

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FORENSES**

ANTÔNIO GILSON DE LIMA SOUSA

**GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE FORENSE: ESTUDO DE CASO
DE DESLIZAMENTO DE TERRA NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

**MARABÁ
2023**

ANTÔNIO GILSON DE LIMA SOUSA

**GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE FORENSE: ESTUDO DE CASO
DE DESLIZAMENTO DE TERRA NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Forenses, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do grau de mestre em Ciências Forenses.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Silva de Sá

MARABÁ
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

- S586g Sousa, Antônio Gilson de Lima
 Geotecnologias para análise forense: estudo de caso de
 deslizamento de terra na rodovia federal BR-230 / Antônio Gilson
 de Lima Sousa . — 2023
 69 f.: il.; color.; mapas.
- Orientador (a): José Alberto Silva de Sá.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Sul e
 Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de
 Geociências e Engenharias - IGE, Programa de Pós-Graduação
 em Ciências Forenses, 2023.
1. Geociências – Inovações tecnológicas. 2. Geociências –
 Sensoriamento remoto. 3. Deslizamentos (Geologia). 4.
 Rodovias. 5. Google Earth. 6. Prova pericial. I. Sá, José Alberto
 Silva de, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 550

ANTÔNIO GILSON DE LIMA SOUSA

**GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE FORENSE: ESTUDO DE CASO DE
DESLIZAMENTO DE TERRA NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Forenses da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do grau de mestre em Ciências Forenses.

Data de aprovação: Marabá (PA), 12 de agosto de 2023.

Banca examinadora:

JOSE ALBERTO SILVA Assinado de forma digital por JOSE
DE SA:21888779268 ALBERTO SILVA DE SA:21888779268
Dados: 2023.08.23 22:05:17 -03'00'

Prof. Dr. José Alberto Silva de Sá
Unifesspa – Orientador(a)

FERNANDA CARLA LIMA Assinado de forma digital por FERNANDA
FERREIRA:73051004391 CARLA LIMA FERREIRA:73051004391
Dados: 2023.08.24 15:54:45 -03'00'

Prof(a). Dr(a). Fernanda Carla Lima Ferreira
Unifesspa – Membro Interno

WALLDINEY PEDRA WALLDINEY PEDRA
GURGEL:51763656 GURGEL:51763656268
Eu estou aprovando este documento
Marabá - PA
2023.08.24 15:32:39-03'00'
12.0.0

Prof. Dr. Waldiney Pedra Gurgel
Polícia Científica do Pará – Membro Externo

Dedico este trabalho a minha família, amigos e todos que me incentivaram a realizar esse sonho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agrade a Deus que é o Centro de tudo. Sou grato a minha família que me ajudou e incentivou para que este curso fosse realizado. Agradeço aos meus professores, em especial ao meu orientador e que não permitiu que eu desanimasse em nenhum momento. Agradeço ainda aos meus amigos que me incentivaram desde o início até o momento.

“Evite desencorajar-se: mantenha ocupações e faça do otimismo a maneira de viver. Isso restaura a fé em si.”

(LUCILLE BALL)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a identificação das implicações da utilização de geotecnologias na análise forense de um caso de deslizamento de terra ocorrido na Rodovia Federal BR 230. Buscou-se analisar a aplicação de imagens de livre acesso disponíveis na plataforma Google Earth Pro e no recurso Google Street View que são de altíssimas resoluções, portanto servindo de importantes subsídios para análises forenses em casos de deslizamento de terra em rodovias. A pesquisa teve como delineamento metodológico o Estudo de Caso. A área de estudo analisada foi um trecho da rodovia BR-230, no perímetro urbano do município de Marabá-PA, onde houve um deslizamento de terra, o qual foi observado in loco e mediante interpretações de imagens de satélites fornecidas pelo Google Earth Pro e pelo Google Street View. No caso pesquisado verificou-se, no ato das análises, que os danos na margem do ponto da rodovia pesquisada estavam, a pelo menos, treze meses sem recuperação, ou seja, a técnica permite, também, a verificação do tempo de recuperação da rodovia (obras públicas). Concluiu-se que vários fatores contribuíram para que o fato permaneça até julho de 2023 e que desde julho de 2022 não houve obra de recuperação. A metodologia utilizada na investigação do deslizamento de terra pode ser adaptada e aplicada em outras situações semelhantes, não se limitando apenas a deslizamentos em rodovias. Essa abordagem pode ser valiosa para investigações forenses em outras áreas afetadas por deslizamentos.

Palavras-chave: Deslizamentos de terra; Rodovias; Google Earth Pro; Google Street View; Análises Forenses.

ABSTRACT

This work aimed to identify the implications of the use of geotechnologies in the forensic analysis of a landslide that occurred on the Federal Highway BR 230. It sought to analyze the application of free access images available on the Google Earth Pro platform and on the resource Google Street View which are of very high resolutions, therefore serving as important subsidies for forensic analysis in cases of landslides on highways. The research had as methodological design the Case Study. The study area analyzed was a stretch of the BR-230 highway, in the urban perimeter of the municipality of Marabá-PA, where there was a landslide, which was observed in loco and through interpretations of satellite images provided by Google Earth Pro and via Google Street View. In the case researched, it was verified, in the act of analysis, that the damages on the margin of the point of the highway researched were, at least, thirteen months without recovery, that is, the technique also allows the verification of the recovery time of the highway (public works). It was concluded that several factors contributed to the fact remaining until July 2023 and that since July 2022 there has been no recovery work. The methodology used in the investigation of landslides can be adapted and applied in other similar situations, not limited to landslides on highways. This approach could be valuable for forensic investigations in other areas affected by landslides.

Key words: Landslides; Highways; Google Earth Pro; Google Street View; Forensic Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Uso de geotecnologia para análise de movimentação de massa.....	23
Figura 2 - Delineamento da pesquisa	31
Figura 3 - Mapa de Localização	36
Figura 4 - Trecho da BR 230 com área deslizada	37
Figura 5 - Deslizamento translacional.....	37
Figura 6 - Indicação das ferramentas de navegação do Google Earth	38
Figura 7 - Vista do ponto de uma perspectiva.....	39
Figura 8 - Vista do ponto de outra perspectiva (ângulo).....	40
Figura 9 - Indicação da Ferramenta Imagens Históricas	41
Figura 10 - Abril/2023.....	41
Figura 11 - Julho/2022	41
Figura 12 - Julho/2021	41
Figura 13 - Julho/2020	41
Figura 14 - Julho/2019	42
Figura 15 - Julho/2018	42
Figura 16 - Julho/2017	42
Figura 17 - Junho/2016.....	42
Figura 18 - Maio/2014.....	42
Figura 19 - Junho/2013.....	42
Figura 20 - Junho/2012.....	42
Figura 21 - Maio/2011	42
Figura 22 - Agosto/2010.....	43
Figura 23 - Julho/2009	43
Figura 24 - Junho/2005.....	43
Figura 25 - Vista em 3D a área de estudo	44
Figura 26 - Tamanho da área do trecho da BR 230 diretamente afetada	46
Figura 27 - Perfil de Elevação do ponto de estudo.....	47
Figura 28 - Início do desvio da pista de rolamento	48
Figura 29 - Veículo trafegando na pista desviada	48
Figura 30 - Pista de rolamento desviada	48
Figura 31 - Finalização do desvio da pista de rolamento	48
Figura 32 - Visualização aproximada da pista	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Limitações da Pesquisa	19
1.4	Estrutura do Trabalho	19
2	GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE E MONITORAMENTO EM CASOS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	20
2.1	Geotecnologias para análise forense	20
2.2	Sensoriamento remoto no monitoramento de movimentações de solo	22
2.3	Veículo Automotor Não Tripulado - VANT	24
2.4	Radar, SAR e InSAR	25
2.5	Uso de imagens de satélite e identificação de movimentações de solo	26
2.6	Uso do Google Earth Pro e Google Street View para análise e monitoramento em casos de movimentação de solo	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	Caracterização e delineamento da pesquisa	30
3.2	Objeto da pesquisa	32
3.3	Protocolo para a condução do estudo de caso	32
3.3.1	Propósito do estudo de caso	32
3.3.2	Fontes de evidências	32
3.3.3	Procedimento do estudo de caso	33
4	ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO	35
4.1	Caracterização da área do estudo	35
4.2	Deslizamento de terra na área do estudo	36
4.3	Aplicação das ferramentas do Google Earth Pro e do Google Street View na análise do caso de deslizamento de terra no trecho da Rodovia Federal	38
4.3.1	As Ferramentas de navegação	38
4.3.2	A Ferramenta “Imagens Históricas”	40
4.3.3	Visualização 3D	44
4.3.4	Mapeamentos	45

4.3.5	Importação e exportação de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica)	46
4.3.6	Perfil de elevação do trecho da BR 230	47
4.3.7	Uso do Google Street View	48
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	51
5.1	Importância das geotecnologias para análise de deslizamentos de terra em rodovias	51
5.2	Uso do Google Earth Pro e Street View para realizar análises forenses de deslizamentos de terra em rodovias	54
6	CONCLUSÃO	58
6.1	Considerações quanto aos objetivos da pesquisa	58
6.2	Resposta à pergunta da pesquisa	59
6.3	Considerações sobre as causas do deslizamento ocorrido no trecho estudado	61
6.4	Recomendações para trabalhos futuros	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia humana e seus avanços têm sido um dos principais impulsionadores das mudanças sociais ao longo da história. Através da inovação tecnológica, os seres humanos foram capazes de ampliar seu controle sobre a natureza e transformar a forma como interagem entre si e com o mundo ao seu redor. Algumas das subáreas mais impactadas pela tecnologia incluem a economia, política, sociedade, cultura, ideologia e ética. A tecnologia da informação, em particular, desempenha um papel fundamental em todas essas subáreas, pois interconecta indivíduos, empresas, governos e instituições, tornando-se uma parte inseparável da vida cotidiana. À medida que a tecnologia continua evoluindo, é essencial considerar cuidadosamente suas implicações sociais e éticas para garantir que seu impacto seja benéfico para a humanidade como um todo.

O acesso permitido a determinadas informações possibilita às pessoas vantagens de ação antes inexistentes, nesse sentido esse progresso veloz e intenso da tecnologia traz benefícios e facilidades à vida cotidiana das pessoas e aos seus trabalhos, proporcionando melhoria em sua qualidade e produtividade.

Dentre as mais diversas tecnologias, tem-se as geotecnologias as quais referem-se ao conjunto de técnicas, ferramentas e métodos que utilizam informações geoespaciais para análise, mapeamento e tomada de decisões em diversas áreas. Essas tecnologias abrangem sistemas de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto, GPS (Sistema de Posicionamento Global), cartografia digital, entre outros. Ao integrar dados geográficos e informações em tempo real, as geotecnologias desempenham um papel fundamental em questões ambientais, planejamento urbano, gestão de recursos naturais, agricultura, monitoramento de desastres naturais e outras aplicações essenciais para o desenvolvimento sustentável e a compreensão das dinâmicas espaciais em nosso mundo contemporâneo. Neste sentido, as geotecnologias funcionam como um instrumento que ajude a pensar e compreender as questões contemporâneas sobre uma produção mais equitativa do espaço geográfico a partir das informações obtidas por essas ferramentas e que possibilitem a tomada de decisões (MARTINS; MATIAS, 2013).

As geotecnologias são ferramentas importantíssimas para a engenharia diagnóstica, pois permitem que várias feições (solo, água, vegetação, dentre outras) da superfície terrestre sejam diagnosticadas sobre as informações que se deseja obter. Segundo Weckmülle e Vicens (2021), as geotecnologias estão em constante evolução, bem como o setor de telecomunicações e informática, apesar de seus objetos de estudos serem os mesmos, as metodologias estão cada

vez mais sofisticadas. Por exemplo, as geotecnologias estão cada vez mais integrando a análise de curvas espectrais temporais em consonância com um novo paradigma em ascensão que prioriza o tempo (*time-first*), resultando em perspectivas inovadoras nos estudos de trajetórias evolutivas.

Nesse contexto dinâmico, tanto as geotecnologias quanto os estudos na paisagem se beneficiam de teorias e metodologias fundamentadas, que sintetizam correntes de pensamento em trabalhos de extrema relevância. O uso dessas ferramentas em iniciativas de pesquisa auxiliará na consolidação epistemológica das geotecnologias, contribuindo para avanços significativos nessas áreas de estudo, dentre eles a engenharia diagnóstica.

Para Oliveira (2009) a engenharia diagnóstica em edificações pode ser definida como a habilidade de implementar ações proativas, através de diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, com o objetivo de alcançar a qualidade total.

Uma geotecnologia muito importante é o Sensoriamento Remoto, em que Moraes (2002) define como um conjunto de práticas que possibilita a obtenção de informações sobre os elementos presentes na superfície da Terra sem a necessidade de contato físico direto com eles. Essas atividades abrangem a detecção, captura e análise (interpretação e extração de dados) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres, sendo esta energia também conhecida como radiação eletromagnética. Sensores remotos são responsáveis por registrar essa radiação, tornando possível o acesso a valiosos dados sobre o ambiente terrestre sem a presença física no local de interesse. Essa tecnologia desempenha um papel crucial em diversas aplicações, desde o monitoramento ambiental até a gestão de recursos naturais e a prevenção de desastres, assim os sensores remotos são ferramentas essenciais e imprescindíveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

Neste contexto, a utilização das técnicas do Sensoriamento Remoto na Engenharia Diagnóstica pode representar um importante avanço para a elucidação de eventos duvidosos, quanto às suas gêneses, sejam eles de origem pessoal (acidental ou intencional) ou de origem natural. Outra forma de utilização se relaciona à possibilidade de ações de monitoramento de obras de infraestrutura nova ou de recuperação.

O sensoriamento remoto é uma das geotecnologias que podem ser utilizadas para a resolução de questões sobre a movimentação de terra, onde essa movimentação pode acontecer em diversas ocasiões, como o desmoronamento de encostas, colapsos de represas ou barragens, arrasto de cabeceiras de pontes por força de águas correntes dos rios, deslizamentos de terra em rodovias, dentre outras.

A movimentação de terra é compreendida como uma categoria dos movimentos de massa em que o processo de vertente envolve o desprendimento e transporte de solo ou material rochoso morro abaixo (ECYCLE, 2021). Deslizamento de terra é um fenômeno geológico que ocorre quando o solo, rochas e material orgânico se movem ao longo de uma superfície inclinada, devido à ação da gravidade (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). Esse movimento pode ser lento e gradual ou ocorrer de forma rápida e catastrófica, dependendo das condições geológicas, do tipo de solo e da intensidade das chuvas ou outros fatores que possam afetar a estabilidade do terreno.

No sudeste paraense, a movimentação de terra ocorre principalmente no inverno amazônico, ou seja, no período em que a precipitação pluviométrica é intensa, nos meses de novembro a maio. Nesse período, os eventos podem acontecer em obras como cabeceiras de pontes, rompimentos de partes de rodovias, rompimentos de barragens, dentre outros.

No mapeamento de feições erosivas, o uso de imagens e dados de sensoriamento remoto, o Google Earth Pro apresenta várias vantagens em relação aos dados obtidos em campo, sendo uma das principais vantagens é a capacidade de realizar um levantamento rápido e econômico da área afetada, no entanto, é importante destacar que podem existir diferenças entre os valores obtidos em campo e no Google Earth, devido à precisão geométrica e resolução espacial da imagem, bem como à experiência e habilidades do intérprete na delimitação do caso estudado (BATISTA; VIEIRA; MARINHO, 2019).

Dessa forma, Batista, Vieira e Marinho, (2019) esclarecem que o Google Earth Pro com a ferramenta Google Street View, são ferramentas poderosas e disponibilizada gratuitamente na internet se torna uma importante aliada ao pesquisador, para a engenharia diagnóstica para analisar o histórico da área estudada ao longo de determinado período.

Diante o exposto, uma questão serviu de marco inicial: **Quais implicações o uso de geotecnologias pode gerar na análise de eventos do tipo deslizamento de terra em rodovias?**

A questão em tela serviu de norteamento para a definição do objetivo geral deste trabalho, que buscou avaliar a interface dos conhecimentos da engenharia diagnóstica com ferramentas de sensoriamento remoto: **O Google Earth Pro e o Google Stret View podem ser úteis na análise forense do tempo de resposta e efetividade das obras públicas de recuperação de rodovias atingidas por deslizamentos de terra?**

Desta forma, tem-se dois indagamentos que se configuram complementares e norteadores para o trabalho em tela. A seguir, expõe-se, os objetivos da pesquisa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar os impactos que as geotecnologias Google Earth Pro e Google Street View podem gerar para as análises forenses de casos de deslizamento de terra em rodovias, quanto ao tempo de resposta e a efetividade das obras públicas de recuperação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar geotecnologias associadas à análise de movimentação de terra;
- Descrever as ferramentas do Google Earth Pro e o Google Street View úteis para a análise forense em caso de deslizamento de terra em rodovias;
- Analisar o deslizamento de terra no trecho da Rodovia BR 230 com as ferramentas do Google Earth Pro e Google Street View;
- Demonstrar que a metodologia utilizada é uma ferramenta que o pesquisador forense pode utilizar para análise e monitoramento do tempo de resposta das obras públicas de recuperação de rodovias atingidas por deslizamentos de terra.

1.2 Justificativa

As rodovias e estradas permanentes são essenciais para o desenvolvimento do país, onde a malha de transportes atende a garantia do direito de ir e vir em, além de permitir o escoamento da produção em todo o território nacional. A manutenção dessa malha é outro grande fator para que esse direito, explicitamente expresso na Constituição Federal, continue sendo garantido pelo Estado Brasileiro.

Eventos como deslizamento de terra, nas margens das vias permanentes (rodovias, estradas vicinais), falta de manutenção, carreamento de parte das vias por águas torrenciais etc. podem deixar essas vias com tráfego parcialmente comprometido, causando prejuízos para o Estado, empresas de transporte e para as pessoas que trafegam nas vias, em tempo e, conseqüentemente em dinheiro.

Os deslizamentos de terra podem causar impactos significativos em rodovias. Esses impactos variam em gravidade, dependendo da extensão do deslizamento e das medidas de prevenção e mitigação implementadas. Alguns dos principais impactos incluem:

- Interrupção do tráfego: Deslizamentos de terra podem bloquear completamente ou parcialmente a rodovia, causando interrupções no tráfego e dificultando o fluxo de veículos.
- Danos à infraestrutura: Os deslizamentos podem danificar a estrutura da rodovia, incluindo pistas, pontes, taludes e barreiras de contenção, exigindo reparos e manutenção adicionais.
- Custos de reparo: Os custos associados à remoção dos escombros, reconstrução de estruturas danificadas e restauração da rodovia podem ser significativos.
- Riscos à segurança: Deslizamentos de terra podem representar perigos para os usuários da rodovia, bem como para as equipes de resgate e manutenção que trabalham na área.
- Acesso limitado a serviços e emergências: Quando uma rodovia é bloqueada devido a deslizamentos de terra, pode haver dificuldades no acesso a serviços essenciais e equipes de emergência podem ter problemas para chegar a áreas afetadas.
- Impactos econômicos: A interrupção do tráfego rodoviário pode afetar negócios locais, turismo e o transporte de mercadorias, resultando em perdas econômicas para a região afetada.
- Danos ambientais: Deslizamentos de terra podem causar danos ambientais, incluindo a destruição de habitats naturais e a poluição de rios e corpos d'água com sedimentos e materiais arrastados pelo deslizamento.

Para minimizar esses impactos, é essencial realizar um planejamento adequado e implementar medidas de prevenção, como a estabilização de encostas, drenagem eficiente, monitoramento geotécnico contínuo e o uso de tecnologias de georreferenciamento para identificar áreas de risco potencial. A manutenção regular da infraestrutura rodoviária também é crucial para reduzir o risco de deslizamentos e garantir a segurança dos usuários.

A plataforma Google Earth é uma poderosa ferramenta para análise e monitoramento de eventos como deslizamento de terra em rodovia federal. Sua capacidade de visualização e acesso a imagens de satélite e dados geoespaciais oferece uma visão abrangente e atualizada de áreas propensas a deslizamentos e auxilia na avaliação dos impactos em rodovias.

Aqui estão algumas maneiras pelas quais o Google Earth pode ser usado nesse contexto:

- **Identificação de áreas de risco:** O Google Earth permite identificar e mapear áreas propensas a deslizamentos de terra com base em características geológicas,

topografia e histórico de eventos passados. Essa identificação prévia de áreas de risco ajuda no planejamento e prevenção de acidentes.

- **Visualização de histórico de imagens:** A ferramenta possibilita a visualização de imagens de satélite de diferentes datas, permitindo comparar áreas ao longo do tempo e observar mudanças sutis que possam indicar riscos de deslizamentos.
- **Monitoramento em tempo real:** O Google Earth oferece atualizações regulares de imagens de satélite, possibilitando o monitoramento contínuo de áreas vulneráveis a deslizamentos de terra em rodovias.
- **Análise de vulnerabilidade:** Com base nas imagens de alta resolução fornecidas pelo Google Earth, é possível realizar análises detalhadas das condições geotécnicas das encostas e identificar sinais de instabilidade, como fissuras, movimentações de solo e mudanças na vegetação.
- **Planejamento de rotas alternativas:** Em caso de deslizamentos de terra, o Google Earth pode auxiliar na identificação de rotas alternativas para desviar o tráfego e minimizar os impactos na rodovia.
- **Comunicação e compartilhamento de informações:** A ferramenta permite a criação de mapas personalizados, facilitando a comunicação entre equipes de resposta a emergências e autoridades, compartilhando informações cruciais para o gerenciamento de crises.

É importante ressaltar que o Google Earth, embora seja uma ferramenta valiosa, não substitui estudos geotécnicos detalhados e a expertise de profissionais especializados em avaliação de riscos geológicos. A análise e o monitoramento de deslizamentos de terra em rodovias devem ser realizados de forma integrada, combinando informações de diversas fontes para uma tomada de decisão adequada e a implementação de medidas de prevenção e mitigação eficazes.

Nesse contexto, o Google Street View emerge também como uma solução inovadora e valiosa para os profissionais envolvidos nesse tipo de investigação, pois o avanço tecnológico tem proporcionado importantes ferramentas para a análise forense em diferentes áreas, e a investigação de deslizamentos de terra em rodovias não é exceção.

O Google Street View é uma plataforma que oferece acesso a imagens panorâmicas em 360 graus de diversas localidades, incluindo estradas e rodovias em todo o mundo. Essa extensa base de dados imagéticos, capturada por carros equipados com câmeras e sensores

especiais, possibilita uma visão detalhada e realista das condições de uma determinada via em períodos distintos ao longo do tempo.

A utilização do Google Street View na análise forense de deslizamentos de terra em rodovias justifica-se pelas seguintes razões:

Visualização realista da área afetada: As imagens panorâmicas fornecidas pelo Google Street View permitem que os investigadores tenham uma percepção imersiva e detalhada das condições da estrada no momento dos deslizamentos. Essa visualização realista auxilia na compreensão da topografia, do entorno e das características específicas da via, sendo essencial para uma análise mais precisa.

Acesso a múltiplas datas e histórico de imagens: O Google Street View disponibiliza imagens de diferentes datas, o que possibilita a comparação de condições pré e pós-deslizamentos. Essa capacidade de acessar o histórico de imagens é crucial para identificar mudanças no terreno e na infraestrutura, além de permitir a avaliação das intervenções realizadas após o evento.

Planejamento de expedições virtuais: Em casos em que o acesso físico à área afetada pode ser dificultado devido a questões de segurança ou logística, o Google Street View oferece a possibilidade de realizar expedições virtuais na região atingida, garantindo uma análise preliminar antes de deslocamentos in loco.

Colaboração remota de especialistas: As imagens do Google Street View podem ser compartilhadas entre equipes multidisciplinares de especialistas em diferentes locais geográficos. Isso permite que profissionais de diversas áreas contribuam com suas percepções e conhecimentos, enriquecendo o processo de investigação.

Documentação de evidências para processos legais: As imagens fornecidas pelo Google Street View têm valor probatório, podendo ser utilizadas como evidências em processos legais relacionados aos deslizamentos de terra em rodovias. A documentação detalhada do cenário após o evento pode ser essencial para fins judiciais ou de indenização.

Assim, os deslizamentos de terra nas margens das rodovias, a rodovia danificada e a recomposição delas, podem ser monitoradas por sensoriamento remoto com o uso de imagens de satélites, onde a resolução espacial e temporal das imagens usadas poderão indicar o local e o tempo de recomposição das obras públicas nessas vias, sendo o uso do Google Earth e do Google Street View importantíssimo para análise do estudo, desta forma, a metodologia pode ser usada por órgão públicos de combate à corrupção e fiscalização da aplicação dos recursos públicos nessas obras de recuperação.

1.3 Limitações da Pesquisa

Esta pesquisa apresenta limitações quanto à generalização dos resultados obtidos por se tratar de um Estudo de Caso. Nela, seus resultados serão válidos para o caso que se estuda, não sendo possível generalizar seus resultados obtidos. Entretanto, o conhecimento adquirido nesta pesquisa permite a formulação de hipóteses para o encaminhamento de pesquisas futuras que poderão gerar a generalização conceitual, por múltiplos casos (YIN, 2015).

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contendo uma apresentação geral, a justificativa, os objetivos geral e específicos que se pretende alcançar, apresenta os principais conceitos para o leitor entender o conteúdo da dissertação, as limitações da pesquisa e a forma que o trabalho está estruturado.

No capítulo 2 contém a fundamentação teórica a qual é composta por geotecnologias para análise forense, sensoriamento remoto no monitoramento de movimentações de solo, VANT - Veículo Automotor Não Tripulado, Radar, SAR e InSAR, uso de imagens de satélite e identificação de movimentações de solo, uso do Google Earth Pro e Google Street View para análise e monitoramento em casos de movimentação de solo.

No capítulo 3 tem-se a metodologia, onde estão contextualizados a caracterização e o delineamento da pesquisa, o objeto da pesquisa, o protocolo para a condução de estudo de caso, o propósito do estudo de caso, fontes de evidências e o procedimento do estudo de caso.

No capítulo 4 está descrita a caracterização da área do estudo, deslizamento de terra na área do estudo, aplicação das ferramentas do Google Earth Pro e do Google Street View na análise do caso de deslizamento de terra no trecho da Rodovia Federal.

No capítulo 5 está a discussão dos resultados, demonstrando a importância das geotecnologias para análise de deslizamentos de terra em rodovias e o uso do Google Earth Pro e Street View para realizar análises forenses de deslizamentos de terra em rodovias.

No capítulo 6 está descrita a conclusão do trabalho, impondo-se as considerações finais, a resposta à pergunta da pesquisa e as recomendações para propositura de trabalhos futuros.

2 GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE E MONITORAMENTO EM CASOS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA

As geotecnologias têm desempenhado um papel fundamental na análise e monitoramento de casos de movimentação de solo ao redor do mundo. Com o avanço tecnológico, ferramentas como o Google Earth Pro, Google Street View, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sensoriamento remoto por satélites e outras aplicações geoespaciais têm se tornado cada vez mais acessíveis e precisas.

Essas tecnologias têm sido de grande relevância para identificar, mapear e compreender fenômenos geológicos, como deslizamentos de terra, erosão costeira, subsidência e outros movimentos de solo, permitindo uma abordagem preventiva e proativa em relação aos riscos associados. Além disso, proporcionam uma visão abrangente das áreas afetadas, auxiliando na tomada de decisões para mitigar danos, planejar intervenções e melhorar a resiliência das comunidades frente a esses eventos.

Este capítulo explora a importância e o impacto das geotecnologias no estudo e monitoramento de casos de movimentação de terra, destacando como essas ferramentas inovadoras têm se tornado aliadas indispensáveis para uma gestão mais eficiente e sustentável do ambiente natural e urbano.

2.1 Geotecnologias para análise forense

As geotecnologias são as técnicas que permitem um aprimoramento no desenvolvimento e avaliação de políticas públicas e que são usadas para os mais diversos trabalhos suportados e processados pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Elas processam grande quantidade de informações e permitem a integração de dados econômicos, sociais, ambientais e técnicos num contexto geográfico e temporal (FERRAZ *et al.*, 2015).

Nesse contexto, as geotecnologias são muito bem definidas como conjuntos de técnicas e métodos científicos as quais são aplicados à análise, à exploração, ao estudo e à conservação dos recursos naturais, onde as diferentes escalas e a informação espacial são consideradas (localização geográfica), esse conjunto de técnicas é utilizado para estudar as paisagens de topografia, hidrografia, geologia e geomorfologia além das variáveis ambientais como a temperatura, pluviosidade e radiação solar; além de serem importantes para analisar e auxiliar na prevenção de desastres naturais (enchentes, terremotos e erupções vulcânicas), gerenciar e monitorar a atividade humana (infraestrutura, agropecuária e dados

socioeconômicos). Esse conjunto de técnicas é composto por hardware (satélites, câmeras, GPS, computadores) e software capaz de armazenar, manipular informações geográficas e processar imagens digitais (BRASIL, 2014). Um dos produtos, que as geotecnologias oferecem, é a detecção de mudanças, que é o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinadas feições, em um determinado espaço de tempo (FERRAZ *et al.*, 2015).

Uma das geotecnologias mais utilizadas e difundidas é o sensoriamento remoto, onde tem sido amplamente utilizado para avaliar a dinâmica espacial da superfície terrestre e, ao mesmo tempo, a eficácia do planejamento territorial (CARVALHO JÚNIOR; GOMES; GUIMARÃES, 2016). O Sensoriamento Remoto é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre, sendo eles: objetos, áreas, fenômenos, dentre outros (FERRAZ *et al.*, 2015).

Carvalho Júnior, Gomes e Guimarães (2016), descrevem que o sensoriamento remoto ainda é pouco estudado no quesito de fiscalização e monitoramento de obras públicas, uma vez que, os estudos mais comumente encontrados nessa área são das feições urbanas e de rodovias. No entanto, houve uma evolução nos processos tecnológicos, principalmente na área da informática, pois desta forma houve uma atualização cartográfica, bem como, a melhoria de produção de mapas, onde a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), permitiu um melhor tratamento digital de imagens e Sistemas de Informação Geográfica (ROSA, 2005).

O uso das imagens de satélite permite muitas ações que vão desde o monitoramento de áreas ou atividades de interesse, podendo destacar a agricultura, obras, empreendimentos, assentamentos, áreas de preservação, áreas indígenas, dentre outras (FERRAZ *et al.*, 2015) e o conhecimento da área mapeada por parte do analista é de extrema importância, onde a partir deste conhecimento prévio é possível fazer a interpretação visual das imagens de satélite a qual identifica as feições impressas nessas imagens e determina seu significado através de chaves de interpretação (MIRANDA; OLIVEIRA, 2018).

As modificações de uma área durante certo intervalo de tempo podem ser obtidas com um estudo de evolução temporal por meio do mapeamento das classes de uso e ocupação do solo, e para a caracterização quantitativa da estrutura de uma área a partir de seu mapa de uso e cobertura do solo, o sensoriamento remoto é de extrema importância, pois permite a manipulação de modelos e dados reais da área, o que possibilita dentre tantos usos, o monitoramento da regeneração natural (PIROVANI *et al.*, 2012)

Na atualidade, o sensoriamento remoto, como *Structure for Motion* (SfM) e *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) permite que a aquisição de informações seja realizada de forma precisa e

rápida (NAGENDRAN; ISMAIL; WEN, 2019). O método do SfM é baseado em recursos de correspondência de ajuste de pacote altamente redundantes em várias fotografias sobrepostas.

Apesar desta técnica facilitar a criação de modelos em 3D e mais rápido que as tecnologias usuais, ainda é obrigatório o uso de pontos de controle de solo para dimensionar e georreferenciar os modelos, sendo que a obtenção de tais pontos de controle, ainda é, financeiramente cara, pois necessita-se do uso de Estação Total ou GPS (*Global Positioning System*) que são ferramentas, cujo valor de mercado ainda é alto (FRANCIONI *et al.*, 2019).

2.2 Sensoriamento remoto no monitoramento de movimentações de solo

Os deslizamentos de terra, também são conhecidos como escorregamentos, as quais são processos de movimentos de massa, as quais envolvemos materiais que recobrem as superfícies terrestres de vertentes ou encostas, como solos, rochas e vegetação (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Um deslizamento é caracterizado pelo movimento descendente de rochas, solo ou ambos, ao longo de uma superfície inclinada, que pode ocorrer através de uma ruptura curva (escorregamento rotacional) ou uma ruptura plana (escorregamento translacional). Nesse fenômeno, a maior parte do material desloca-se como uma massa coesa ou semi coesa, apresentando pouca deformação interna (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

Na Tabela 1, abaixo, adaptada de Highland e Bobrowsky (2008) estão alguns tipos de deslizamentos de terra, sendo que existem outras formas e categorias, dependendo das características geológicas, das condições ambientais e das forças que atuam sobre o terreno em cada caso específico.

Tabela 1- Alguns tipos de deslizamentos de terra

Tipo de Deslizamento	Descrição
Deslizamento Rotacional	Nesse tipo de deslizamento, o solo e rochas se movem ao longo de uma superfície curva, como se fosse uma espécie de rotação.
Deslizamento Translacional	Ocorre quando o solo e rochas deslizam ao longo de uma superfície plana, semelhante a um escorregamento retilíneo.
Queda de Blocos	Consiste no desprendimento de blocos de rochas de uma encosta, que caem de maneira rápida e repentina.
Escorregamento de Talude	O solo se move ao longo de uma superfície inclinada, podendo ser causado por excesso de água ou carregamento adicional.
Deslizamento de Fluxo	Caracterizado por uma movimentação mais fluida e rápida do solo, comumente causado por chuvas intensas ou derretimento de neve.

Deslizamento de Lodo	Envolve a movimentação de lama e detritos finos, podendo ser especialmente perigoso devido à sua alta fluidez e velocidade.
Deslizamento de Rastejo	O material se move lentamente ao longo de uma superfície, resultando em deformações e inclinações suaves do terreno.

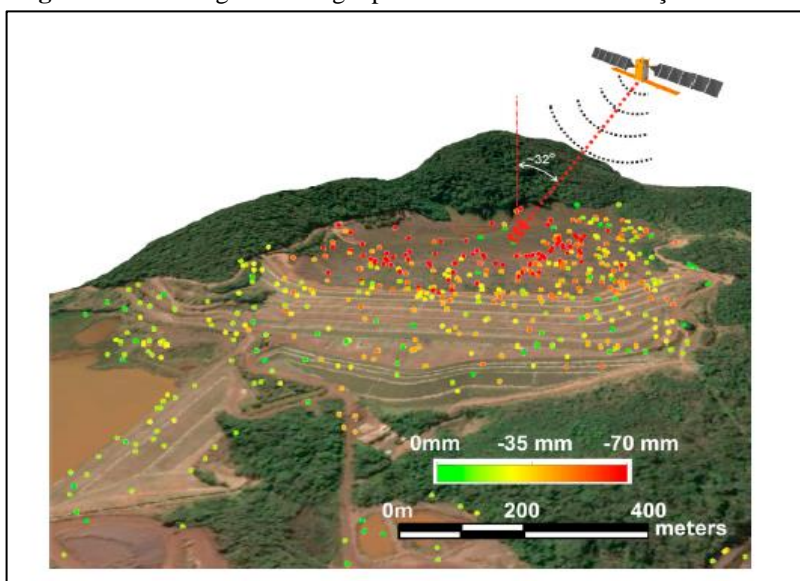
Fonte: Adaptado de Highland e Bobrowsky (2008).

Os deslizamentos elencados na Tabela 1 acima, são os tipos mais frequentes de deslizamentos de terra que podem ser mais frequentes nas regiões sul, sudeste e nordeste, acontecendo em maior proporção nas regiões montanhosas e serranas nas mais diversas partes do mundo. Movimento de massa é a ação direta do movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Gama *et al.* (2020), expõem que as análises de movimentação de terra podem ser realizadas com o uso de geotecnologias, pois com o uso dessa ferramenta, os resultados apresentam-se de forma coerentes e com dados satisfatórios para ilustrar a antes e o depois do colapso de estruturas como a de barragens de rejeitos.

O autor explica que o sensoriamento remoto permitiu demonstrar como um colapso aconteceu e como houve a movimentação de massa de uma barragem. A figura 1 ilustra o uso da ferramenta para demonstrar que a geotecnologia é uma importante aliada na elucidação de desastres dessa natureza.

Figura 1 - Uso de geotecnologia para análise de movimentação de massa



Fonte: Gama *et al.* (2020)

Na Figura 1, de Gama *et al.*, (2020), ilustra um satélite coletando informações de uma ruptura de barragem, demonstrando a importância da geotecnologia para análise forense.

2.3 Veículo Automotor Não Tripulado - VANT

Os VANT's, popularmente conhecido como drone, onde o termo “drone” é uma palavra inglesa que traduzida para o português significa zangão. Kochinski (2017) coloca que os drones foram projetados para uso militares, onde atuariam em ambientes insalubres e de perigo extremo aos seres humanos, atuando em reconhecimentos de áreas, buscas em locais contaminados, dentre outros. Santana (2019) enfatiza que os drones são ferramentas excelentes e importantíssimas para identificar alvos determinados e o produto oriundo processado com as geotecnologias se juntam com as benesses para as mais variadas aplicações.

Shibasaki (2019) mostra que vários estudos vêm sendo realizados com objetivos de verificar a aplicabilidade de drones nas mais diversas áreas, concluindo suas vantagens e limitações. O autor expressa também que muitas empresas relacionadas a engenharia civil já utilizam este tipo de equipamento para desenvolverem suas atividades ou até mesmo melhorarem seus desempenhos.

As obras de infraestruturas estão suscetíveis às consequências advindas de erros dos mais variados tais como: de projeto e execução, envelhecimento natural e degradação de seus materiais constituintes, desgaste mecânico e químico, alteração das condições de apoio, modificação das condições de uso, carregamentos excessivos, ocorrência de fenômenos naturais (sismos, ventos, tsunamis etc.), fogo (incêndios) e acidentes (explosões, choques etc.) (SHIBASAKI, 2019). Os erros dessas obras podem ser identificados pelo uso da ferramenta aeroespacial, uma vez que essa ferramenta adentra em locais onde o ser humano não possa adentrar devido a questões de segurança.

Medeiros (2017) esclarece que para qualquer obra de infraestrutura, especialmente naqueles de grandes dimensões – altura, principalmente – a coleta de dados com drones implica em grande eficiência ao trabalho pericial. Em se tratando de inspeção predial ou perícia, o uso de drones pode contribuir tanto para obter resultados mais rápidos quanto práticos, também servindo para não expor os operadores aos riscos de segurança, que normalmente utilizam as técnicas de alpinismo para inspeção de áreas de difícil acesso nas edificações (IBAPE-MG, 2019).

No que concerne à criminalística, a utilização de tecnologias aeroespaciais implica na melhoria da qualidade da prova pericial, uma vez que são obtidas imagens aéreas com resoluções superiores e com mais riqueza de detalhes que as dos satélites (COTOMÁCIO; LIMA, 2020).

2.4 Radar, SAR e InSAR

O sistema do *Radio Detection and Ranging* (Radar) foi desenvolvido e patenteado pelo Escocês Watson-Watt em 1935 para a detecção e a localização de aeronaves com o uso de pulsos de micro-ondas. Essa tecnologia foi utilizada para o imageamento do terreno, pois sob condições independentes da atmosfera e da luz do sol, ela se tornava mais atraente e tornou-se uma alternativa para os imageadores ópticos, desta forma, esse sensor (Radar) fornecia informações da geometria do terreno onde o uso para fins cartográficos e geológicos foram mais aplicados (PARADELA; MURA; GAMA, 2021). O Radar tem várias vantagens pois ele opera na faixa das micro-ondas, o comprimento de onda em que radar opera é da faixa de 1 cm e 1 m e o uso dessa tecnologia não tem a interferência a atmosfera (COUGO, 2019).

Os radares de abertura sintética (SAR) são sistemas ativos que geram sua própria energia eletromagnética na faixa das micro-ondas, onde sua energia é transmitida do sensor para o terreno, havendo processos de interação, o que resulta em seu retro espalhamento, desta forma, a imagem resultante é uma matriz complexa que grava informações da amplitude e fase do sinal que retorna à antena. Já a Interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR) é o processo pelo qual imagens de um mesmo local no terreno são registradas por antenas em diferentes posições ou em tempos distintos (BOHANE, 2015). A imagem interferométrica é gerada a partir de uma técnica a qual se utiliza um par de imagens SAR no formato complexo de amplitude e fase, sendo que a fase de cada pixel é formada pela diferença de fase entre os pixels correspondentes desse par de imagens, essa é a técnica de interferometria SAR ou *interferometric SAR* (InSAR) (PARADELA; MURA; GAMA, 2021).

Gaboardi e Lübeck (2016) colocam que a interferometria SAR se dá a partir de uma única passagem (*single pass interferometry*), quando as duas antenas estão instaladas na mesma plataforma, ou de duas passagens (*two pass interferometry*), quando uma única antena captura o sinal refletido pelo alvo em duas passagens distintas.

A tecnologia InSAR é uma importante ferramenta para a verificação e análise de movimentação de terra, os benefícios dessa tecnologia são: alta acurácia, ou seja, a precisão das medidas da movimentação do terreno (dadas em milímetros); facilidade de integração de dados,

isto é, os dados obtidos com o uso dessa tecnologia é facilmente integrado a outros sistemas; fonte de dados confiáveis, ou seja, os dados são obtidos pela tecnologia validada e usada por governos e grandes empresas, além do que, os dados obtidos não sofrem interferência atmosférica; e operacionalidade, ou seja, a operação dessa tecnologia é feita por técnicos que operam em sistemas disponíveis e gratuitos (BRANDÃO, 2012).

2.5 Uso de imagens de satélite e identificação de movimentações de solo

Um dos produtos, que as geotecnologias oferecem, é a detecção de mudanças, que é o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinadas feições, em um determinado espaço de tempo (FERRAZ *et al.*, 2015).

Rosa (2005) coloca que houve uma evolução nos processos tecnológicos, principalmente na área da informática, pois desta forma houve uma atualização cartográfica e a melhoria de produção de mapas, onde a utilização a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), permitiu um melhor tratamento digital de imagens e Sistemas de Informação Geográfica.

O uso das imagens de satélite permite muitas ações que vão desde o monitoramento de áreas ou atividades de interesse, podendo destacar a agricultura, obras, empreendimentos, assentamentos, áreas de preservação, áreas indígenas, dentre outras (FERRAZ *et al.*, 2015).

Miranda e Oliveira (2018) afirmam que o conhecimento da área mapeada por parte do analista é de extrema importância, onde a partir deste conhecimento prévio é possível fazer a interpretação visual das imagens de satélite a qual identifica as feições impressas nessas imagens e determina seu significado através de chaves de interpretação.

Pirovani *et al.* (2012) expõem que as modificações de uma área durante certo intervalo de tempo podem ser obtidas com um estudo de evolução temporal por meio do mapeamento das classes de uso e ocupação do solo, e que para a caracterização quantitativa da estrutura de uma área a partir de seu mapa de uso e cobertura do solo as geotecnologias são de extrema importância pois permite a manipulação de modelos e dados reais da área, permitindo dentre tantos usos o monitoramento da regeneração natural.

Carvalho Júnior, Gomes e Guimarães (2016) deixam claro que ainda há uma área grande a ser estudada no quesito fiscalização e monitoramento de obras públicas, por parte do sensoriamento remoto, uma vez que, os estudos mais comumente encontrados nessa área são das feições urbanas e de rodovias.

2.6 Uso do Google Earth Pro e Google Street View para análise e monitoramento em casos de movimentação de solo

Qi, Zhai e Dang (2016) comentam que o Google Earth é um programa que combina um globo virtual, mapas e informações geográficas. Inicialmente chamado de Earth Viewer 3D, foi desenvolvido pela Keyhole, Inc., uma empresa que recebeu financiamento da Agência Central de Inteligência (CIA) e foi posteriormente adquirida pelo Google em 2004. Esse software utiliza imagens de satélite, fotografias aéreas e dados de sistemas de informação geográfica (SIG) para criar um mapa tridimensional da Terra, oferecendo uma visualização detalhada do nosso planeta.

Para Luo *et al.* (2018) O Google Earth é uma impressionante demonstração de globos virtuais, oferecendo aos usuários uma alternativa mais simples e acessível em comparação com as ferramentas tradicionais de Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Essa abordagem possibilita uma visualização e comunicação mais amplas dos dados geoespaciais, ao mesmo tempo em que facilita a pesquisa em escalas locais e regionais. O Google Earth desperta interesse tanto em especialistas quanto no público em geral, pois integra três elementos cruciais para a pesquisa: objetos, espaço e tempo, com essa combinação, torna-se uma ferramenta valiosa para explorar e compreender de forma mais abrangente os aspectos espaciais e temporais relacionados à pesquisa.

Lopes (2009) esclarece que os mapas temáticos gerados no Google Earth devem abordar temas relacionados ao uso e ocupação do solo ou à divisão política. Essa plataforma permite a sobreposição de outros mapas temáticos em sua base de dados, o que torna a interpretação desses mapas mais acessível aos usuários. Essa funcionalidade possibilita a adição de informações adicionais aos mapas existentes, enriquecendo a análise geoespacial e proporcionando uma compreensão mais abrangente dos padrões de uso do solo, ocupação humana e divisões políticas em diferentes regiões. A habilidade do Google Earth de combinar camadas temáticas contribui significativamente para a visualização e interpretação dos dados geográficos pelos usuários, tornando-o uma ferramenta valiosa para análises espaciais.

É importante observar o que Suharini, Ariyadi e Kurniawan (2020) expressam que o Google Earth Pro pode analisar a imagem no tempo passado que foi perdida não se limitando apenas à análise das condições atuais do campo. Neste sentido Pereira, Guimarães e Oliveira (2018) complementam afirmando que através do uso das séries temporais de imagens disponíveis no Google Earth Pro, é possível analisar a variação anual e identificar características notáveis nas diferentes formas de uso e cobertura da terra, apesar da precisão geral das

ferramentas de medição do Google Earth, ainda persiste o desafio da georretificação de imagens de satélite, principalmente em regiões montanhosas (THOMAS *et al.*, 2008)

Ainda assim, as imagens fornecidas pelo Google Earth Pro são de grande relevância para a identificação, mapeamento e monitoramento de ecossistemas valiosos. Essa ferramenta torna-se especialmente importante quando o custo das imagens de alta resolução representa uma restrição para projetos de pesquisa (CALVA *et al.*, 2019).

Gomes, Araújo e Galvício (2021) indicam que outra utilidade da plataforma é a classificação de áreas com base nas imagens de alta resolução espacial disponíveis no banco de dados da plataforma Google Earth Pro, desta forma o pesquisador consegue identificar de forma intuitiva as classes predominantes na superfície da área de estudo, bem como a distribuição dessas classes no espaço, com um alto nível de detalhamento.

Já o Google Street View, conforme Anguelov *et al.* (2010), oferece suporte a um modo de navegação 3D exclusivo conhecido como "clique para ir", que permite aos usuários clicar com o mouse em um ponto da cena e ser transportado para a imagem mais próxima da localização 3D desse ponto. Os usuários também podem passar o cursor sobre a imagem e ver uma forma flutuante que encolhe proporcionalmente à profundidade e segue a geometria normal da superfície subjacente.

O principal objetivo do Google Street View é proporcionar aos usuários uma experiência imersiva ao explorar lugares remotos ou conhecidos, seja para fins turísticos, de planejamento de viagens, para verificar locais antes de visitá-los fisicamente ou simplesmente para satisfazer a curiosidade. O serviço permite que os usuários naveguem pelas ruas, observem paisagens, prédios e monumentos famosos, e até mesmo entrem em algumas lojas e estabelecimentos, tudo virtualmente.

O Google Street View é uma poderosa ferramenta de mapeamento e exploração que oferece aos usuários a oportunidade de viajar virtualmente pelo mundo, permitindo que eles descubram novos lugares e ampliem suas experiências de forma conveniente e imersiva, pode também ser uma ferramenta útil para evitar os problemas de auditorias físicas e pode contribuir para a análise de vários resultados, fornecendo informações confiáveis comparado com estudos de novas tecnologias que avaliaram transtorno de vizinhança (MARCO *et al.*, 2017)

Moraes e Melo (2017) esclarecem que a introdução de novos métodos de levantamento utilizando amostragem aleatória espacial, Sistema de Informação Geográfica (GIS) e ambientes virtuais disponíveis na Web, como o Google Street View, tem como objetivo acelerar e facilitar as auditorias em tempo real. A integração dos ambientes virtuais disponíveis na Web, como o Google Street View, proporciona aos auditores a capacidade de acessar imagens panorâmicas

em 360 graus de praticamente qualquer lugar do mundo. Isso permite uma inspeção detalhada e em tempo real dos locais selecionados pela amostragem aleatória espacial e pelo GIS, sem a necessidade de visitas físicas.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será abordado os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, onde foi utilizado um estudo de caso para demonstrar a importância das geotecnologias para análise e monitoramento de deslizamento de terra em rodovia, apresentando geotecnologias úteis ao pesquisador forense quanto ao tema com ênfase no Google Earth Pro e Google Street View, além de demonstrar as fases da pesquisa da pesquisa e os passos percorridos para chegar aos resultados esperados.

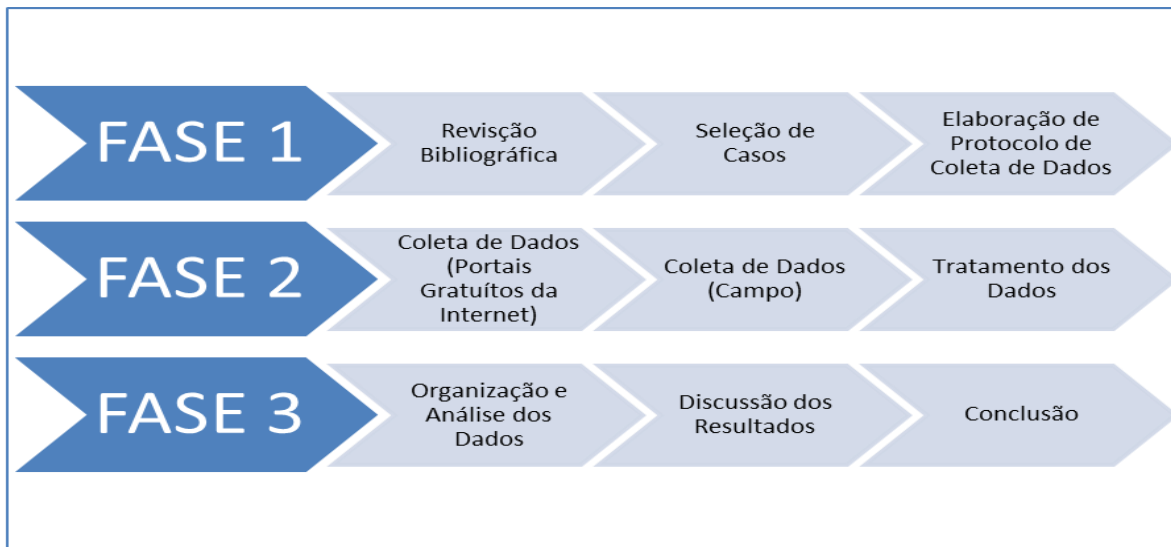
3.1 Caracterização e delineamento da pesquisa

Quanto aos procedimentos técnicos esta pesquisa pode ser definida como sendo do tipo **Estudo de Caso**. Estudo de Caso, que conforme Yin (2015) é a melhor metodologia para este caso específico. O estudo de caso é o delineamento científico mais apropriado para explicar com profundidade uma averiguação forense empírica que investiga um fenômeno real tornando-se uma ferramenta metodológica útil quando o pesquisador pretende de forma deliberada analisar as condições contextuais do fenômeno a ser investigado. Desta forma, o estudo de caso foi escolhido para se obter a resposta da problemática desta pesquisa.

Para Yin (2015) estudo de caso é uma investigação empírica que analisa um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Esse tipo de pesquisa é aplicado em situações tecnicamente únicas, nas quais existem mais variáveis de interesse do que pontos de dados disponíveis. como resultado, são utilizadas várias fontes de evidências, buscando convergência em um formato de triângulo para obter uma visão mais completa e precisa do fenômeno estudado. Além disso, o estudo de caso se beneficia do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para orientar a coleta e a análise de dados, garantindo rigor e coerência na interpretação dos resultados.

Quanto aos propósitos, a pesquisa tem um **caráter exploratório-descritivo**, pois busca explorar, descrever e interpretar os fatores que influenciaram o caso de deslizamento de terra que impactam o trecho da rodovia Federal BR 230, bem como desenvolver uma metodologia capaz de monitorar o tempo de resposta das obras públicas de recuperação.

Quanto à perspectiva de análise esta pesquisa é **sincrônica** pelo fato das observações se reportarem a fenômenos geomorfológicos do momento presente. O encaminhamento metodológico da pesquisa apresenta-se em três fases, representado na figura 2.

Figura 2 - Delineamento da pesquisa

Fonte: Autor (2023)

Fase I – Planejamento da pesquisa

A primeira etapa do trabalho compreendeu a definição e o planejamento da pesquisa. Iniciou com a revisão da literatura técnico-científica sobre o fenômeno em questão, enfocando o processo de deslizamentos de terra. Em seguida, buscou-se selecionar casos para a verificação empírica dos fatores que devem ser levados em consideração, pois esses casos além de causar prejuízos financeiros ainda causam danos no tráfego de veículos nas rodovias. Posteriormente, projetou-se o protocolo para a pesquisa contendo o propósito do estudo, a identificação das possíveis fontes de evidência, a base de dados e os procedimentos para a coleta de dados.

Fase II – Coleta de dados

Foi realizada uma visita técnica com deslocamento até o ponto de deslizamento de terra no trecho da rodovia, objeto de estudo, para rastreamento da coordenada geográfica e coleta de fotografias do local.

Fase III – Análise, discussão e conclusão

A organização e análise dos dados tratados foram realizadas mediante o método de análise do conteúdo. Em seguida, está sendo realizada a discussão dos resultados para a identificação dos fatores que devem ser levados em consideração para verificar o

monitoramento do tempo de resposta das obras públicas de recuperação de rodovias atingidas por deslizamentos de terra.

3.2 Objeto da pesquisa

O objeto da pesquisa é o caso de deslizamentos de terra que impacta o núcleo urbano da cidade de Marabá, a rodovia BR 230 (Rodovia Transamazônica) no ponto do trecho, com coordenadas geográficas de latitude 5°21'43.10"S e longitude de 49°04'36.68"O, que liga os bairros da Nova Marabá e o Cidade Jardim, além do tempo de resposta das obras públicas de recuperação, analisado pelas ferramentas Google Earth e Google Street View.

3.3 Protocolo para a condução do estudo de caso

A seguir, apresenta-se o protocolo que foi planejado para o alcance dos objetivos específicos da pesquisa.

3.3.1 Propósito do estudo de caso

Identificar os benefícios da utilização do Google Earth Pro e a ferramenta Street View de imagens satelitais nos casos de deslizamento de terra que impacta a Rodovia Federal BR 230 (Transamazônica), no perímetro urbano da cidade de Marabá-PA, no trecho entre os Bairros da Nova Marabá e Cidade Jardim.

3.3.2 Fontes de evidências

Para dar provimento às conclusões do estudo estão sendo usadas três fontes de evidências: a) referencial teórico pertinentes à deslizamento de terras; b) uso das imagens de altíssimas resoluções do Google Earth Pro e suas ferramentas, uso da ferramenta Google Street View; c) coleta de dados em campo no ponto que ocorreu a erosão e, conseqüentemente, o deslizamento de terra.

3.3.3 Procedimento do estudo de caso

No primeiro momento foi realizada uma visita técnica *in loco* para identificar a área, fazer fotografias e rastrear as coordenadas geográficas do ponto do deslizamento de terra, no trecho da BR 230. Para fazer as fotografias utilizou-se a máquina fotográfica do Celular de marca Samsung, modelo A13, resolução de 50 Mega Pixels. Para o rastreo das coordenadas foi utilizado um GPS (*Global Position System*) Portátil da marca Garmin, modelo GPSMAP 65.

Com as coordenadas geográficas rastreadas de latitude 5°21'43.10"S e longitude de 49°04'36.68"O foi possível elaborar o mapa de localização. Para tanto, foi feito o *download* do *software* Google Earth Pro disponível gratuitamente na internet, e instalado no computador de trabalho. As coordenadas foram inseridas no Google Earth Pro, permitindo a localização exata da área de estudo e, a partir das ferramentas de mapeamento, o mapa foi elaborado, caracterizando e delimitando o trecho da área de estudo.

Realizou-se a aplicação das ferramentas do Google Earth Pro e do Google Street View na análise do caso de deslizamento de terra no trecho da Rodovia Federal, as quais foram:

As Ferramentas de navegação: Foram as ferramentas utilizadas para poder explorar e navegar de virtual de forma interativa e informativa. As que foram utilizadas são:

- **Zoom:** Permite ampliar e reduzir a visualização do mapa. É possível usar o scroll do mouse, os botões de zoom no canto direito da tela ou o controle deslizante de zoom no canto inferior direito.
- **Pan:** Permite mover a visualização do mapa para a esquerda, direita, para cima ou para baixo. Você pode arrastar o mapa com o mouse ou usar as setas de navegação no canto superior direito.
- **Rotação:** Permite girar a visualização em 3D para obter diferentes perspectivas. Use o mouse para clicar e arrastar a direção da rotação.
- **Bússola:** Mostra a direção norte no mapa, ajudando a manter a orientação durante a navegação.

A Ferramenta “Imagens Históricas”: permite aos usuários visualizar como um local específico mudou ao longo do tempo.

Visualização 3D: coma ferramenta foi possível visualizar paisagens do trecho em três dimensões, proporcionando maior entendimento do local.

Mapeamentos: Identificada a área no Google Earth Pro foi elaborado o mapa de localização, indicando com alfinetes e polígonos, detalhes nas imagens ilustradas nas Figuras identificadas neste trabalho.

Importação e exportação de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica): Essa ferramenta permitiu inserir a coordenada geográfica rastreada no ponto de deslizamento.

Perfil de elevação: Foi inserida uma linha perpendicular a pista, em seguida foi solicitado que a plataforma gerasse o perfil de elevação, criando o gráfico apresentado nos resultados. Importante destacar que as informações de elevação fornecidas pelo Google Earth podem não ser precisas em todos os locais, e os perfis de elevação criados por meio dessa ferramenta podem ser utilizados apenas para fins de referência geral. Para análises mais precisas e detalhadas de elevação, é recomendado utilizar fontes de dados especializadas em topografia e cartografia.

Uso do Google Street View: para acessar o Google Street View a partir do Google Earth Pro foram realizados os seguintes passos:

- Navegou-se até o local desejado utilizando as ferramentas de busca, navegação e zoom.
- Uma vez posicionado no local, clicou-se no ícone "Street View" na barra de ferramentas do Google Earth Pro. Esse ícone é representado por uma figura humana em formato de silhueta.
- Ao clicar no ícone do Street View, foi direcionado para a visualização panorâmica de 360 graus no nível do solo do local escolhido.
- Com o mouse ou os controles de navegação disponíveis na visualização do Street View explorou o local em diferentes direções, permitindo capturar as imagens.

Importante destacar que o uso de internet de boa qualidade é essencial para o desenvolvimento do trabalho, pois sem essa ferramenta o Google Earth e o Google Street View não ficam disponíveis para uso das suas ferramentas no modo *off line*.

4 ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo aborda a análise de estudo de caso de deslizamento de terra em rodovias, aliada às ferramentas Google Earth Pro e Google Street View. Essa análise representa uma abordagem inovadora e poderosa para investigar de forma abrangente e detalhada os desafios relacionados a esse fenômeno. O uso combinado dessas ferramentas geoespaciais oferece uma visão única e holística das áreas afetadas, permitindo uma exploração minuciosa dos fatores envolvidos e dos impactos sociais e ambientais decorrentes dos deslizamentos.

O Google Earth Pro proporciona uma ampla gama de recursos de mapeamento e visualização em três dimensões, permitindo que os pesquisadores examinem a topografia, a vegetação, a infraestrutura e outros elementos-chave relacionados à ocorrência do deslizamento de terra. Complementando essa análise, o Google Street View permite que os pesquisadores obtenham uma perspectiva detalhada e de nível do solo das áreas atingidas pelos deslizamentos.

A utilização conjunta do Google Earth Pro e do Google Street View capacita os pesquisadores a identificarem, analisarem e interpretarem padrões geográficos, impactos socioeconômicos e características geomorfológicas relacionadas ao deslizamento de terra.

4.1 Caracterização da área do estudo

O caso analisado do deslizamento de terra encontra-se dentro do perímetro urbano do Município de Marabá, no sudeste do Pará, localizado na BR 230 (Rodovia Transamazônica) a 180m (cento e oitenta metros) da rotatória do km 6 do Bairro Nova Marabá, conforme o mapa de localização destacado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Mapa de Localização



Fonte: Google Earth Pro (2023)

O ponto do deslizamento de terra na Rodovia Transamazônica (BR 230) está localizado nas coordenadas UTM com latitude de 713144,70 m e longitude de 9406940,90 m ou nas coordenadas geográficas de latitude $5^{\circ}21'43.10''\text{S}$ e longitude de $49^{\circ}04'36.68''\text{O}$, do DATUM WGS84.

4.2 Deslizamento de terra na área do estudo

Na área de estudo houve uma erosão no trecho da Rodovia Federal BR 230 que provocou o deslizamento de terra conforme ilustra a Figura 4.

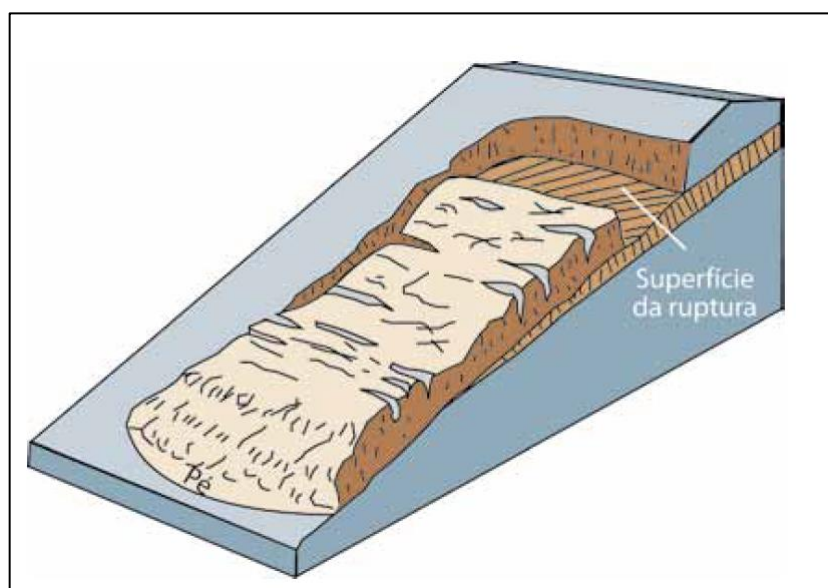
Figura 4 - Trecho da BR 230 com área deslizada



Fonte: Autor (2023)

Esse tipo de deslizamento pode ser caracterizado como um deslizamento translacional que é um tipo de movimento de massa que ocorre em encostas ou terrenos inclinados. Quando as forças que atuam sobre esse material, como chuvas intensas, terremotos ou outras perturbações, excedem a capacidade do solo de sustentar-se, pode ocorrer um deslizamento translacional. A Figura 5, abaixo, ilustra esse tipo de movimentação do solo que mais representa o deslizamento estudado.

Figura 5 - Deslizamento translacional



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008, p. 17).

Conforme a Figura 5 acima, durante um deslizamento translacional, a massa de solo ou rocha geralmente mantém sua forma enquanto desliza, movendo-se como uma unidade, ao contrário de outros tipos de deslizamentos, como deslizamentos rotacionais, onde o material gira em torno de um ponto.

4.3 Aplicação das ferramentas do Google Earth Pro e do Google Street View na análise do caso de deslizamento de terra no trecho da Rodovia Federal

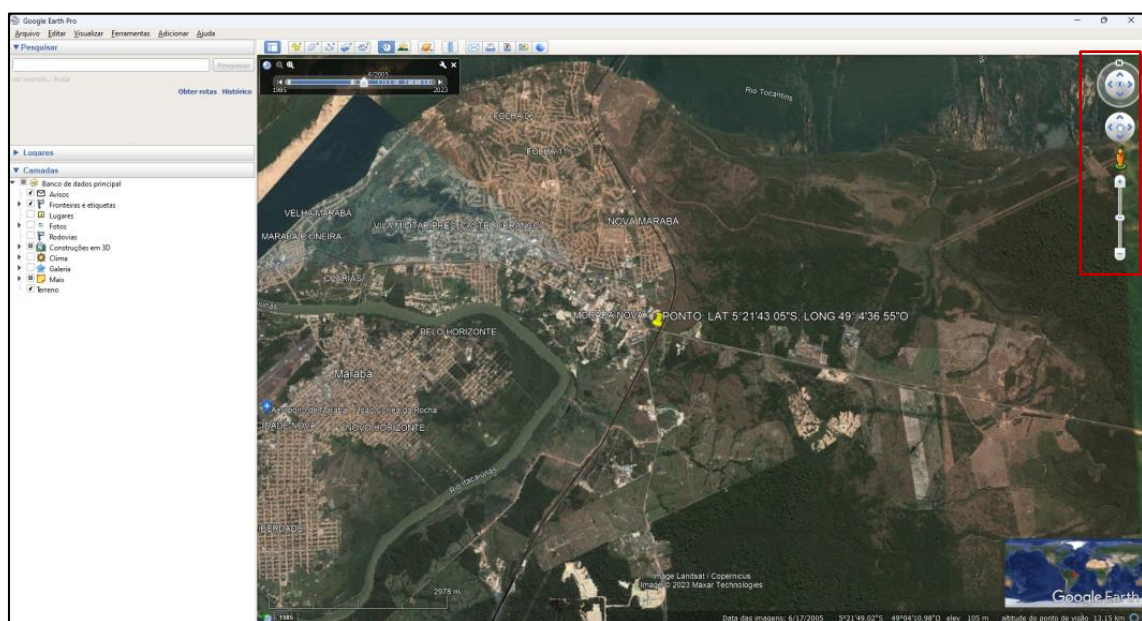
Para a análise do caso de deslizamento de terra no trecho da Rodovia Federal, foram usadas as ferramentas do Google Earth Pro e do Google Street View, destacadas a diante.

4.3.1 As Ferramentas de navegação

O “Norte” no Google Earth refere-se à direção geográfica do polo norte, que é o ponto mais ao norte na superfície da Terra. O Google Earth usa um sistema de coordenadas geográficas baseado em latitude e longitude, e o Norte é uma direção crucial nesse contexto. Quando o Google Earth é aberto, o mapa é orientado de acordo com o norte geográfico, com o topo da tela apontando para o polo norte. Isso significa que, quando se olha para o mapa, a parte superior da imagem representa o norte e a parte inferior representa o sul.

Na Figura 6, a seguir, as ferramentas estão destacadas pelo polígono vermelho:

Figura 6 - Indicação das ferramentas de navegação do Google Earth



Fonte: Google Earth (2023)

Além disso, o Google Earth permite que gire a visualização manualmente. Pode-se usar o recurso de "arrastar" para mover a visualização e alterar a direção para a qual o norte aponta. Isso é útil para explorar diferentes áreas e obter uma perspectiva diferente das paisagens. Para ajustar a orientação do mapa no Google Earth, usa-se o controle de bússola na parte superior direita da janela ou usar gestos de toque, se estiver usando a versão móvel.

Usando essa ferramenta foi possível visualizar o ponto de deslizamento de terra no trecho da Rodovia BR 230, conforme as Figuras 6 e 7 abaixo.

Figura 7 - Vista do ponto de uma perspectiva



Fonte: Google Earth (2023)

A Figura 7 ilustra a área que ocorreu a erosão e consequentemente o deslizamento de terra, indicada pela seta de cor laranja dentro do polígono circular de cor vermelha.

Na Figura 8 abaixo, é ilustrada a mesma imagem, da mesma data, com vistas de outra perspectiva.

Figura 8 - Vista do ponto de outra perspectiva (ângulo)



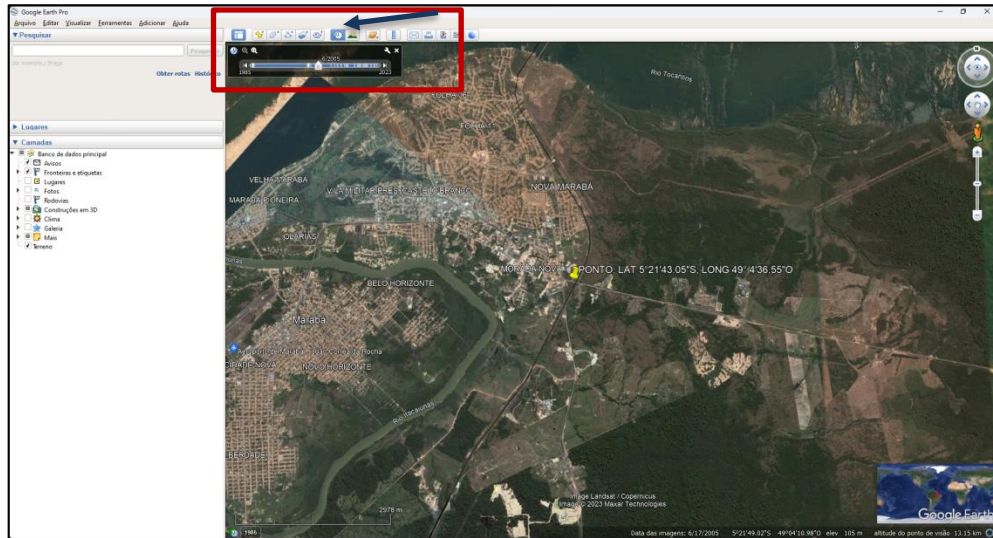
Fonte: Google Earth (2023)

4.3.2 A Ferramenta “Imagens Históricas”

Outra ferramenta do Google Earth muito importante para a análise do estudo de caso é “Imagens Históricas” que ilustra a série temporal do ponto estudado. O uso de séries temporais de imagens do Google Earth Pro permite acompanhar as mudanças ao longo do tempo nas áreas de solo exposto e classificá-las de acordo com as atividades. Essas informações são valiosas para a gestão, planejamento do uso da terra e monitoramento de mudanças ambientais (PEREIRA; GUIMARÃES; OLIVEIRA, 2018).

Essa ferramenta está destacada pelo polígono vermelho e indicada pela seta azul, que se direciona para um relógio, conforme a Figura 9 abaixo, que representa a tela do Google Earth.

Figura 9 - Indicação da Ferramenta Imagens Históricas



Fonte: Google Earth (2023)

Com o uso da ferramenta “Imagens Históricas” foram obtidas as imagens das Figuras 8 a 22, destacadas a seguir.

Figura 10 - Abril/2023



Figura 11 - Julho/2022



Figura 12 - Julho/2021



Figura 13 - Julho/2020



Figura 14 - Julho/2019



Figura 15 - Julho/2018



Figura 16 - Julho/2017



Figura 17 - Junho/2016



Figura 18 - Maio/2014



Figura 19 - Junho/2013



Figura 20 - Junho/2012



Figura 21 - Maio/2011



Figura 22 - Agosto/2010**Figura 23 - Julho/2009****Figura 24 - Junho/2005**

Fonte: Google Earth (2023)

Em todas as Figuras, da 10 a 24, a área do deslizamento foi circundada pelo polígono amarelo e indicada pela seta laranja, tendo um ponto de referência indicado pelo marcador amarelo.

Nas imagens das Figuras 10 a 24 são referentes aos anos de 2023 ao 2005. Importante destacar para os anos de 2015, 2008, 2007 e 2006 o Google Earth não possui as imagens do trecho da área de estudo da BR 230, sendo uma limitação da plataforma.

Nos anos de 2023, 2022 e 2009 correspondentes às imagens das Figuras 10, 11 e 23 ilustram claramente que houve erosão e conseqüentemente o deslizamento de terra do talude do trecho da rodovia BR 230, indicado pela seta laranja.

As imagens das figuras correspondentes dos anos de 2020, 2019, 2018, 2016, 2014, 2013, 2012, 2011 e 2010 no trecho da BR 230, ilustram que não há sinais de claros de erosão que possam ser identificados pelas imagens do Google Earth, sendo neste período, o trecho da rodovia, totalmente trafegável.

As imagens das Figuras 12 e 16, correspondentes aos anos de 2021 e 2017 apresentam sinais de afundamento do asfalto no trecho da rodovia BR 230 estudada, indicadas pela seta azul.

Na imagem da Figura 24, correspondente ao ano de 2005, existem fissuras no talude, indicadas pelas setas vermelhas. As fissuras podem indicar um possível início de erosão que poderá vir a ocorrer um deslizamento de terra a posteriori.

4.3.3 Visualização 3D

A partir de 2006, o Google Earth começou a oferecer aos usuários recursos que permitem explorar e observar a superfície terrestre em 3D, usando diversas ferramentas de navegação para mudar a escala e o ângulo de visualização (incluindo perspectivas verticais e oblíquas). Essa melhoria na capacidade de visualização foi possível graças à incorporação de um Modelo Digital de Elevação (MDE) baseado em dados coletados pelo satélite SRTM da NASA. Com essa nova tecnologia, os usuários podem agora observar elementos e características do relevo em três dimensões, proporcionando uma experiência mais detalhada e imersiva (LIMA, 2012).

Com a utilização do MDE derivado da missão SRTM, os usuários do Google Earth podem ver montanhas, vales, planícies e outros elementos geográficos em 3D, possibilitando uma experiência mais imersiva e realista. Além disso, as ferramentas de navegação permitem que os usuários explorem diferentes áreas do mundo em diferentes escalas e ângulos, oferecendo uma perspectiva única e detalhada da superfície terrestre.

Com essa ferramenta é possível visualizar a área com uma vista aérea como mostra a Figura 25 a seguir.

Figura 25 - Vista em 3D a área de estudo



Fonte: Google Earth (2023)

Na Figura 25, percebe-se a visualização da área de estudo em três dimensões, ilustrando um panorama que retrata a realidade naquele momento. Também é possível visualizar um veículo (indicado pela seta amarela) trafegando no trecho da BR 230, devido a essa ferramenta ainda é possível comentar que o carro indicado é um utilitário do tipo caminhonete.

4.3.4 Mapeamentos

O Google Earth oferece recursos que permitem aos usuários editar vetores em formatos como pontos, linhas e polígonos. Essas ferramentas possibilitam o mapeamento de características geográficas específicas e a representação cartográfica de elementos identificados a partir das imagens de satélite disponíveis na plataforma (LIMA, 2012).

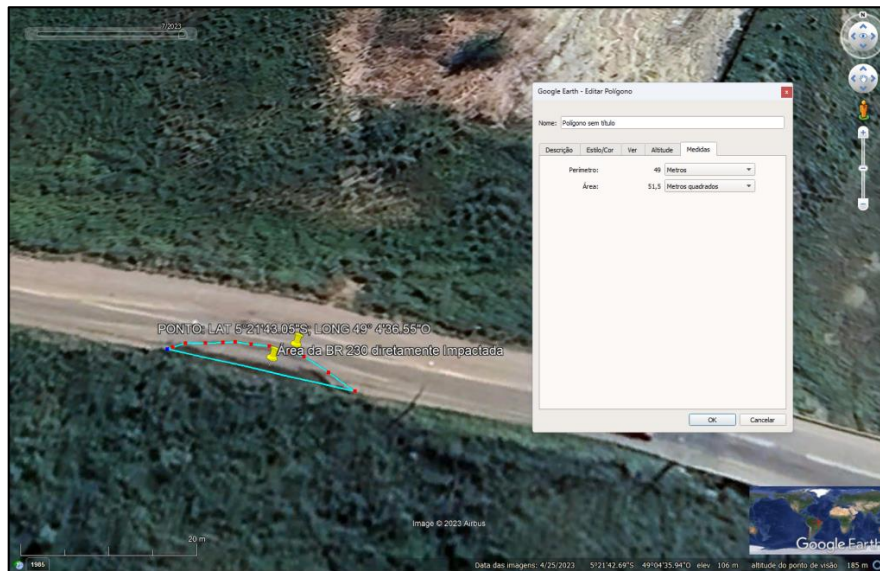
As funcionalidades de edição de vetores permitem aos usuários criar, modificar e personalizar pontos, linhas ou áreas delimitadas (polígonos) diretamente no ambiente do Google Earth. Com essas ferramentas, os usuários podem adicionar informações geográficas específicas ao mapa, como locais de interesse, caminhos, limites territoriais, áreas de cobertura, entre outros.

Além disso, a capacidade de edição de vetores no Google Earth também permite que os usuários marquem e compartilhem informações geográficas relevantes com outras pessoas, o que é útil em diversos contextos, como trabalhos de pesquisa, planejamento de viagens, projetos de mapeamento comunitário e muito mais.

Essas ferramentas de edição de vetores são uma adição valiosa ao Google Earth, tornando a plataforma mais versátil e permitindo que os usuários explorem e interajam com dados geográficos de maneira mais detalhada e personalizada.

Para os cálculos de medidas de área e perímetro, Nós e Almeida (2023) corroboram que o Google Earth pode ser empregado até em aulas de matemática da Educação Básica para comprovar o cálculo de grandes áreas sobre a superfície terrestre, ilustrando o poder dessa ferramenta.

Figura 26 - Tamanho da área do trecho da BR 230 diretamente afetada



Fonte: Google Earth (2023)

Com as ferramentas do mapeamento foi possível delimitar a área diretamente afetada do trecho da BR 230, onde essas ferramentas permitiram mensurar o tamanho de 51,5 m² para área e 49 m de perímetro.

4.3.5 Importação e exportação de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica)

No momento atual, há uma ampla variedade de softwares de geoprocessamento disponíveis, incluindo opções gratuitas e comerciais. Esses programas lidam com informações espaciais georreferenciadas, que podem estar no formato vetorial e/ou rasterizado. Os dados vetoriais são representações gráficas compostas por pontos, linhas e polígonos, os quais servem para identificar e delinear objetos no mapa. Já os dados rasterizados são estruturados em forma de uma grade regular, e podem representar informações visuais como imagens, tais como fotografias aéreas, ou informações quantitativas contínuas, como modelos de elevação, além de dados temáticos, como informações sobre o uso e a cobertura da terra. Conseqüentemente, os dados gerados nas diferentes plataformas SIG podem ser exportados para visualizações no Google Earth (GE) de duas maneiras. Na versão profissional (Google Earth Pro), é possível importar diretamente uma gama de formatos de dados SIG. Porém, na versão gratuita, é necessário fazer a conversão dos arquivos para o formato KML (extensão utilizada pelo Google Earth) utilizando outras ferramentas e programas antes de visualizá-los no GE (LIMA, 2012).

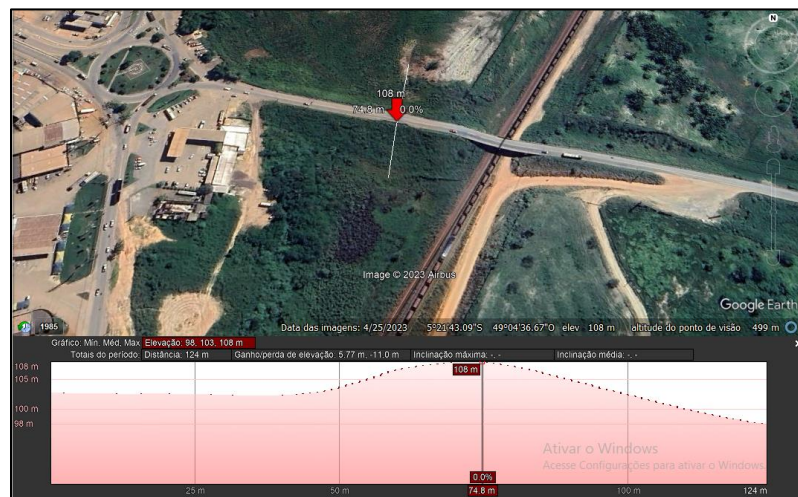
A integração do Google com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pode ser feita através de softwares comerciais, como ArcGIS, Global Mapper, Erdas e MapInfo, ou por meio de softwares livres. Atualmente, os softwares livres têm avançado consideravelmente, impulsionados pela criação da OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*) e pela implementação de novas funcionalidades em formato de plug-ins, o que proporciona aos usuários acesso a diversas ferramentas que antes eram exclusivas dos programas comerciais. Além disso, eles oferecem vantagens como a possibilidade de personalização de módulos conforme a necessidade do usuário e a robustez dos programas, muitas vezes superando as opções comerciais. Softwares livres populares, como Quantum GIS, MapWindow, gvSIG e GRASS, são capazes de extrair informações topográficas de grandes áreas, como estados brasileiros, de forma rápida e eficiente, superando a performance da maioria dos softwares comerciais. Eles permitem analisar detalhadamente dados como declividade, curvas de nível, exposição solar, rugosidade do terreno e delinear bacias hidrográficas com alta precisão (BRASIL, 2012).

4.3.6 Perfil de elevação do trecho da BR 230

O perfil de elevação é outra ferramenta importantíssima que o Google Earth possui, pois permite ao pesquisador forense visualizar a altitude do ponto em relação ao nível do mar, e ainda em relação a elevação de pontos próximos, de aterros e de vales.

A Figura 27 ilustra o perfil de elevação do local onde houve deslizamento de terra.

Figura 27 - Perfil de Elevação do ponto de estudo



Fonte: Google Earth (2023)

O perfil de elevação das altitudes em relação ao nível do mar ao longo da linha selecionada, permitiu que fossem vistos os pontos de subida e descida perpendicular a pista de rolamento do trecho estudado, bem como a altitude máxima e mínima ao longo do percurso.

O gráfico da Figura 27, foi gerado a partir da inserção de uma linha de um percurso de 124 m, perpendicular a pista da BR 230. O ponto mais alto, indicado pela seta vermelha na Imagem da figura indica uma altura de 108 m em relação ao nível do mar. Mostra também que de ambos os lados da pista, direito e esquerdo, estão com 98 m e 105 m respectivamente. Tais medidas indicam que a pista de rolamento do trecho foi construída com aterro compactado, em um declive do terreno, onde do lado mais baixo (direito) até o ápice da pista possui 10 m de altura e do lado esquerdo até o ápice da pista possui 3 m de altura.

4.3.7 Uso do Google Street View

As imagens do Google Street View são capturadas por veículos especiais equipados com câmeras 360 graus, que percorrem as ruas das cidades ao redor do mundo.

Utilizando a ferramenta, foi possível capturar as imagens das Figuras 28 a 31 respectivamente, ilustradas abaixo.

Figura 28 - Início do desvio da pista de rolamento



Figura 29 - Veículo trafegando na pista desviada



Figura 30 - Pista de rolamento desviada



Figura 31 - Finalização do desvio da pista de rolamento



Fonte: Google Street View (2023)

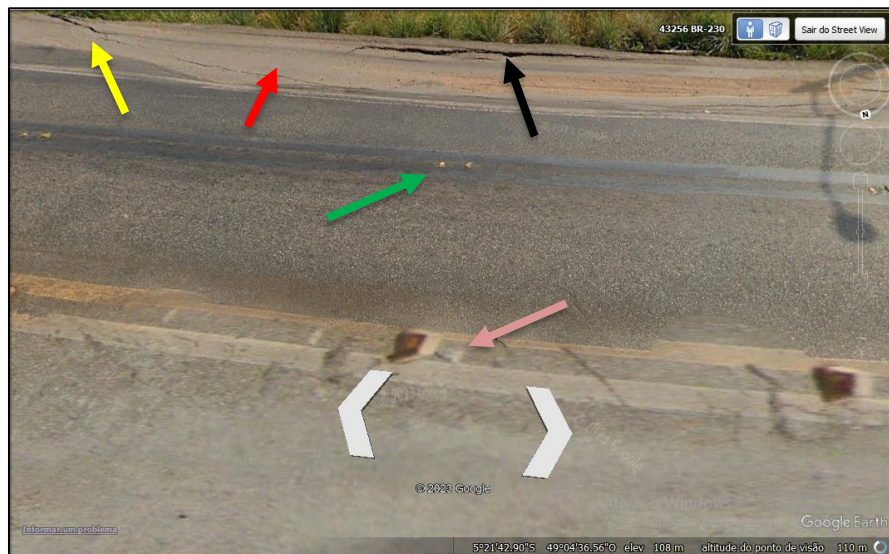
Nas imagens das Figuras 28 a 30, temos um percurso percorrido pela Google Street View, desde o início do desvio da pista de rolamento até o final desse desvio.

A imagem da Figura 28 que ilustra o início do percurso, a seta de cor preta indica o início do desvio da linha amarela que divide as duas pistas de rolamento para que haja um desvio do trecho erodido da BR 230. Na Figura 29, tem-se os veículos trafegando nas pistas fora do trajeto original, ou seja, estão trafegando nas pistas desviadas e a seta preta, ilustrada também na Figura 30, indica onde era a divisa original das pistas.

Percorrendo o trecho com a ferramenta Street View, na imagem da Figura 31, tem-se a finalização do desvio do trecho, a qual é indicada pela seta preta. O percurso percorrido pela ferramenta foi de 52 m.

Utilizando o zoom Google Street View, foi possível aproximar mais da pista e visualizar mais alguns detalhes do local, que são indicados pelas setas coloridas inseridas na imagem da Figura 32.

Figura 32 - Visualização aproximada da pista



Fonte: Google Stret View (2023)

Na Figura 33, tem-se quatro setas de cores amarela, vermelha, verde e preta, onde cada uma indica uma peculiaridade do trecho da pista onde houve a erosão e o deslizamento de terra do local.

A seta amarela faz a indicação do início da fissura no asfalto, evidenciando que a erosão persiste, e que pode aumentar o deslizamento de terra. Já a seta preta evidencia

claramente uma fissura no asfalto, demonstrando que aquela área pode deslizar a qualquer nova energia que atuar sobre a área.

A seta vermelha indica que naquele trecho que era a pista de rolamento, está com sinais de afundamento do asfalto, pois apresenta-se com desnível em relação ao restante da pista.

A seta verde está indicando a linha que dividia as duas pistas anterior ao deslizamento de terra na rodovia, e a seta rosa está indicando a nova linha que foi adotada para dividir a pista e desviar o tráfego da área com erosão e afundamento do asfalto.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as discussões dos resultados quanto a importância das geotecnologias para análise de deslizamento de terra em rodovias e do uso do Google Earth Pro e Street View para realizar análises forenses de deslizamentos de terra nas rodovias.

5.1 Importância das geotecnologias para análise de deslizamentos de terra em rodovias

A aplicação de geotecnologias nas práticas forenses representa uma estratégia de mapeamento preliminar ou orientador das ações, proporcionando economia de tempo e integração entre diferentes disciplinas. Essas ferramentas atuam como um suporte valioso para a tomada de decisões, auxiliando na configuração das provas periciais. Sua natureza multidisciplinar possibilita uma ampla gama de aplicações, sempre com foco na qualidade e precisão das informações. O uso das geotecnologias nesse contexto visa aprimorar a eficiência e a eficácia das investigações, contribuindo para a justiça e a resolução de casos de forma mais abrangente e embasada (GOMES; LIMA, 2022).

As geotecnologias são ferramentas e técnicas que envolvem o uso de tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas (SIG). Quando aplicadas ao contexto dos deslizamentos de terra em rodovias, essas geotecnologias desempenham um papel fundamental na prevenção, monitoramento, avaliação e resposta a esses eventos.

O uso exclusivo de geotecnologias não oferece todos os elementos necessários para abordar todas as questões envolvidas nas atividades periciais. No entanto, essas ferramentas são extremamente úteis para agilizar o reconhecimento de áreas extensas e facilitar o trabalho dos agentes, concentrando-se em regiões de maior potencial de interesse. Nesse contexto, as geotecnologias desempenham um papel significativo na otimização das operações periciais e na tomada de decisões mais informadas, visando à preservação e à segurança desses ambientes críticos (GOMES; LIMA, 2022).

As geotecnologias aplicadas para estudos de deslizamentos de terra e seus usos pode-se citar:

Sensoriamento Remoto: O sensoriamento remoto, que envolve o uso de satélites, drones e sensores aéreos, é essencial para monitorar e mapear áreas propensas a deslizamentos de terra ao longo das rodovias. As imagens de alta resolução obtidas por meio dessas plataformas permitem identificar encostas íngremes, áreas de instabilidade geológica e

vegetação desestabilizadora, fornecendo informações valiosas para o planejamento e a tomada de decisões relacionadas à segurança das rodovias.

Sistemas de Informações Geográficas (SIG): Os SIG são ferramentas poderosas que permitem a análise espacial de dados relacionados às rodovias e áreas circunvizinhas. Com a integração de informações topográficas, geológicas, hidrológicas e climáticas em um único sistema, os SIG possibilitam identificar padrões, tendências e áreas de maior risco de deslizamentos. Eles também ajudam na identificação de vias vulneráveis e na avaliação dos impactos potenciais dos deslizamentos.

Modelagem e Previsão: As geotecnologias permitem a criação de modelos matemáticos e numéricos para a simulação de deslizamentos de terra. Com base em informações geológicas, hidrológicas e climáticas, esses modelos podem prever áreas de maior probabilidade de deslizamentos, auxiliando na tomada de decisões para mitigar os riscos em rodovias específicas.

Monitoramento Contínuo: O uso de geotecnologias para monitoramento contínuo das áreas vulneráveis próximas às rodovias permite a detecção precoce de sinais de instabilidade. Com sensores de inclinação e deformação, por exemplo, é possível identificar movimentações prévias do solo, permitindo ações preventivas antes que ocorram deslizamentos de grande impacto.

Análise de Dados Históricos: As geotecnologias facilitam o acesso e a análise de dados históricos de deslizamentos de terra em determinadas regiões. Essas informações são essenciais para compreender os padrões de ocorrência, as causas subjacentes e os fatores desencadeantes, auxiliando na elaboração de estratégias de prevenção e redução de riscos em rodovias específicas.

Comunicação e Tomada de Decisões: A integração das geotecnologias com sistemas de comunicação de emergência e tomada de decisões é crucial em casos de deslizamentos de terra. Essas tecnologias permitem a rápida disseminação de alertas para as autoridades competentes, bem como a implementação de rotas alternativas para desviar o tráfego e evitar áreas de risco.

Planejamento e Gestão de Crises: As geotecnologias são fundamentais no planejamento e gerenciamento de crises relacionadas a deslizamentos de terra em rodovias. Os dados coletados e analisados por meio dessas ferramentas fornecem informações essenciais para elaboração de planos de contingência e respostas rápidas diante de eventos adversos.

As geotecnologias desempenham um papel abrangente e essencial na gestão dos riscos associados aos deslizamentos de terra em rodovias. Elas fornecem informações valiosas para a

prevenção, monitoramento e resposta a esses eventos naturais, visando aumentar a segurança das estradas e a proteção das comunidades que as utilizam.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental na prevenção, monitoramento e resposta a deslizamentos de terra em rodovias. Abaixo estão algumas maneiras pelas quais o sensoriamento remoto se relaciona com esse problema:

Mapeamento de Áreas de Risco: O sensoriamento remoto é utilizado para identificar e mapear áreas propensas a deslizamentos de terra ao longo das rodovias. Com a análise de imagens de satélite e sensores a bordo de aeronaves, é possível identificar encostas íngremes, solos instáveis e outras características geológicas que aumentam o risco de deslizamentos.

Monitoramento Contínuo das Encostas: O sensoriamento remoto permite o monitoramento contínuo das encostas próximas às rodovias. Sensores de radar, por exemplo, podem detectar mudanças sutis na superfície terrestre que podem indicar movimentos prévios ou a iminência de um deslizamento. Dessa forma, as autoridades podem agir preventivamente antes que ocorram falhas catastróficas.

Deteção de Eventos e Avaliação de Impacto: Caso ocorra um deslizamento de terra próximo a uma rodovia, o sensoriamento remoto pode ser rapidamente mobilizado para detectar o evento e avaliar sua extensão. Imagens de alta resolução capturadas por satélites ou drones podem fornecer informações detalhadas sobre a área afetada, auxiliando as equipes de emergência a planejar ações de resposta.

Planejamento e Manutenção de Rodovias: O sensoriamento remoto fornece dados essenciais para o planejamento e manutenção de rodovias em áreas suscetíveis a deslizamentos de terra. As informações obtidas podem ajudar a projetar estradas de forma mais segura, evitando áreas de alto risco, ou para implementar medidas preventivas, como a instalação de barreiras de contenção ou sistemas de drenagem adequados.

Alertas e Gestão de Crises: A integração do sensoriamento remoto com sistemas de alerta precoce permite que as autoridades sejam notificadas imediatamente em caso de deslizamentos próximos a rodovias. Isso possibilita a tomada rápida de decisões, como a interdição temporária de trechos afetados ou a organização de rotas alternativas para desviar o tráfego, evitando acidentes e congestionamentos.

Acompanhamento Pós-Desastre: Após a ocorrência de um deslizamento de terra em uma rodovia, o sensoriamento remoto é útil para acompanhar a recuperação e a restauração das áreas afetadas. As imagens obtidas em diferentes momentos permitem avaliar a evolução da recuperação da paisagem e auxiliar no planejamento da reconstrução das estradas danificadas.

O sensoriamento remoto desempenha um papel vital na prevenção, monitoramento e resposta aos deslizamentos de terra em rodovias, no entanto Oliveira, Santos e Borba, (2020) defendem que a análise presencial do local em questão é absolutamente essencial para verificar critérios complementares que possibilitem a materialização completa da extensão do dano.

Mas, nenhuma outra abordagem pode substituir a importância de estar fisicamente presente na área afetada para a coleta de informações detalhadas e a compreensão plena da magnitude e impacto do dano. A observação direta no local proporciona dados cruciais que enriquecem a investigação e permitem uma avaliação mais precisa dos danos ambientais ocorridos. Dessa forma, a análise *in loco* é um passo fundamental e insubstituível para uma perícia local completa e bem fundamentada (OLIVEIRA; SANTOS; BORBA, 2020).

5.2 Uso do Google Earth Pro e Street View para realizar análises forenses de deslizamentos de terra em rodovias

Atualmente, o conjunto de ferramentas oferecido pelo Google Earth disponibiliza recursos avançados para mapeamento, importação e exportação de dados de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Além disso, a plataforma proporciona uma visualização altamente detalhada em 3D de praticamente toda a superfície terrestre, utilizando imagens de satélite e fotos aéreas históricas de alta resolução (LIMA, 2012).

Essas ferramentas tornam-se aliadas essenciais na pesquisa da Geomorfologia, oferecendo um vasto potencial para a análise e exploração das paisagens. A capacidade de visualizar em 3D, combinada com dados geográficos detalhados, permite uma compreensão mais profunda das formas de relevo e dos processos geomorfológicos que moldam nosso planeta. Dessa forma, o Google Earth oferece uma plataforma valiosa para aprimorar o conhecimento nessa área da ciência geográfica (LIMA, 2012).

O Google Earth Pro oferece a possibilidade de visualização em três perspectivas distintas: satélite, mapa e terreno. Essas perspectivas são integradas em três funcionalidades diferentes: o Google Earth, o Google Maps (versão web) e o Google Street View. Cada um desses modos possui uma variedade de elementos carregados, e cabe ao pesquisador determinar qual deles mais se adequa aos seus objetivos, considerando uma variável importante que é a escala (BARBOSA; NUNES, 2018).

A escala é crucial, pois dependendo dela, é possível observar desde características amplas, como a vegetação e o uso do solo em uma área, até detalhes mais específicos, como imagens de bairros, ruas, avenidas, comércios e residências. Essa flexibilidade permite ao

pesquisador utilizar a ferramenta de acordo com suas necessidades, explorando diferentes níveis de detalhe para obter informações relevantes para suas pesquisas e estudos (BARBOSA; NUNES, 2018).

O Google Earth é uma ferramenta de visualização geoespacial que permite aos usuários explorarem e analisarem imagens de satélite, mapas e informações geográficas de diversas regiões do mundo. Embora não seja uma ferramenta específica para monitoramento em tempo real, o Google Earth pode ser utilizado como uma ferramenta complementar para a análise e monitoramento de deslizamentos de terra em rodovias em diferentes etapas do processo. Abaixo estão algumas formas de uso do Google Earth nesse contexto:

Identificação de Áreas de Risco: O Google Earth oferece imagens de alta resolução que podem ser usadas para identificar e mapear áreas de risco de deslizamento de terra próximas a rodovias. Os usuários podem visualizar a topografia e a vegetação das encostas, bem como a proximidade de corpos d'água, ajudando a identificar potenciais pontos críticos.

Análise Histórica: O Google Earth possui uma funcionalidade de histórico de imagens, permitindo aos usuários acessar imagens de diferentes datas no passado. Isso é útil para comparar mudanças ao longo do tempo e identificar padrões de deslizamentos anteriores em determinadas áreas.

Planejamento de Rotas Alternativas: Em casos de deslizamentos recentes ou bloqueios em rodovias devido a desastres naturais, o Google Earth pode ser usado para identificar rotas alternativas. Os usuários podem traçar e visualizar diferentes caminhos para desviar o tráfego de áreas afetadas.

Monitoramento de Áreas Críticas: Mesmo não sendo uma ferramenta de monitoramento em tempo real, o Google Earth pode ser utilizado para acompanhar periodicamente áreas críticas e suscetíveis a deslizamentos de terra. Ao comparar imagens ao longo do tempo, é possível detectar mudanças significativas na paisagem que podem indicar instabilidades.

Divulgação e Conscientização Pública: O Google Earth pode ser usado como uma ferramenta para divulgar informações sobre áreas de risco e deslizamentos de terra em rodovias para o público em geral. Isso ajuda a aumentar a conscientização sobre a segurança nas estradas e a importância de tomar medidas preventivas.

Integração com Outras Fontes de Dados: O Google Earth pode ser integrado a outras fontes de dados geoespaciais e informações sobre deslizamentos de terra, permitindo que os usuários acessem dados atualizados e complementares para análises mais abrangentes.

Vale ressaltar que, embora o Google Earth seja uma ferramenta útil para a análise e visualização geográfica, o monitoramento em tempo real e a análise detalhada de deslizamentos de terra em rodovias requerem o uso de geotecnologias mais avançadas e sistemas especializados de detecção e alerta precoce. O Google Earth é mais adequado como uma ferramenta de suporte para auxiliar nas etapas iniciais de análise e planejamento, bem como para o compartilhamento de informações com o público em geral.

Já o Google Street View, conforme expressam Gomes e Trindade (2019), destaca-se por sua capacidade de introduzir virtualmente o usuário em uma paisagem, permitindo uma análise detalhada em diferentes cronologias temporais. Esses recursos digitais proporcionam ao pesquisador explorar cenários reais de forma interativa, o que desperta sua visão sobre lugares distantes e a evolução desses locais ao longo do tempo.

O Google Street View é uma funcionalidade do Google Maps que permite visualizar imagens panorâmicas de 360 graus capturadas a nível do solo, a utilização de múltiplas imagens em 360 graus, provenientes de diferentes anos, pode ser uma ferramenta valiosa para caracterizar a rodovia em questão (DALLAGNOL, 2021).

Antes de prosseguir com a avaliação da rodovia em questão, é fundamental realizar uma análise prévia das imagens disponíveis no Google Street View. Essa verificação é essencial para garantir que haja imagens atualizadas ao longo do trecho de interesse, refletindo assim a situação real da infraestrutura no momento da avaliação. Dessa forma, evitam-se possíveis limitações na avaliação de qualquer segmento, assegurando um estudo abrangente e preciso (DALLAGNOL, 2021).

O Google Street View permite identificar e relacionar elementos naturais e socioeconômicos presentes na paisagem embora não seja diretamente utilizado para monitorar ou prever deslizamentos de terra em rodovias, o Street View pode desempenhar um papel relevante em relação a esses eventos (BARBOSA; NUNES, 2018). Abaixo estão algumas formas em que o Street View se relaciona com os deslizamentos de terra em rodovias:

Visualização Prévia da Rodovia: O Google Street View permite que os usuários tenham uma visualização prévia da rodovia, incluindo áreas de encostas, cortes, aterros e vegetação próxima à pista. Essa visualização pode ser útil para identificar áreas que parecem mais suscetíveis a deslizamentos e, assim, chamar a atenção para pontos potencialmente críticos.

Registro de Condições Anteriores: As imagens do Street View podem servir como um registro histórico de como a rodovia e suas áreas circunvizinhas estavam antes de um deslizamento de terra ocorrer. Esses registros podem ser úteis para análises pós-desastre,

comparação de condições antes e depois do evento e para auxiliar em estudos e pesquisas relacionadas ao deslizamento.

Conscientização Pública: As imagens do Street View podem ser usadas para aumentar a conscientização pública sobre as áreas de risco e os impactos dos deslizamentos de terra em rodovias. Ao compartilhar imagens de rodovias afetadas por deslizamentos em plataformas públicas, é possível sensibilizar as pessoas para os perigos e a importância de medidas preventivas.

Planejamento de Rotas Alternativas: Após a ocorrência de um deslizamento de terra que bloqueie uma rodovia, o Google Street View pode ser usado para visualizar rotas alternativas para desviar o tráfego. Os usuários podem explorar diferentes caminhos para facilitar a mobilidade em áreas afetadas.

Apoio a Estudos e Pesquisas: O Street View pode ser útil como uma fonte de dados para estudos e pesquisas acadêmicas relacionadas aos deslizamentos de terra em rodovias. As imagens panorâmicas podem ser analisadas para identificar características do terreno, padrões de uso da terra e outros fatores que possam contribuir para os deslizamentos.

Registro de Danos: Caso ocorra um deslizamento de terra em uma rodovia e o Google Street View já tenha capturado imagens da área afetada, essas imagens podem ser usadas para documentar os danos causados. Isso pode ser útil para fins de seguro, registros governamentais e ações de reparo e reconstrução.

O Google Street View oferece a oportunidade de realizar trajetos ou até mesmo atividades "em campo" de forma virtual, o que permite explorar essa realidade sem estar fisicamente presente. Essa perspectiva virtual proporcionada pela ferramenta possibilita a análise e compreensão dos impactos causados pela proximidade da área impactada (BARBOSA; NUNES, 2018).

Apesar de não ser uma ferramenta de monitoramento em tempo real ou de previsão de deslizamentos, o Google Street View oferece um conjunto de informações visuais que podem complementar outras fontes de dados e análises em relação a esses eventos em rodovias. Sua disponibilidade pública e facilidade de uso tornam-no uma ferramenta acessível para diversos fins relacionados à conscientização e planejamento em situações de deslizamento de terra. Além disso outras pesquisas identificaram a nova aplicação da plataforma em diferentes escalas geográficas e áreas do conhecimento (MONTROYA, *et al.*, 2023).

6 CONCLUSÃO

6.1 Considerações quanto aos objetivos da pesquisa

A utilização das geotecnologias na análise forense e, em particular, o emprego da ferramenta Google Earth Pro na avaliação de deslizamentos de terra em rodovias, representam avanços significativos no campo da investigação e prevenção de acidentes e desastres naturais. Ao longo das últimas décadas, a tecnologia tem se mostrado uma aliada poderosa para os profissionais envolvidos em atividades de perícia e gestão de riscos.

A geotecnologia, que abrange diversas técnicas de coleta, processamento e análise de dados geoespaciais, possibilita a obtenção de informações precisas e detalhadas sobre as características do terreno, a dinâmica dos eventos naturais e a infraestrutura presente na área estudada. Essa riqueza de dados proporciona uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos, permitindo a identificação de possíveis causas de deslizamentos de terra em rodovias, como a declividade inadequada, a presença de falhas geológicas ou a interferência humana no meio ambiente.

Dentre as ferramentas de geotecnologia disponíveis, o Google Earth Pro e o Google Street View se destacam pela sua facilidade de uso, vasta cobertura de imagens de satélite, além da combinação de recursos de mapeamento, visualização em 3D e medição de distâncias e áreas. Isso possibilita aos profissionais envolvidos na análise forense obterem uma visão abrangente da área de interesse, estudar sua evolução ao longo do tempo por meio de imagens históricas e delinear as possíveis rotas de fuga e vias de acesso para aprimorar o planejamento de ações preventivas.

Além disso, as ferramentas permitem a criação de mapas interativos e a sobreposição de camadas de informações, como mapas de relevo, dados geológicos, pluviométricos e de uso do solo. Essa integração de informações é fundamental para uma avaliação completa dos riscos envolvidos e para embasar tomadas de decisões que visem mitigar futuros deslizamentos e preservar a segurança das rodovias e das comunidades adjacentes.

Em suma, a importância das geotecnologias, em especial do Google Earth Pro e o Google Street View, para a análise forense de deslizamentos de terra em rodovias está intrinsecamente ligada à capacidade de fornecer dados detalhados e atualizados, permitindo que os especialistas conduzam investigações mais precisas e fundamentadas. A utilização dessas ferramentas é um passo crucial para aprimorar a prevenção de acidentes, a segurança das vias e a proteção do meio ambiente, garantindo uma sociedade mais resiliente diante dos desafios

impostos pela natureza. É essencial que os órgãos públicos, as empresas e a sociedade em geral reconheçam e valorizem o papel das geotecnologias nesse contexto, investindo em sua aplicação e capacitação dos profissionais envolvidos, visando um futuro mais seguro e sustentável para todos.

6.2 Resposta à pergunta da pesquisa

O uso das geotecnologias na análise de eventos ocorridos com deslizamento de terra na rodovia traz uma série de implicações importantes que impactam positivamente a forma como são compreendidos, monitorados e gerenciados os deslizamentos de terra em vias de transporte. Algumas das principais implicações são:

Melhor compreensão das causas e fatores de risco: As geotecnologias permitem uma análise detalhada do terreno e das condições geológicas da região, possibilitando a identificação das causas dos deslizamentos de terra. Isso inclui a avaliação de aspectos como a geologia local, o tipo de solo, a declividade da encosta, a influência das chuvas e atividades humanas. Com essas informações, é possível adotar medidas preventivas mais efetivas e planejar a recuperação da rodovia de forma adequada.

Monitoramento em tempo real: O uso de sensores remotos, como imagens de satélite e drones, permite o monitoramento constante das áreas de risco, possibilitando a detecção precoce de indícios de instabilidade no terreno. Com isso, as autoridades podem tomar ações rápidas para evacuar áreas vulneráveis e adotar medidas emergenciais para evitar acidentes e minimizar danos.

Planejamento de intervenções e obras: As geotecnologias fornecem informações precisas para o planejamento de obras de contenção, estabilização e recuperação de áreas afetadas por deslizamentos de terra. Com o uso de softwares de modelagem geotécnica, é possível simular diferentes cenários e escolher a melhor estratégia para solucionar os problemas identificados.

Redução dos custos e otimização dos recursos: Ao permitir uma análise mais detalhada e precisa das áreas de risco, as geotecnologias auxiliam na alocação adequada de recursos e na redução de gastos desnecessários. A identificação precoce de áreas propensas a deslizamentos de terra pode evitar prejuízos maiores decorrentes de acidentes ou intervenções emergenciais.

Comunicação e conscientização pública: As geotecnologias também têm um papel importante na comunicação com a população. Mapas interativos e informações geográficas podem ser utilizados para sensibilizar a comunidade sobre os riscos envolvidos, promover a conscientização sobre medidas de prevenção e facilitar o planejamento de rotas alternativas quando ocorrem deslizamentos em rodovias.

Apoio à tomada de decisão: Os dados fornecidos pelas geotecnologias são valiosos para embasar a tomada de decisões por parte dos gestores públicos e profissionais envolvidos na análise e gestão de deslizamentos de terra. Com informações mais precisas e atualizadas, é possível adotar medidas mais eficazes para reduzir os riscos e garantir a segurança nas rodovias.

Assim, o uso das geotecnologias na análise de deslizamentos de terra em rodovias representa um avanço significativo na prevenção e gestão de riscos, proporcionando informações fundamentais para o planejamento, monitoramento e tomada de decisão, o que contribui para a preservação do patrimônio público, a segurança dos usuários das rodovias e a proteção do meio ambiente.

Destacando ainda que tanto o Google Earth Pro quanto o Google Street View podem ser úteis na análise e monitoramento do tempo de resposta das obras públicas de recuperação de rodovias atingidas por deslizamentos de terra.

O Google Earth Pro oferece uma plataforma de visualização e análise geoespacial que permite acompanhar mudanças no terreno e na infraestrutura ao longo do tempo. Com a ferramenta, é possível acessar imagens de satélite históricas e comparar a evolução da área afetada pelos deslizamentos em diferentes períodos. Isso é extremamente valioso para verificar o progresso das obras de recuperação ao longo do tempo, identificar a extensão das intervenções realizadas e avaliar a efetividade das medidas adotadas.

Por sua vez, o Google Street View possibilita o acesso a imagens panorâmicas de diversas localidades, incluindo estradas e rodovias. Essas imagens podem ser usadas para comparar as condições antes e após a realização das obras de recuperação, auxiliando na análise da qualidade e do tempo de resposta das intervenções. Além disso, o Google Street View também permite obter uma perspectiva mais próxima da infraestrutura e dos detalhes da área afetada, o que pode ser útil para identificar eventuais problemas ou falhas nas obras.

Destá forma, o uso do Google Street View na análise forense de deslizamento de terra em rodovias representa uma poderosa ferramenta para investigação e documentação dos eventos, proporcionando uma perspectiva realista, histórico de imagens e a capacidade de colaboração remota entre especialistas. Essa tecnologia abre novas possibilidades para a

compreensão e resolução de casos complexos, tornando-se uma aliada valiosa na busca por soluções eficazes para a segurança e prevenção de desastres em vias de transporte.

Combinando as informações do Google Earth Pro e do Google Street View, os responsáveis pela análise e monitoramento das obras de recuperação podem realizar uma avaliação mais completa e abrangente, garantindo que os recursos públicos estejam sendo utilizados de maneira adequada e que as ações adotadas estejam surtindo os efeitos esperados na redução dos riscos e na melhoria da segurança das rodovias.

Além disso, é importante ressaltar que o monitoramento contínuo com o auxílio dessas ferramentas pode fornecer subsídios para a tomada de decisões estratégicas no planejamento de futuras intervenções em áreas sujeitas a deslizamentos de terra, visando à prevenção de novos incidentes e à proteção da população e do patrimônio público.

6.3 Considerações sobre as causas do deslizamento ocorrido no trecho estudado

O Google Earth é uma plataforma muito importante para a análise do deslizamento de terra no trecho da rodovia federal BR 230, com as ferramentas dessa plataforma juntamente com o Google Street View é possível concluir que a construção do trecho da rodovia foi realizada em um declive, na encosta de um terreno acidentado.

As primeiras evidências de erosão ocorreram a partir do ano de 2005 com a presença de fissura, que indicam que poderia haver um deslizamento futuro se não houvesse intervenção, ou seja, obras de recuperação do talude.

As imagens da plataforma ilustraram que ao longo dos anos de 2005 a 2023, houve deslizamentos e recuperação do trecho, sendo que desde o ano de 2022 até abril de 2023 (período que a plataforma dispõe da última imagem) não houve obras de recuperação, havendo apenas um desvio do trecho da rodovia danificado.

O tráfego de caminhões de grande porte e a grande movimentação de veículos leves são fatores que podem influenciar no afundamento do trecho.

Pode-se concluir assim que a resistência do solo, da trafegabilidade de veículos pesados, falta de manutenção na rodovia, parte do talude sem gramínea e a erosão do local, podem ser fatores que possibilitaram a movimentação da terra no trecho e o afundamento de parte do asfalto do trecho da rodovia estudada.

6.4 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros envolvendo o uso de geotecnologias em estudos forenses para analisar deslizamento de terra em rodovia, algumas recomendações importantes são:

Integração de diversas fontes de dados: Recomenda-se a integração de diferentes fontes de dados geoespaciais, como imagens de satélite de alta resolução, levantamentos topográficos, dados geológicos e hidrológicos, informações sobre o uso do solo, entre outros. Essa abordagem multifacetada possibilita uma análise mais completa e precisa dos fatores envolvidos nos deslizamentos de terra.

Uso de técnicas avançadas de processamento de imagens e modelagem geoespacial: Utilizar técnicas avançadas de processamento de imagens e modelagem geoespacial permite uma análise mais detalhada e automatizada dos dados coletados. Algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial podem ser aplicados para auxiliar na detecção de padrões e na previsão de áreas de risco.

Monitoramento contínuo e em tempo real: É essencial que os estudos incluam o monitoramento contínuo das áreas de interesse, preferencialmente em tempo real. O uso de sensores remotos, como drones equipados com câmeras e sensores, possibilita a obtenção de informações atualizadas e precisas sobre a evolução das condições do terreno.

Validação de resultados em campo: Os estudos devem incluir a validação dos resultados obtidos por meio das geotecnologias em campo. Isso significa realizar visitas às áreas afetadas por deslizamentos de terra para verificar a correspondência dos dados coletados com a realidade do local. A validação em campo é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados.

Colaboração entre diferentes especialistas: Recomenda-se a formação de equipes multidisciplinares, envolvendo especialistas em geologia, geotecnia, engenharia civil, meteorologia, sensoriamento remoto e outras áreas relevantes. A colaboração entre diferentes especialidades enriquece a análise e permite uma abordagem mais completa dos problemas.

Ênfase na prevenção e mitigação de riscos: Os estudos devem estar focados na prevenção e mitigação de riscos relacionados aos deslizamentos de terra em rodovias. Além de analisar os eventos ocorridos, é importante buscar soluções eficazes para evitar acidentes futuros, como a identificação de áreas de risco, o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce e a adoção de medidas de engenharia geotécnica apropriadas.

Divulgação dos resultados e compartilhamento de conhecimento: Os resultados dos estudos devem ser divulgados em publicações científicas, eventos e meios de comunicação

apropriados. O compartilhamento de conhecimento contribui para o avanço da área e permite que outras regiões afetadas por deslizamentos de terra também se beneficiem das soluções propostas.

Para avançar na análise forense de deslizamento de terra em rodovias, é fundamental adotar abordagens integradas e tecnologias inovadoras. A constante busca por melhorias nas técnicas e na colaboração entre especialistas são elementos-chave para o sucesso desses estudos e, conseqüentemente, para a prevenção e redução dos riscos associados a esses eventos.

Por fim, cabe ressaltar que a metodologia utilizada nesse trabalho pode ser aplicada em outros estudos de caso com deslizamentos de terra, não se limitando apenas em deslizamentos de trechos de Rodovia Federal.

REFERÊNCIAS

- ANGUELOV, Dragomir *et al.* Google Street View: capturing the world at street level. **Ieee Computer Society**, SI, v. , n. 10, p. 32-38, nov. 2010. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/pub-tools-public-publication-data/pdf/36899.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- BARBOSA, Magno Emerson; NUNES, Keila Alves de Campos. AS GEOTECNOLOGIAS NO ENSINO DE GEOGRAFIA: APLICAÇÕES DO CONTEÚDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA CIDADE DE GOIÂNIA/GO. In: FÓRUM NACIONAL NEPEG DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE GEOGRAFIA, 9., 2018, Goiânia. **Fórum**. Goiânia: ., 2018. p. 138-148. Disponível em: http://nepeg.com/newnepeg/wp-content/uploads/2017/02/GT1_15_As-geotecnologias-no-ensino-de-Geografia-aplica%C3%A7%C3%B5es-do-conte%C3%BAdo-de-bacias-hidrogr%C3%A1ficas-na-cidade-de-Goi%C3%A2nia_GO.pdf. Acesso em: 23 jul. 2023.
- BATISTA, Daiane Cardoso Lopes; VIEIRA, Antonio Fábio Sabbá Guimarães; MARINHO, Rogério Ribeiro. Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geo Saberes**, Fortaleza, v. 10, n. 20, p. 1-12, abr. 2019.
- BOHANE, Adrian Mark *et al.* A utilização da tecnologia InSAR na caracterização da deformação superficial do terreno no campo petrolífero de Canto do Amaro-RN. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2015, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 6365-6372. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.41.17>. Acesso em: 29 maio 2021.
- BRANDÃO, Waldiza. Detecção de Movimentação de Terrenos por Interferometria de Radar de Abertura Sintética (InSAR). **Mundogeo: InfoGEO**, S.L., v. , n. , p. 1-2, jan. 2012. Disponível em: <https://mundogeo.com/2008/03/31/deteccao-de-movimentacao-de-terrenos-por-interferometria-de-radar-de-abertura-sintetica-InSAR/>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- BRASIL. Daniel Pereira Guimarães. Embrapa. **A Integração Google Earth-SIG-Servidor de Mapas e o Monitoramento Ambiental. Circular Técnica**, Sete Lagoas, v. 1, n. 183, p. 1-20, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/953711/1/circ183.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- BRASIL, Sérgio Gomes Tôsto. (ed.). **Geotecnologias e Geoinformações: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Coleção: 500 Perguntas e 500 Respostas. Brasília, 2014.
- CALVA, Liliana García *et al.* Assessing Google Earth Pro images for detailed conservation diagnostics of mangrove communities. **Journal of Coastal Research**, v. 92, n. SI, p. 33-43, 2019.
- CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; GUIMARÃES, Renato Fontes. O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas. **Revista do Tcu**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 80-95, dez. 2016.

COTOMÁCIO, André Carrara; LIMA, Bruno Lazzari de. O Uso do Drone de Baixo Custo em Aerofotogrametria e sua Aplicação na Perícia Ambiental Criminal. **Brazilian Journal Of Forensic Sciences, Medical Law And Bioethics**. Barueri, p. 459-476. abr. 2020.

COUGO, Michele Ferreira. **O potencial do sensoriamento remoto SAR no mapeamento, discriminação de gêneros e estudo da dinâmica de floresta de mangue na região Amazônica**. 2019. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

DALLAGNOL, Sérgio Luiz. **ANÁLISE DA SEGURANÇA VIÁRIA DA RODOVIA SC-283 ATRAVÉS DO MÉTODO IRAP COM IMAGENS DO GOOGLE STREET VIEW**. 2021. 139 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27545/1/PB_COECI_2020_2_26.pdf. Acesso em: 25 jul. 2023.

ECYCLE. **O que causa o deslizamento de terra?**. 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/deslizamento-de-terra/>. Acesso em 17 jun. 2021.

FERRAZ, Carlos Augusto de Melo *et al.* The use of geotechnology as a new tool for external control. **Revista do Tcu**, [S.L.], v. 1, n. 133, p. 40-53, ago. 2015.

FRANCIONI, Mirko *et al.* A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 1267, 28 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11111267>.

GAMA, Fábio F. *et al.* Deformations Prior to the Brumadinho Dam Collapse Revealed by Sentinel-1 InSAR Data Using SBAS and PSI Techniques. **Remote Sensing**: MDPI, S.L., v. 12, n. 21, p. 1-22, nov. 2020.

GOMES, Jeferson Oliveira; TRINDADE, Lidiane Sousa. TECNOLOGIA NA APRENDIZAGEM: A UTILIZAÇÃO DO GOOGLE MAPS, GOOGLE EARTH E GOOGLE STREET VIEW NO ENSINO DE GEOGRAFIA NA EDUCAÇÃO BÁSICA. In: VII SEMINÁRIO NACIONAL E III SEMINÁRIO INTERNACIONAL POLÍTICAS PÚBLICAS, GESTÃO E PRÁXIS EDUCACIONAL, 7., 2019, Vitória da Conquista. **Seminário Gepráxis**. Vitória da Conquista: Vitória da Conquista, 2019. v. 7, p. 7008-7019. Disponível em: <http://anais.uesb.br/index.php/semgepraxis/article/viewFile/9334/9137>. Acesso em: 25 jul. 2023.

GOMES, Iolanda Clara do Carmo; LIMA, Aline Maria Meiguins de. Geotecnologias aplicadas à análise pericial de casos de naufrágios e afogamentos na região costeira de Belém (Pará). **Geotecnologias Aplicadas À Análise Pericial de Casos de Naufrágios e Afogamentos na Região Costeira de Belém (Pará)**, S.L., v. 10, n. 3, p. 117-131, jun. 2022.

GOMES, Viviane Pedroso; ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra de; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pontal a partir de dados referenciais do Google Earth Pro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Sl, v. 14, n. 7, p. 4148-4160, dez. 2021.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. The landslide handbook – A guide to understanding landslides. Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia, U.S. 2008, 129p. IBAPE-MG - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais. **PR 01-19 - Prática recomendada de inspeção predial, vistoria cautelar e perícias de engenharia com uso de VANT’S** – rev. 0. Fevereiro de 2019.

KOCHINSKI, Ferrúcio. **Utilização de Drones em Avaliações e Perícias**. XIX COBREAP. Inovações Científicas e Tecnológicas. Foz do Iguaçu. Agosto de 2017.

LIMA, Raphael Nunes de Souza. GOOGLE EARTH APLICADO A PESQUISA E ENSINO DA GEOMORFOLOGIA. **Revista de Ensino de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 5, p. 17-30, dez. 2012.

LOPES, Edésio Elias. **Proposta Metodológica para Validação de Imagens de Alta Resolução do Google Earth para a Produção de Mapas**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LUO, Lei *et al.* Google Earth as a Powerful Tool for Archaeological and Cultural Heritage Applications: a review. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1558, 28 set. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs10101558>.

MARCO, Miriam *et al.* Validation of a Google Street View-Based Neighborhood Disorder Observational Scale. **Journal Of Urban Health**, [S.L.], v. 94, n. 2, p. 190-198, 24 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11524-017-0134-5>.

MARTINS, Natalia Pivesso; MATIAS, Lindon Fonseca. A era informacional como ‘possibilitador’ da informação e das geotecnologias. In. **Encuentro de Geógrafos de América Latina (EGAL)**, 2013.

MIRANDA, Daniel Andrade; OLIVEIRA, Fabricia Benda de. Análise multitemporal da ocupação urbana na cidade de Alegre – Espírito Santo. In: OLIVEIRA, Fabricia Benda de *et al.* **Geotecnologias e suas aplicações**. Alegre: Caufes, 2018. p. 9-23.

MORAES, Elisabete Caria de. FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. In: MORAES, Elisabete Caria de; ÁVILA, João. **CURSO DE USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO MEIO AMBIENTE**. São José dos Campos: Inpe, 2002. p. 1-22. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.13.16.47/doc/indice.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

MORAES, Ronei Marcos de; MELO, Ana Claudia Oliveira de. Sistemas de Suporte à Decisão Espacial e Aplicações. **Comunicações em Informática**, SI, v. 1, n. 1, p. 2-5, dez. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ronei-Moraes/publication/326196446_Sistemas_de_Suporte_a_Decisao_Espacial_e_Aplicacoes/links/5b590f28a6fdccf0b2f7d344/Sistemas-de-Suporte-a-Decisao-Espacial-e-Aplicacoes.pdf. Acesso em: 25 jul. 2023.

MONTOYA, Andrés Velastegui *et al.* Google Earth Engine: a global analysis and future trends. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 15, n. 14, p. 3675, 23 jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs15143675>.

NAGENDRAN, Sharan Kumar; ISMAIL, Mohd Ashraf Mohamad; WEN, Yan Tung. Photogrammetry approach on geological plane extraction using CloudCompare FACET plugin and scanline survey. **Bulletin Of The Geological Society Of Malaysia**, [S.L.], v. 68, p. 151-158, 31 dez. 2019. Geological Society of Malaysia. <http://dx.doi.org/10.7186/bgsm68201916>.

NÓS, Rudimar Luiz; ALMEIDA, Fábio Jardim de. **Usando o Google Earth para reavaliar distâncias e áreas na solução de problemas geométricos**. Disponível em http://paginapessoal.utfpr.edu.br/rudimarnos/publicacoes/publicacoes/GoogleEarth_CNMAC_2023.pdf. Acesso em: 12 ago. 2023.

OLIVEIRA, A.B. de; SANTOS, V.P. dos; BORBA, M.L. de. Levantamento de conservação de vegetação adjacente a cursos d'água dentro da perícia ambiental: o uso de ferramentas de geotecnologia. **Revista Brasileira de Criminalística**, S.L., v. 10, n. 1, p. 57-63, out. 2020.

OLIVEIRA, Rogério Freitas de. **Conceitos, procedimentos, atribuições e competências do profissional de Engenharia Legal**. 2009. 76 f. Monografia (Especialização) - Curso de E Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PARADELLA, Waldir Renato; MURA, José Claudio; GAMA, Fabio Furlan. **Monitoramento DInSAR para Mineração e Geotcni**a. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 160 p.

PEREIRA, Luís Flávio; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza; OLIVEIRA, Raphael Rivadávia Mendes. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: qgis e google earth pro. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], p. 250-264, 4 jun. 2018. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.3.3.2018.1839.250-264>.

PIROVANI, Daiani Bernardo *et al.* **Uso de geotecnologias para estudo da fragmentação florestal com base em princípios de ecologia da paisagem**. In: SANTOS, Alexandre Rosa dos *et al.* Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais. Alegre: Caufes, 2012. p. 24-42.

QI, Feng; ZHAI, John Z.; DANG, Gaihong. Building height estimation using Google Earth. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 118, p. 123-132, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.044>.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.L.], v. 1, n. 16, p. 81-90, out. 2005.

SHIBASAKI, Anderson Kyn Rodrigues. **Inspeção da torre do monte da virgem com auxílio de veículo aéreo não tripulado**. 2018. 30 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, [S. l.], 2019.

SUHARINI, Erni; ARIYADI, Muhammad Hasim; KURNIAWAN, Edi. Google Earth Pro as a Learning Media for Mitigation and Adaptation of Landslide Disaster. **International Journal**

Of Information And Education Technology, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 820-815, 2020. EJournal Publishing. <http://dx.doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.11.1464>.

THOMAS, David C. *et a.* The Archaeological Sites of Afghanistan in Google Earth. **Aargnews**, SI, v. 37, p. 22-30. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/David-Thomas-53/publication/263442240_The_Archaeology_Sites_of_Afghanistan_in_Google_Earth/links/5c00b5a8a6fdcc1b8d4a9c34/The-Archaeology-Sites-of-Afghanistan-in-Google-Earth.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

TOMINAGA, Lúcia Keiko *et al* (org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

WECKMÜLLER, Rômulo; VICENS, Raúl Sánchez. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, S.L, v. 11, n. 06, p. 2140-2159, dez. 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/44cd/cd2d47071db44ed3e6df006bfa76f8cfc18c.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.