

Aquisição de Dados para Mapeamento e Gestão de Riscos em Taludes Rodoviários

Regis Eduardo Geroto

Engenheiro Geotécnico, Motiva, Jundiaí, Brasil, regis.geroto@motiva.com.br

Raul Andrade de Assis

Engenheiro Civil, Motiva, Jundiaí, Brasil, raul.assis@motiva.com.br

Laura Maria Gonçalves Ferreira

Engenheira Civil, Motiva, Jundiaí, Brasil, laura.ferreira@motiva.com.br

Evelyn Fernandes da Silva Sabino

Geóloga, Motiva, Jundiaí, Brasil, evelyn.sabino@motiva.com.br

Francisleine de Oliveira

Administradora, Motiva, Jundiaí, Brasil, francisleine.oliveira@motiva.com.br

RESUMO: Sabe-se que a engenharia geotécnica não é uma ciência exata e, portanto, a observação, investigação e elaboração de cenários relativos ao comportamento da natureza (e intervenções locais) são essenciais para compreensão das reais condições de segurança dos terrenos e encostas. Além das incertezas geológico-geotécnicas, a ocorrência de eventos climáticos extremos, traz um novo fator às análises do comportamento e segurança dos terrenos e encostas. Isto posto, pretende-se no presente trabalho apresentar a primeira parte (obtenção de dados), com o emprego de ferramentas gratuitas e/ ou recursos acessíveis (digitais, materiais e humanos), acerca dos procedimentos para a análise e identificação de regiões/ trechos com maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em taludes rodoviários. De forma simplificada, será apresentado no presente trabalho as demais partes da proposta/ metodologia, que contempla a definição de metodologias aplicáveis nas análises de risco, a obtenção de dados complementares e produtos desenvolvidos, além das propostas de atuação pós-análise. Uma vez identificados os trechos que apresentam maior suscetibilidade, pretende-se com essa proposta/ metodologia, atuar de forma mais assertiva nos locais de maior vulnerabilidade e, por fim, aplicar medidas preventivas e/ ou protocolos para evitar a ocorrência e/ ou minimizar os riscos relativos aos movimentos de massa.

PALAVRAS-CHAVE: Obtenção de Dados, Gestão de Risco, Taludes, Rodovias, Eventos Extremos.

ABSTRACT: It is widely acknowledged that geotechnical engineering is not an exact science. Therefore, systematic observation, thorough investigation, and the development of scenarios related to natural behavior—as well as local anthropogenic interventions—are essential for accurately assessing the actual safety conditions of soil masses and slopes. In addition to inherent geological and geotechnical uncertainties, the occurrence of extreme climatic events introduces a new and significant factor into the analysis of terrain behavior and slope stability. In light of this, the present study aims to present the first stage of a proposed methodology—data acquisition—through the use of free and/or accessible tools and resources (digital, material, and human). This stage focuses on procedures for identifying and analyzing areas or segments along highway slopes that exhibit a higher susceptibility to mass movement processes. In a simplified manner, the subsequent stages of the methodology are also outlined in this work. These include the definition of applicable risk assessment methods, the acquisition of complementary data, the development of geospatial and analytical products, and the proposition of post-analysis response strategies. Once segments with higher susceptibility are identified, this methodology is intended to enable a more targeted and proactive approach in areas of greatest vulnerability. Ultimately, the goal is to support the implementation of preventive measures and/or response protocols to avoid or mitigate the risks associated with mass movements.

KEYWORDS: Data Acquisition, Risk Management, Slopes, Roadways, Extreme Events.



1 INTRODUÇÃO

Entre 2011 e 2020 a temperatura da superfície terrestre superou em 1,09°C o período de 1850-1900 (IPCC, 2023), reflexo de uma conduta humana de emissões de gases crescente, uso insustentável de energia e manutenção de padrões nocivos de consumo e produção. Esse comportamento encaminha para um presente onde as variações climáticas atingem valores extremos de maneira cada vez mais frequente, indo de encontro as situações de vulnerabilidade e impacto, causando avarias sociais e econômicas, além de ameaçar o contexto da OMS de desenvolvimento urbano sustentável (Ayugi et. al. 2022).

O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que na América do Sul entre os principais riscos pelas mudanças climáticas temos “*danos à vida e infraestrutura devido a inundações, deslizamentos de terra, elevação do nível do mar, tempestades e erosão costeira*”. No Brasil, a recorrência desse tipo de evento segue a tendência de crescimento mundial, com registros de 12 eventos climáticos extremos - fenômenos climáticos e meteorológicos que ocorrem em volume acentuado e fora dos níveis considerados normais - apenas em 2023 (Rocha et al, 2024).

Eventos dessa magnitude afetam todo o ecossistema de uma região, o fluxo de pessoas é brutalmente alterado com a redução da oferta de serviços para deslocamento, de tal forma que a perda da funcionalidade da infraestrutura de transporte rodoviário, rural e urbana compromete a utilização durante a gestão de desastres e, conseqüentemente atrasa os processos de evasão de áreas de risco e recuperação das localidades afetadas (Mcaddo et al, 2018).

Segundo dados de 2025 da Confederação Nacional do transporte (CNT), 65% da matriz de transporte de cargas no país é composta pelo transporte rodoviário. Eventos de precipitação extremas, como observados nos últimos anos, podem desencadear desastres associados a eventos naturais como por exemplo: inundações, deslizamentos de terra e fluxo de detritos que, por serem repentinos e com alto potencial destrutivo, podem causar grandes perdas econômicas e mortes (Gao et. al. 2025).

Atualmente o Brasil possui mais de 1,7 milhões de quilômetros de estradas e rodovias, sendo que menos de 5% desse total é administrada/ concedida para a iniciativa privada, enquanto que mais de 95% (mais de 1,6 milhões de quilômetros) está sob administração do poder público. Desse montante total, cabe salientar que mais de 80% (mais de 1,3 milhões de quilômetros) são administrados pelos municípios brasileiros, condição que traz grande heterogeneidade na forma de atuação e recursos dispendidos.

Diante dessa situação (ocorrência de eventos climáticos extremos e extensa malha rodoviária no país) e, com o intuito de promover o desenvolvimento técnico relativo ao entendimento de riscos e gestão operacional de estradas e rodovias, apresenta-se no presente trabalho a primeira parte (Parte I – Obtenção de Dados) de uma proposta de metodologia/ procedimentos para a análise e gestão de riscos em taludes rodoviários. Nesta primeira parte são apresentadas ferramentas gratuitas (softwares e sites públicos) e/ ou recursos de análise, acessíveis a praticamente todos entes operadores de rodovias (públicos e privados), bem como aos profissionais do meio técnico envolvidos em projetos, obras e administração de estradas e rodovias.

A obtenção e análise dessas informações permite, além de estabelecer processos de análise direcionados e simplificados na definição de regiões/ trechos com maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, a aplicação dessas informações em metodologias para análise de riscos consagradas no meio técnico, a definição de um programa complementar de aquisição de informações para aplicação/ emprego nessas análises, a definição de medidas estruturais e protocolos técnicos que, ao serem utilizados, evitem e/ ou minimizem os impactos relacionados com os movimentos de massa em taludes e encostas rodoviárias. No entanto, cabe salientar que tais aspectos serão abordados de forma mais detalhadas nos trabalhos futuros que englobarão essas partes subsequentes à obtenção dos dados através do uso de ferramentas gratuitas.

2 METODOLOGIA PROPOSTA – PARTE I – AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES

Como já citado, o presente trabalho apresenta a primeira parte (Parte I – Obtenção dos Dados) dos procedimentos de análise de suscetibilidade ao risco de taludes rodoviários, contemplando o emprego de ferramentas gratuitas que possibilitam a obtenção de dados físicos, dados climatológicos e inventário/ registro de sinistros (histórico de suscetibilidade local) das áreas de interesse que, após a obtenção desses dados, permitem a análise de risco a partir de metodologias consagradas no meio técnico, avaliando de forma direta ou qualitativa, as regiões ou trechos rodoviários com maior suscetibilidade a movimentos de massa e vulnerabilidade à riscos.

2.1 Obtenção de Dados Físicos (Geografia, Geologia, ocupação etc.)

A obtenção de dados para a caracterização do meio físico torna-se aspecto fundamental nas análises de suscetibilidade a movimentos de massa e vulnerabilidade aos riscos das regiões/ locais interceptados por estradas e rodovias. Estes dados, de forma geral, contemplam informações relacionadas a geografia local (relevo, cursos d'água, vegetação etc.), dados relacionados à geologia do terreno (formações geológicas e manto de cobertura), uso e ocupação do terreno (condições de ocupação/ intervenções antrópicas) etc.

2.1.1 Geografia e geomorfologia local

Sabe-se que a condição geográfica, em especial as formas do relevo (trechos montanhosos, presenças de linhas d'água) e condições da superfície do terreno (vegetados naturais ou antropizados) tem influência significativa na maior (ou menor) suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa. Desta forma, a obtenção de tais informações é primordial para a realização das análises de riscos em taludes rodoviários, as quais podem ser acessadas por fontes públicas (vide Tabela 1), como por exemplo:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o Portal de Mapas (vide Figura 1), além do BDIA que permite consulta espacial acerca de geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação;
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do portal TerraBrasilis disponibiliza dados dos programas PRODES e DETER, separados por biomas, para acesso, consulta e download gratuito;
- Através de uma rede colaborativa formada por ONGs, universidades e empresas de tecnologia organizados por biomas e temas transversais, a ferramenta MapBiomas realiza o mapeamento anual da cobertura e uso da terra, além do monitoramento mensal da superfície de água e cicatrizes de fogo;
- Fora do painel nacional, há a Copernicus DEM gerido por uma comissão europeia, o qual libera o acesso para o público geral aos seus MDSs gerado na missão TanDEM-X nas resoluções de 30 e 90m.

Tabela 1. Ferramentas para obtenção de dados geográficos e geomorfológicos.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
IBGE	Portal de Mapas	Mapas Físicos e Folhas Topográficas	PDF, SHP
	BDiA	Mapeamento Geomorfológico	XLS, SHP, PDF
INPE	TerraBrasilis	MDTs do SRTM	.SHP
ESA	Copernicus DEM	MDS em 30m e 90m	GeoTIFF, DGED, DTED, IMG, PNG, TIF
MapBiomas Brasil		Série histórica de uso do solo, vegetação e altimetria com dados georreferenciados	GeoTIFF

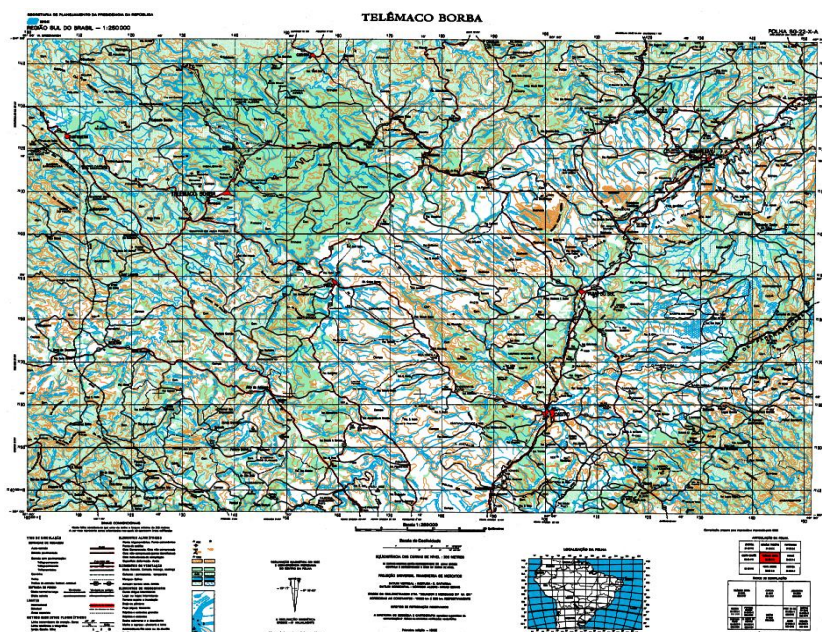


Figura 1. Folha de Telêmaco Borba/ PR, com informações sobre o terreno – Esc.: 1:250.000 (fonte: IBGE).

2.1.2 Geologia do terreno

A caracterização geológica local, com informações sobre a matriz rochosa e características do manto superficial (solo maduro, solo de alteração de rocha e/ ou rocha alterada), torna-se aspecto fundamental na análise de suscetibilidade à ocorrência de desprendimento e escorregamento de massas, visto que há maciços em que a ocorrência de planos de xistosidade, foliação e fraturamento desfavoráveis potencializam significativamente à possibilidade de desprendimento e escorregamento de taludes.

De forma macro, ou seja, obtendo informações que permitam determinar as formações geológicas presentes em cada região, podem ser consultadas bases públicas (vide Tabela 2), como por exemplo:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além do BDIA abrangido anteriormente, há o Mapa de Solos do Brasil em conjunto com Embrapa, no qual há classes de solos em abrangência nacional através de mapeamento pedológico;
- A Companhia de Recursos Minerais (CPRM), através do GeoSGB – Sistema de Geociências do Serviço Geológico Brasileiro (vide Figura 2) que permite a consulta em bases de dados e plotagem de mapas acerca de geologia, recursos minerais, hidrogeologia, geofísica.

Tabela 2. Ferramentas para obtenção de dados geológicos.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
IBGE	BDiA	Mapeamento Geológico	XLS, SHP, PDF
CPRM	GeoSGB	Mapa geológico-geotécnico	KML, TXT, SHX
IBGE/EMBRAPA	Mapa de Solos do Brasil	Mapeamento Pedológico	PDF, SHX

Cabe salientar que, as informações obtidas através das cartas e mapas geológicos e pedológicos apresentam um caráter macro e orientativo, permitindo identificar regiões com a presença de rochas/ maciços mais suscetíveis a ocorrência de escorregamentos. Estas informações devem ser complementadas por vistorias de campo, realizadas por profissionais com conhecimento em geologia estrutural, para que sejam identificadas as reais condições dos maciços, incluindo planos desfavoráveis (xistosidade, foliação e fraturamento) e, caso necessário, orientar programas de investigações e ensaios complementares no local.

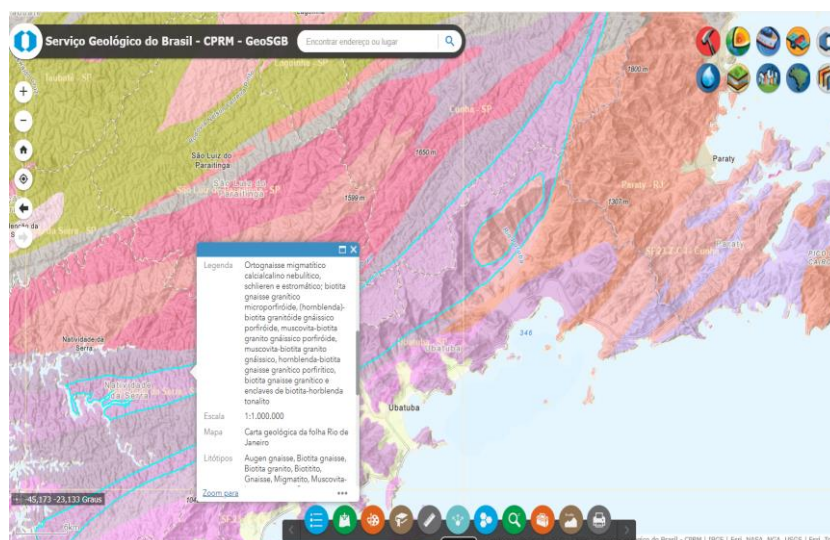


Figura 2. Informações geológicas na região de Ubatuba/SP – Esc.: 1: 1.000.000 (fonte: SGB- CPRM).

2.1.3 Ocupação humana, infraestrutura e vulnerabilidade

Além dos dados característicos à dinâmica de formação geográfica e geológica, a ação antrópica e elementos antropológicos tem impacto significativo na análise quanto à vulnerabilidade e nível de risco associado a movimentos de massa em cada local de interesse.

Para análise dessas informações, além da análise de dados numéricos obtidos em registros técnicos, também podem ser utilizadas ferramentas com o recurso de imagens (vide Tabela 3) para análise da alteração e evolução territorial quanto ao uso de ocupação do solo, como por exemplo:



2025

- Google Earth, programa gratuito que permite a visualização de imagens aéreas com profundidade pronunciada, bem como recursos cronológicos que permitem avaliar o histórico antrópico (evolução da ocupação) e inventário de eventos/ deslizamentos (vide Figura 3);
- OpenStreetMap é uma base gratuita com dados geoespaciais aberto, sendo uma rede colaborativa;
- IBGE, através do sistema Cidades e seu Censo Demográfico provém dados de população, densidade, infraestrutura urbana e possui potencial para caracterização de risco social;
- INPE traz o monitoramento de desmatamento e ocupação irregular através do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), com dados acessíveis pela plataforma TerraBrasilis.

Tabela 3. Ferramentas para a obtenção de dados antrópicos e antropológicos.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
GOOGLE	Google Earth	Imagens de satélite, análise temporal e visualização panorâmica	Visualização Online
OpenStreetMap		Elementos geográficos, fotografias aéreas	OMS
IBGE	IBGE Cidades	Censos demográficos	CSV, XLS, PDF
INPE	TerraBrasilis	Dados do PRODES e DETER de desmate e queimadas	SHP

2.2 Dados Climatológicos

Sabe-se que a condição (e redução) da estabilidade de encostas e taludes é diretamente influenciada quando estes estão submetidos à ação das águas (umedecimento de suas camadas superficiais), dada a redução de suas propriedades de resistência, aumento do peso das camadas superficiais e, também, deflagração de processos de erosivos e de instabilidade geral. A ocorrência de eventos climáticos extremos, onde são observadas precipitações (chuvas) de longa duração, elevado volume e, conseqüentemente, alta intensidade, tem aumentado significativamente os riscos (e ocorrência) dos movimentos de massa em taludes rodoviários.

Diante de tal situação, torna-se fundamental verificar as bases históricas, abastecer essas bases com novas informações, determinando, a partir dessas condições, as regiões que atualmente tem apresentado maior vulnerabilidade às variações climáticas e ocorrência de eventos climáticos extremos.

2.2.1 Chuvas, Clima e Hidrologia

As informações climatológicas, em especial relacionadas aos volumes precipitados (chuvas) por região, bem como dados hidrológicos brasileiros, podem ser obtidos a partir das seguintes bases (vide Tabela 4):

- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que apresenta dados históricos e em tempo real de chuva, temperatura e umidade, permitindo a coleta de dados, assim como dados de precipitação, mensal ou diário de suas estações e de outros órgãos como ANA, SIMEPAR e CEMADEN;
- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) possibilita a obtenção de dados de radares, estações pluviométricas, estações hidrológicas, estações aqua e geotécnicas a partir da determinação de uma unidade federativa e mês;
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que possui a ferramenta Portal HidroWeb integrando dados de vazões, chuvas e climatologia, oferecendo acesso aos dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e de dados em tempo real através do Portal Hidrotelemetria, com metadados de vulnerabilidade a inundações.

Tabela 4. Ferramentas para obtenção de dados climatológicos e hidrológicos.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
INMET	Mapa de Estações	Dados de precipitação, temperatura e umidade.	PDF, CSV
CEMADEN	Mapa Interativo	Dados de pluviometria	CSV
ANA/ SNIRH	Portal HidroWeb	Séries históricas e mapas hidrológicos	Visualização Online, CSV
	Rede Hidrometeorológica Nacional	Dados hidrológicos em tempo real	SHP, Visualização Online, CSV

O cruzamento dos dados climatológicos com a ocorrência de movimentos de massa, permite estabelecer os limiares pluviométricos para cada região/ trecho de interesse, avaliando aspectos como a maior (ou menor) suscetibilidade a movimentos de massa em função do volume precipitado e duração/ intensidade das chuvas. Estas análises, agora alimentados com informações de eventos climáticos extremos, permite também determinar as regiões que podem demandar investimentos adicionais em instrumentos meteorológicos e ferramentas para o monitoramento dos taludes, subsidiando protocolos de fechamento e abertura das rodovias.

2.3 Inventário e Análise de Eventos/ Deslizamentos

A engenharia geotécnica não é uma ciência exata e, portanto, a observação de seu comportamento, pesquisa de suas características e análise de seu comportamento (natureza afetada ou não pelas intervenções antrópicas) são fundamentais para a avaliação das condições de segurança dos taludes e encostas rodoviárias.

Desta forma, a análise de eventos pretéritos e cruzamento dessas ocorrências com o entendimento dos aspectos físicos locais (geografia/ geomorfologia, geologia e uso/ ocupação do solo) e ocorrência de eventos climatológicos (chuvas), que deflagraram os processos de instabilização dos maciços, são fundamentais para a compreensão dos aspectos que condicionam a suscetibilidade dos taludes aos movimentos de massa.

Isto posto, um inventário/ histórico que identifica os locais, registra a ocorrência dos eventos e descreve as características dos movimentos de massa pretéritos, aliado a ferramentas de armazenamento e tratamento de dados, permite avaliar de forma criteriosa os aspectos e condicionantes que influenciam os movimentos de massa em cada região, definindo os limiares críticos acerca da vulnerabilidade e riscos associados aos eventos.

2.3.1 Inventário/ Registro de Eventos

Em regiões com maior taxa de ocupação/ urbanização, dado o maior potencial de risco econômico e a vidas, há maior registro e análise acerca dos movimentos de massa, sendo que tais informações podem ser encontradas em publicações técnicas (artigos e livros) e estudos acadêmicos (teses e dissertações), sendo recomendada a realização de pesquisas em universidades e/ ou destacando as regiões de interesse.

Nos locais com menor disponibilidade de informações técnicas, pode-se buscar um histórico cronológico de eventos através de imagens aéreas do Google Earth (Figura 3), as quais permitem identificar áreas com características que denotam a ocorrência de rupturas do terreno (presença de cicatrizes e alteração na condição da superfície), informações que podem ser complementadas por imagens do Google Streetview.

Tabela 5. Ferramentas para obtenção de inventário e registro de eventos e Análise.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
Livros, teses e dissertações (bibliotecas e sites das universidades)		Informações com registro de eventos e análise de dados	Físico ou documento de texto digital
GOOGLE	Google Earth e Google StreetView	Análise da ocorrência de eventos obtidos através de imagens aéreas	Imagens aéreas e viárias



Figura 3. Rupturas pretéritas (setas nas imagens esquerda), recurso cronológico (fonte: Google Earth).

2.3.2 Armazenamento e Análise dos Dados

Além da aquisição das informações, o armazenamento e aplicação destas em ferramentas adequadas (banco de dados e de geoprocessamento) permite interpretar e obter análises adicionais às já determinadas de forma direta, permitindo explorar as análises e compreensão dos aspectos determinantes para a ocorrência de movimentos de massa. Na sequência (Tabela 6) são apresentadas algumas ferramentas que permitem a inserção de informações, armazenamento e análise/ tratamento dos dados.

- Google Earth Pro permite cruzar as imagens e informações temporais já existentes com bases GIS;
- Integrated Land and Water Information System (ILWIS) e System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA GIS), são GIS de código aberto com foco em análise espacial e hidrogeologia (respectivamente);
- QGIS software GIS gratuito que permite a elaboração e manipulação dos mapas, possibilitando criar novos produtos. A partir do cruzamento de informações e pesos atribuídos aos diferentes parâmetros, é possível elaborar mapas de suscetibilidade a movimentos de massa, auxiliando assim na tomada de decisão quanto aos locais de maior interesse de intervenção. Suporta plugins como o SAGA, GRASS e D-Rain.

Tabela 6. Ferramentas para inserção, processamento e análise de dados.

Fonte	Ferramenta de Acesso	Produto	Formato
GOOGLE	Google Earth Pro	Dados geoespaciais, demográficos e imagens históricas	KML
ILWIS		Tratamento de dados geográficos	
SAGA GIS		Análise geocientífica automatizada	Vetoriais e
QGIS		Manipulação de mapas, cruzamento de dados, cálculo de áreas de influência	Rasters diversos

3 METODOLOGIA PROPOSTA – ETAPAS COMPLEMENTARES

As etapas subsequentes/ complementares à aquisição e armazenamento dos dados/ informações, objeto do presente trabalho, devem contemplar:

- Obtenção de informações complementares, obtidas através de mapeamento geológico local, investigações geológico geotécnicas, ensaios de laboratório, levantamentos topográficos etc.;
- Definição e aplicação de metodologias consagradas para determinação da suscetibilidade e vulnerabilidade dos riscos em taludes, com a elaboração de cartas orientativas para cada trecho;
- Indicação de medidas estruturais nos taludes em que são identificados maior risco/ suscetibilidade a movimentos de massa, como por exemplo: reconformação geométrica, recuperação de drenagens etc.;
- Definição de protocolos de atuação nas rodovias, através de procedimentos baseados em resultados de instrumentação local, monitoramento climatológico e definição de limiares pluviométricos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi apresentada a primeira parte acerca de uma proposta de metodologia/ procedimentos para a análise e gestão de riscos em taludes rodoviários, a qual tem como foco principal a obtenção e armazenamento de dados com o emprego de ferramentas gratuitas (softwares e sites públicos) e/ ou recursos de análise (digitais, materiais e humanos) acessíveis a praticamente todos os operadores de rodovias (entes públicos e privados) no Brasil.

Aspectos adicionais ao tema serão apresentados em trabalhos futuros, onde cada tema/ aspecto de interesse acerca da análise e gestão de riscos em taludes rodoviários serão percorridas com maior nível de detalhe, facilitando o entendimento da aplicação dos dados obtidos (objeto do presente trabalho).

Por fim, cabe salientar que as informações apresentadas no presente trabalho não pretendem, em qualquer hipótese, eliminar a necessidade de obtenção de informações complementares dos locais e, tampouco, substituir a atuação técnica de profissionais qualificados (engenheiros, geólogos etc.) por estas análises. O presente trabalho tem como intuito socializar a informação e permitir que, mesmo nos locais com recursos financeiros e técnicos mais escassos, seja possível, com o uso de ferramentas gratuitas e simplificadas, o início de análises técnicas e, quando necessário, o emprego de recursos de forma mais eficiente e adoção de medidas técnicas que permitam garantir maior segurança as estradas e rodovias distribuídas por todo o Brasil.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Sistemas do SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/sistemas>. Acesso em: 27 jun. 2025
- AYUGI, B.; Jiang, Z.; Iyakaremye, V.; Ngoma, H.; Babaousmail, H.; Onyutha, C.; Dike, V.N.; Mumo, R.; Ongoma, V. East African population exposure to precipitation extremes under 1.5 °C and 2.0 °C warming levels based on CMIP6 models. *Environ. Res. Lett.* **2022**, 17, 044051.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. GeoRisk: sistema de previsão de risco de deslizamentos de terra. Disponível em: <https://georisk.cemaden.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2025
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Mapa Interativo: Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais. Disponível em: <https://mapainterativo.cemaden.gov.br/>. Acesso em: 27 jun.. 2025
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. Boletins. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 20 jun. 2025
- GAO, Yuan; XIAO, Qiqi; FANG, Zhong. The Impact of Rainfall on Water, Energy, Industry and Economic Growth—Based on Empirical Data from 29 Provinces in China. *Sustainability*, Basel, v. 17, n. 1, p. 40, 2025. DOI: 10.3390/su17010040. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su17010040>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geologia. Banco de Dados e Informações Ambientais – BDIA. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@: informações sobre os municípios brasileiros. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Mapas Meteorológicos. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TerraBrasilis: plataforma de dados geográficos. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Geneva: IPCC, 20 jun. 2024.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- MCADOO, Brian G. et al. Roads and landslides in Nepal: how development affects environmental risk. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 18, n. 12, p. 3203–3210, 30 nov. 2018. Disponível em: <<https://nhess.copernicus.org/articles/18/3203/2018/nhess-18-3203-2018.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- OPENSTREETMAP. About OpenStreetMap. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/about>. Acesso em: 30 jun. 2025
- ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; CRESPO, N. M. Análise do evento extremo de precipitação ocorrido no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. *Journal Health NPEPS*, Cáceres: UNEMAT, v. 9, n. 1, 1 jun. 2024. Disponível em: <<https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/12603>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- SGB – Serviço Geológico do Brasil. GeoSGB: Banco de dados da geoinformação do SGB. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/home.html>. Acesso em: 25 jun. 2025.