

MAPEAMENTO DE PASSIVOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS UTILIZANDO DRONE E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Daniel Santana Lanza ¹

Resumo – As rodovias são caracterizadas por constituírem corredores lineares que atravessam ambientes em que os meios físico, biótico e socioeconômico são heterogêneos. Os passivos ambientais consequentes das atividades rodoviárias compreendem diversos problemas ambientais, incluindo depósito de resíduos, focos de erosão, cicatrizes de escorregamento, entre outros. Neste contexto, a utilização de geotecnologias, incluindo recursos de geoprocessamento e sensoriamento remoto, podem ser úteis para auxiliar na identificação, cadastramento, mapeamento e monitoramento dos passivos ambientais associados a esses empreendimentos. Nesta última década, os drones se tornaram um importante recurso para obtenção de imagens de qualidade e com baixo custo. Aliado ao Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem ferramentas que permitem a sobreposição de camadas de formatos e fontes diferentes, bem como a realização de análise espacial. Os produtos quantitativos e gráficos oriundos deste processamento podem ser utilizados para realização de diagnóstico e elaboração de projetos para recuperação das áreas degradadas. O objetivo geral deste estudo é mapear e caracterizar os passivos ambientais do tipo erosão e movimentos de massa de três segmentos rodoviários por meio do levantamento com drone, e extração de variáveis quantitativas e gráficas dessas áreas por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Abstract – Highways are characterized by being linear corridors that cross environments in which the physical, biotic and socioeconomic are heterogeneous. The environmental liabilities resulting from road activities have a broad definition, comprising several problems, including waste deposits, areas of erosion, scarring from slipping, among others. In this context, the use of geotechnologies, including geoprocessing and remote sensing resources, can be useful to assist in the identification, registration, mapping and monitoring of the environmental liabilities associated with these ventures. In the last decade, drones have become an important resource for obtaining quality images at a low cost. Allied to the Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS) are tools that allow the overlapping of layers of different formats and sources, as well as performing spatial analysis. The quantitative and graphical products resulting from this processing can be used to carry out diagnoses and develop projects for the recovery of degraded areas. The general objective of this study is to map and characterize the environmental liabilities of erosion and mass movements of three road segments through the survey with drone, and extraction of quantitative and graphical variables from these areas through a Geographic Information System (GIS).

Palavras-Chave – Passivos ambientais, Rodovias, Mapeamento, Drones, Geoprocessamento.

¹ Geógrafo, MSc, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, daniel.lanza@dnit.gov.br

1. INTRODUÇÃO

As rodovias federais brasileiras são importantes vetores de circulação de pessoas, bens e mercadorias, sendo fundamentais para integração das regiões brasileiras e desenvolvimento econômico. Os primeiros investimentos em pavimentação no Brasil ocorreram na década de 20, sendo que posteriormente a malha rodoviária foi sendo ampliada até se tornar o principal meio de transporte do país (BRASIL, 2016).

A expansão do modal rodoviário é um fenômeno que altera a dinâmica do território, provocando impactos nos meios físico, biótico e antrópico. Os problemas ambientais podem ser consequência do desgaste de implantações rodoviárias antigas, ou então de outros fatores como, por exemplo, defeitos construtivos, interferência de terceiros, ausência de manutenção, entre outros. Os órgãos de engenharia rodoviária brasileiros denominam esses problemas ambientais por passivo ambiental.

De modo geral, passivo ambiental pode ser considerado “toda ocorrência danosa ao meio ambiente, decorrente da construção, restauração ou manutenção da rodovia, capaz de atuar como fator de risco, dano ou degradação ambiental à área de influência direta e indireta, ao corpo estradal, ao usuário, ou causada por terceiros e/ou condições adversas” (BRASIL, 2006).

O objetivo deste trabalho é mapear e caracterizar os passivos ambientais, do tipo erosão e movimentos de massa, em três segmentos rodoviários utilizando imagens de alta resolução obtidas por meio de drone. Estes passivos ambientais são recorrentes nas faixas de domínio das rodovias, sendo na maioria dos casos passíveis de identificação em imagens de sensores remotos de alta resolução.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Foram escolhidas três áreas com ocorrência de processos erosivos e de movimentos de massa para realização deste estudo. Duas das áreas estão localizadas na rodovia BR-116/MG, próxima ao município de Muriaé, na Zona da Mata Mineira, e uma situa-se na BR-356/MG, em Ouro Preto (Figura 1).

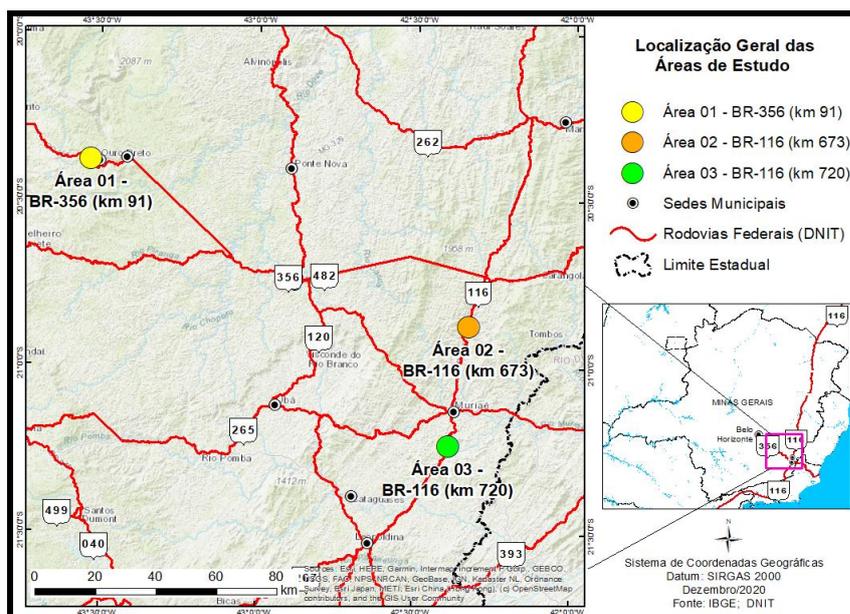


Figura 1. Localização das áreas de estudo.

2.1. Área 01 - BR-356/MG (km 091)

A área 1 está localizada no km 91 da BR-356/MG, próximo a Ouro Preto e Mariana, parcialmente na faixa de domínio da rodovia e na Reserva Ecológica do Tripuí, Unidade de Conservação administrada pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF.

Em geral seu relevo é montanhoso, com declividades que variam de 45 a 75%. A amplitude altimétrica da rodovia até a planície do córrego Tripuí é de aproximadamente 100 metros. O curso d'água é natural e intermitente, situando-se em vale encaixado, indicando forte incisão fluvial ao longo dos anos. Os Solos predominantes são Cambissolos e a vegetação é de Floresta Atlântica, apresentando manchas de campos rupestres e campos montanos intercalados (Pedralli et. al, 1997).

A geologia local é composta de rochas sedimentares metamorfizadas, alteradas devido à ação do intemperismo. De acordo com o mapa geológico da CPRM, há contato litológico de xistos e filitos do Grupo Piracicaba com xistos, filitos e quartzitos do Grupo Sabará. Este material apresenta elevada friabilidade, ou seja, se decompõe facilmente. O mapeamento mencionado também indica presença de estrutura de falha de empurrão e as camadas das rochas possuem mergulho orientado no sentido do declive da encosta, o que favorece a ocorrência de movimentos de massa.

2.2. Área 02 - BR-116/MG (km 673)

O km 673 da BR-116/MG está situado próximo a Miradouro, município ao norte de Muriaé. De acordo com o mapa geológico da CPRM (NOVO et al., 2012), o local está assentado sobre as rochas metamórficas dos paragnaisses migmatíticos pertencentes ao Grupo Andrelândia. Há ocorrência de falhas e zonas de cisalhamento nas proximidades, constituindo-se fatores que aumentam a suscetibilidade para ocorrências de escorregamentos.

O relevo é caracterizado pelo domínio de morros e serras baixas, e o tipo de solo predominante são os latossolos (CETEC, 2007). Toda a região era coberta por vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, entretanto, a paisagem encontra-se bastante modificada pela ação antrópica, especialmente pela atividade agropecuária.

2.3. Área 03 - BR-116/MG (km 720)

O km 720 da BR-116 localiza-se ao sul de Muriaé e geologicamente pertence ao domínio dos complexos granitoides deformados. O litotipo granada charnockito forma diversos corpos de dimensões variadas, com granulação média a grossa e podendo apresentar-se com foliação bem desenvolvida, ou preservar a textura ígnea original (NOCE et al., 2003). Os solos predominantes são os latossolos (CETEC, 2007), que se desenvolveram sobre um relevo de morros e Serras Baixas.

A estrada atravessa um pequeno curso d'água que pertence à microbacia do Ribeirão Cachoeira Alegre, que por sua vez deságua no Ribeirão da Mata, inserido na bacia do Rio Paraíba do Sul. Assim como na área 2, a vegetação predominante típica do bioma Mata Atlântica, porém bastante alterada pela ação antrópica.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Planejamento de voo

Foi realizado um planejamento de voo para as três áreas de estudo: BR-356/MG - km 91 (Área 01), BR-116/MG - km 673 (Área 02) e BR-116/MG - km 720 (Área 03). Para esta finalidade foi utilizado o software Drone Deploy. Os parâmetros de 75 e 70% foram utilizados para sobreposição do imageamento frontal e lateral, respectivamente, de modo a permitir a geração de produtos representativos do terreno.

Na Tabela 1, são representadas a altura de voo e as respectivas resoluções espaciais das áreas mapeadas:

Tabela 1: Altura de voo e resolução espacial das áreas mapeadas.

	Área 1	Área 2	Área 3
Altura de voo (m)	81,8 m	93,3 m	90 m
Resolução espacial	2,49 cm/pix	2,84 cm/pix	2,85 cm/px

3.2. Etapa de campo: aerolevanteamento com drone

O trabalho de campo para o aerolevanteamento foi realizado entre os dias 13 e 15 de outubro de 2020. Nesta etapa foi utilizada a aeronave Drone DJI Mavic Pro, de pequeno porte, que permite a obtenção de imagens com precisão e qualidade para realização de levantamento e diagnóstico do meio ambiente.

3.3. Processamento das imagens e geração dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelo Digital do Terreno (MDT)

Foram realizados procedimentos para pré-processamento das imagens, ou seja, correção dos erros geométricos e radiométricos oriundos do imageamento.

Estes procedimentos constituem de: a) Carregamento das imagens; b) alinhamento das imagens; c) construção da nuvem densa de pontos; d) construção do modelo digital de elevação; g) construção do ortomosaico.

O objetivo do processamento das imagens é a geração de um ortomosaico equalizado radiometricamente, bem como de um Modelo Digital de Superfície (MDS). Para a aplicação específica deste estudo, as nuvens de pontos foram editadas e o MDS filtrado para geração de um Modelo Digital do Terreno (MDT).

3.4. Extração de variáveis quantitativas e gráficas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Para mapeamento e caracterização dos passivos ambientais foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

- i) Interpretação visual das ortofotos e vetorização dos focos de erosão e cicatrizes de escorregamento, considerando textura, cor, forma e tamanho das feições;
- ii) Geração de declividades;
- iii) Extração de parâmetros topográficos: a) declividade (máx., mín. e média); b) altimetria (máx., mín, média, amplitude altimétrica);
- iv) Geração de perfis longitudinais altimétricos;
- v) Obtenção de dados quantitativos: área e perímetro;
- vi) Geração de mapas temáticos das camadas de informação de cada passivo ambiental.

Para realização desses procedimentos foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Área 01 - BR-356/MG (km 091)

O km 91 da BR-356/MG possui dois setores que serão analisados separadamente. O passivo ambiental denominado “A” caracteriza-se pela ocorrência de processos erosivos, enquanto o “B” possui, além de erosão, cicatrizes de escorregamento. A Figura 2 representa a ortoimagem com a localização dos dois setores da área 1, bem como as declividades.

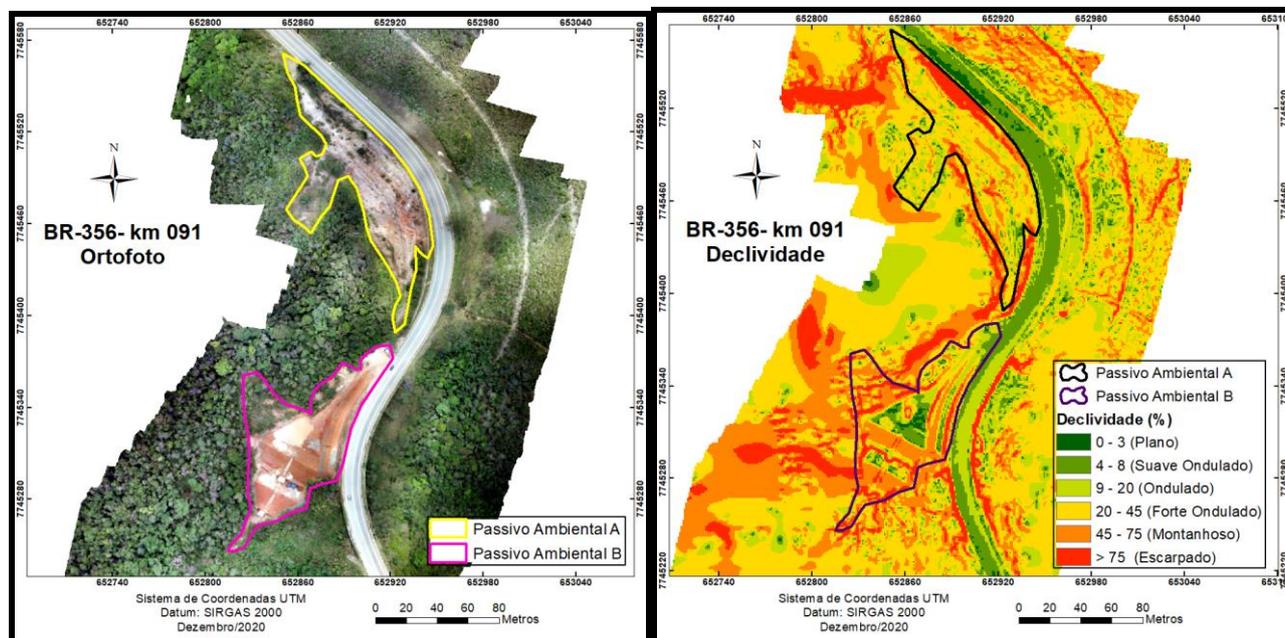


Figura 2: Ortoimagem (esquerda) e declividades (direita) da Área 1.

A declividade média no setor “A” é de 38,92%, o que configura relevo predominantemente forte ondulado. Já no setor “B”, os valores de declividade são mais elevados, com média de 44,96%. O setor “A” possui uma área de 6.107,31 m² e perímetro de 555,25 m. As altitudes variam de 1.240,92 a 1.267,07 m, o que representa uma amplitude altimétrica de 25,15 m.

O setor “B” tem área de 5.776,50 m² e perímetro de 448,66 m. A amplitude altimétrica é relativamente alta, com valor de 54,60 metros e altitudes que variam entre 1.195,32 e 1.249,92 metros. A Tabela 2 representa os parâmetros topográficos para os dois setores.

Tabela 2. Parâmetros topográficos da área 1

Área	Perímetro (m)	Altitude (m)				Declividade (%)		
		Mín.	Máx.	Méd.	Amplitude Alt.	Mín.	Máx.	Méd.
A	555,25	1240,92	1267,07	1252,88	26,15	0,72	197,87	38,92
B	448,66	1195,32	1249,92	1227,07	54,60	0,30	215,38	44,96

A área de estudo apresenta solos suscetíveis à erosão e estruturas geológicas que favorecem a ocorrência de movimentos de massa. Há ainda o fator antrópico, incluindo a abertura da via, influenciando a aceleração dos processos.

Destaca-se que a área se encontrava em obras durante a realização da vistoria, em outubro de 2020, com implementação de barreiras de contenção de cimento e escada hidráulica. De acordo com o Projeto de Terraplenagem, serão ainda contemplados conformação natural do

terreno, implantação de muro gabião e de dispositivos de drenagem. A Figura 3 representa o setor “B” antes e durante a execução das obras.



Figura 3. Fotos da área 1 - setor B antes (acima) e após (abaixo) o início das obras.

No mapa hipsométrico e perfis topográficos (Figura 4) é possível perceber que as variações de altitude são maiores no setor “B”. No perfil topográfico desse setor nota-se os degraus das banquetas que foram conformadas no terreno.

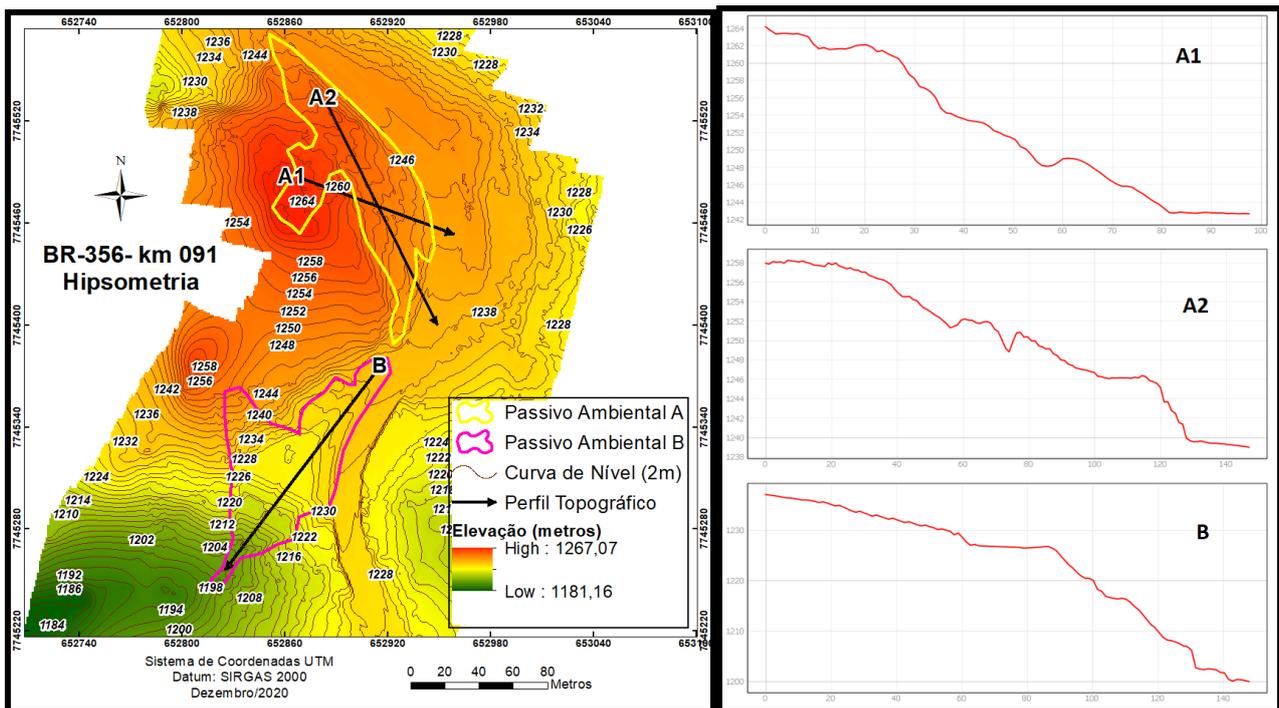


Figura 4. Hipsometria (esquerda) e perfis topográficos (direita) da Área 1.

4.2. Área 02 - BR-116/MG (km 673)

O passivo ambiental da área 2 (Figura 5), localizada no km 673 da BR-116/MG, apresenta talude de corte com ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. A ausência de cobertura vegetal e exposição do solo constitui um agravador da erosão acelerada. Por outro lado, ocorre também deslizamentos, sendo possível observar, nas partes mais altas do talude, rastejo do solo, representando evidência de que novos eventos de movimento de massa poderão ocorrer.

A área apresenta solos propensos à ocorrência de erosão, e declividades altas (Figura 5), com média de 57,48%. É interessante observar que a área mais alta da encosta possui um comportamento linear de alta declividade, sendo representativo de uma linha de ruptura. Essas características indicam que a área é altamente suscetível à ocorrência de processos geodinâmicos, com exposição de horizonte C, possuindo um material pouco agregado e erodível.

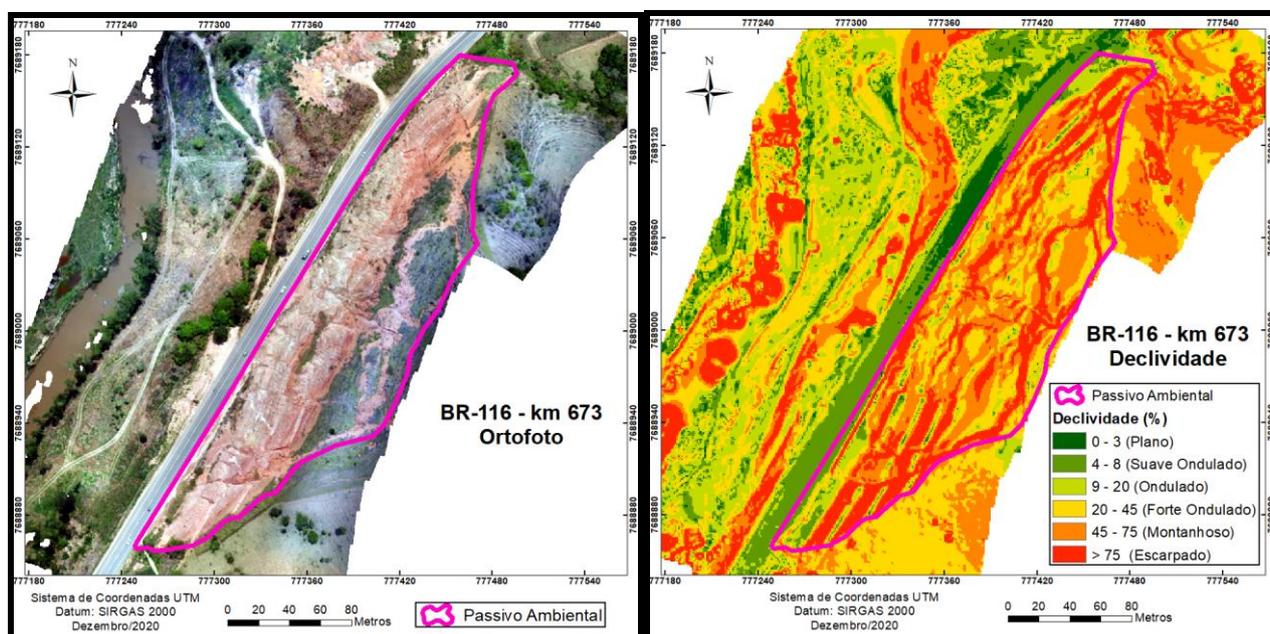


Figura 5 Ortoimagem (esquerda) e declividades (direita) da Área 2.

A área total do passivo ambiental é de 26.006,42 m², com perímetro de 871,75 m (Tabela 3). A extensão rodoviária que ocupa é de 385 m. Esses quantitativos são representativos do tamanho e da dimensão deste passivo ambiental.

Tabela 3. Parâmetros topográficos da área 2

Área	Perímetro	Altitude (m)				Declividade (%)		
		Mín.	Máx.	Méd.	Amplitude Alt.	Mín.	Máx.	Méd.
(m ²)	(m)							
26006,42	871,75	361,81	420,80	386,93	58,98	0,25	394,10	57,48

As altitudes variam de 361,81 a 420,80 m, com amplitude altimétrica aproximada de 59 metros. O mapa hipsométrico e perfis topográficos (Figura 6) representam a variação altimétrica e a conformação do terreno. Nota-se rugosidades nos perfis 1 e 2, sendo esse comportamento associado ao maior avanço dos processos erosivos em alguns pontos específicos.

Esse cenário de risco desta área é comum na região, onde foram observados outros pontos com ocorrência desses tipos de processos de encosta, inclusive em áreas de pastagem, sem nenhuma vinculação com a rodovia. Percebe-se *in loco* que a área passou por intervenções anteriormente, tendo em vista a presença de estruturas de contenções do tipo muro gabião

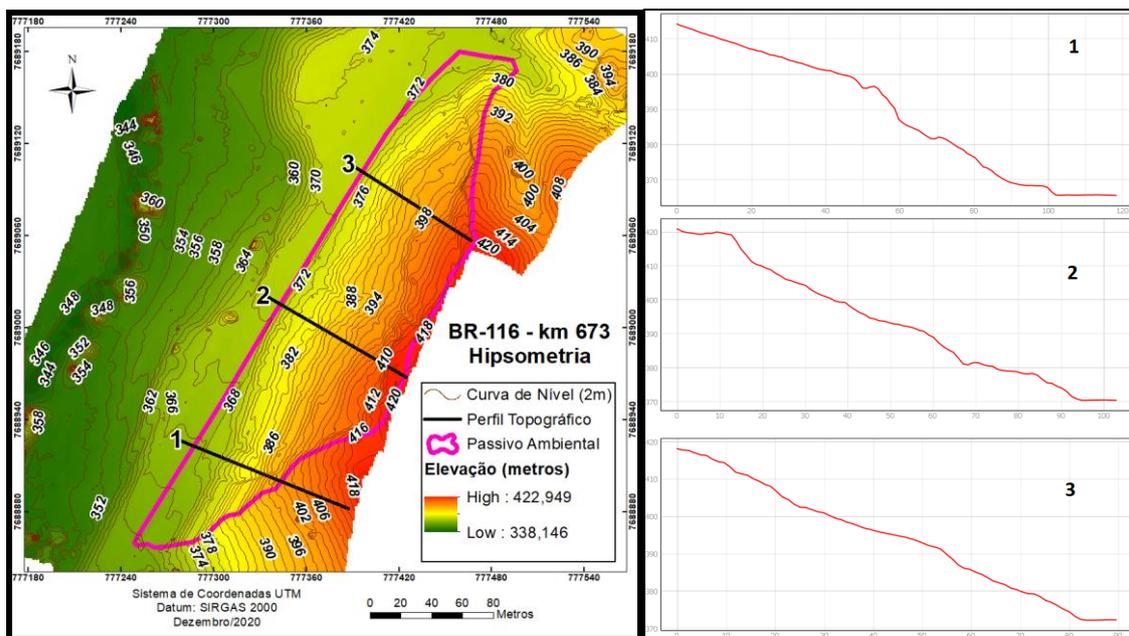


Figura 6: Mapa hipsométrico e perfil topográfico da área 2.

Neste contexto, é muito importante ações para revegetação do talude em conjunto com melhorias no sistema de drenagem. Algumas soluções de bioengenharia como, por exemplo, instalação de biomantas ou geotêxteis, pode ser uma solução para este caso concreto. Além disso, estudos mais detalhados são necessários para implementação de soluções de Engenharia mais robustas. Foi observado recentemente, após elaboração deste trabalho, que intervenções foram realizadas nestas áreas para correção dos problemas identificados.

4.3. Área 03 - BR-116/MG (km 720)

O passivo ambiental no ponto 3, localizado no km 721 da BR-116/MG, apresenta uma área de 3.423,67 m² e perímetro de 269,89 m, sendo a menor das áreas estudadas (Figura 7).

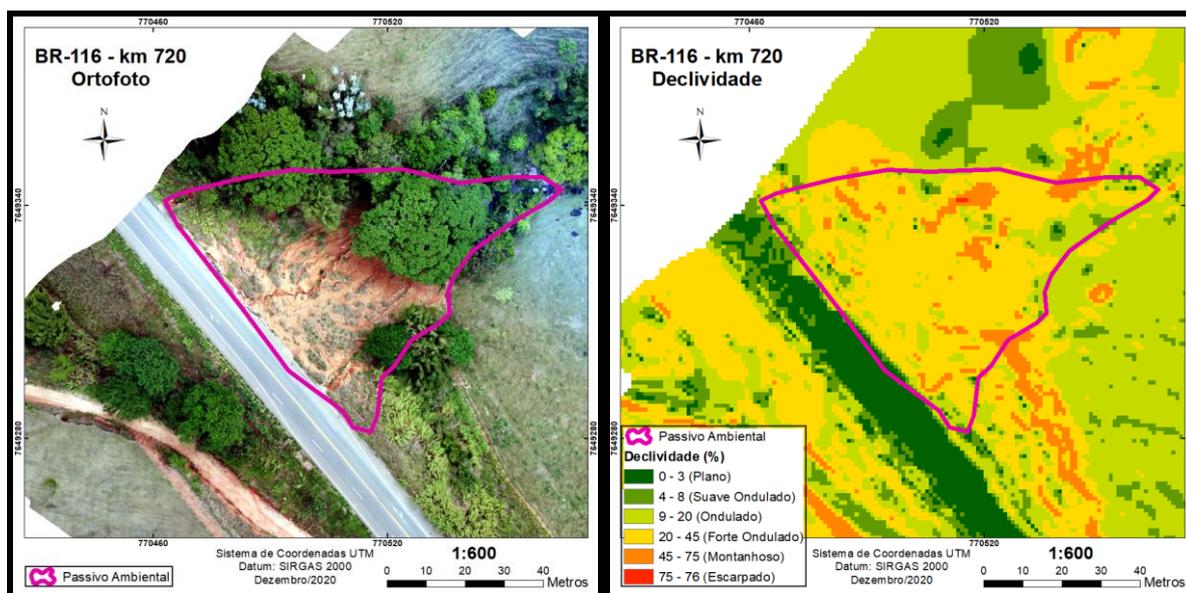


Figura 7: Ortoimagem (esquerda) e declividades (direita) da área 3.

Com o avanço dos processos erosivos, situados altimetricamente abaixo da pista de rolamento, o acostamento e a terceira faixa cederam (Figura 8). Com isso, o material erodido estava sendo carregado para o fundo de vale, provocando assoreamento. Além do dano ambiental, havia um risco iminente para os usuários que trafegam na rodovia. Importante destacar que após

a realização deste levantamento, foram realizadas intervenções para correção dos passivos ambientais, por meio da execução de obras emergenciais.



Figura 8: Na esquerda, imagem obtida com o drone de ângulo frontal ao passivo ambiental. Na imagem da direita, é possível notar depósito de material no sopé da encosta.

Nesta área, a amplitude altimétrica é de aproximadamente 30 metros, com altitudes que variam entre 260 e 290 m. A declividade média é de 28,78%. A taxa de declive é praticamente uniforme ao longo da encosta, ficando mais acentuada quando se aproxima do canal de drenagem, no ponto aproximado de 50 m do início do perfil longitudinal.

A Tabela 4 e a Figura 9 ilustram e resumem a caracterização topográfica deste passivo ambiental.

Tabela 4: Parâmetros topográficos da área 3

Área (m ²)	Perímetro (m)	Altitude (m)				Declividade (%)		
		Mín.	Máx.	Méd.	Amplitude Alt.	Mín.	Máx.	Méd.
3420,22	269,89	259,75	289,74	276,38	29,99	0,13	76,34	28,78

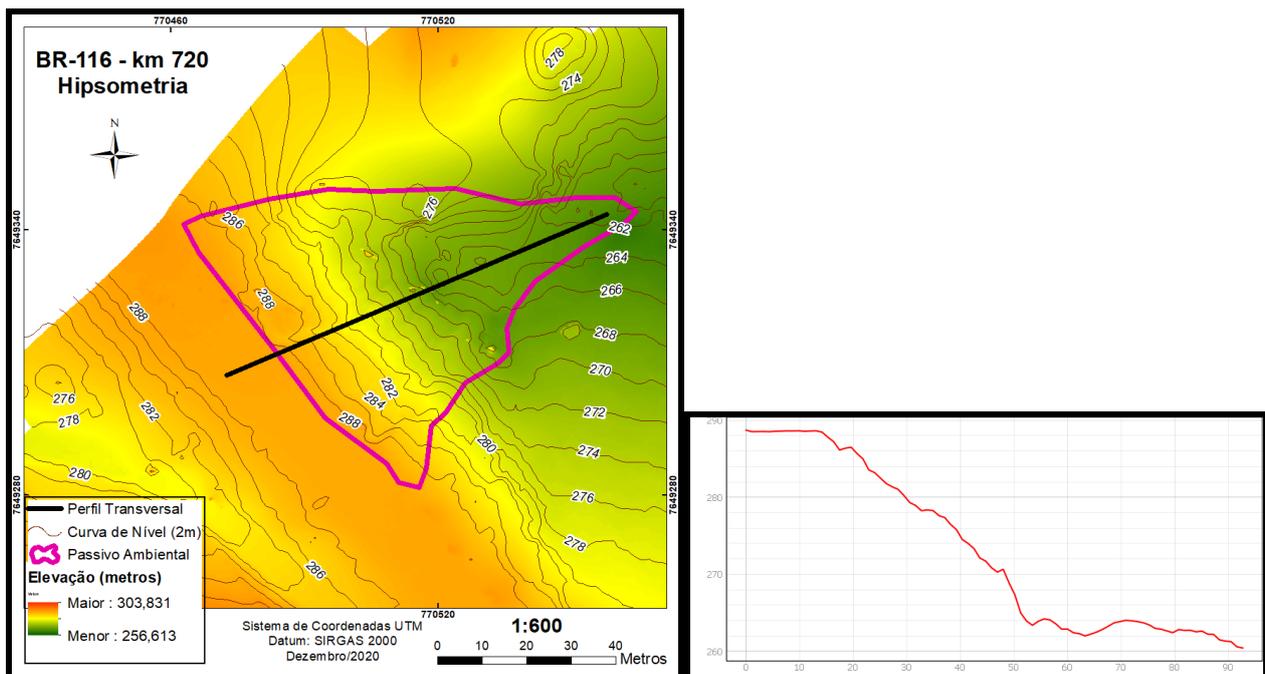


Figura 9: Mapa hipsométrico e perfil topográfico da área 3.

5. CONCLUSÕES

Devido às características do meio físico e das intervenções antrópicas, todas as três áreas possuem alta suscetibilidade à ocorrência de processos geodinâmicos. Após a realização deste estudo, observou-se que o órgão público responsável pela administração dos trechos rodoviários realizou intervenções para correção desses passivos ambientais. Foram executadas obras para conformação de taludes, construção de sistema de drenagem, enrocamento, revegetação de proteção, entre outros.

Neste trabalho, constatou-se que há um grande potencial para aplicação de drones em mapeamento de passivos ambientais rodoviários. A partir do aerolevanteamento foi possível gerar ortomosaico e modelos digitais de superfície e de terreno, além de extração de área, perímetro, altimetria, perfil topográfico e declividade em Sistema de Informação Geográfica. A quantificação e representação gráfica desses elementos traz aspectos importantes para a caracterização ambiental. Pelo baixo custo do equipamento, tempo de processamento e análise, a metodologia adotada possui ótimo custo-benefício, principalmente para mapeamento de pequenas áreas. Além da caracterização das áreas de estudo, entende-se que novos levantamentos podem ser realizados para monitorar e acompanhar a evolução dos passivos ou das obras.

Mesmo com a filtragem da nuvem de pontos, e sua remoção em regiões de vegetação densa, a complementação mais abrangente destas áreas com pontos de controle obtidos por meio Global Navigation Satellite System (GNSS) poderia melhorar a qualidade final dos produtos resultantes do levantamento aerofotogramétrico. No presente trabalho não foram utilizados pontos de controle, mas recomendamos para desenvolvimento de outros tipos de trabalhos como, por exemplo, projetos executivos de engenharia.

As ações para recuperação dos passivos ambientais possuem diversas consequências benéficas ao meio ambiente e à sociedade como todo, pois podem, por exemplo, amenizar as perdas de solo, diminuir os impactos sobre os recursos hídricos, contribuir para estabilidade dos taludes evitando acidentes e reduzindo os gastos públicos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes pelo suporte oferecido, e à equipe de pós-graduação em RAD da Universidade Federal de Viçosa pelas contribuições.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Glossário de termos técnicos ambientais rodoviários*. – Rio de Janeiro, 2006. 116p. (IPR. Publ., 721).

BRASIL. *Transportes no Brasil: Síntese Histórica*. Disponível em: <https://canaldoservidor.infraestrutura.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>. 2016. Acesso em 02/12/2020.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. *Mapa de solos de Minas Gerais*. Escala: 1:600.000. 2007.

NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; PINHEIRO, C. M.; MOL, V. S.; PEDROSA SOARES, A. C. *Geologia das Folhas Ubá e Muriaé*. CPMTC – IGC – UFMG – Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa – Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. 2003.

NOVO, T.A. [et al.] *Geologia e recursos minerais da folha Carangola SF.23-X-B-VI*, estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Organizador Luiz Carlos da Silva. – Belo Horizonte: CPRM, 2012. 72 p.

PEDRALLI, G., FREITAS, V.L.O., MEYER, S.T., TEIXEIRA, M.C.B. & GONÇALVES, A.P.S. 1997. *Levantamento florístico na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG*. Acta Botânica Brasílica 11: 191-213.