesmo estando em relevo muito íngreme e tendo ocorridos desastres em 2020. Tal fato se deve a resolução das imagens SRTM, a partir das quais geraram os dados de declividade com pixel de 30 por 30 m, o que pode superestimar as áreas de riscos (aspecto positivo e de cunho preservacionista) ou subestima-las (ponto negativo para prevenção de desastres). Na Figura 9 observamos o exemplo de uma área cuja observação in situ demonstra a ocorrência de declividade superior a 30%, condição considerada como de risco, e que não foram computadas com o uso das imagens de declividade do TOPODATA.

Figura 9 - Área de elevada declividade, contudo não classificadas como de risco.



Fonte: Os autores (2020).

Em estudo utilizando imagens SRTM, Catalani et al. (2018) observaram como inconveniente a percepção da superfície do terreno, principalmente em áreas planas, em função da sensibilidade a objetos na superfície do mesmo, tais como antenas, edificações e mesmo variações da cobertura vegetal. Fatores esses, aliados a resolução das imagens SRTM, podem ter influenciados na não compatibilização de áreas íngremes observadas em campo dentro do período urbano do município.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do QGIS para processar os dados de declividade estruturados em quadrículas no formato GeoTiff do portal TOPODATA do INPE demonstraram ser uma técnica de fácil aplicação e de grandes benefícios para a identificação de áreas com risco de erosão do tipo movimento de massa no solo.

A utilização de dados do portal TOPODATA e do software QGIS se constitui uma combinação vantajosa por não necessitar de investimentos financeiros. O uso de pixel com resolução espacial de 30 m apresentou subestimativas dos locais de risco à erosão do tipo deslocamento de massas, como observado *in situ*.

As áreas identificadas como de risco indicam locais em que a declividade apresentou maior susceptibilidade aos processos erosivos do solo, o que não determina que nesses locais ocorrerão desastres. Da mesma forma, os locais que não foram considerados como de risco não estão isentos de sofrerem com processos erosivos. Desse modo, é crucial o processo de investigação em campo para aferir sobre o uso do solo, tipo de solo, grau de urbanização, estruturas de drenagem de água pluvial e de controle de erosão são utilizados.

Trabalhos envolvendo áreas de riscos de erosão e movimento de solo, recomenda-se que façam o uso de imagens de satélite com melhor resolução espacial a fim de aumentar a precisão e confiabilidade das informações acerca do fenômeno estudado.

O mapeamento mais detalhado de solo poderá obter resultados mais precisos sobre a ocorrência dos processos de deslocamento de massa em função da tipologia do solo.

O presente trabalho revela uma ferramenta para auxiliar os profissionais e órgãos públicos que atuam na identificação de áreas de risco de erosão e movimentos de massa de solo a realizarem ações de planejamento, prevenção de desastres socioambientais e elaboração de medidas que promovam segurança e bem-estar à população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Mapa interativo da precipitação média anual e tempo de retorno. 2020. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=da8c9edf91804682b269e9d631117619>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

ANDRADE, E. de L.; CALHEIROS, S. Q. C.; CONCEIÇÃO, D. N. Áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, Maceió - AL. Revista Contexto Geográfico, Maceió, v. 3, n. 5, jul. 2018, p. 1-11. Disponível em: <<http://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/6742/4820>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

BRAZ, J. S.; GASPAR JUNIOR, L. A. Identificação da susceptibilidade aos processos erosivos por meio da análise geotécnica em um talude artificial de corte no bairro do Rosário, Areado-MG. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1. p. 4605-4617. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2593>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

CARVALHAIS, R. M. et al. Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, jul. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-150>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CASTRIGNANO, B. M.; CASALVARA, H. F. A.; OLIVEIRA, D. Estudo preliminar sobre deslizamento de terra em Iretama - PR. Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino. Campo Mourão, v. 8, n. 3, p. 69 - 77, 2017. Disponível em: <<http://www.fecilcam.br/revista/index.php/geomae/article/view/1739>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CATALANI, T. G. T. et al. Aplicação de Geotecnologias na Geração do Divisor de Bacias Hidrográficas: Uma Ferramenta para a Política de Recursos Hídricos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p. 153-166, 2018. Disponível em: <<http://www.ppgeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13044/12638>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Ameaças Naturais: Movimento de Massa. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2ª ed. Florianópolis. SC. 2013. p. 126. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

COSTA JÚNIOR, H.; CABRAL, S. C. Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. Research, Society and Development. v. 8, n. 12, p. 1-31, 2019. Disponível em: <<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/1353/1182>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília. DF. 2018. p. 356. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Solos e aptidão agrícola das terras da área de proteção ambiental de Cafuringa, Distrito Federal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 45. 1ª ed. Palatina. DF. 2002. p. 54. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/568939/solos-e-aptidao-agricola-das-terras-da-area-de-protecao-ambiental-de-cafuringa-distrito-federal>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

FERRÃO, G. V. et al. Aplicação de métodos quantitativos de mapeamento de deslizamento de terra nas encostas de Vitória - ES. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 18., 2016, Belo Horizonte. Anais, Belo Horizonte: COBRAMSEG, 2016. p. 1-8. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rogério_Goncalves_Sarmiento_Junior/publication/309910146_Aplicacao_de_metodos_quantitativos_de_mapeamento_de_deslizamento_de_terra_nas_encostas_de_Vitoria-ES/links/58261f0908ae5c0137eb9ebc/Aplicacao-de-metodos-quantitativos-de-mapeamento-de-deslizamento-de-terra-nas-encostas-de-Vitoria-ES.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FERREIRA, V.M. et al. Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião campos das vertentes, MG. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 36, n. 1, p. 209-219, jan./abr. 2011. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4915>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

FREIRE, L. M.; LIMA, J. S. de; SILVA, J. N. da. Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses. Revista Geoamazonia. v. 6, n. 11. p. 273-292. 2018. Disponível em: <<http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/175>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial. Brasília. DF. 2007. p. 137. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/servicos/publicacoes/manuais-e-procedimentos/manual_de_obtencao.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidade e Estados. Portal Cidades@. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lagoa-dourada/panorama>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Divisão de Sensoriamento Remoto. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. 2020 Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Índice de Precipitação Padronizado (SPI). 2020 Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MACHADO, R. R.; ZACARIAS, G. M. Análise de risco de deslizamento. Revista Ordem Pública e Defesa Social, v. 9, n. 1, p. 79-92, jan./jun., 2016. Disponível em: <<https://rop.emnuvens.com.br/rop/article/view/111>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia, Dossiê climatologia de Minas Gerais*, p. 129-156. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de. *Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

OLIVEIRA, F. P. de. et al. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 331-339, set. 2010. Disponível em <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap01.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

QGIS. A liderança do SIG de código aberto. 2020. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 24 mar. 2020.

ROCHA, W. W. Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG. 2003. 101p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista Do Departamento De Geografia*, v. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SILVA. A. M. da. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SISEMA. *Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos*. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2020. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SBROGLIA, R. M. et al. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 339-354, fev. 2016. Disponível em:<<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44399>>. Acesso em: 23 mar. 2020.