



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Geologia

Carolina Martins Latgé Kwamme

**Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na  
enseada da praia de Itaguaçu em Ilha Grande – RJ**

Rio de Janeiro  
2024

Carolina Martins Latgé Kwamme

**Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na enseada da  
praia de Itaguaçu em Ilha Grande - RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Dourado.

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

K982 Kwamme, Carolina Martins Latgé.  
Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na enseada da praia de Itaguaçu em Ilha Grande – RJ / Carolina Martins Latgé Kwamme. – 2024.  
97 f. : il.

Orientador: Francisco Dourado.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia – Teses. 2. Movimento de massa – Ilha grande (RJ) – Teses. 3. Geomorfologia – Teses. 4. Hidrogeologia – Teses. 5. Geologia estrutural - Teses. I. Dourado, Francisco. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU: 551(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Carolina Martins Latgé Kwamme

**Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na enseada da  
praia de Itaguaçu em Ilha Grande – RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geologia.

Aprovada em 27 de março de 2024.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Dourado  
Faculdade de Geologia- UERJ

Banca Examinadora: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hugo Portocarrero  
Instituto de Geografia - UERJ

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ana Caroline Dutra  
Prefeitura Municipal de Petrópolis

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Julio Cesar da Silva  
Faculdade de Engenharia- UERJ

Rio de Janeiro

2024

## AGRADECIMENTOS

Na jornada da vida, cada encontro é como um seixo encontrado no leito de um rio. À primeira vista, somos pedras ásperas, brutas, escondidas nas margens do tempo. Mas é no toque e na interação com outros seixos que nos transformamos, lapidados pelo afeto, revelando nossa verdadeira essência, brilhando como pedras preciosas na correnteza da existência.

Por isso, gostaria de expressar minha gratidão aqueles que me transformam diariamente:

Primeiramente aos meus pais, Sylvia e André, por serem os maiores amores da minha vida. Agradeço por priorizarem minha educação e por enxergarem nela a chave para a realização de todos os meus sonhos. A minha irmã Aline por ser fazer presente mesmo a um oceano de distância e a minha irmã Helena por sempre me dar os melhores conselhos.

Matheus, meu namorado, que me incentiva a lutar pelos meus sonhos e a acreditar no meu potencial. Em nove anos de uma jornada compartilhada, agradeço por tudo que fez e continua a fazer por mim. Obrigada por superar todas as expectativas, tornando-se muito mais do que um dia sonhei.

Expresso minha profunda gratidão àqueles que transcenderam para o plano espiritual, mas que permanecem eternamente vivos em meu coração: vovó Sylvia (*in memoriam*), vovô Tharcisio (*in memoriam*) e tia Noemi (*in memorium*), meus eternos anjos protetores. À Melzinha (*in memoriam*), minha fiel cãopanheira, agradeço por me ensinar o verdadeiro significado do amor, mesmo diante da mais profunda dor.

Às majestosas montanhas do Colorado, que foram meu lar por um ano, onde vivi experiências além dos meus sonhos mais audaciosos, e aos amigos que se tornaram minha família durante esta jornada. Agradeço pelo apoio e força que me deram nesse ano tão atípico.

As minhas amigas de infância e da geologia, minha gratidão por compartilharem esta jornada comigo e por me incentivarem constantemente a ir além.

Ao meu Orientador, Prof Dr. Francisco Dourado, pela paciência e apoio durante minha caminhada acadêmica.

É difícil aprisionar os que tem asas.

*Caio Fernando de Abreu*

## RESUMO

KWAMME, Carolina Martins Latgé. **Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na enseada da praia de Itaguaçu em Ilha Grande – RJ durante o Evento de 2022**. 2024. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Movimento de massa é um fenômeno significativo em regiões caracterizadas por relevo acentuado, sendo influenciado por uma interação complexa de fatores geomorfológicos, geológicos, pedológicos e hidrológico-climáticos. No estado do Rio de Janeiro, o município de Angra dos Reis se destaca como uma região particularmente suscetível à ocorrência desses eventos. Tal vulnerabilidade pode ser atribuída ao contexto geológico da região, inserida na Serra do Mar, e à elevada incidência de precipitação pluviométrica. Nos dias 1 e 2 de abril de 2022, um volume excepcional de 592 mm de chuva foram registradas na região da Ilha Grande, sendo o fator deflagrador para o movimento translacional raso ocorrido na enseada da Praia de Itaguaçu. Nesse sentido, o objetivo principal desta pesquisa é compreender o mecanismo de ruptura deste movimento massa. Para tal, trabalhos de campo e levantamentos aéreos utilizando drones foram conduzidos a fim de caracterizar a morfologia da área afetada e obter dados geoespaciais de alta resolução. A análise do material revelou a presença de blocos de ortognaisse e charnockito ao longo de toda a cicatriz, além de um dique de diabásio no terço superior do movimento. Essas observações sugerem duas hipóteses para a origem do movimento: o rompimento do dique devido à saturação do solo ou a queda de blocos de ortognaises, ocasionando a ruptura do dique e, conseqüentemente, o movimento. A região de Ilha Grande já enfrentou movimentos semelhantes a este no passado, incluindo tragédias como a da Enseada do Bananal em 2010. Nesse sentido, reconhecer áreas potenciais para eventos semelhantes é desafiador, mas crucial para prevenir futuras tragédias.

Palavras-Chave: movimento de massa; Ilha Grande; Praia de Itaguaçu;

## ABSTRACT

KWAMME, Carolina Martins Latgé. **Analysis of the shallow translational movement that occurred in 2022 at the cove of Itaguaçu Beach in Ilha Grande – RJ.** 2024. 97 f. Dissertation (Master in Geosciences) – College of Geology, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Mass movement is a significant phenomenon in regions characterized by steep terrain, influenced by a complex interaction of geomorphological, geological, pedological, and hydrological-climatic factors. In the state of Rio de Janeiro, the municipality of Angra dos Reis stands out as a particularly susceptible region to the occurrence of these events. This vulnerability can be attributed to the geological context of the region, nestled within the Serra do Mar, and the high incidence of rainfall. On April 1st and 2nd, 2022, an exceptional volume of 592 mm of rain was recorded in the Ilha Grande region, serving as the triggering factor for the shallow translational movement that occurred in the Itaguaçu Beach cove. In this sense, the main objective of this research is to understand the mechanism of rupture of this mass movement. To achieve this, fieldwork and aerial surveys using drones were conducted to characterize the morphology of the affected area and obtain high-resolution geospatial data. The analysis of the material revealed the presence of orthogneiss and charnockite blocks along the entire scar, as well as a diabase dike in the upper third of the movement. These observations suggest two hypotheses for the origin of the movement: the rupture of the dike due to soil saturation or the fall of orthogneiss blocks, causing the rupture of the dike and, consequently, the movement. The Ilha Grande region has experienced similar mass movements in the past, including tragedies such as the one in the Bananal Cove in 2010. In this regard, recognizing potential areas for similar events is challenging but crucial to prevent future tragedies.

Keywords: mass movement; Ilha Grande; Itaguaçu Beach.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Modelo esquemático de rastejo .....	22
Figura 2 –	Modelo esquemático de queda de bloco.....	23
Figura 3 –	Modelo de escorregamento planar, circular e em cunha.....	25
Figura 4 –	Esquemátização do geoprocessamento, suas tecnologias e a integração ao SIG.....	33
Figura 5 –	Partes integrantes de um SIG.....	35
Figura 6 –	Movimentos de massa ocorridos no dia 1 de janeiro de 2010 no município de Angra dos Reis.....	40
Figura 7 –	Mapa da área de estudo e principais acessos.....	42
Figura 8 –	Mapa da cicatriz de deslizamento da praia de Itaguaçu.....	43
Figura 9 –	Mapa Geológico da Ilha Grande.....	46
Figura 10 –	Modelo esquemático de um aquífero fraturado.....	51
Figura 11 –	Esquema ilustrativo do perfil de uma encosta da Serra do Mar exemplificando um escorregamento translacional raso....	54
Figura 12 –	Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano a partir de dados obtidos nos últimos 30 anos.....	55
Figura 13 –	Fluxograma dos materiais e métodos do estudo.....	58
Figura 14 –	Fluograma dos métodos adotados para a realização do levantamento aéreo com drone.....	59
Figura 15 –	Nuvem de pontos esparsa gerada por meio do alinhamento das imagens.....	61
Figura 16 –	Modelos digitais de afloramento.....	62
Figura 17 –	Modelos gerados na etapa de pós processamento.....	62
Figura 18 –	Imagens coletadas em campo na cicatriz de deslizamento.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de movimento de massa proposto por VARNES (1978).....	19
Quadro 2 – Comparação entre algumas propostas brasileiras de classificação dos movimentos de massa em Fernandes e Amaral (2003).....	20
Quadro 3 – Características dos principais tipos de deslizamentos ocorridos no Brasil.....	21
Quadro 4 – Agentes e Causas de movimentos de massa (GUIDICINE & NIEBLE, 1984) .....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGISOFT	<i>Agisoft Metashape</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS.	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instituição do Comando da Aeronáutica
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISDR	<i>International Strategy for disaster Reduction</i>
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MVS	<i>Multi-View Stereo</i>
MVA	Modelo Virtual de Afloramento
ONU	Organização das Nações Unidas
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
SARPA	Solicitação de Acesso de RPAS
SfM	<i>Structure from Motion</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SHP	<i>Shapefile</i>
WORKFLOW	Fluxo de trabalho

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
Km <sup>2</sup>	Quilometro ao quadrado
m	Metro
M.a	Milhões de anos
Pix	Pixels

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	15
1	<b>BASE CONCEITUAL.....</b>	17
1.1	<b>Fundamentos de movimentos de Massa.....</b>	17
1.1.1	<u>Conceito.....</u>	17
1.1.2	<u>Classificação.....</u>	18
1.1.3	<u>Agentes e Causas.....</u>	26
1.1.4	<u>Fatores condicionantes.....</u>	27
1.2	<b>Aspectos Conceituais em Movimentos de Massa: Risco, susceptibilidade, vulnerabilidade, ameaça e perigo.....</b>	28
1.2.1	<u>Risco.....</u>	28
1.2.2	<u>Susceptibilidade.....</u>	29
1.2.3	<u>Vulnerabilidade.....</u>	30
1.2.4	<u>Ameaça .....</u>	32
1.2.5	<u>Perigo.....</u>	32
1.3	<b>Geoprocessamento aplicado a riscos geológicos.....</b>	38
2	<b>EVENTOS ANTERIORES.....</b>	39
3	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	41
3.1	<b>Localização .....</b>	41
3.1.1	<u>Geomorfologia.....</u>	44
3.1.2	<u>Contexto estrutural, geológico e tectônico.....</u>	45
3.1.2.1	Litologia.....	45
3.1.2.2	Geologia Estrutural.....	48
3.1.3	<u>Hidrogeologia.....</u>	50
3.1.4	<u>Pedogênese.....</u>	51
3.1.5	<u>Clima e pluviometria.....</u>	55
3.1.6	<u>Vegetação e uso do Solo.....</u>	56
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	58
4.1	<b>Etapa de campo I: Levantamento aerofotogramétrico.....</b>	58
4.1.1	<u>Planejamento de voo e aquisição de dados.....</u>	59
4.1.2	<u>Pós processamento de voo.....</u>	60

4.1.3	<u>Integração de dados</u> .....	63
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	65
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	89
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	91

## INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um relevante processo natural que ocorre principalmente em regiões com relevo acentuado. Esses episódios envolvem um volume de rocha e/ou solo que se deslocam conjuntamente e, atuam na dinâmica das vertentes, sendo responsável pela evolução do relevo (VEDOVELLO & MACEDO, 2007). Esses fenômenos estão condicionados por uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, com ênfase para a declividade e curvatura vertical e horizontal da encosta; Fatores geológicos, englobando características litoestruturais, fraturas e falhamentos; Fatores pedológicos, com destaque para as propriedades físicas, morfológicas e hidrológicas do solo e Fatores Hidrológico-climáticos, como as poro-pressões positivas e umidade do solo (FERNANDES & AMARAL, 2003; GOES, 2018).

Conforme dados do *Emergency Events Database* (EM-DAT), o século XX foi marcado pelo aumento substancial no número de eventos catastróficos, registrado em 56%, superando de forma considerável a taxa de crescimento populacional, que foi de apenas 15%. De acordo com Marcelino *et al.*, 2006, esse fato se deve em função do crescimento populacional, da segregação socioespacial, da acumulação de capital em zonas perigosas, do avanço das comunicações e das mudanças globais. No Brasil e em alguns países de clima tropical úmido, esse processo é resultado da combinação de eventos diversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, onde destacam-se, a inevitabilidade de dominar espacialmente quais regiões são suscetíveis e quais possuem atributos potencializadores do risco (FURLAN *et al.*, 2011).

O Estado do Rio de Janeiro ocupa a sexta posição entre os estados brasileiros a apresentar maiores riscos relacionados a desastres, segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2015). De acordo com dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED-UFSC, 2013), durante os anos de 1991 a 2012, o estado concentrou cerca de 79,8% dos movimentos de massa ocorridos no país, sendo também o estado com maior número de mortes causadas por deslizamentos, registrando 3,8 vezes mais mortes que o estado de São Paulo, que ocupa a segunda posição.

A elevada incidência de movimentos de massa na região pode ser atribuída ao contexto geográfico definido pelo domínio da Serra do Mar e pelas altas precipitações médias anuais, com a ocorrência de episódios prolongados de chuvas. Esses fatores contribuem significativamente para a suscetibilidade desses deslizamentos, especialmente os translacionais (FERNANDES et al., 2004; VIEIRA et. al., 2010). Tais processos desempenham um papel essencial na evolução natural do relevo nesse ambiente (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998).

Nesse contexto, o município de Angra dos Reis, localizado no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, sustenta uma história de cicatrizes oriundas de um contexto que favorece movimentos de massa, ocupando a 8ª posição entre os municípios Brasileiros com maior número de fatalidades no período entre 1988 e 2022 (MACEDO et al., 2022). Isso se deve a uma combinação de fatores, como o relevo íngreme, a planície costeira pouco extensa, solos propensos à erosão e instabilidade, ocupação irregular de encostas e um dos maiores índices pluviométricos do país. Tais condições, quase sempre, conduzem a danos territoriais, econômicos e de vidas.

Dentre os maiores desastres ocorridos nessa região, destacam-se os dos dias 09 de dezembro de 2002 e 01 de janeiro de 2010, quando a região da Costa Verde foi marcada por eventos de precipitação intensa de longa duração que culminou no escorregamento de encostas e enchentes em diversos pontos da cidade e da Ilha Grande, o que acabou afetando intensamente áreas povoadas e não povoadas. Em abril de 2022, segundo o Boletim Oficial da Prefeitura de Angra dos Reis (2022) 592 mm de chuva foram registrados em dois dias na Ilha grande sendo fator deflagrador para o deslizamento translacional de grande proporção que encurtou a faixa de areia e provocou danos na praia de Itaguaçu, evento tema desta dissertação.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo principal investigar e compreender as causas, mecanismos e fatores que levaram ao deslizamento na Praia de Itaguaçu. Para tal, foi realizada uma análise integrada de dados obtidos em campo por meio de levantamento aerofotogramétrico com drone e mapeamento geomorfológico detalhado do maciço rochoso-terroso o qual ocorreu o movimento translacional raso. O intuito foi compreender as características morfológicas do maciço rochoso-terroso, os processos geodinâmicos subjacentes e os impactos associados.

## 1 BASE CONCEITUAL

Esse capítulo tem por finalidade estabelecer uma base conceitual sólida que servirá de alicerce para a fundamentação do trabalho. Para tanto, serão abordados temas como: Movimentos de massa, aspectos Conceituais em Movimentos de Massa: risco, susceptibilidade, vulnerabilidade, ameaça e perigo, e por fim, Geoprocessamento aplicado aos riscos geológicos.

### 1.1 Fundamentos de Movimento de Massa

O conceito de movimento de massa, suas classificações e fatores predisponentes e deflagradores constam em SHARPE (1938), TERZAGHI (1967) FREIRE (1965), VARNES (1978), CHRISTOFOLETTI (1980), GUIDICINI e NIEBLE (1984), HUTCHINSON (1988), AUGUSTO FILHO (1992), SELBY (1993), IPT (1995), CRUDEN E VARNES (1996), dentre outros.

#### 1.1.1 Conceito

Na literatura, há diversas discussões acerca da terminologia empregada para descrever os "movimentos de massa", o que resulta em uma grande variedade de definições e classificações. Segundo CRUDEN (2003), o termo "movimento de massa" foi inicialmente registrado por Sharpe em seu livro de 1938, intitulado "*Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass Movements of Soil and Rocks*", no qual ele o definiu como a queda perceptível ou deslocamento descendente de uma massa relativamente seca de solo, rocha ou ambos.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1980) e SELBY (1993), os movimentos de massa representam um fenômeno geodinâmico caracterizado pelo deslocamento descendente de materiais do solo ou das rochas devido à atração gravitacional, sem que haja uma influência direta de outros elementos externos, como a presença de água, ar ou gelo. No entanto, apesar da ausência direta desses elementos, a água e

o gelo frequentemente desempenham papéis significativos na dinâmica desses movimentos, ao reduzirem a coesão e a resistência dos materiais nas encostas, contribuindo, assim, para a manifestação de comportamentos plásticos e fluidos nos solos envolvidos.

### 1.1.2 Classificação

É possível identificar diversos modelos de deslizamentos, os quais diferem por uma gama de processos, materiais e fatores condicionantes, que podem ser agrupados segundo classificações ímpares. A diferenciação entre esses tipos exige a consideração de vários critérios. SESTINI (1999) evidencia que grande parte das classificações propostas se baseiam, principalmente, em função do tipo de material envolvido (estrutura, textura e conteúdo de água), da magnitude e geometria das massas de solo, rochas ou detritos (tamanho e forma de material mobilizado) e das características cinéticas do movimento (velocidade, direção, alcance). Com tantos critérios disponíveis, não é surpreendente que haja múltiplas classificações em uso, o que por vezes leva a conflitos na aplicação dos termos. Uma das classificações mais antigas, proposta por Sharpe em 1938, foi seguida por classificações mais recentes, como a de Varnes em 1978 e Hutchinson em 1988.

A classificação mais amplamente adotada e internacionalmente reconhecida é aquela formulada por VARNES (1978). Essa classificação se fundamenta nos tipos de movimentos e nos materiais transportados (rocha, detrito e terra), sem levar em consideração a velocidade adquirida no processo, conforme pode ser verificado no Quadro 1.

Quadro 1 Classificação de movimento de massa

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	Solos (Engenharia)	
			Grosseiro	Fino
<b>Queda (<i>Fall</i>)</b>		blocos	de detritos	de terra
<b>tombamento (<i>Topple</i>)</b>		de blocos	de detritos	de terra
<b>Escorregamento</b>	<b>Rotacional</b>	de blocos	de detritos	de terra
	<b>Translacional</b>			
<b>Espraiamento lateral</b>		de blocos	de detritos	de terra
<b>Corrida (<i>Flow</i>)</b>		Blocos	de detritos	de terra
<b>Complexo</b>		Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

Fonte: VARNES, 1978.

As classificações propostas por SHARPE (1938) e VARNES (1978), embora amplamente aceitas e utilizadas internacionalmente, apresentam limitações quando examinadas no contexto brasileiro. Isso ocorre porque as propostas não abrangem certos processos característicos e comuns nas encostas Brasileiras, como o tombamento de matações e o rolamento. Como resultado, pesquisadores, como FREIRE (1965) e GUIDICINI e NIEBLE (1984) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT (1995) realizaram adaptações dessas classificações para melhor refletir as características dos principais grupos de processos de movimento presentes na dinâmica brasileira, como visto no quadro 2.

Quadro 2 Comparação entre algumas propostas brasileiras de classificação dos movimentos de massa

<b>Freire (1965)</b> baseada em Sharpe (1938)	<b>Guidicini &amp; Nieble (1984)</b> Baseada em Freire (1965)	<b>IPT (1991)</b>
Escoamento (Rastejo e corridas)	Escoamento (Rastejo e corridas)	Rastejos Corridas de Massa
Escorregamentos (Rotacionais e translacionais)	Escorregamentos (Rotacionais, translacionais, queda de blocos e queda de detritos)	Escorregamentos
Subsidências e desabamentos	Subsidências (Subsidências, recalques e desabamentos)	Quedas/Tombamentos
	Formas de transição Movimentos complexos	

Fonte: FERNANDES; AMARAL, 2003.

FREIRE (1965), inspirado por Sharpe, foi um dos pioneiros a sintetizar e reunir dados para a classificação dos movimentos de massa no território brasileiro. Sua classificação leva em consideração dados físicos dos locais, a superfície de escorregamento e os materiais envolvidos, os dados mecânicos correlatos e a duração do evento, classificando em escoamentos, escorregamentos, subsidências e desabamentos. Essa proposta foi adaptada por GUIDICINI & NIEBLE (1984), que ampliou o número de subdivisão e incorporou formas de transição e movimentos complexos.

AUGUSTO FILHO (1992), compilou os movimentos de massa mais recorrentes na dinâmica ambiental Brasileira (ambientes tropicais e subtropicais) e propôs a sua divisão em quatro tipos: Rastejo, escorregamentos, quedas de blocos e corridas de massa, que podem ser observados abaixo no quadro 2.

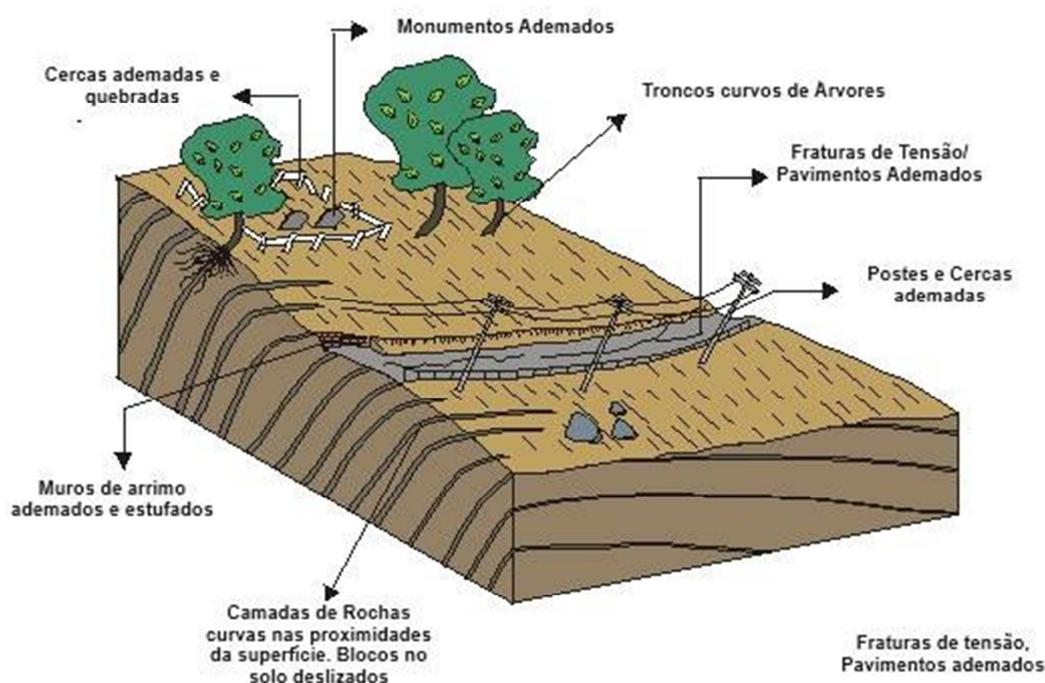
Quadro 3 Características dos principais tipos de deslizamentos ocorridos no Brasil.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
<b>Rastejo (Creep)</b>	Vários planos de deslocamento (interno)
	Movimentos são lentos e ocorrem em declives baixos, decrescendo com a profundidade.
	Movimentos constantes, sazonais ou intermediários.
	Material consiste em solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;
	Geometria indefinida.
<b>Quedas de blocos (Falls)</b>	Sem planos de deslocamento;
	Movimentos ocorrem tipo queda livre de material (rocha e solo) ou em plano inclinado;
	Pequenos a médios volumes;
	Velocidades muito alta devido a ação da gravidade;
	A geometria é variável.
<b>Corrida de Massa (Flow)</b>	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);
	Movimento é similar ao de um líquido viscoso;
	Geralmente desenvolvido ao longo de drenagens;
	Velocidades médias a altas que mobilizam grandes volumes de material (solo, rocha, detritos e águas);
	Alcançam um extenso raio.
<b>Escorregamentos (Slides)</b>	Poucos planos de deslocamento (externos);
	Possui velocidades médias a altas;
	Pequenos a grandes volumes de material;
	Geometria e materiais são variáveis:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) PLANARES - Solo pouco espesso, rochas e solo com 1 plano de fraqueza;</li> <li>b) EM CUNHA - Solos e rochas com 2 planos de fraqueza;</li> <li>c) CIRCULARES - Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas.</li> </ul>

Fonte: Extraído e modificado de Augusto Filho, 1998.

**Rastejo** (*creep*), é um movimento gravitacional lento e contínuo dos vários horizontes de solo (Figura 1). A observação da sua evolução é difícil visto que possui uma movimentação de apenas mm ou cm por ano. Esse movimento é constante, sazonal e descontínuo, sendo causado por uma tensão cisalhante que produz uma deformação permanente. Conforme descrito por Valdovello & Macedo (2007), neste tipo de movimento, não é possível identificar uma superfície de ruptura; em vez disso, ocorrem acomodações e escoamentos plásticos localizados, influenciados pela ação das águas da chuva. O material envolvido pode ser constituído por solos, depósitos superficiais e rocha alterada ou fraturada, sendo mais comuns em encostas retilíneas e convexas em intensidade proporcional à inclinação das encostas (GUIDICINE & NIEBLE, 1984)

Figura 1 Modelo esquemático de rastejo



Fonte: extraída e modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

**Queda de blocos** (*fall*) ocorre devido a movimentos rápidos de queda livre pela ação da gravidade, sem que haja uma superfície de deslizamento (Figura 2). AUGUSTO FILHO (1992) classificou em três tipos: Queda de Blocos, tombamento e rolamento.

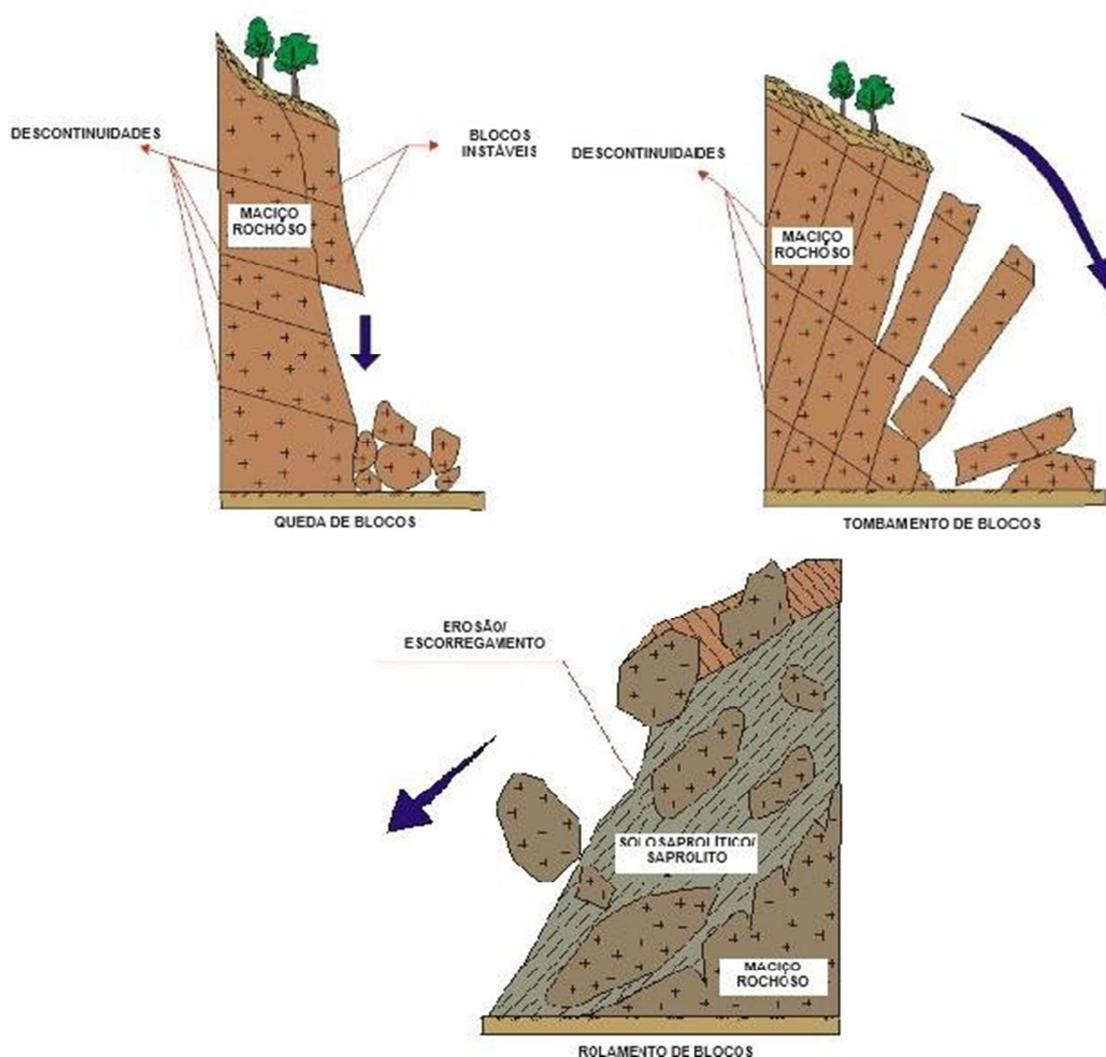
- a) Queda de blocos: Envolve materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se

deslocam em movimentos tipo queda livre.

b) Tombamento de blocos: Rotação de blocos rochosos condicionados pela presença de estruturas geológicas no maciço, com grande mergulho, comuns em rochas vulcânicas associadas à presença de disjunções.

c) Rolamento de blocos: Corresponde a movimentos de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas. Estes blocos, destacando-se dos taludes e encostas por perda de apoio, são comuns em rochas maciças rochosas de granito que apresentam alteração diferencial.

Figura 2 - Modelo esquemático de Quedas de bloco



Fonte: extraída e modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

**Corrida de massa** (*flow*): São movimentos gravitacionais rápidos, nos quais os materiais em movimento se comportam semelhantes a um líquido viscoso e denso, podendo ser extremamente destrutivo. Podem combinar materiais como solos pouco coesos, rochas, matéria orgânica, ar e água, mobilizados como um fluído, encosta abaixo. Apresentam grandes dimensões, mobilizam grande volume de material e possuem um extenso raio de alcance. GUIDICINI e NIEBLE (1984) classificam os movimentos com base no grau de fluidez em duas categorias principais: Corridas de Terra e corridas de Lama. As corridas de terra geralmente ocorrem devido ao encharcamento do solo após chuvas intensas ou longos períodos de chuva de menor intensidade. Elas tendem a se desenvolver em terrenos menos abruptos e são altamente influenciadas pela resistência dos materiais envolvidos. As corridas de lama representam um exemplo de movimento de extrema fluidez e são tipicamente desencadeadas pela ação de lavagem e remoção de solos por cursos de água durante enchentes e tempestades.

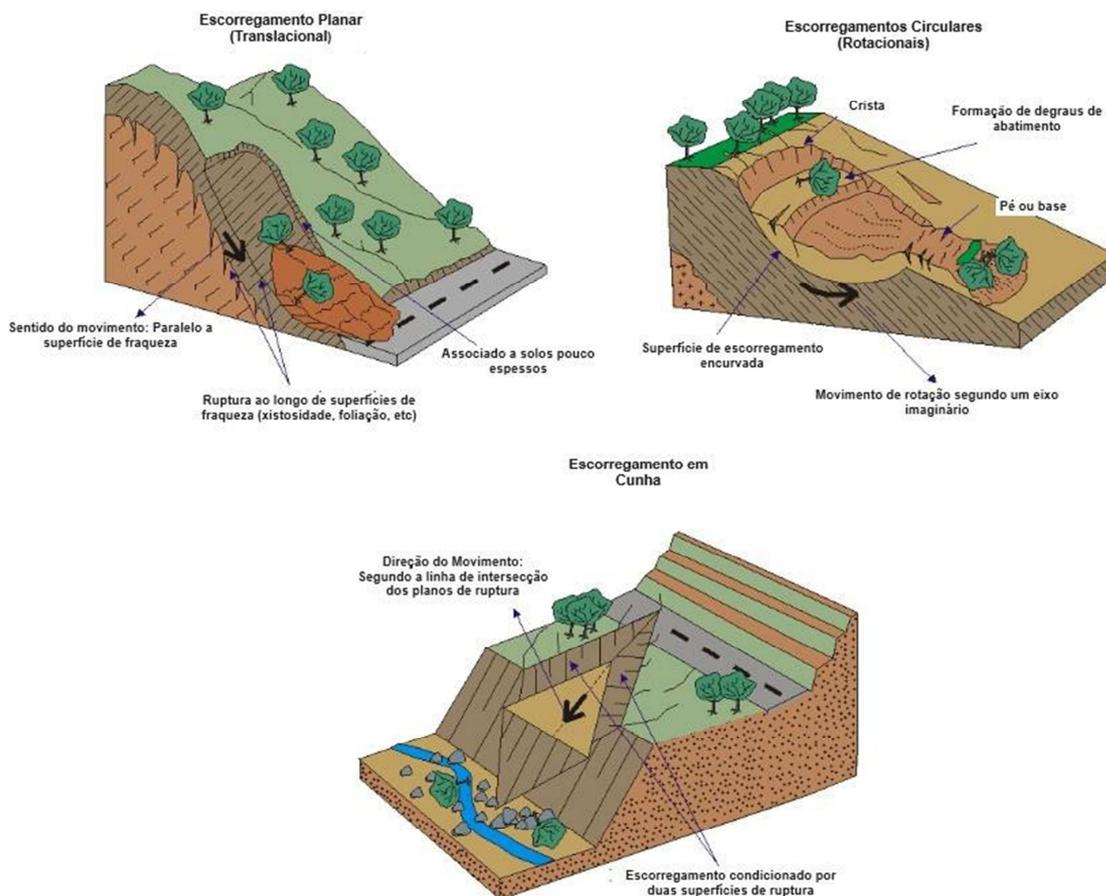
**Escorregamentos** (*slides*) caracterizam-se como movimentos rápidos, com duração relativamente curta, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora da encosta (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1992). Os escorregamentos são identificados em função da sua geometria e da natureza do material que estabilizam. O principal evento deflagrador desse tipo de movimento são as chuvas. Desta forma podem ser classificados em rotacionais, em cunha e translacionais(planar), de acordo com o plano de ruptura (Figura 3):

- a) Escorregamentos rotacionais acontecem em materiais relativamente homogêneos e coesos e envolvem superfícies de deslizamento curvas, caracterizadas pela ocorrência de rotação durante o movimento. É um fenômeno observado em encostas brasileiras, mobilizando o manto de alteração e sendo catastrófico.
- b) Os escorregamentos em forma de cunha são eventos relacionados a saprólitos e maciços rochosos, nos quais a presença de duas estruturas planares desfavoráveis à estabilidade resulta no deslocamento de uma massa ao longo do eixo de interseção desses planos. Esses processos são frequentemente observados em taludes de corte ou em encostas que foram submetidas a algum tipo de

descompressão, seja de forma natural ou devido à intervenção humana.

c) Escorregamentos translacionais (planar), ou planares, são a forma mais frequente de movimentos de massa, particularmente na Serra do Mar (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; WOLLE, 1988; WOLLE & CARVALHO, 1989; FERNANDES & AMARAL, 2000). Nele, a superfície de ruptura apresenta forma planar e acompanha descontinuidades, ou planos de fraqueza pré-existentes no interior do material. (FERNANDES & AMARAL, 2003). Esses escorregamentos geralmente ocorrem dentro do manto de alteração, denominado de regolito, cuja espessura está condicionada pela litologia, condições climáticas e topografia da encosta. São normalmente compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se na grande maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5 e 5,0m.

Figura 3 - Modelo de escorregamento planar, circular e em cunha



Fonte: extraída e modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

### 1.1.3 Agentes e Causas

Em seu trabalho, GUIDICINI E NIEBLE (1984) apresentaram uma metodologia para caracterizar os movimentos de massa em encostas, utilizando os conceitos de "agentes" e "causas" de instabilização. Nessa abordagem, as causas são definidas como o modo de atuação de determinado agente na instabilização de uma encosta.

Os autores classificaram os agentes em duas categorias: predisponentes, ou seja, aqueles que predispõe ao movimento de massa, sendo relacionados às características naturais intrínsecas do terreno, e efetivos, responsáveis diretos pelo desencadeamento do movimento na encosta, incluindo a ação humana. Os agentes efetivos, ainda, são subdivididos em preparatórios e imediatos.

As causas, por sua vez, podem ser destacadas dependendo da sua posição em relação à encosta. Estes processos são classificados em três grandes grupos (TERZAGHI,1967; VARNES, 1978; GUIDICINI E NIEBLE, 1984; CRUDEN E VARNES, 1996; e AUGUSTO FILHO E VIRGILI, 1998) :

- a) **Internas:** Levam ao colapso sem que ocorra mudança na geometria da encosta, havendo diminuição da resistência interna do material. Relacionado principalmente a materiais argilosos ao sofrerem processos de intemperismo e reações físico-químicas
- b) **Externas:** Promovem o aumento das tensões cisalhantes sem que haja diminuição da resistência do material. Relacionado a remoção do suporte lateral, adição de materiais no topo da encosta, explosões, passagem de veículos pesados, forças tectônicas, entre outros.
- c) **Intermediárias:** Resultantes de efeitos causados por agentes externos no interior do talude, relacionado tanto a características inerentes do material envolvido quanto à presença de fissuras, falhas e/ou descontinuidades na massa de rocha/solo.

Essa classificação detalhada é apresentada de forma organizada no quadro 4.

Quadro 4 Agentes e Causas de movimentos de massa

AGENTES			CAUSAS		
Predisponentes	Efetivos		Internas	Externas	Intermediárias
	Preparatórios	Imediatos			
Complexo geológico; Complexo morfológico; complexo climático; hidrológico; gravidade; calor solar; vegetação	Pluviosidade; erosão pela água e vento; congelamento e degelo; variação da temperatura; dissolução química; ação de fontes e mananciais, oscilação do freático; ação de animais e humana.	chuvas intensas, fusão do gelo e neves; erosão; terremoto; ondas; vento; ação do homem.	Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; mudanças naturais na inclinação das camadas.	Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas"; elevação da coluna de água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (piping); diminuição do efeito de coesão aparente

Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, 1984.

#### 1.1.4 Fatores condicionantes

AUGUSTO FILHO e VIRGILI (1998), propõem os principais condicionantes para movimentos de massa nas encostas brasileiras como sendo: Atributos climáticos, com destaque para o regime pluviométrico; aspectos e distribuições dos elementos que compõem o substrato das encostas, compreendendo solos, rochas, estruturas e depósitos; geomorfologia, em especial a inclinação, geometria, e amplitude das encostas; regime das águas; características do uso e ocupação do solo, abrangendo vegetação, interferência antrópica e acúmulo de água pluvial.

Dessa forma, levando em consideração as inúmeras abordagens com os fatores condicionantes e processos associados e tendo em conta as características da área de estudo, alguns condicionantes assumem maior importância como fatores predisponentes e agentes efetivos, na detonação de movimentos de massa nessa região. Podemos citar como agentes predisponentes os condicionantes geológicos, englobando características lito-estruturais (ANKI, 1972, *apud* WOLLE, 1988; Amaral *et al.*, 1992) e geomorfológicos (Vieira *et al.*, 1997) e como agentes efetivos, ou seja, elemento responsável pelo desencadeamento dos processos, as chuvas intensas.

TOMINAGA (2007) complementa que esses processos são agravados, tornando-se desastres, pelo uso inadequado da terra, como escavações, uso agrícola, falta de planejamento urbano e ocupação irregular de locais favoráveis a ocorrência desses fenômenos, sendo caracterizadas como áreas de risco. Nesse contexto, Vedovello & Macedo (2007) disserta que tais movimentos, quando acentuados por ações antrópicas, modificam as condições de equilíbrio de um determinado local ou geram novas encostas, menos estáveis que a inicial. Ainda, para WICANDER & MONROE (2009), a retirada da cobertura vegetal afeta diretamente a estabilidade da encosta, pois faz com que o solo absorva mais água durante chuvas intensas e conseqüentemente conduz a uma rápida saturação e diminuição ao cisalhamento.

## **1.2 Aspectos Conceituais em Movimentos de Massa: Risco, susceptibilidade, vulnerabilidade, ameaça e perigo**

### **1.2.1 Risco**

O conceito de risco abrange diversas definições, muitas vezes, distintas de uma bibliografia para outra. O glossário da Defesa Civil define risco como a probabilidade de ocorrência de um acidente, desastre ou evento adverso, vinculado à intensidade dos danos e perdas, resultantes destes (CASTRO,1979). Deste modo, expressa através de probabilidade e estatística, o prejuízo econômico pela ocorrência do fenômeno e a intensidade das conseqüências previsíveis.

O relatório organizado pela *International Strategy for disaster Reduction* (ISDR) "*Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*" (ONU,2004) define risco como a possibilidade de decorrências adversas ou danos esperados, derivados da interação entre perigo naturais ou induzidos por ação antrópica e as condições de vulnerabilidade. Dessa forma, risco é expresso pela notação (1):

$$Risco = Perigo \times Vulnerabilidade \quad (1)$$

Na equação, perigo representa um evento físico ou ação humana capaz de gerar danos (perdas ou ferimentos humanos, avarias em propriedades, danos econômicos e degradação ambiental) que aumentam a susceptibilidade de uma sociedade (ONU, 2004).

É essencial o entendimento do conceito do risco e sua aplicabilidade para a definição dos critérios e condicionantes da análise de risco e consequente assimilação dos produtos gerados. Assim, o entendimento absoluto dos conceitos se mostra relevante para a escolha e aplicação do tipo de mapa, sendo eles de susceptibilidade, de perigo e de riscos.

### 1.2.2 Suscetibilidade

TORRES (2014) define susceptibilidade como a eventualidade da ocorrência de um evento em uma determinada área, sendo definido dois tipos de susceptibilidade aos deslizamentos: a natural e a induzida. TOMINAGA (2007) prevê a susceptibilidade natural com base em suas peculiaridades pedológicas, geomorfológica, climática e na sua cobertura vegetal. Já sua avaliação acerca da susceptibilidade induzida, sua classificação está associada ao uso e ocupação do solo.

A susceptibilidade de um ambiente pode ser influenciada através de fatores endógenos e exógenos, como também por agentes indutores dos movimentos de massa, como a pluviometria, sismos e oscilações do lençol freático, naturais ou induzidas (TORRES, 2014). As características do ambiente determinam o grau de susceptibilidade que a região pode ter a um evento ou risco geológico-geotécnico. Desta forma é fundamental o estudo do comportamento geológico, geomorfológico, hidrológico e climático do ambiente.

Em estudos voltados para susceptibilidades, perigos e riscos geológicos, de deslizamentos normalmente, são assumidas 4 prerrogativas principais de acordo com VARNES (1984), são eles:

- a) Os deslizamentos irão ocorrer dentro das mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e climáticas do passado;
- b) As principais condições causadoras dos deslizamentos são

controladas por fatores físicos, identificáveis;

c) O grau de perigo pode ser avaliado;

d) Todos os tipos de ruptura de taludes podem ser identificados e classificados.

### 1.2.3 Vulnerabilidade

A ONU (2004) explica vulnerabilidade como “Conjunto de processos, condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam o quanto uma comunidade ou elemento em risco estão susceptíveis aos impactos dos eventos perigosos”. Nesse contexto, o termo correlaciona a propensão ao risco de uma região, meio ambiente ou infraestrutura, a capacidade de resposta e recuperação aos danos ocorridos.

CIDADE (2013) define a temática da vulnerabilidade como multifacetada, visto que manifesta de diferentes formas e experimenta múltiplas causalidades em um conjunto de fenômenos com a mesma designação. A construção de uma base conceitual comum se torna complexa devido aos distintos pontos de partida: as ciências da natureza, no caso dos desastres ambientais; e as ciências sociais, no caso dos processos socioeconômicos com efeitos sobre a pobreza.

Para SOUZA & ZANELLA (2009), a vulnerabilidade social se concentra nos grupos vulneráveis, ou seja, nos indivíduos que, devido a características específicas ou circunstâncias particulares, apresentam menor probabilidade de uma resposta positiva diante de eventos adversos.

AQUINO *et al.* (2017) conceitua a vulnerabilidade ambiental como o “grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas”. Essa vulnerabilidade pode surgir tanto de características intrínsecas ao ambiente natural quanto das pressões exercidas por ações antrópicas.

Já a vulnerabilidade socioambiental incorpora a vulnerabilidade ambiental com a vulnerabilidade social. CARTIER *et al.* (2009) e DESCHAMPS (2004) explicam a vulnerabilidade socioambiental como a coexistência ou sobreposição espacial de comunidades economicamente desfavorecidas, marginalizadas e

discriminadas (vulnerabilidade social), que residem ou transitam em regiões sujeitas a riscos ou degradação ambiental (indicando vulnerabilidade ambiental). Em outras palavras, populações socialmente vulneráveis se localizam em áreas ambientalmente vulneráveis.

Para ALCÁNTARA-AYALA (2002) a vulnerabilidade socioambiental apresenta nuances e características distintas em diferentes contextos, podendo variar amplamente de uma região para outra. Sua dinâmica é intrinsecamente influenciada pelas particularidades de cada sociedade.

ADGER (2006) assim como IPCC (2001) aborda o conceito de vulnerabilidade por meio da análise de três componentes inter-relacionadas:

- a) **Exposição** a perturbações ou tensões externas: refere-se à medida em que as comunidades, sistemas ou áreas geográficas estão sujeitas a riscos ambientais e climáticos. É preciso compreender a magnitude, frequência, duração e a abrangência do evento para identificar determinada população exposta.
- b) **Sensibilidade** (susceptibilidade) a perturbação: refere-se à habilidade inerente de um sistema ou comunidade de detectar, responder e se ajustar às consequências decorrentes de perturbações. Nesse contexto, as características intrínsecas das comunidades, suas estruturas sociais, sistemas de governança e resiliência afetam sua sensibilidade aos riscos e perturbações.
- c) **Capacidade de adaptação**: Condição que um sistema (indivíduo) tem de alterar-se para acomodar os danos resultados dos riscos ambientais ou de mudança política, expandindo a gama de variabilidade com qual tem que lidar

Esses elementos são fundamentais para entender a vulnerabilidade de comunidades e sistemas a diferentes ameaças e riscos.

Portanto, ao avaliar a vulnerabilidade, é fundamental examinar como esses componentes se entrelaçam em um cenário específico. Quando indivíduos ou uma população estão expostos aos riscos associados a um evento, isso pode indicar um potencial de vulnerabilidade. No entanto, é importante notar que a supressão ou enfraquecimento de qualquer um desses componentes que compõem a

vulnerabilidade (seja a capacidade adaptativa, a sensibilidade ou a exposição) não reduz apenas o risco envolvido, mas também pode impactar a participação do indivíduo enquanto sujeito potencialmente vulnerável, demonstrando a complexidade desse conceito.

#### 1.2.4 Ameaça

A ameaça é um episódio que pode acarretar danos e prejuízos. Quando falamos de ameaça em desastres naturais, pode ser uma chuva torrencial, um deslizamento de terra, um período de estiagem ou qualquer outra ocorrência que ofereça perigo a uma determinada região, implicando em riscos diretos à saúde da população, às suas propriedades e bens, seus meios de sustento, aos serviços disponíveis etc. (JUNIOR, 2018)

#### 1.2.5 Perigo

O perigo é um fenômeno natural que ocorre em épocas e regiões conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto. Assim, perigos naturais são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso e serem modificados pela atividade humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização. (UNDP, 2004).

### 1.3 **Geoprocessamento aplicado aos riscos geológicos**

O Brasil experimenta um crescente aumento na quantidade de pesquisas que abordam a temática de riscos geológicos. Estas, buscam a relação direta e indireta entre desigualdade social e ambiental visando a redução de riscos relacionados a eventos naturais e antrópicos. Nesse sentido, o desenvolvimento de métodos de

geoprocessamento e geotecnologias, integralizados nos SIG, possibilitam a representação de uma área de estudo por meio de modelos digitais, e ampliam o estudo entre topografia e movimentos de massa, apontando como um instrumento de apoio promissor ao planejamento urbano e ambiental uma vez que permite realizar diagnósticos para medidas de prevenção e mitigação.

O conceito de geoprocessamento surgiu junto ao advento da internet e a possibilidade de tratar informações georreferenciadas sem as limitações oriundas da integração de dados geográficos efetuados através de mapas impressos, como anteriormente pela análise cartográfica tradicional (ROSA, 2011). Avanços operacionais nesta área se devem muito ao aperfeiçoamento de técnicas de coleta, tratamento e análise de dados georreferenciados.

Para ROSA (2011), o geoprocessamento abrange a soma de geotecnologias computacionais e matemáticas voltadas a coleta de dados georreferenciados e tratamento de informações espaciais, bem como a otimização de novos sistemas e funcionalidades. Entre as geotecnologias, destaca-se a fotogrametria e o sensoriamento remoto associados ao Sistema de Informações Geográficas (Figura 4).

Figura 4 Esquemática do geoprocessamento, suas tecnologias e a integração ao SIG.



ALBUQUERQUE (2012) e FERREIRA (2014) complementam, que o geoprocessamento se apresenta como um instrumento promissor, na qual suas tecnologias são aplicadas em diferentes vertentes da pesquisa geográfica, tanto em estudos abrigados sob o termo geoambiental como em pesquisas com enfoque geosocioeconômico, tornando-se fundamental para o ordenamento territorial, visto a unidades de confiabilidade de seus dados.

Nesse sentido, BITELLI (2004), declara o monitoramento multitemporal de deslocamento de áreas instáveis como um importante instrumento na prevenção de uma possível evolução espacial ou temporal. À vista disto, alguns recursos são utilizados no sentido de avaliar a atividade de movimentos de terra existentes. Para tal, são identificadas duas classes de avaliação, são elas: métodos baseados em pontos (Estação total e GPS) e em áreas (Fotogrametria, LASER e sensoriamento remoto).

Os métodos baseados em pontos se caracterizam por sua alta precisão, na ordem de cm/ano, em monitorar ou estimar o limite da área de deslizamento. Contudo, para que se obtenha tal reconstrução, é necessário extensos períodos de procedimentos em campo que por vezes são dificultados pela difícil acessibilidade a área de instabilidade.

Também reconhecidas por sua alta precisão, técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas na geração de MDE para monitoramento de deslizamento de terras. Entretanto, a fotogrametria desponta como recurso mais abrangente para pesquisas relacionadas a movimentos de massa, pois permite a reconstrução tridimensional do deslizamento e sua evolução ao longo do tempo propondo, ainda, riqueza de detalhes em curtos períodos (BITELLI, 2004).

A fotogrametria digital aparece, desta forma, como possibilidade para procedimentos inovadores, como criação de MDS e reconstrução de superfícies por meio da geração de ortomosaicos.

### 1.3.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto tem sido amplamente utilizado em estudos que envolvem monitoramento de movimentos de massa. FLORENZANO (2008) ressalta

a influência na qual imagens orbitais de alta resolução proporcionam na identificação e caracterização de questões geoambientais e na visão multitemporal de extensas áreas da superfície do globo. Este cenário sintético do meio ambiente propicia a abrangência de estudos integrados, realçando as transformações de paisagens e evidenciando impactos ambientais de origem natural e antrópica.

### 1.3.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

A inserção de computadores na rotina de pesquisadores transformou a forma como a pesquisa em ciências ambientais era feita. O modo de tratar a informação geográfica, experimentou mudanças que culminaram no surgimento do Sistema de Informação Geográfica, possibilitando trabalhar com diferentes tipos de dados, agora, em formato digital (FELICÍSIMO, 1994).

Sustentados com os dados do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informações Geográficas operacionalizam a manipulação e integração de grandes quantidades de informações.

O sistema de Informação Geográfica (SIG) é reconhecido como parte integrante das técnicas atuais de geoprocessamento, sendo responsáveis pela manipulação de informações georreferenciadas, nas quais disponibiliza armazenamento, gestão, controle e análise de dados, e consente a geração de mapas, relatórios e arquivos digitais. ROSA (2011) exemplifica o funcionamento de um SIG conforme a associação de cinco partes integrantes, sendo elas: hardwares, *softwares*, dados, pessoas e método (Figura 5).

Figura 5 Partes integrantes de um SIG.



Fonte: A autora, 2021.

### 1.3.3 Aeronave Remotamente Tripulada (RPA) e Aerofotogrametria

Os anos 80 marcaram a evolução e popularização de computadores e sistemas gerenciadores de bancos de dados com a ampliação do uso de Sistemas de Informações Geográficas. Na mesma época surgiram os primeiros relatos da utilização de RPA, popularmente conhecida no Brasil por drone (JORGE *et al.*, 2011). A partir de então, o desenvolvimento de plataforma e sensores em Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPA) teve um grande avanço, apesar de ainda carecer de estudos que difundem o estágio atual do sensoriamento remoto com essa técnica (LONGHITANO, 2010).

Inicialmente é necessário entender que a definição para RPA altera-se constantemente em concomitância a sua normatização perante os órgãos responsáveis. Atualmente, segundo a Instrução do comando da aeronáutica (ICA) 100-40 formulada em novembro de 2015, RPA é a terminologia correta quando se refere a um veículo aéreo composto por uma aeronave que possua carga útil e seja remotamente pilotada por meio de uma interface qualquer para fins não recreativos seguindo regras específicas (ICA, 2015).

As aeronaves remotamente pilotadas modernas são constituídas por um

conjunto de equipamentos (GNSS, câmeras, sensores de proximidade e bússolas, dentre outros sensores). Esses recursos permitem fazer o trabalho de fotogrametria e são conhecidos como a carga útil da aeronave (FIGUEIREDO, 2018).

O vertiginoso crescimento da tecnologia de RPA possibilitou a sua maior utilização como plataformas de sensoriamento remoto. O RPA despontou como bases de imagens portáteis de alta resolução que agregam as imagens de satélite, as quais possuem hiatos de observação devido a fenômenos atmosféricos. Além disto, tornou-se uma ferramenta eficiente para ações direcionadas de sensoriamento remoto em locais de difícil acesso a plataformas convencionais devido a restrições logísticas e humanas (EZEQUIEL *et al.*, 2014).

JÚNIOR *et al.*, (2015) acrescentou ainda, a autonomia que o RPA proporciona em levantamentos aéreos, a começar pela tomada das fotografias até a geração de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície em *softwares*. Ademais, a escassez de mapas modernos em escalas de maior representação juntamente ao baixo custo quando equiparado com outros métodos aerofotogramétricos tradicionais, contribuiu para seu progresso.

Dessa forma, o RPA possui inúmeras vantagens quando comparado ao sensoriamento remoto tradicional, sendo elas: Tempo real, flexibilidade, alta resolução, baixos custos e coleta de dados em locais de difícil acesso sem que haja risco.

Em vista disso, atualmente, o RPA vem sendo amplamente empregado no âmbito de avaliação de riscos naturais. No âmbito de fenômenos como deslizamentos de terra e fluxo de detrito, o uso de micro RPA é uma saída ideal, em especial para pequenos movimentos de massa ativos, onde é fundamental um comportamento quantitativo, porém o investimento é baixo contraposto a de fenômenos maiores (GIORDAN *et al.*, 2015).

Para GIORDAN *et al.*, (2015), o uso do micro-RPA é propício em deslizamentos de terra em pequenas áreas, sendo operados para obter imagens de alta resolução fundamentais na construção de um modelo 3D utilizando o modelo de “*Structure from Motion*” (SfM). Ainda, afirma que, em áreas urbanas, essa abordagem se torna especialmente vantajosa tendo em vista os malefícios que fenômenos gravitacionais causam quando envolvem casas, ruas, e outras infraestruturas.

#### 1.3.4 Structure from Motion (SfM)

Segundo SMITH *et al.*, (2015) a *Structure from Motion* diz respeito a um elemento pertencente a um fluxo de trabalho, no qual considera a nuvem de pontos como produto. Contudo, quase a totalidade dos estudos concebem uma prática completa do fluxo de trabalho, no qual algoritmos de fotogrametria *Multi-View Stereo* (MVS) são implantadas buscando um aumento da densidade dos pontos em várias escalas de magnitude. Desta forma o mais correto é denominar “SfM-MVS” para o fluxo de trabalho combinado.

O SfM-MVS é, desta forma, um fluxo de trabalho que, por meio de uma câmera fotográfica, utiliza um conjunto de imagens sobrepostas da superfície, a partir de pontos de vistas distintos, para reconstruir a geometria 3D da superfície ou objeto (SMITH *et al.*, 2015).

Ainda, NYIMBILI *et al.*, (2016) aborda a oportunidade que o SfM oferece na aquisição de dados 3D de baixo custo devido a sua capacidade em extrair dados de alta resolução e precisos utilizando câmeras acessíveis. Esta técnica é, portanto, uma evolução tecnológica na análise de imagens, sendo convergente a fotogrametria digital.

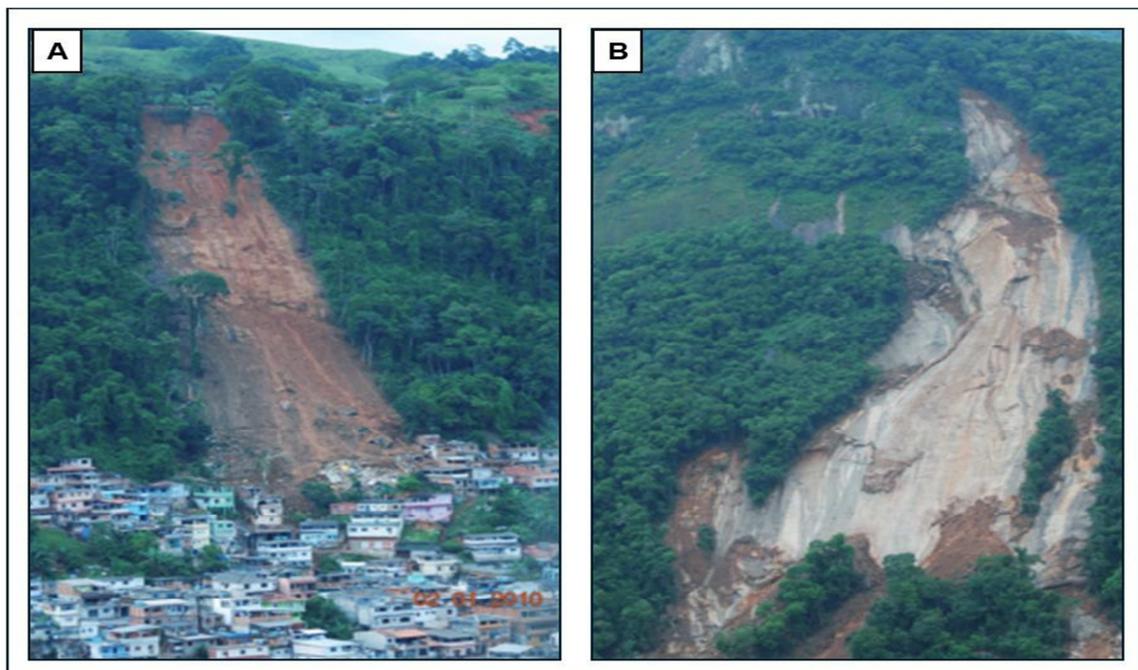
## 2 EVENTOS ANTERIORES

O município de Angra dos Reis sustenta uma história de cicatrizes oriundas de um contexto que favorece movimentos de massa, ocupando a 8ª posição entre os municípios brasileiros com maior número de fatalidades no período entre 1988 e 2022 (MACEDO *et al.*, 2022). Isso se deve a uma combinação de fatores, como o relevo íngreme, a planície costeira pouco extensa, solos propensos à erosão e instabilidade, ocupação irregular de encostas e um dos maiores índices pluviométricos do país. Tais condições, quase sempre, conduzem a danos territoriais, econômicos e de vidas. Dentre os principais eventos ocorridos na região, destacam-se o de dezembro de 2002 e o de janeiro de 2010.

O evento ocorrido em 9 de dezembro de 2002 foi o primeiro grande desastre de origem natural ocorrido em Angra dos Reis, totalizando cerca de 40 vítimas fatais, mais de 100 pessoas feridas e 2.500 desabrigadas. Na época, foi registrado um total de 240 mm de chuvas num intervalo de 24h. Este evento pluviométrico extremo acometeu, principalmente, os trechos a montante da bacia de drenagem do rio Japuíba, desencadeando uma corrida de detritos que soterrou dezessete casas. Outros pontos do município também registraram deslizamentos e soterramentos. Foi o primeiro grande desastre de origem natural registrado na região, com 42 mortes e centenas de pessoas desabrigadas.

No dia 1º de janeiro de 2010, uma série de deslizamentos atingiu as encostas do município de Angra dos Reis, após as intensas chuvas registradas nos dois últimos dias do ano anterior. Devido à época de festividades, a cidade estava repleta de turistas. Os impactos foram sentidos tanto na parte continental quanto na insular do município, resultando em 53 mortes e 4.500 pessoas desalojadas (DOURADO & FERNANDES, 2013). Os locais mais afetados foram o Morro da Carioca (Figura 6A), na parte continental, a Enseada do Bananal (Figura 6B), na Ilha Grande. Em ambos os casos, os movimentos de massa foram do tipo translacional raso, ocorrendo no contato do solo com a rocha a uma profundidade de cerca de dez metros. No entanto, as características de uso e ocupação do solo, bem como de vegetação e declividade, eram distintas, o que resultou em diferentes agentes deflagradores. Na figura 6 é possível ver a dimensão dos dois escorregamentos ocorridos em janeiro de 2010.

Figura 6 - Movimentos de massa ocorridos no dia 1 de janeiro de 2010 no município de Angra dos Reis.



Legenda: A) Movimento de massa ocorrido na encosta do morro da carioca, centro da cidade de Angra dos Reis; B) Movimento de massa ocorrido na encosta da enseada do bananal, Ilha Grande.

Fonte: Dourado & Fernandes (2013).

No Morro da Carioca, localizado na região central da cidade, aproximadamente noventa e seis pessoas viviam na comunidade conhecida como "Morro do Bulé". As residências na área foram construídas de forma irregular e desordenada, resultando em um impacto direto nos sistemas naturais de drenagem, desviando-os em direção à encosta a jusante. Além disso, o vazamento de águas servidas provenientes dessas ocupações irregulares era lançado diretamente na encosta, aumentando consideravelmente a saturação do solo. Associadas à alta pluviosidade, essas características contribuíram diretamente para o desencadeamento do movimento. Na ocasião, vinte e uma pessoas foram mortas.

Por outro lado, a Enseada do Bananal, na Ilha Grande, onde houve o maior número de vítimas, a ocupação da encosta era limitada à sua base, próximo ao mar, sem intervenções que afetassem a estabilidade do terreno e com vegetação nativa preservada. Nesse caso, os principais contribuintes para os deslizamentos foram as significativas inclinações do talude e a fina camada de solo, que resultou no aumento do nível da água em uma região com dois planos de fraturas, causando o acúmulo de água, o aumento da poro-pressão e, conseqüentemente, movimentos de massa (DOURADO & FERNANDES, 2013).

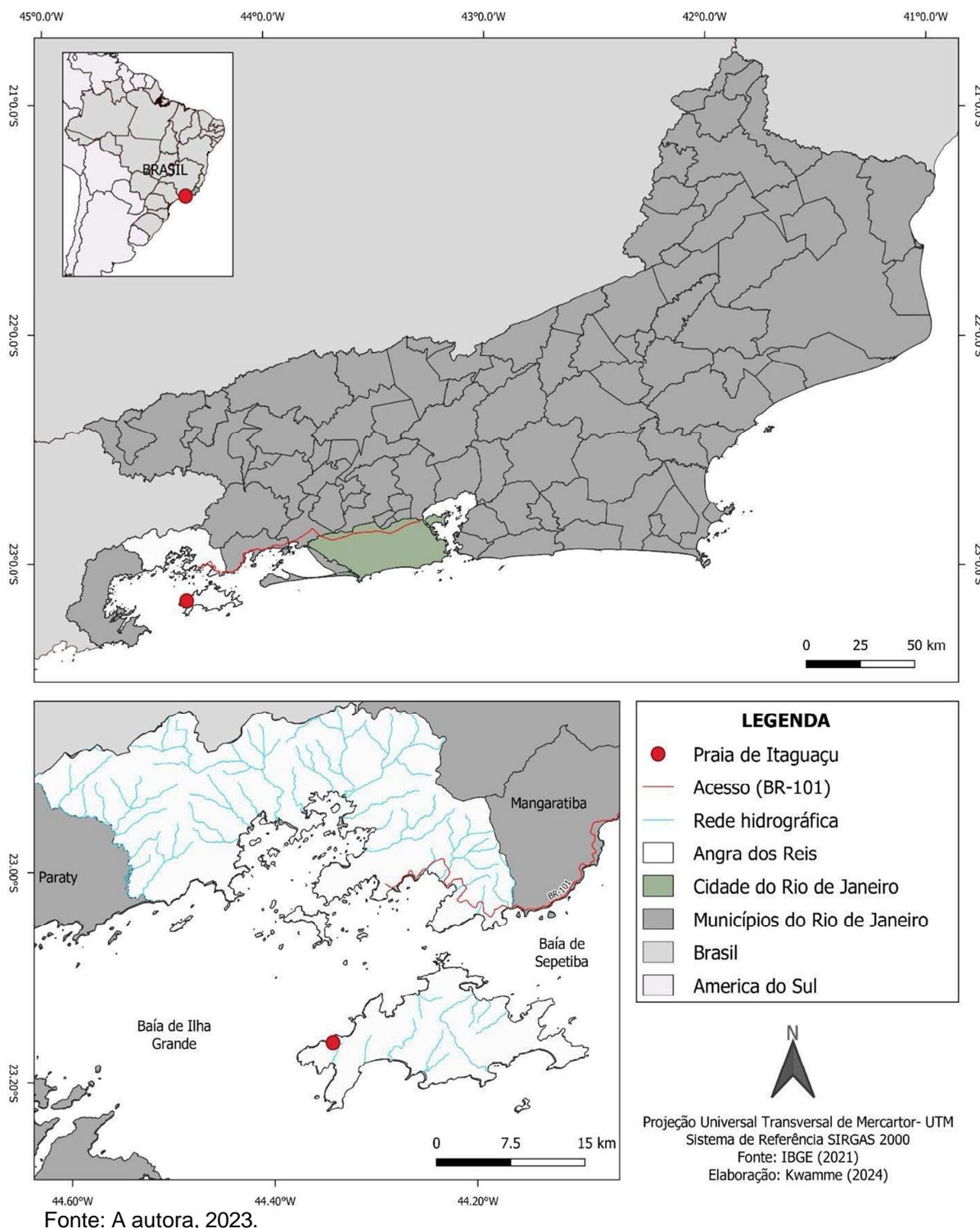
### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 Localização**

O município de Angra dos Reis, onde situa-se a área de estudo, está localizado no litoral Sul do Estado do Rio de Janeiro, a aproximadamente 150km da capital do Estado e faz parte da região do Médio Paraíba. A região de Angra está voltada para a Baía da Ilha Grande (Figura 8) e inserida no contexto das escarpas serranas da Serra do Mar a qual se destaca pela recorrência de movimentos de massa, portanto de reconhecida vulnerabilidade ambiental.

Segundo o último censo do IBGE de 2022, a região da Costa Verde, como é popularmente denominada, ocupa uma área de 825 km<sup>2</sup> e conta com uma população estimada de aproximadamente 167.434 mil habitantes concentrada nas estreitas faixas de planície espremidas entre as encostas íngremes e o mar. Seu relevo escarpado, junto a falta de planejamento urbano e ocupação irregular de locais favoráveis a ocorrência desses fenômenos aliado aos altos índices pluviométricos registrados intensificam a movimentação (LOUSADA, 2014).

Figura 7 Mapa da área de estudo e principais acessos.



A Ilha Grande (Angra dos Reis – RJ) é um dos maiores patrimônios naturais do Estado do Rio de Janeiro. Está isolada do continente por um canal com cerca de 2,0 km de largura e suas características físicas são semelhantes às observadas no resto do estado, com algumas montanhas atingindo 1000 m de altitude (ESBERARD

et al., 2006). De acordo com a classificação climática de Köppen, 1948, a região apresenta clima tropical quente e úmido (Af), sem estação seca, com uma temperatura média anual variando entre 20°C e 26°C. As coordenadas geográficas da ilha estão compreendidas entre 23°5' e 23°14' de latitude sul e 44°5' e 44°23' de longitude oeste (ARAUJO et al., 2005). A Ilha é coberta pela Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana, classificada como pertencente à Floresta Costeira da Serra do Mar. Com 193 Km<sup>2</sup> é a segunda maior ilha oceânica brasileira, com 155 Km de litoral, 106 praias e um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (SAMPAIO, 2005).

A praia de Itaguaçu (Ita- pedra, Guaçu- grande), local onde ocorreu o deslizamento, tema central deste estudo, é uma praia semi-deserta localizada na porção oeste da Ilha Grande e possui cerca de 100 metros de extensão (Figura 9). O acesso à praia do Gaúcho, como também é conhecida, se dá por via marítima, através de barcos que desembarcam no cais da praia vermelha e Araçatiba (aproximadamente 500 metros de distância), e por trilhas.

Figura 8 Mapa da cicatriz de deslizamento da praia de Itaguaçu.



Fonte: A autora, 2023.

### 3.1.1 Geomorfologia

A formação e dinâmica do relevo em Angra dos Reis são influenciadas por variáveis endêmicas, como, o tipo de rocha existente e a atividade tectônica local e variáveis exógenas, por exemplo, a variabilidade climática e atividade da flora e fauna da região. Sobretudo, como parte dessa dinâmica ocorrem os processos de vertente, entre os quais, destacam-se os movimentos de massa que envolvem o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso vertente abaixo. (RIBEIRO, 2014).

Nesse contexto, a Ilha Grande compreende um fragmento do maciço litorâneo, associado à escarpa sul da Serra do Mar no estado do Rio de Janeiro, caracterizada por apresentar um relevo bastante acidentado, contando com montanhas e planícies costeiras. Na região centro-leste, encontram-se dois pontos culminantes: o Pico do Papagaio, com altitude de 1031 metros, e o Pico da Pedra D'água, com 989 metros de altitude. De um lado, as escarpas mais íngremes estão inseridas no conjunto de rochas denominadas Suíte Charnockítica; por outro lado, os relevos mais suaves correspondem às rochas do Granito Vila Dois Rios (DANTAS, 2000).

De acordo com GAMA *et al.* (2009), a evolução geomorfológica da região teve sua gênese associada à tectônica Mesozóica/Cenozóica, que sucedeu o soerguimento das rochas antigas do embasamento, compostas por gnaisses, granitos e charnockitos. Uma vez expostas às condições do clima tropical úmido presente na região, essas rochas sofrem um intenso processo de intemperismo superficial. Como consequência, a erosão atua no transporte e deposição do material intemperizado através dos rios, ondas, marés, fluxos gravitacionais e ventos, contribuindo para a formação das planícies costeiras flúvio-marinha e praias arenosas.

Duas vertentes compartimentam a ilha no sentido leste-oeste: a escarpa sul, que se estende em direção ao oceano aberto, e a escarpa Norte, voltada para o continente, onde está localizada a área de estudo. Ambas apresentam encostas íngremes, caracterizadas por picos, costões rochosos, canais fluviais retilíneos bem encaixados e depósitos de tálus e colúvios. Essas características foram moldadas ao longo do tempo por processos erosivos e movimentos de massa, conforme descrito

por Heilbron *et al.* (2007).

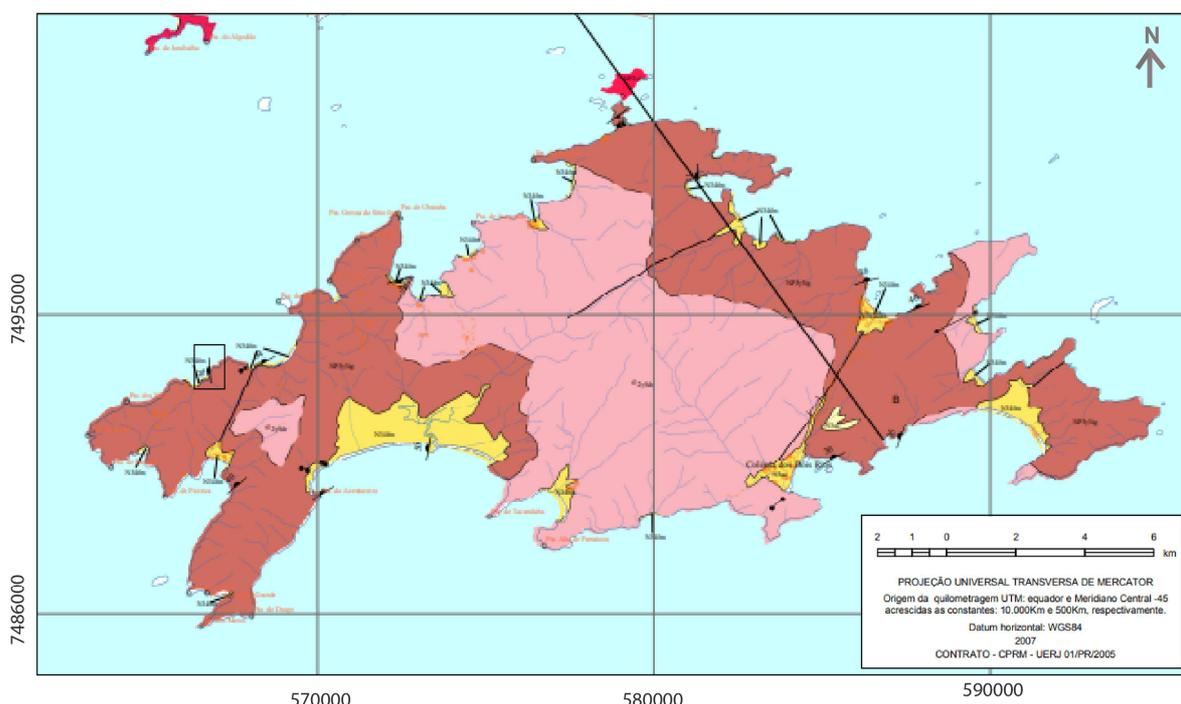
### 3.1.2 Contexto estrutural, geológico e tectônico

A Baía de Ilha Grande está situada no domínio costeiro do terreno oriental do Orógeno Ribeira, onde a colisão entre duas paleoplacas durante as etapas colisionais da Orogênese Brasileira, entre o Neoproterozoico e o Ordoviciano, deu origem a gnaisses do complexo Rio Negro, que corresponde ao arco magmático da Faixa Ribeira, e aos granitoides das etapas sin e pós-colisionais (HEILBRON *et al.*, 2000, 2004; EIRADO SILVA *et al.*, 2006). Durante a tectônica Mesozóica/Cenozóica, houve uma transição para processos de caráter rúptil e extensional, e a formação de bacias sedimentares terciárias e intrusões ígneas como diques e sills.

#### 3.1.2.1 Litologia

No que se refere à litologia, a Ilha Grande é predominantemente composta por rochas ígneas, sobretudo granitos e charnockitos, que se formaram pelo resfriamento de magmas no interior da crosta terrestre. Adicionalmente, são encontrados em menor proporção ortognaisses e diques de diabásio (GAMA *et al.*, 2009) (Figura 10). Abaixo, serão detalhadas as unidades lito-estratigráficas do Terreno Oriental na região da Baía de Ilha Grande.

Figura 9 Mapa Geológico da Ilha Grande.

**LEGENDA**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> NS4fm 01 - Depósitos flúvio-marinhos: Areias e areias argilosas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> E2y6a 05 - Granito Vila dos Rios: Biotita granito porfírico com enclaves máficos e xenólitos de rochas charnockíticas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #800000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> NP3yg 06 - Suíte Ilha Grande: Charnockitos, Charnoenderbitos e jotunitos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> NP2fm 07 - Complexo Rio Negro: hornblenda-biotita gnaiss migmatítico tonalítico a granítico</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 03 - Diques de rochas básicas cretácicas: diabásios e gabros (K1βsm)</li> </ul> | <b>Estruturas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Foliação</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Lineação de estiramento</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Superfície de fluxo magmático</li> </ul> |
|---|---|

Fonte: Extraído e modificado (CPRM/UERJ, 2007)

### a) Ortognaisses do Complexo Rio Negro (NP2γ1)

Os ortognaisses do Complexo Rio Negro representam as rochas mais antigas da região de Ilha Grande, datadas com aproximadamente 630-600 milhões de anos (Neoproterozoico). Estas rochas metamórficas estão associadas ao magmatismo pré-colisional do orógeno brasileiro. De acordo com Heilbron *et al.*, (2004), estas rochas compreendem um conjunto de ortognaisses cálcio-alcalinos, cuja composição varia entre tonalitos e granitos com corpos gabróicos associados. Possuem bandas escuras ricas em biotita e bandas claras ricas em feldspato e quartzo.

Na região central de Ilha Grande, esses corpos são cortados por diversas gerações de granitoides migmatíticos. Esses granitoides compõem um conjunto de rochas intrusivas que se apresentam deformadas, como, diorito, tonalito gnaiss, leucogranito gnaiss e gnaiss porfiróide. A deformação principal deste conjunto é caracterizada pela foliação principal e dobras isoclinais, além de um magmatismo demasiado. Além disso, em certos pontos, há presença de lentes leucossomáticas conferem uma estrutura migmatítica (TUPINAMBÁ *et al.*, 2000; HEILBRON & MACHADO, 2003; GUEDES, 2007).

### **b) Suíte Charnockítica Ilha Grande (NP3γ3)**

Os charnockitos são rochas plutônicas maciças e cristalinas. FERNANDES (2000) caracterizou essas unidades como constituídas por uma ampla variedade de minerais, incluindo feldspatos verdes, hornblenda, biotita, hiperstênio, quartzo, magnetita e ilmenita. Sua composição varia de charnockítica a charno-enderbítica até jutonítica, com textura equigranular média a grossa ou porfírica. É frequente a presença de enclaves máficos dioríticos e xenólitos de hornblenda-biotita gnaiss do complexo Rio Negro. Geralmente, esses charnockitos apresentam uma foliação incipiente, interpretada como resultado do fluxo magmático ainda sob a influência da deformação tardia (FERNANDES, 2000, TUPINAMBÁ *et al.*, 2000; HEILBRON & MACHADO, 2003; GAMA *et al.*, 2009).

### **c) Granito Vila dois Rios (G2γ5)**

O Granito Vila Dois Rios, aflora principalmente na região central da Ilha Grande, onde intrude as rochas do Complexo Rio Negro e da Suíte Charnockítica Ilha Grande, representando, portanto, rochas mais jovens. Fernandes (2000) caracterizou essas rochas como biotita granito porfírico não foliado, apresentando fenocristais de k-feldspatos com comprimento variando de 2 a 5 cm, possuindo enclaves lenticulares de rocha fina, máfica e xenólitos de Charnockitos. Esta unidade

parece estar correlacionada ao plutão Pedra Branca, que ocorre na cidade do Rio de Janeiro. Dados U-Pb em monazita e zircão indicam uma idade de  $513 \pm 5$  Ma para o plutão, correspondendo ao período pós-colisional da Orogenia Brasileira (TUPINAMBÁ *et al.*, 2000; HEILBRON & MACHADO, 2003).

#### **d) Diques de diabásio**

Os diques de diabásio constituem a unidade litológica formada durante a Tectônica Mesozóica/Cenozóica. Esses corpos ígneos fazem parte do denominado “enxame de diques da Serra do mar”, e estão relacionados com a fragmentação do supercontinente Gondwana que culminou na formação do Oceano Atlântico Sul. De acordo com Guedes (2007), esses corpos possuem idades que variam entre  $155,4 \pm 4,6$  e  $126,3 \pm 4,5$  Ma, datadas através do método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Alguns diques se destacam na Ilha Grande, como o da praia de Palmas (o maior deles, com dezenas de metros de comprimento), em Dois Rios, Aventureiro, Araçatiba e Freguesia, estes últimos possuindo poucos metros de comprimento (GAMA *et al.*, 2009).

#### 3.1.2.2 Geologia Estrutural

A baía da Ilha Grande apresenta uma configuração estrutural e geomorfológica marcada por dois eventos tectônicos contrastantes. que caracterizam o desenvolvimento da Bacia de Santos e o soerguimento da Serra do Mar. São estes: (I) Orogênese Brasileira e (II) Tectônica Mesozóica/Cenozóica (EIRADO SILVA *et al.*, 2006).

##### I. Orogênese Brasileira

De idade Neoproterozóico-Ordoviciano Inferior, apresenta registros de caráter dúctil e compressivo, relacionados à colisão de continentes antigos, resultando na formação da cordilheira orogênica da Faixa Ribeira (MEDEIROS, 2006; GAMA *et al.*, 2009).

## II. Tectônica Mesozóica Cenozóica

Após o término do ciclo tectônico Brasileiro e a consolidação do supercontinente Gondwana Ocidental, a Faixa Ribeira emergiu como um ambiente intraplaca durante o período Neo-ordoviciano. Antes do surgimento dos primeiros sinais de reativação tectônica, que se manifestaram a partir do Jurássico Superior e Cretáceo Inferior, as regiões orogênicas relacionadas à formação do Gondwana passaram por longos períodos de denudação, configurando importantes áreas-fonte de sedimentos para o preenchimento das bacias paleozoicas intracontinentais.

Essa reativação revelou dois eventos de natureza rúptil e distensional. O primeiro evento está associado à ruptura do continente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul, ocorrido durante o Cretáceo Inferior (OLIVEIRA E SILVA, 1999; BISPO, 2006; GAMA *et al.*, 2009; HASUI, 2010). O segundo evento ocorreu entre o fim da Era Mesozoica e o início da Era Cenozoica, com idade de 80-40 Ma, caracterizado por magmatismo alcalino e formação de riftes continentais.

Essa reativação tectônica resultou na formação de falhas e fraturas, que estão intimamente relacionadas aos eventos de fragmentação do Gondwana e à separação da América do Sul e África, iniciada no Cretáceo Inferior, há aproximadamente 140 milhões de anos. Na região de Angra dos Reis, essas falhas apresentam quatro planos principais e exibem duas orientações preferenciais: a) falha Araçatiba-Provetá (N25E); b) falha Vila Dois Rios-Abraão (N30E); c) falha Lopes Mendes (N50E) e d) falha Córrego das Enseadas das Estrelas (N60E). Além disso, as fraturas seguem um padrão de fraturamento com dois conjuntos principais, ortogonais entre si: a) N50-70E (plano preferencial) e b) N20-70W (GAMA *et al.*, 2009).

Essas estruturas rúpteis condicionam a orientação das enseadas e pontões costeiros da ilha. As características geomorfológicas, em sua maioria, são

influenciadas pelas falhas de direção NE, como é o caso da Enseada do Abraão e Lopes Mendes, alinhadas com a Falha Vila Dois Rios; e a Enseada de Provetá, direcionada pela Falha Araçatiba-Provetá. Da mesma forma, as fraturas desempenham um papel crucial na modelagem do relevo, como evidenciado pelas Enseadas da Parnaioca e das Palmas, condicionadas por fraturas NE, e as Enseadas de Dois Rios e da Longa, possivelmente controladas por fraturas de direção NW (GAMA *et al.*, 2009).

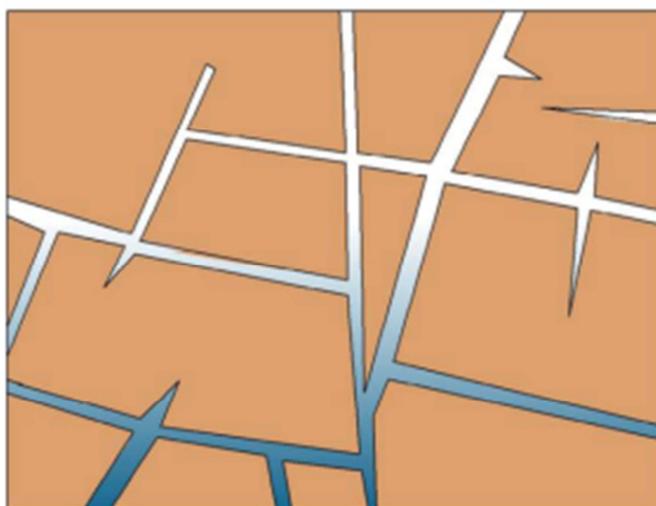
Como resultado desses eventos tectônicos, formaram-se bacias sedimentares terciárias, acompanhadas por intrusões ígneas, tais como diques máficos e sills (GAMA *et al.*, 2009). Esses diques se inserem na crosta perpendicularmente à direção do esforço principal mínimo, aproveitando estruturas pré-existentes. No embasamento da Faixa Ribeira, essa ocorrência é conhecida como "Enxame de Dique da Serra do Mar", e segue a trend NE-SW.

### 3.1.3 Hidrogeologia

A região da Ilha Grande está inserida na província hidrogeológica central, a qual engloba uma ampla faixa litorânea que se estende desde o Amapá até o Rio Grande do Sul (FEITOSA *et al.*, 2008). De acordo o Diagnóstico Geoambiental da Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000) e a Carta Hidrogeológica da Folha SF. 23 - Rio de Janeiro (CPRM, 2015), a maioria dos episódios de água subterrânea desta região são referentes à aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Cristalino. Este, encontra-se sob áreas de relevo fortemente ondulado, especialmente em encostas, onde os solos são pouco espessos ou até mesmo ausentes. Caracterizado como uma Unidade Fraturada (Fr) de Produtividade Pouco Produtiva ou Não Aquífera, sua litologia é caracterizada por rochas ígneas e metamórficas de alto grau do embasamento cristalino pré-cambriano, sendo o meio aquífero representado pelas fissuras e diáclases interconectadas, formadas em resposta aos processos tectônicos (FEITOSA *et al.*, 2008). Nesse caso, a condutividade hidráulica e o armazenamento do fluido estão inteiramente nas fraturas, fissuras e contatos litológicos inerentes às rochas. As propriedades de condução na matriz são desprezíveis, como visto na figura 11. Geralmente, essas

formações apresentam vazões inferiores a 1 m<sup>3</sup>/h (RELATÓRIO SÍNTESE DE DIAGNÓSTICO - RD10, 2020).

Figura 10 Modelo esquemático de um aquífero fraturado



Fonte: Relatório Síntese De Diagnóstico - RD 10, 2020.

#### 3.1.4 Pedogênese

No âmbito da pedogênese, as encostas íngremes da Serra do Mar podem ser descritas através da análise do perfil de alteração das rochas cristalinas, desempenhando um papel crucial para compreender os deslizamentos translacionais rasos que ocorrem na região, como no caso da praia de Itaguaçu. Nesse contexto, WOLLE (1988) descreve os diferentes estágios de evolução dos solos oriundos do intemperismo de rochas cristalinas da seguinte forma:

##### **a) Solo coluvionar (superficial)**

Os solos coluvionares são depósitos de materiais inconsolidados, normalmente em encostas íngremes, formados pela ação da água e principalmente da gravidade (PASTORE, 1998). São depósitos pouco espessos (até um metro), compostos por misturas de solos e blocos pequenos, que variam de 15-20 cm,

sendo normalmente encontrados recobrando encostas como as da Serra do Mar (FRANKLIN, *et al.*, 2015). A maioria desses solos estão em contato direto com a rocha sã, com a rocha alterada ou até mesmo com o solo maduro ou residual jovem e conseqüentemente ocupam as vertentes dos maciços (FRANKLIN, *et al.*, 2015).

Possuem uma espessura que varia de acordo a declividade do maciço, devendo ser maior próximo a sua base. Geralmente em relevos muito acidentados ou escarpados, é comum a ocorrência de um colúvio ao longo das vertentes ou no sopé das encostas (FRANKLIN, *et al.*, 2015). Geralmente, é na base desse horizonte que predominam as superfícies de ruptura dos escorregamentos.

### **b) Solos saprolíticos (ou residuais jovens e maduro-solo de alteração)**

Este tipo de solo mantém a estrutura original da rocha mãe, com a presença de fissuras e xistosidade, porém perde a consistência da rocha. Apresenta pequena resistência ao manuseio (solo de alteração) (FRANKLIN, *et al.*, 2015). Hoje em dia, estes solos possuem grande espessura, sobretudo quando desenvolvidos a partir de rochas quartzo-feldspáticas e ricas em micas, comuns em regiões de clima tropical, como é o caso de Ilha Grande. Podem ser encontrados minerais primários e em fases de decomposição, e também a presença de minerais secundários, como, argilominerais. Solos saprolíticos podem se desenvolver a partir de rochas com predominância de minerais máficos, com restrição da biotita. Entretanto, aparentam coloração ferruginosa com o passar do tempo, e como resultado a oxidação dos minerais máficos. É importante salientar que as tonalidades apresentadas pelos solos residuais jovens são derivadas das composições mineralógicas de suas respectivas rochas de origem (FRANKLIN, *et al.*, 2015). Em média, nos trechos retilíneos das encostas, apresenta espessuras de 1,0 a 1,5 m.

### **c) Saprólito (transição solo-rocha)**

É composto pela presença de blocos rochosos imersos em uma matriz de solo, deslocados de sua posição original pela ação do rastejo, é uma característica marcante. Os escorregamentos translacionais, em geral, não alcançam esse

horizonte. No entanto, excepcionalmente, devido à erosão ou reativações, podem ocorrer exposições desse horizonte.

#### **d) Rocha**

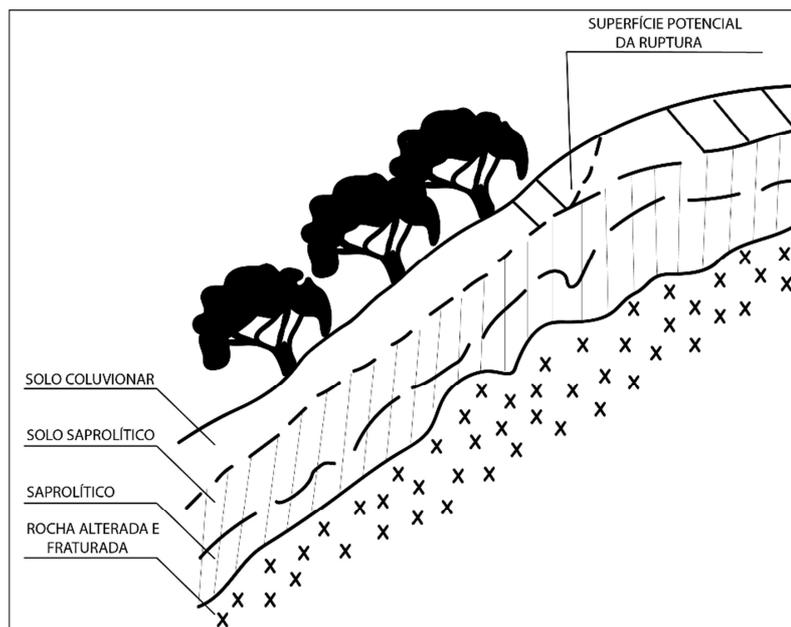
É designado como topo rochoso irregular que possui alteração diferenciada, em função das características lito-estruturais.

#### **e) Tálus**

É composto pelo processo de transporte por gravidade, em encostas, que produz os coluviões, diferenciando-se através da presença ou predominância de blocos de rocha, matacão e algumas lascas de rocha, resultando em solos pouco espessos na fonte, o que determinam a ocorrência de tálus ao sopé de encostas de forte declividade ou ao pé de escarpas rochosas. No sopé das vertentes, em relevos escarpados, a presença de vegetação mais intensa pode servir como um indicador da presença de tálus, cujo material rochoso está incluso em matriz argilosa ou silto-argilosa. Este tipo de solo pode se acumular no sopé dos maciços pela ação combinada da gravidade e da água (FRANKLIN, *et al.*, 2015).

Conforme apontado por WOLLE (1988), a condutividade hidráulica desses horizontes aumenta à medida que se aprofundam (Figura 12). Esse fenômeno é atribuído à presença de discontinuidades na rocha, que são transmitidas aos horizontes de alteração. Estes últimos são marcados por um considerável número de fissuras e fendas, geralmente abertas e intercomunicantes.

Figura 11 Esquema ilustrativo do perfil de uma encosta da Serra do Mar, exemplificando um escorregamento translacional raso.



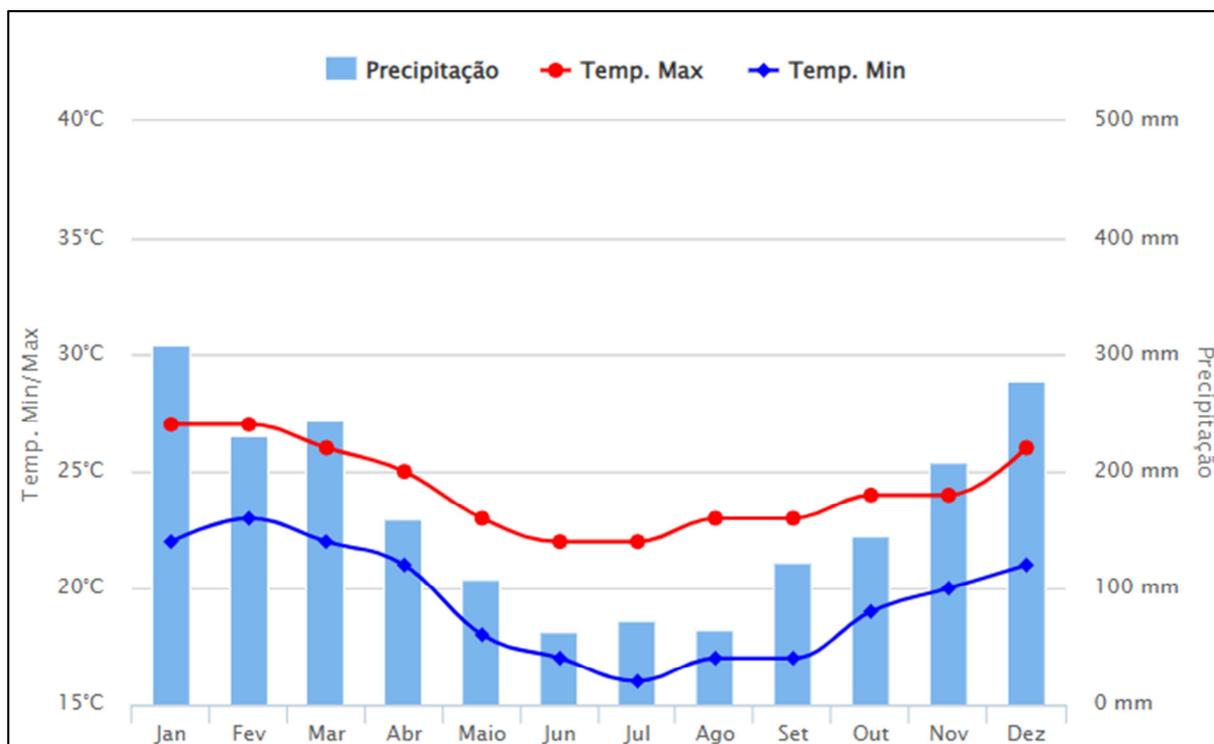
Fonte: Modificado de WOLLE & CARVALHO (1989, p.28).

### 3.1.5 Clima e Pluviometria

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), a região apresenta um clima tropical quente e úmido (Af), caracterizado pela ausência de uma estação seca e por uma temperatura média anual variando entre 20°C e 26°C. Durante o verão, as temperaturas podem atingir até 39°C, acompanhadas por chuvas intensas na região. No inverno, a presença de massas de ar polares é responsável por reduzir a temperatura para cerca de 15°C, especialmente durante a noite, caracterizando um período com menor incidência de precipitação (SALGADO & VASQUEZ, 2009).

A Figura 12 exibe o padrão sazonal da precipitação e da temperatura durante todo o ano no município de Angra dos Reis. As médias climatológicas representam valores derivados de uma série de dados observados ao longo de 30 anos nesta região.

Figura 12 Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano a partir de dados obtidos nos últimos 30 anos.



Fonte: Extraído de ClimaTempo (2024).

Segundo NIMER (1989), os fatores que influenciam o comportamento pluviométrico da região são principalmente estáticos, como a localização geográfica e a topografia, e dinâmicos, como as massas de ar. Nesse sentido, a Serra do Mar desempenha um papel crucial como uma barreira orográfica, contribuindo significativamente para as elevadas precipitações na região. A combinação dos fatores latitude e proximidade do mar criam condições propícias para forte radiação solar, fornecimento de umidade e formação de núcleos de condensação. Esses elementos, aliados à posição da Serra em relação à trajetória dos sistemas frontais e linhas de instabilidade, resultam em um dos maiores índices pluviométricos do país, geralmente superior a 2000 mm (DAVIS e NAGHETTINI, 2001).

Essas precipitações resultam em enchentes que transportam uma grande quantidade de sedimentos para os sistemas de drenagem, além de causar a saturação do solo, o que pode desencadear movimentos de massa mesmo em regiões florestadas (SALGADO & VASQUEZ, 2009; INEA, 2011). Além disso, a região, devido à sua abundante precipitação, abriga uma extensa rede de cursos

d'água de diferentes tamanhos, os quais estão agrupados em 79 microbacias hidrográficas (INEA, 2011 e 2013).

### 3.1.6 Vegetação e uso do Solo

Segundo a classificação oficial da vegetação Brasileira estabelecida pelo Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE), as florestas da Ilha Grande estão inseridas no domínio de Mata Atlântica, apresentando diferentes fitofisionomias, predominando a de Floresta ombrófila densa montana, também denominada como floresta pluvial tropical (VELOSO *et al.*, 1991; MAGALHÃES, 2008, IBGE 2013) em diferentes níveis de regeneração (ANTONINI e NUNES-FREITAS, 2004).

No passado, a Ilha Grande era amplamente coberta por uma extensa vegetação de Floresta Ombrófila Densa, desde as áreas mais elevadas até aquelas sob influência marinha. Entretanto, os diversos ciclos agroeconômicos, fizeram com que a vegetação fosse bastante alterada com relação a sua formação primitiva. Atualmente, a parte norte da Ilha Grande é predominantemente coberta por vegetação secundária, enquanto a vertente sul e o centro geográfico da ilha mantêm-se em melhor estado de conservação, possivelmente beneficiados pela maior proteção proporcionada pelos ventos provenientes do quadrante sul (VALEJJO, 2005).

Segundo dados do INEA (2013), aproximadamente 80% da Ilha Grande é ocupada por florestas densas e secundárias em estágios médio e avançado de regeneração, com presença também de florestas em estágio inicial de sucessão, restingas, vegetação de afloramento rochoso e manguezais. Isso se deve, em parte, devido à prática de agricultura de subsistência pelas comunidades caiçaras e, principalmente, à regeneração das áreas anteriormente utilizadas para esse fim, de acordo com a época de abandono para descanso (OLIVEIRA & COELHO NETTO, 2011).

Conforme observado por Wunder (2006), a partir dos anos 90 do século XX, houve um declínio da agricultura na Ilha Grande, com o turismo e a pesca assumindo papéis centrais na economia local. Esse cenário contribuiu para um ciclo

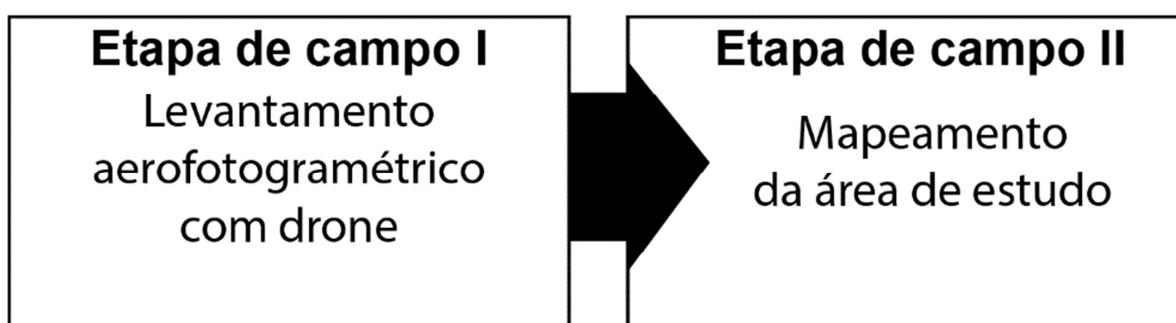
de estabilidade que resultou na recuperação da vegetação original da região.

Diante do vasto potencial ecológico da Ilha Grande, o governo do estado instituiu uma série de unidades de conservação visando à preservação desse patrimônio natural e cultural. São elas: o Parque Estadual da Ilha Grande, que abrange aproximadamente 62% da ilha e desempenha um papel crucial na proteção dos ecossistemas terrestres; a Reserva Biológica Estadual da Praia do Sul, dedicada à conservação da biodiversidade e à proteção dos ecossistemas naturais na região; o Parque Marinho do Aventureiro, responsável por proteger a enseada em frente à praia do Aventureiro contra a pesca predatória; e, abrangendo todas essas áreas, a Área de Proteção Ambiental de Tamoios, que regula o uso da terra, permitindo certas formas de ocupação humana, de acordo com a legislação aplicável (INEA, 2013).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de um evento natural de grande porte, como o ocorrido na Praia de Itaguaçu, requer uma investigação minuciosa e abrangente das características intrínsecas do local e dos fatores que contribuíram para a deflagração do movimento. Nesse contexto, São apresentados neste capítulo os materiais e métodos empregados para o desenvolvimento dessa pesquisa, que foi realizado em duas fases distintas, conforme ilustrado na Figura 13, são elas: Etapa de campo I, que incluiu o levantamento aerofotogramétrico com drone e, etapa de campo II, que consistiu no mapeamento geológico da área de estudo.

Figura 13 Fluxograma dos materiais e métodos do estudo

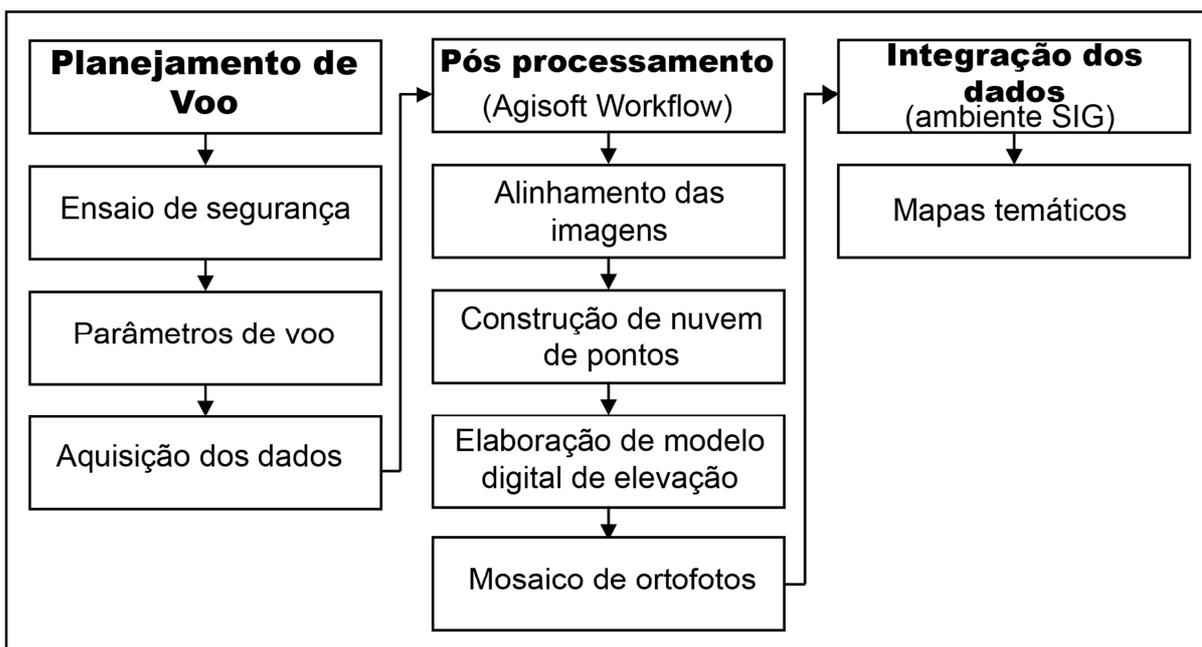


Fonte: Autora, 2024

### 4.1 Etapa de campo I: Levantamento aerofotogramétrico

Na primeira etapa do trabalho, realizada em julho de 2022, foi conduzido um levantamento aéreo utilizando um drone, com o propósito de adquirir dados geoespaciais de alta resolução da área de interesse. Esses dados permitiram uma análise precisa e detalhada da cicatriz de deslizamento. O fluxo de trabalho, exemplificado na figura 14, consistiu em três etapas: (I) planejamento do voo e aquisição de dados, seguido pelo (II) pós processamento e geração de modelos digitais, os quais foram posteriormente (III) integrados em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Figura 14 Fluxograma dos métodos adotados para a realização do levantamento aéreo com drone



Fonte: A autora, 2024.

#### 4.1.1 Planejamento de voo e aquisição de dados

O RPA utilizado pelo estudo trata-se do Mavic Pro Platinum, da empresa chinesa DJI, sendo considerado o drone de baixo custo mais portátil atualmente, possuindo tempo de voo de até 30 minutos aliado a redução de ruídos de 60 %. Possui 5 sensores visuais e uma câmera de 12,35 megapixels acoplada, suportada por um estabilizador triaxial (inclinação, rotação, giro). Também conta com um alcance estimado de 7 km (DJI, 2018). Além disso, para a execução da atividade foi necessário um tablet para o comando e envio do plano de voo para o RPA.

O planejamento ideal da coleta dos dados é um passo fundamental para a otimização dos resultados. Para tal, foi segmentado em quatro procedimentos, sendo: Escolha da área de estudo, ensaio de segurança, parâmetros de voo e organização dos equipamentos. Sendo definida a área, foi avaliada a viabilidade da realização da operação durante a etapa de ensaio de segurança. O ensaio de segurança consistiu na pesquisa de campo, onde foram observados fatores como: proximidade a aeroportos, condições de vento na região, locais para decolagem e pouso, dinâmica do terreno e obstáculos urbanos. A avaliação de tais fatores se

mostrou necessária para garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Para tal, a utilização do aplicativo gratuito UAV forecast se revelou indispensável para um voo em condições ideais. O dispositivo forneceu uma descrição clara das velocidades do vento, chance de chuva, visibilidade e temperatura local, cobertura de nuvens e monitor de índice KP, que calcula as chances de ocorrer interferência no GPS. Além disso, outro recurso oferecido foi a possibilidade de visualizar as previsões de hora em hora para a semana, o que permitiu planejar o voo com antecedência. O planejamento de voo pôde ser realizado através do aplicativo DroneDeploy, versão 4.10, onde os seguintes parâmetros foram considerados: Resolução das imagens, altura de voo em rota e a quantidade de fotos tiradas. Após solicitar permissão e a verificação dos planos de voo ao SARPAS (Solicitação de acesso de RPAS) órgão da entidade governamental DECEA, o RPA pôde ser implantado para aquisição dos dados. A aquisição das imagens ocorreu no dia 9 de julho de 2022 na região da praia de Itaguaçu. O acesso se deu através de barco.

#### 4.1.2 Pós-processamento de voo

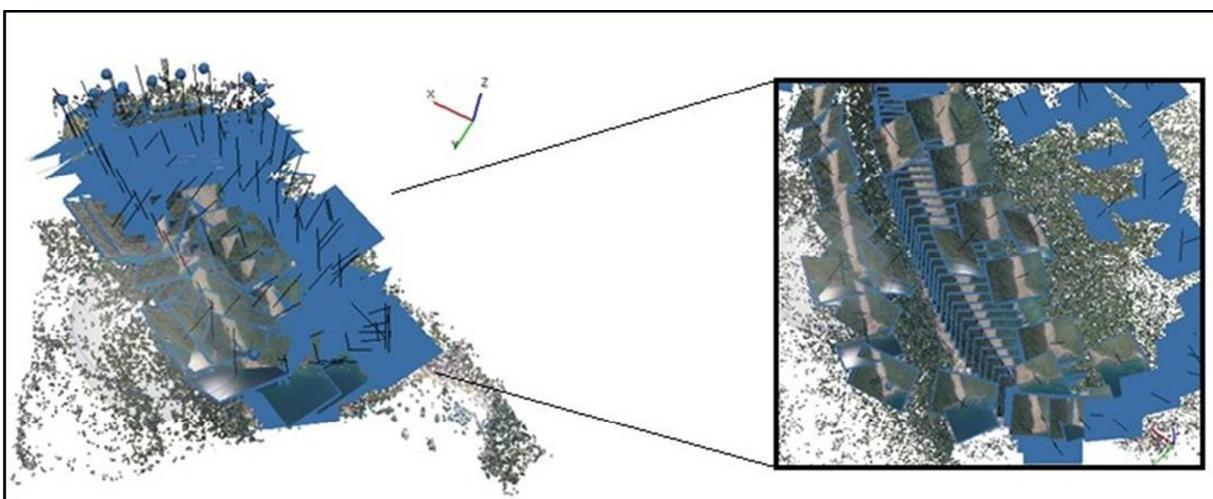
O processamento das imagens oferece diversas possibilidades de resultados. A partir de modelos digitais e ortofotos é possível obter informações sobre relevo, distâncias, tamanhos, alturas de objetos e volumes. Para tanto, utilizamos o software de fotogrametria Agisoft Metashape, versão 1.7.2, da empresa russa Agisoft.

Inicialmente as imagens foram importadas para que assim fosse aplicado um “*workflow*”, visando a construção de um MDE, que consistiu em: Alinhamento das imagens, geração da nuvem esparsa, geração da nuvem densa e construção do modelo digital a partir da geração e texturização da malha triangulada. Alguns parâmetros utilizados durante o fluxo de trabalho são abordados por CARRIVICK *et al.*, (2016) e CAWOOD *et al.*, (2017).

O primeiro passo compreendeu o alinhamento das imagens, seguindo alguns parâmetros, os quais: Acurácia, determinada como “alta”, a fim de buscar uma estimativa mais precisa do posicionamento das câmeras; Uma pré seleção dos pares de referência, como forma de correspondência dos recursos detectados nas fotos; Os pontos-chave, limitados em 40.000, referente ao limite superior de pontos

de recurso em cada imagem a ser considerada durante o processamento; O limite máximo de pontos correspondentes para cada imagem, conhecido como limite de pontos de amarração foi classificado em 4.000. Por fim, os pontos de amarração estacionários foram excluídos. Ainda, foi realizado o processo denominado Fototriangulação, técnica fotogramétrica que determina as coordenadas do terreno a partir de um referencial. O resultado esperado será a geração de uma nuvem de pontos esparsa (Figura 15).

Figura 15 Nuvem de pontos esparsa gerada por meio do alinhamento das imagens



Fonte: A autora, 2023.

Após a geração da nuvem de pontos esparsa (Figura 16a), o segundo passo consistiu em densificá-las (Figura 16b). Basicamente, o software aumenta a quantidade de pontos na nuvem visando diminuição de espaços vazios, de forma a representar melhor a área mapeada. Os parâmetros utilizados para a construção da nuvem densa foram: Alta qualidade, responsável pela resolução e Filtro de profundidade, responsável pela classificação e remoção de pontos destoantes, em moderado. Este produto é necessário para gerar o MDS e MDT.

A partir da nuvem densa foi possível iniciar o terceiro passo, responsável pela geração da malha triangulada, no qual os seguintes parâmetros foram determinados: Tipo de superfície, responsável sobre o tipo de objeto modelado, em arbitrária (3D); O número máximo de polígonos na malha final, denominado como contagem de faces, foi realizada em média e por fim foi permitida a interpolação, esta, responsável por interpolar algumas áreas de superfície dentro de um determinado raio em torno de cada ponto da nuvem densa.

O quarto e último passo, refere-se à construção do modelo digital, onde, a fim de melhorar o aspecto, foi aplicada textura sobre (Figura 16c). Os parâmetros definidos foram: Tipo de textura “difusa”, modo de mapeamento “Keep uv” e o modo de mesclagem em “mosaico”, este, seleciona a maneira como os valores de pixel de diferentes fotos serão combinados na textura final. O processo possibilitou a criação de superfícies tridimensionais, representando de forma verídica o terreno mapeado.

Figura 16 Modelos digitais de afloramento

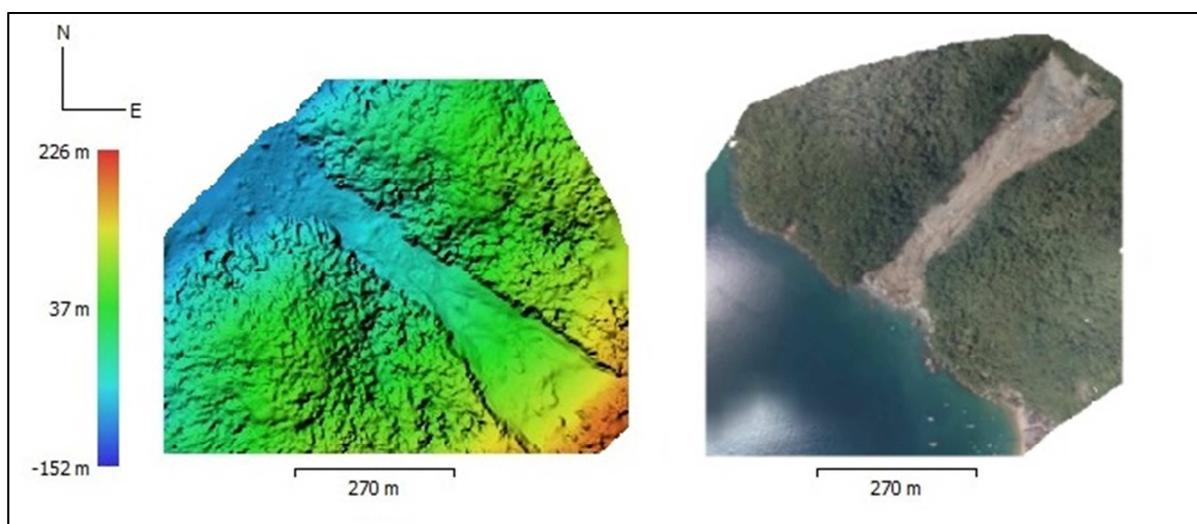


Legenda: (a) Nuvem de pontos esparsa (b) Nuvem de pontos densa e (c) Nuvem de pontos densa texturizada.

Fonte: A autora, 2023.

Ao fim da etapa de pós -processamento, ocorreu a representação do modelo digital de elevação (MDE) (Figura 17a) e, depois de uma filtragem da nuvem de pontos, o modelo digital de terreno (MDT). Além disso, foi possível obter um ortomosaico (Figura 17b).

Figura 17 modelos gerados na etapa de pós processamento.



Legenda: a) Modelo digital de elevação (MDE) e b) Ortomosaico da área da cicatriz de deslizamento.

Fonte: A autora, 2023.

#### 4.1.3 Integração de dados

A partir do produto obtido nas etapas anteriores, foi realizada a integração da base de dados: i) medidas realizadas pelo RPA e as informações de terreno (fotos e dados de alta resolução e ii) Base de dados referente ao SIG (mapas, plantas, fotos, dados georreferenciados e informações locais da área.

Os softwares de apoio para essa etapa do trabalho foram: Agisoft Metashape (versão 1.7.2), para a geração do MDE e do ortomosaico, Adobe Illustrator (versão 25.2.1), para produção do perfil topográfico esquemático e QGIS (versão 3.4.12), para produção dos mapas temáticos. A integração correspondeu uma etapa fundamental na análise e interpretação a fim de se obter os resultados desejados para o estudo.

A base de dados espaciais, informações cartográficas, essenciais para a geração dos mapas temáticos, foi fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([Downloads | IBGE](#)), envolvendo banco de dados e uma base cartográfica digital, sendo os seguintes planos de informação utilizados no formato “shapefile” (.shp): curva de nível de 20 m; hidrografia; localidades; municípios; geologia, pedologia e malha rodoviária. Os dados utilizados para a confecção do mapa de declividade foram obtidos por meio do conjunto de dados de Altitude SRTM, com resolução de 30 metros, fornecido pela NASA (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

## 4.2 **Etapa de campo II: Mapeamento da área de estudo**

O mapeamento da área onde se encontra a cicatriz de deslizamento foi realizado em dois períodos. O primeiro ocorreu em julho de 2022, apenas alguns meses após o evento, onde foram realizados o levantamento aéreo e o reconhecimento preliminar da área. A segunda foi realizada mais de um ano após o evento, em novembro de 2023, durante a qual uma investigação mais detalhada da área foi conduzida, onde foi possível obter dados importantes sobre a geometria da cicatriz, a composição do solo e da rocha, os padrões de drenagem, a distribuição da vegetação e a topografia local (Figura 18a, b,c,d).

Figura 18 Imagens coletadas em campo na cicatriz de deslizamento



Legenda: A) espessura lateral da cicatriz; B) Bloco de charnockito na parte central do deslizamento; C) drenagem bloqueada; D) Blocos no topo do afloramento e drenagem;  
Fonte: Autora, 2023.

O objetivo primário ao realizar o mapeamento em dois períodos distintos foi obter uma base de dados empírica sólida e objetiva para entender as características do deslizamento, bem como para observar as mudanças ocorridas na área afetada. Isso incluiu a avaliação de possíveis riscos residuais e, mais importante, uma compreensão mais aprofundada dos processos pós-deslizamento. Essa abordagem permitiu a formulação de hipóteses, teorias e modelos sobre o evento que afetou a praia de Itaguaçu.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão do trabalho, este foi submetido à revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA). A escolha dessa revista se deve à sua reputação no campo da geologia e engenharia ambiental, incluindo desastres, proporcionando uma plataforma adequada para a disseminação dos resultados obtidos e contribuindo para o avanço do conhecimento científico nesta área específica.

### **Análise do movimento translacional raso ocorrido em 2022 na enseada da praia de Itaguaçu em Ilha Grande – RJ**

Carolina Martins Latgé Kwamme: Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, [carolinakwamme@gmail.com](mailto:carolinakwamme@gmail.com)

Francisco Dourado: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres (CEPEDES), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, [fdourado@cepedes.uerj.br](mailto:fdourado@cepedes.uerj.br)

## RESUMO

Movimento de massa é um fenômeno significativo em regiões caracterizadas por relevo acentuado, sendo influenciado por uma interação complexa de fatores geomorfológicos, geológicos, pedológicos e hidrológico-climáticos. No estado do Rio de Janeiro, o município de Angra dos Reis se destaca como uma região particularmente suscetível à ocorrência desses eventos. Tal vulnerabilidade pode ser atribuída ao contexto geológico da região, inserida na Serra do Mar, e à elevada incidência de precipitação pluviométrica. Nos dias 1 e 2 de abril de 2022, um volume excepcional de 592 mm de chuva foram registradas na região da Ilha Grande, sendo o fator deflagrador para o movimento translacional raso ocorrido na enseada da Praia de Itaguaçu. Nesse sentido, o objetivo principal desta pesquisa é compreender o mecanismo de ruptura deste movimento massa. Para tal, trabalhos de campo e levantamentos aéreos utilizando drones foram conduzidos a fim de caracterizar a morfologia da área afetada e obter dados geoespaciais de alta resolução. A análise do material revelou a presença de blocos de ortogneise e charnockito ao longo de toda a cicatriz, além de um

dique de diabásio no terço superior do movimento. Essas observações sugerem duas hipóteses para a origem do movimento: o rompimento do dique devido à saturação do solo ou a queda de blocos de ortognaisses, ocasionando a ruptura do dique e, conseqüentemente, o movimento. A região de Ilha Grande já enfrentou movimentos semelhantes a este no passado, incluindo tragédias como a da Enseada do Bananal em 2010. Nesse sentido, reconhecer áreas potenciais para eventos semelhantes é desafiador, mas crucial para prevenir futuras tragédias.

**Palavras Chave:** movimento de massa; Ilha Grande; Praia de Itaguaçu;

## ABSTRACT

Mass movement is a significant phenomenon in regions characterized by steep terrain, influenced by a complex interaction of geomorphological, geological, pedological, and hydrological-climatic factors. In the state of Rio de Janeiro, the municipality of Angra dos Reis stands out as a particularly susceptible region to the occurrence of these events. This vulnerability can be attributed to the geological context of the region, nestled within the Serra do Mar, and the high incidence of rainfall. On April 1st and 2nd, 2022, an exceptional volume of 592 mm of rain was recorded in the Ilha Grande region, serving as the triggering factor for the shallow translational movement that occurred in the Itaguaçu Beach cove. In this sense, the main objective of this research is to understand the mechanism of rupture of this mass movement. To achieve this, fieldwork and aerial surveys using drones were conducted to characterize the morphology of the affected area and obtain high-resolution geospatial data. The analysis of the material revealed the presence of orthogneiss and charnockite blocks along the entire scar, as well as a diabase dike in the upper third of the movement. These observations suggest two hypotheses for the origin of the movement: the rupture of the dike due to soil saturation or the fall of orthogneiss blocks, causing the rupture of the dike and, consequently, the movement. The Ilha Grande region has experienced similar mass movements in the past, including tragedies such as the one in the Bananal Cove in 2010. In this regard, recognizing potential areas for similar events is challenging but crucial to prevent future tragedies.

**Keywords:** mass movement; Ilha Grande; Itaguaçu Beach.

## INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um relevante processo natural que ocorre principalmente em regiões com relevo acentuado. Esses episódios envolvem um volume de rocha e/ou solo que se deslocam conjuntamente e, atuam na dinâmica

das vertentes, sendo responsável pela evolução do relevo (VEDOVELLO & MACEDO, 2007). Esses fenômenos estão condicionados por uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, com ênfase para a declividade e curvatura vertical e horizontal da encosta; Fatores geológicos, englobando características litoestruturais, fraturas e falhamentos; Fatores pedológicos, com destaque para as propriedades físicas, morfológicas e hidrológicas do solo e Fatores Hidrológico-climáticos, como as poro-pressões positivas e umidade do solo (FERNANDES & AMARAL, 2003; GOES, 2018).

Conforme dados do *Emergency Events Database* (EM-DAT), o século XX foi marcado pelo aumento substancial no número de eventos catastróficos, registrado em 56%, superando de forma considerável a taxa de crescimento populacional, que foi de apenas 15%. De acordo com Marcelino *et al.*, 2006, esse fato se deve em função do crescimento populacional, da segregação socioespacial, da acumulação de capital em zonas perigosas, do avanço das comunicações e das mudanças globais. No Brasil e em alguns países de clima tropical úmido, esse processo é resultado da combinação de eventos diversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, onde destacam-se, a inevitabilidade de dominar espacialmente quais regiões são suscetíveis e quais possuem atributos potencializadores do risco (FURLAN *et al.*, 2011).

O Estado do Rio de Janeiro ocupa a sexta posição entre os estados brasileiros a apresentar maiores riscos relacionados a desastres, segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2015). De acordo com dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED-UFSC, 2013), durante os anos de 1991 a 2012, o estado concentrou cerca de 79,8% dos movimentos de massa ocorridos no país, sendo também o estado com maior número de mortes causadas por deslizamentos, registrando 3,8 vezes mais mortes que o estado de São Paulo, que ocupa a segunda posição.

A elevada incidência de movimentos de massa na região pode ser atribuída ao contexto geográfico definido pelo domínio da Serra do Mar e pelas altas precipitações médias anuais, com a ocorrência de episódios prolongados de chuvas. Esses fatores contribuem significativamente para a suscetibilidade desses deslizamentos, especialmente os translacionais (FERNANDES *et al.*, 2004; VIEIRA *et al.*, 2010). Tais processos desempenham um papel essencial na evolução natural do relevo nesse ambiente (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998).

Nesse contexto, o município de Angra dos Reis, localizado no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, sustenta uma história de cicatrizes oriundas de um contexto que favorece movimentos de massa, ocupando a 8ª posição entre os municípios Brasileiros com maior número de fatalidades no período entre 1988 e 2022 (MACEDO et al., 2022). Isso se deve a uma combinação de fatores, como o relevo íngreme, a planície costeira pouco extensa, solos propensos à erosão e instabilidade, ocupação irregular de encostas e um dos maiores índices pluviométricos do país. Tais condições, quase sempre, conduzem a danos territoriais, econômicos e de vidas.

Dentre os maiores desastres ocorridos nessa região, destacam-se os dos dias 09 de dezembro de 2002 e 01 de janeiro de 2010, quando a região da Costa Verde foi marcada por eventos de precipitação intensa de longa duração que culminou no escorregamento de encostas e enchentes em diversos pontos da cidade e da Ilha Grande, o que acabou afetando intensamente áreas povoadas e não povoadas. Em abril de 2022, segundo o Boletim Oficial da Prefeitura de Angra dos Reis (2022) 592 mm de chuva foram registrados em dois dias na Ilha grande sendo fator deflagrador para o deslizamento translacional de grande proporção que encurtou a faixa de areia e provocou danos na praia de Itaguaçu, evento tema desta dissertação.

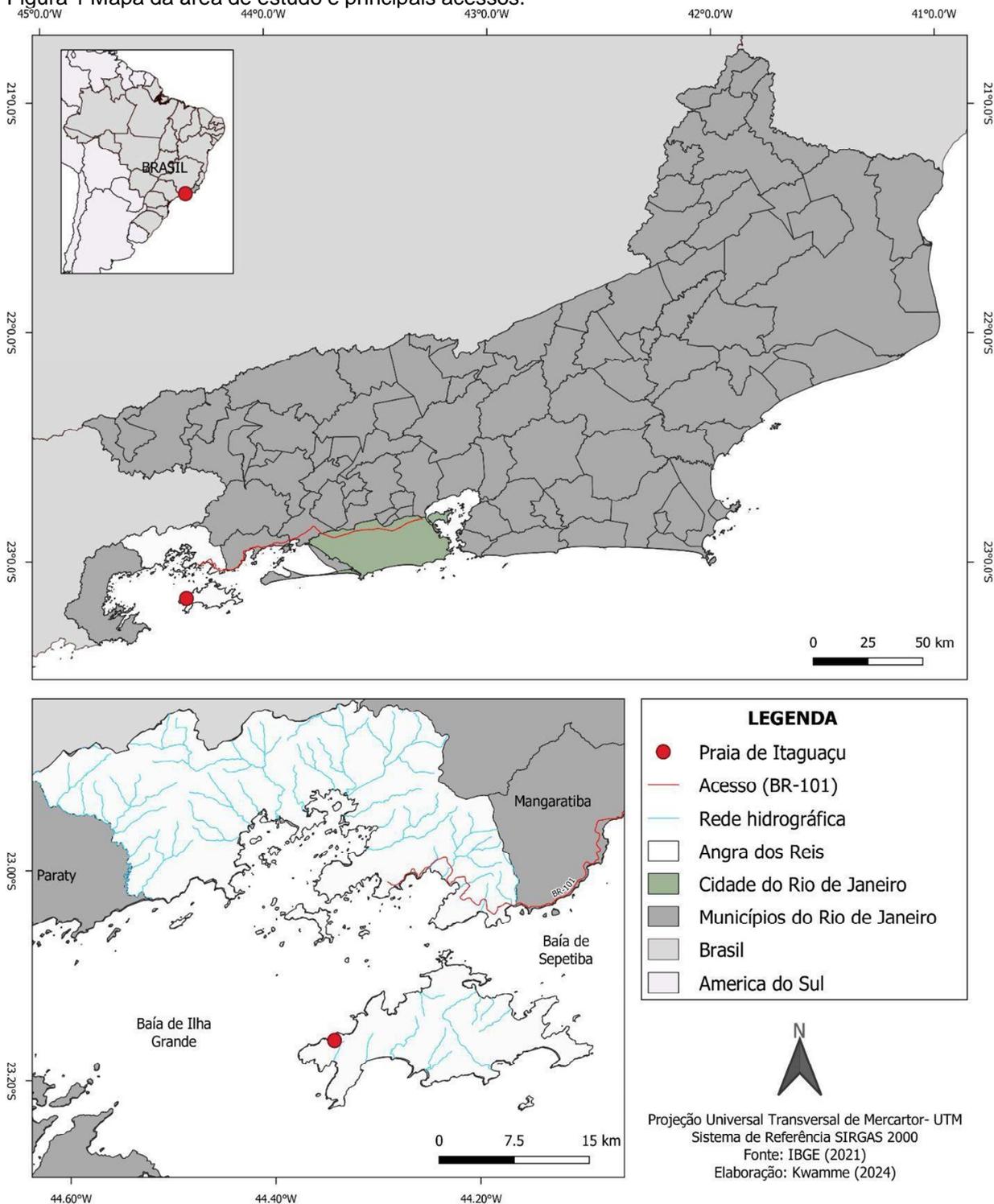
Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo principal investigar e compreender as causas, mecanismos e fatores que levaram ao deslizamento na Praia de Itaguaçu. Para tal, foi realizada uma análise integrada de dados obtidos em campo por meio de levantamento aerofotogramétrico com drone e mapeamento geomorfológico detalhado do maciço rochoso-terroso o qual ocorreu o movimento translacional raso. O intuito foi compreender as características morfológicas do maciço rochoso-terroso, os processos geodinâmicos subjacentes e os impactos associados.

## **ÁREA DE ESTUDO**

Localizada no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, a Ilha Grande faz parte do município de Angra dos Reis (Figura 1). Com uma extensão de 193 km<sup>2</sup>, é a terceira maior ilha oceânica do Brasil, apresentando 155 km de litoral, 106 praias e

abrigando um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro (SAMPAIO, 2005). É separada a oeste pela Baía de Ilha Grande, a leste pela Baía de Sepetiba e norte pelo canal central, sendo este o mais próximo do continente.

Figura 1 Mapa da área de estudo e principais acessos.



Fonte: A autora, 2023.

A Ilha Grande constitui um fragmento do maciço litorâneo, caracterizado por um relevo bastante acidentado. Suas maiores elevações estão localizadas na região centro-leste, destacando-se a Pico do Papagaio, com altitude de 1031 metros, e o Pico da Pedra D'água, com 989 metros de altura. Ambos os picos fazem parte da formação Granito Vila Dois Rios, conforme observado por DANTAS (2000). Segundo GAMA *et al.* (2009), a evolução geomorfológica da região teve início associado à tectônica Mesozóica/Cenozóica, que resultou no soerguimento das rochas do embasamento, compostas por gnaisses, granitos e charnockitos. Uma vez expostas às condições do clima tropical úmido presente na região, essas rochas sofrem um intenso processo de intemperismo superficial. Como consequência, a erosão atua no transporte e deposição do material intemperizado através dos rios, ondas, marés, fluxos gravitacionais e ventos, contribuindo para a formação das planícies costeiras flúvio-marinha e praias arenosas. A Ilha é compartimentada em duas vertentes, no sentido leste-oeste: A escarpa sul, voltada ao oceano aberto e a escarpa Norte, voltada ao continente, onde se encontra a área de estudo. Ambas as vertentes apresentam encostas íngremes com picos, costões, canais fluviais retilíneos bem encaixados e depósitos de tálus e colúvios, formados através da erosão e movimentos de massa (HEILBRON *et al.*, 2007).

Por possuir relevo predominantemente escarpado e montanhoso, a Ilha Grande possui grande parte de seu território em domínio de Mata Atlântica, apresentando fitofisionomia de Floresta Ombrófila Densa, restinga, mangue, brejos, lagoas e florestas alagadas (VELOSO *et al.*, 1991, ALHO *et al.*, 2002, IBGE, 2013), em diferentes níveis de regeneração (ANTONINI & NUNES-FREITAS, 2004). Devido ao seu significativo potencial ecológico, a Ilha Grande é protegida por Unidades de Conservação, são elas: Parque Estadual da Ilha Grande, Reserva Biológica da Praia do Sul, Área de Proteção Ambiental dos Tamoios e Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Aventureiro, todos sob administração do INEA.

De acordo com a classificação climática de Köppen, 1948, a região apresenta clima tropical quente e úmido (Af), sem estação seca, com uma temperatura média anual variando entre 20°C e 26°C. Durante o verão, a temperatura pode atingir até 39°C, acompanhada por chuvas intensas na região. Os fatores que influenciam esse comportamento pluviométrico são principalmente estáticos, como a localização geográfica e topografia, e dinâmicos, como as massas de ar (NIMER, 1979). Nesse sentido, a Serra do Mar desempenha um papel crucial

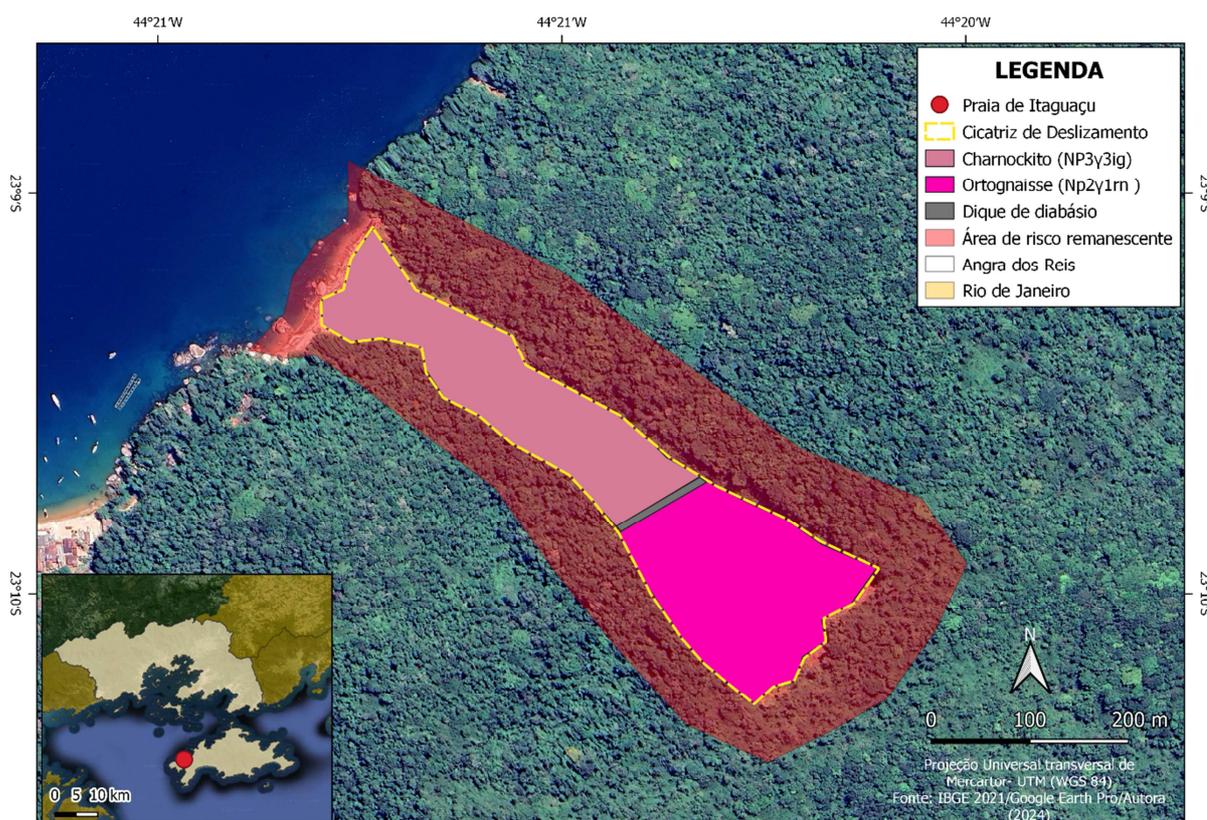
como uma barreira orográfica, contribuindo significativamente para as elevadas precipitações na região. A combinação dos fatores latitude e proximidade do mar cria condições propícias para forte radiação solar, fornecimento de umidade e formação de núcleos de condensação. Esses elementos, aliados à posição da serra em relação à trajetória dos sistemas frontais e linhas de instabilidade, resultam em um dos maiores índices pluviométricos do país, geralmente superior a 2000 mm (SALGADO & VASQUEZ, 2009). A abundante precipitação gera uma rede de cursos d'água de diferentes tamanhos, agrupados em 79 pequenas hidrográficas, pertencentes à Região Hidrográfica da Baía de Ilha Grande (RH-1) (INEA, 2013). Inúmeros riachos de 1ª e 2ª ordem drenam as vertentes ocidental e oriental da ilha. Os sistemas fluviais são, em geral, caracterizados por pequeno percurso e declive acentuado, além de diversos trechos onde a drenagem é subterrânea.

A classe de solo predominante na região é o cambissolo háplico típico distrófico, que se caracteriza por apresentar solos minerais pouco desenvolvidos, ainda em estágio incipiente de evolução pedogenética. Esses solos frequentemente demonstram perfis rasos e pouco profundos, especialmente em áreas de relevo montanhoso. A combinação desses fatores resulta em uma permeabilidade muito baixa, aumentando a suscetibilidade à erosão, formação de sulcos e escoamento superficial (EMBRAPA, 2006).

Quanto à sua geologia, a região está inserida no domínio costeiro do terreno oriental do Orógeno Ribeira, onde a colisão entre duas paleoplacas durante as etapas colisionais da Orogênese Brasileira entre o Neoproterozoico e o Ordoviciano originou gnaisses e granitos sin e pós-colisionais (HEILBRON *et al.*, 2004; EIRADO SILVA *et al.*, 2006). Essas rochas são testemunhas da complexa evolução tectônica e magmática que moldou a região ao longo do tempo. A área afetada pelo escorregamento (Figura 2) faz parte da Suíte Charnockítica Ilha Grande (*NP3γ3ig*), caracterizada por rochas plutônicas que se assemelham a granitos, com uma variação composicional que vai de granodiorítica a tonalítica. São encontradas em grande parte da cicatriz com aspecto maciço e granulometria de fina a média, sendo encontrados em menor quantidade com textura porfiritica, apresentando pórfiros de k-feldespatos de 2 cm de comprimento em matriz fina. Essas rochas são intrusivas ao Complexo Rio Negro (*Np2γ1rn*), que na região se apresenta como uma faixa alongada em direção NE/SW de ortognaisses, que se apresentam principalmente, como hornblenda-biotita gnaiss migmatítico de composição que varia de

granodiorítica a tonalítica. Ainda, é possível encontrar enclaves máficos de dioritos e quartzo dioritos. Segundo Heilbron *et al.* (2007), os ortognaisses desta unidade são derivados de rochas granitóides metamorizadas na fácies anfibolito alto, com geração de anatexia local que conferiu este aspecto migmático presente. Logo abaixo da zona de ruptura, na porção superior da cicatriz, seguindo a mesma direção NE do embasamento pré-cambriano (Complexo Rio Negro), encontra-se exposto um dique de diabásio de espessura aproximada de 2 metros, possuindo zoneamento textural marcante. Os diques de diabásio encontrados constituem a unidade litológica formada durante a Tectônica Mesozóica/Cenozóica. São da família dos basaltos, de granulação fina, escuros e compostos principalmente dos minerais plagioclásio, piroxênio e anfibólio (GUEDES, 2007).

Figura 2 Mapa da cicatriz de deslizamento presente na área de estudo evidenciando a litologia encontrada. .



Fonte: A autora, 2024.

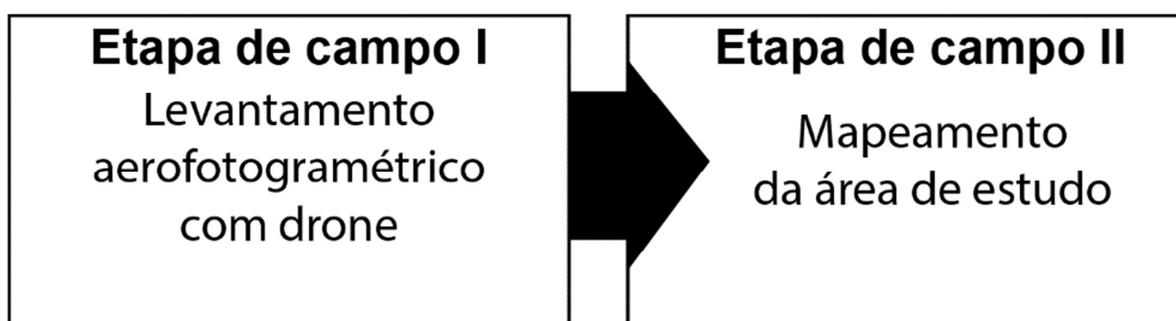
A praia de Itaguaçu (Ita- pedra, Guaçu- grande), local onde ocorreu o deslizamento, tema central deste estudo, é uma praia semi deserta com cerca de 100 m de extensão localizada na porção oeste da ilha. O acesso à praia do Gaúcho,

como também é conhecida, se dá por via marítima, através de embarcações que partem do porto de Angra dos Reis, Mangaratiba e Conceição de Jacareí. Todos esses portos são acessíveis a partir da cidade do Rio de Janeiro, via Rodovia Rio Santos (BR-101). O desembarque é feito no cais da praia vermelha ou de Araçatiba, onde uma trilha costuma levar até o local. Após o deslizamento, entretanto, a trilha foi temporariamente interditada e o acesso à praia está limitado exclusivamente a via marítima por barcos privados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de um evento natural de grande porte, como o ocorrido na Praia de Itaguaçu, requer uma investigação minuciosa e abrangente das características intrínsecas do local e dos fatores que contribuíram para a deflagração do movimento. Nesse contexto, São apresentados neste capítulo os materiais e métodos empregados para o desenvolvimento dessa pesquisa, que foi realizado em duas fases distintas, conforme ilustrado na Figura 3, são elas: Etapa de campo I, que incluiu o levantamento aerofotogramétrico com drone e, etapa de campo II, que consistiu no mapeamento geológico da área de estudo.

Figura 3 Fluxograma dos materiais e métodos do estudo.



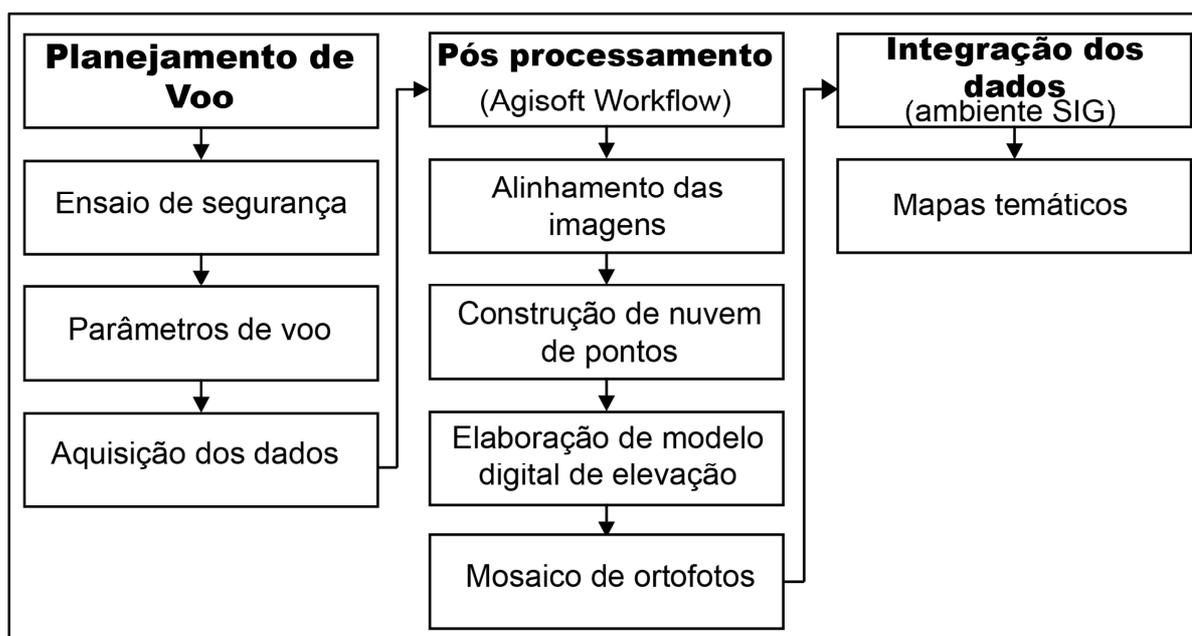
Fonte: Autora, 2024

## Etapa de campo I: Levantamento aerofotogramétrico com drone

A primeira etapa, realizada em julho de 2022, envolveu o levantamento aéreo utilizando um drone, com o objetivo de adquirir dados geoespaciais de alta resolução da área de interesse. Esses dados possibilitaram uma análise precisa e detalhada da cicatriz de deslizamento.

O uso de drones foi empregado como uma ferramenta fundamental na obtenção de imagens de alta resolução da área de interesse, visando a geração de modelos digitais de elevação (MDE) e ortomosaicos. O RPA utilizado pelo estudo trata-se do Mavic Pro Platinum, da empresa chinesa DJI, sendo considerado um dos drones de baixo custo mais portátil atualmente, possuindo tempo de voo de até 30 minutos aliado a redução de ruídos de 60 %. Possui 5 sensores visuais e uma câmera de 12,35 megapixels acoplada, suportada por um estabilizador triaxial (inclinação, rotação, giro). Também conta com um alcance estimado de 7 km (DJI, 2018). Além disso, para a execução da atividade foi necessário um tablet para o comando e envio do plano de voo para o RPA. O fluxo de trabalho está exemplificado na figura 4.

Figura 4 Fluxo de Trabalho referente etapa de campo I.



Fonte: A autora, 2023.

## Planejamento de Voo

O planejamento cuidadoso da coleta de dados é um passo fundamental para garantir a eficiência e a qualidade dos resultados obtidos. Após a delimitação da área de estudo, procedeu-se à avaliação da viabilidade operacional durante a fase de ensaio de segurança. Este ensaio consistiu em uma investigação de campo abrangente, na qual foram considerados diversos fatores, tais como: a proximidade com aeroportos, as condições climáticas locais, os locais adequados para decolagem e aterrissagem das aeronaves, a topografia do terreno e a presença de obstáculos urbanos. A avaliação de tais fatores se mostrou necessária para garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Para tal, a utilização do aplicativo gratuito UAV forecast se revelou indispensável para um voo em condições ideais. O dispositivo forneceu uma descrição clara das velocidades do vento, chance de chuva, visibilidade e temperatura local, cobertura de nuvens e monitor de índice KP, que calcula as chances de ocorrer interferência no GPS. Além disso, outro recurso oferecido foi a possibilidade de visualizar as previsões de hora em hora para a semana, o que permitiu planejar o voo com antecedência. O planejamento de voo pôde ser realizado através do aplicativo DroneDeploy, versão 4.10, onde os seguintes parâmetros foram considerados: Resolução das imagens, altura de voo em rota e a quantidade de fotos tiradas. Após solicitar permissão e a verificação dos planos de voo ao SARPAS (Solicitação de acesso de RPAS) órgão da entidade governamental DECEA, o RPA pôde ser implantado para aquisição dos dados. A aquisição das imagens ocorreu no dia 9 de julho de 2022 na região da praia de Itaguaçu.

## Pós processamento

O pós processamento das imagens coletadas em campo foi conduzido utilizando o software de fotogrametria *Agisoft Metashape*, versão 1.7.2, desenvolvido pela empresa russa *Agisoft*. O procedimento seguiu um *workflow* padrão para a construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Este processo

incluiu as seguintes etapas: alinhamento das imagens, geração da nuvem esparsa, geração da nuvem densa e construção do modelo digital por meio da geração e texturização da malha triangulada.

Durante o *workflow*, foram adotados parâmetros baseados em estudos anteriores (CARRIVICK *et al.*, 2016; CAWOOD *et al.*, 2017). No alinhamento das imagens, foram definidos critérios como alta acurácia para estimativa precisa do posicionamento das câmeras, pré-seleção de pares de referência para correspondência de recursos detectados nas fotos, limitação de pontos-chave a 40.000 por imagem e um limite máximo de pontos correspondentes também de 4.000, além da exclusão de pontos de amarração estacionários. Além disso, foi empregada a técnica de Fototriangulação para determinar as coordenadas do terreno a partir de um referencial. O resultado esperado foi a geração de uma nuvem de pontos esparsa (Figura 5A).

Após a geração da nuvem de pontos esparsa, o segundo passo envolveu a densificação desses pontos (Figura 5B). Basicamente, o software aumentou a densidade da nuvem, preenchendo espaços vazios para uma representação mais precisa da área mapeada. Os parâmetros utilizados para essa etapa incluíram a configuração de "Alta qualidade" para garantir uma alta resolução e o "Filtro de profundidade" em um nível moderado para classificar e remover pontos discrepantes. Essa etapa é crucial para a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do Modelo Digital de Terreno (MDT).

Com a nuvem densa gerada, prosseguiu-se para o terceiro passo, que consistiu na criação da malha triangulada. Nesta etapa, determinou-se o tipo de superfície como "arbitrária" (3D). Além disso, foi estabelecido um número máximo de polígonos na malha final, conhecido como contagem de faces, configurado como médio. Por fim, permitiu-se a interpolação, responsável por preencher áreas superficiais dentro de um raio específico em torno de cada ponto da nuvem densa.

O quarto e último passo diz respeito à construção do modelo digital, no qual foi aplicada texturização para melhorar a representação visual (Figura 5C). Os parâmetros definidos incluíram o tipo de textura "difusa", o modo de mapeamento "*Keep uv*" e o modo de mesclagem "mosaico", que determina como os valores de pixel de diferentes fotos serão combinados na textura final. Esse processo resultou na criação de superfícies tridimensionais que representam fielmente o terreno mapeado.

Figura 5 Modelos digitais de afloramento

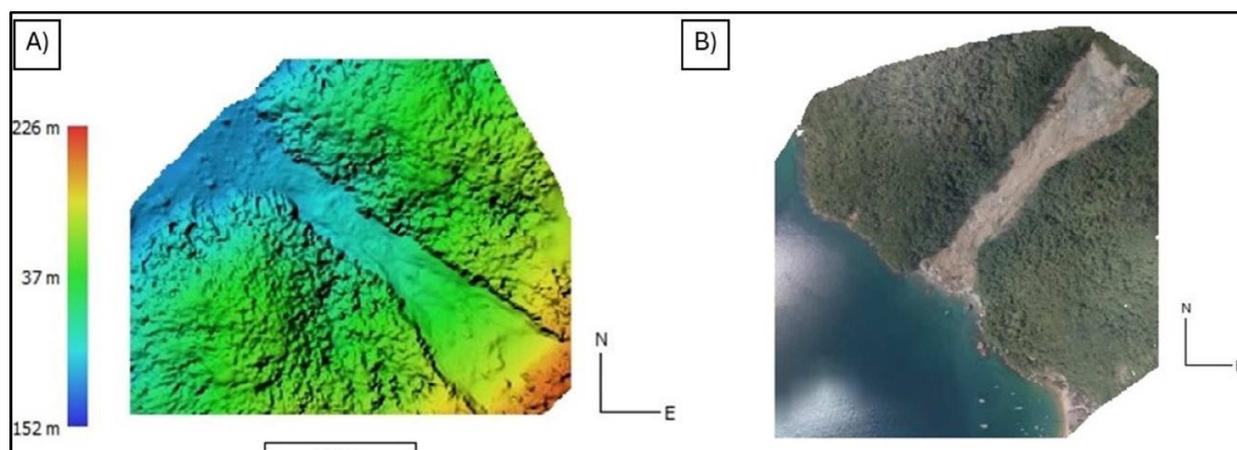


Legenda: (A) Nuvem de pontos esparsa (B) Nuvem de pontos densa e (C) Nuvem de pontos densa texturizada.

Fonte: A autora, 2023.

No estágio final do *workflow* do Agisoft, ocorre a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e da ortofoto (Figura 6a, 6b). Utilizando a nuvem densa como base, o software processa os dados para gerar o MDE, oferecendo uma representação tridimensional precisa do terreno com detalhes como elevações e declives. Em seguida, a partir dessa mesma nuvem densa, é produzida a ortofoto, uma imagem ortogonal retificada que oferece uma visualização aérea do terreno, corrigida para distorções de perspectiva e inclinação. Essas etapas finais do processo asseguram a obtenção de produtos cartográficos de alta qualidade, fundamentais para a análise de feições morfológicas, a estimativa de volume de material deslizado e o monitoramento contínuo da área.

Figura 6 Modelos digitais.



Legenda: (A) Modelo Digital de Elevação (MDE) e (B) Ortofoto.

Fonte: A autora, 2023.

O tempo de processamento dessas etapas varia conforme a quantidade de pontos presentes na nuvem, responsável também pela resolução do modelo. Assim,

quanto maior a resolução do modelo, maior será o tempo de processamento e mais fácil será a identificação das feições. No trabalho em questão, a nuvem densa foi gerada em um tempo de 1 hora e 23 minutos com uma resolução centimétrica.

## **Integração dos dados**

A partir do produto obtido nas etapas anteriores, foi realizada a integração da base de dados: i) medidas realizadas pelo RPA e as informações de terreno (fotos e dados de alta resolução e ii) Base de dados referente ao SIG (mapas, plantas, fotos, dados georreferenciados e informações locais da área. Os softwares de apoio para essa etapa do trabalho foram: Agisoft Metashape (versão 1.7.2), para a geração do MDE e do ortomosaico, Adobe Illustrator (versão 25.2.1), para produção do perfil topográfico e Qgis (versão 3.4.12), para produção dos mapas temáticos.

A base de dados espaciais, informações cartográficas, essenciais para a geração dos mapas temáticos, foi fornecido pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Rio de Janeiro – Geobases, envolvendo banco de dados e uma base cartográfica digital sendo os seguintes planos de informação utilizados no formato “shapefile” (.shp): curva de nível de 20 m; hidrografia; localidades; municípios; pedologia. Os dados utilizados para a confecção do mapa de declividade foram obtidos por meio do conjunto de dados de Altitude SRTM, com resolução de 30 metros, fornecido pela NASA (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). A classe foi escolhida pensando no relevo da área, sendo  $\leq 15\%$ , para relevos suaves a moderado, 15-45%, para relevo moderado a íngreme e,  $>45\%$  para relevo íngreme ou abruptos.

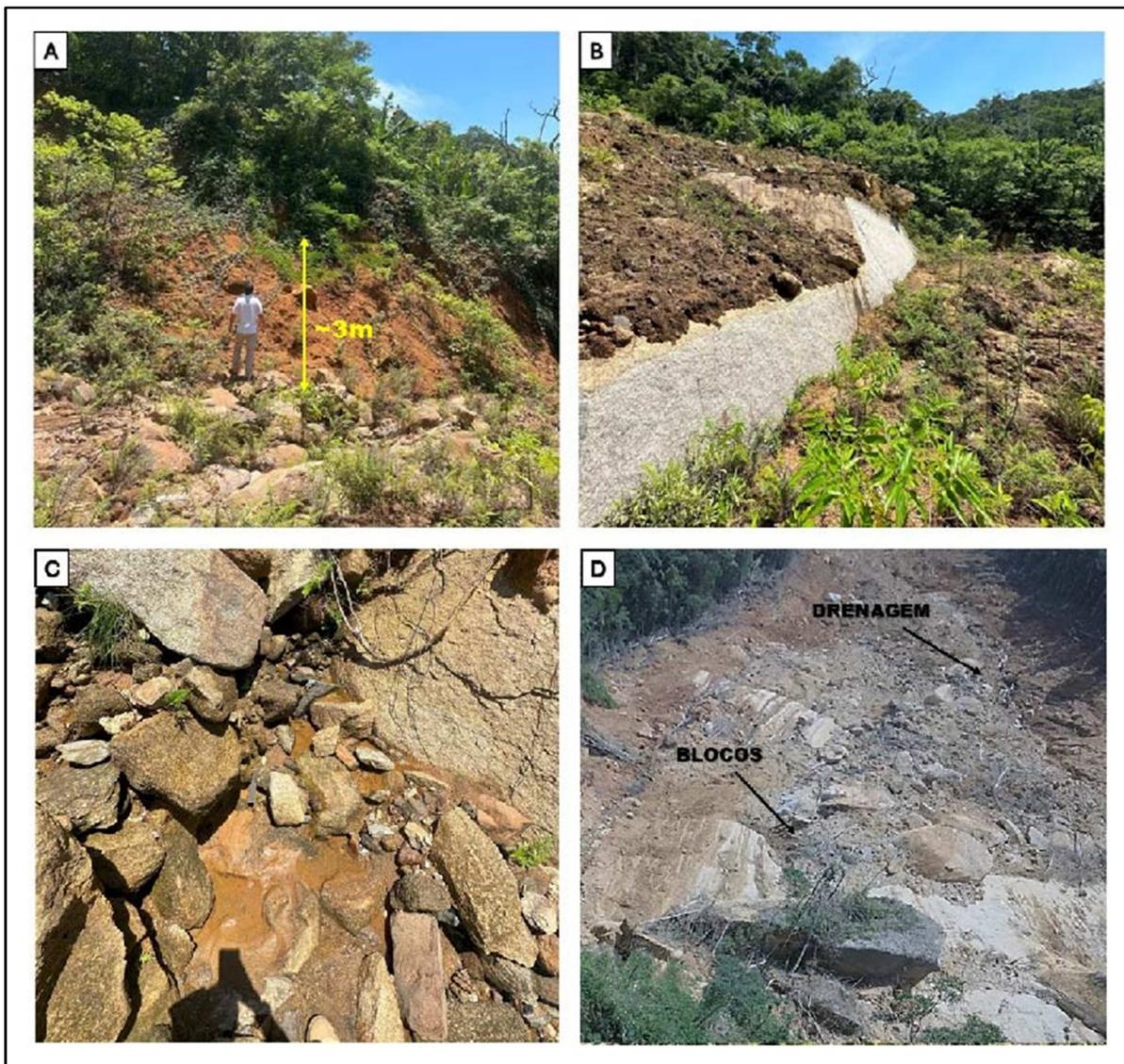
A integração correspondeu uma etapa fundamental na análise e interpretação a fim de se obter os resultados desejados para o estudo. Vale ressaltar a importância do mapeamento aéreo em regiões como a da praia de Itaguaçu, onde o acesso é extremamente limitado e o drone se faz fundamental diante da impossibilidade de outros tipos de análise.

## **Etapa de campo II: Mapeamento da área de estudo**

O mapeamento da área onde se encontra a cicatriz de deslizamento foi realizado em duas fases. A primeira ocorreu em julho de 2022, apenas alguns meses após o evento, onde foram realizados o levantamento aéreo e o reconhecimento preliminar da área. A segunda etapa de campo foi realizada mais de um ano após o evento, em novembro de 2023, durante a qual uma investigação mais detalhada da área foi conduzida, onde foi possível obter dados importantes sobre a geometria da cicatriz, a composição do solo e da rocha, os padrões de drenagem, a distribuição da vegetação e a topografia local (Figura 7a, b,c,d).

O objetivo primário ao realizar o mapeamento em dois períodos distintos foi obter uma base de dados empírica sólida e objetiva para entender as características do deslizamento, bem como para observar as mudanças ocorridas na área afetada. Isso incluiu a avaliação de possíveis riscos residuais e, mais importante, uma compreensão mais aprofundada dos processos pós-deslizamento. Essa abordagem permitiu a formulação de hipóteses, teorias e modelos sobre o evento que afetou a praia de Itaguaçu.

Figura 7 Imagens coletadas em campo da cicatriz de deslizamento.



Legenda: (A) espessura lateral da cicatriz; (B) Bloco de charnockito na parte central do deslizamento; (C) drenagem bloqueada; (D) Blocos no topo do afloramento e drenagem;  
 Fonte: A autora, 2022 e 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos dias 1 e 2 de abril, conforme registrado no Boletim Oficial da Prefeitura de Angra dos Reis (2022), ocorreram intensas precipitações, registrando o maior volume registrado para o mês de abril desde 1913, totalizando 655 mm de chuva no continente e 592 mm na Ilha grande, em apenas dois dias. A ocorrência desencadeou uma série de desastres, como inundações, deslizamentos de terra,

enxurradas e alagamentos, resultando em uma significativa comoção social, com pessoas deslocadas de suas residências, desabrigadas, comunidades isoladas, e uma série de danos e prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Na ocasião, quatro residências foram atingidas e 11 pessoas ficaram soterradas no bairro de Monsuaba, na parte continental. Nas comunidades da Ilha Grande, como Araçatiba, Vermelha, Provetá, Abraão e Aventureiro, os danos foram consideráveis, com a praia de Itaguaçu sendo a mais afetada.

O fenômeno ocorrido na praia de Itaguaçu envolveu a movimentação estimada de cerca de 70.368 m<sup>3</sup> de solo, impactando uma área total de 70.551 m<sup>2</sup> que se estende de 630 metros por uma largura média de 115 metros. Antes do evento, a encosta estava recoberta por vegetação nativa preservada e segundo dados da Defesa Civil, três residências localizadas na base da encosta, foram completamente destruídas durante o evento, resultando em três vítimas. Nesse contexto, os fatores determinantes para a ocorrência do movimento foram as características climáticas, pedológicas, geológicas e geomorfológicas inerentes à região.

A partir da análise dos dados coletados, duas hipóteses são levantadas para explicar o movimento ocorrido na encosta da Praia de Itaguaçu. Em ambos os cenários, o deslocamento manifestou-se como planar translacional com queda de blocos, sendo o perfil de intemperismo constituído por rocha alterada e solo residual pouco espesso, seguindo o curso da drenagem em duas vertentes. O fator deflagrador foram as chuvas intensas que impactaram a localidade nas horas anteriores ao evento, resultando na saturação do solo e rompimento no contato solo-rocha (Figura 8).

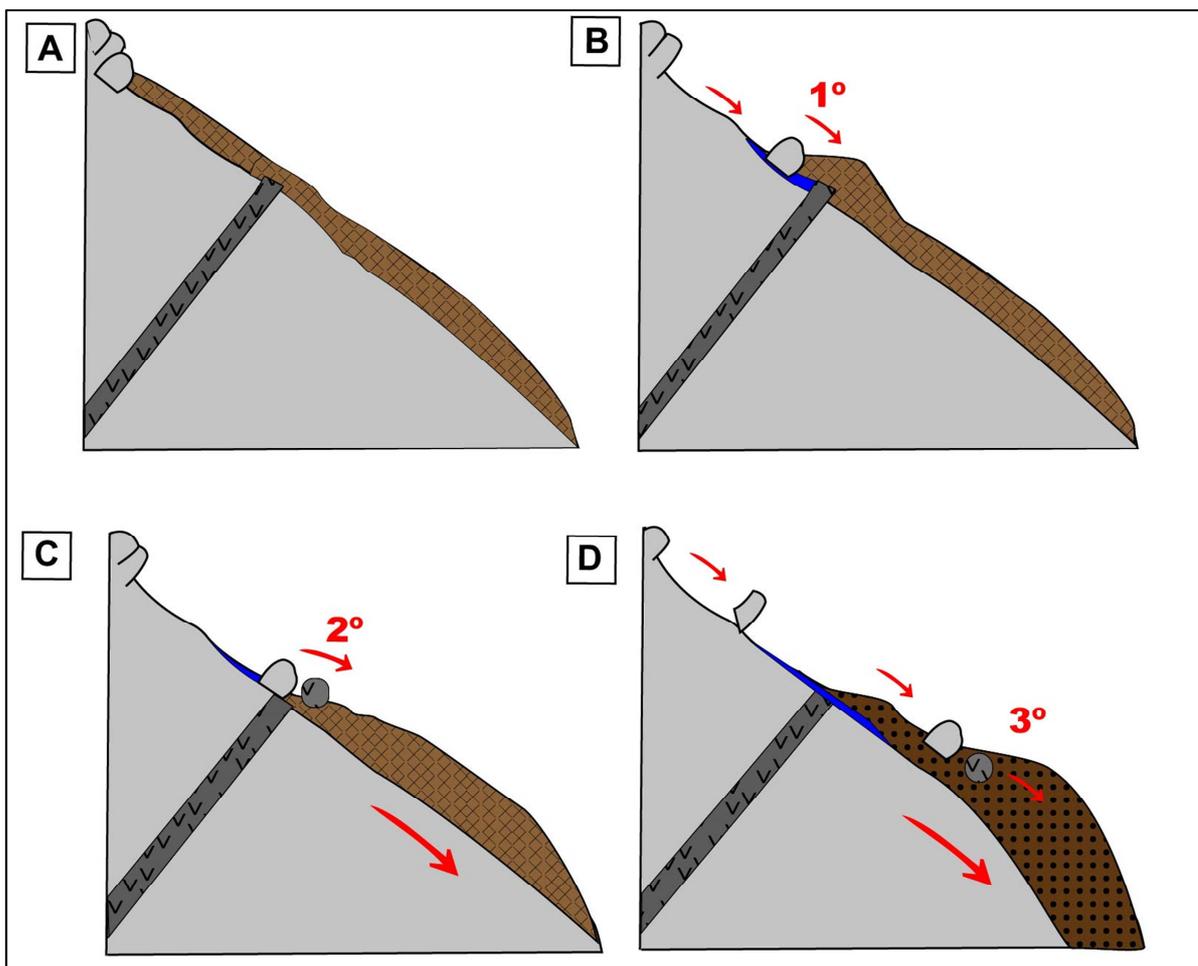
Figura 8: Características da cicatriz de deslizamento observadas em campo.



Fonte: A autora, 2022-2023.

Na primeira hipótese, sugere-se que o movimento teve início no topo da crista (Figura 9A), onde o ortognaisse altamente fraturado foi sujeito a um processo de pressão hidráulica nas paredes das fraturas, resultando no descolamento nas trincas de tração e, conseqüentemente, a queda do bloco (Figura 9B). Devido à ação da gravidade, esse material deslizou para jusante, chocando-se em um dique de diabásio, entre os terços superior e médio da encosta (Figura 9C). O material depositado, ainda sujeito à poropressão positiva e à sobrecarga da vegetação, desencadeou um segundo movimento (Figura 9D), quase concomitante. Esse material remobilizado depositou-se na porção baixa da encosta, formando um depósito de tálus na base.

Figura 9 Perfil esquemático da Hipótese 1 do deslizamento ocorrido na praia de Itaguaçu (os tamanhos mostrados não correspondem à realidade; a imagem é ilustrativa).

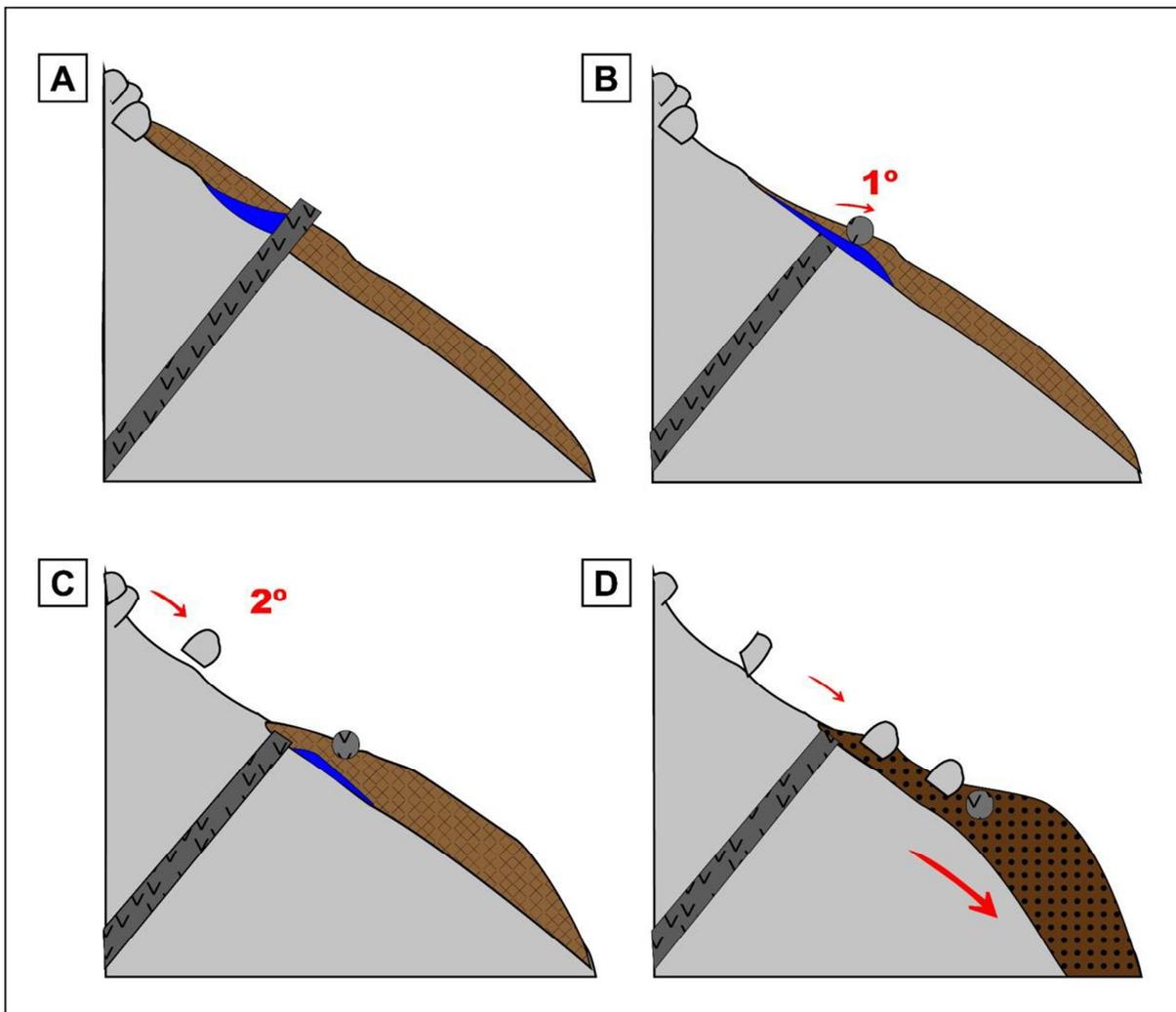


Legenda: A) Ortogneisse sofrendo pressão hidrostática sobre paredes das fraturas B) Descolamento das trincas de tração e consequente queda do bloco C) Bloco de ortogneisse choca-se contra dique de diabásio D) ruptura do bloco de diabásio juntamente ao deslocamento do solo a jusante formando o depósito de tálus.

Fonte: A autora, 2023.

A segunda hipótese propõe que o movimento teve início na porção central da encosta, no contato do dique com o ortogneisse (Figura 10A). Nesse cenário, a saturação do solo depositado acima do dique resultou no aumento da poropressão que culminou na ruptura e deslocamento do bloco de diabásio a jusante (Figura 10B). Esse movimento fez com que os blocos de ortogneisse do topo da encosta perdessem o suporte da base, o que provocou uma instabilidade repentina, resultando em um segundo deslizamento, quase simultâneo ao inicial, onde houve a ruptura e queda deste bloco. O material mobilizado depositou-se na base (Figura 10C).

Figura 10 Perfil esquemático da Hipótese 2 do deslizamento ocorrido na praia de Itaguaçu (os tamanhos mostrados não correspondem à realidade; a imagem é ilustrativa).



Legenda: A) Saturação do solo depositado sobre o dique B) Ruptura e deslocamento do bloco de diabásio C) Descalçamento do bloco de Ortognaisse a montante e D) Queda do Bloco de ortognaisse e junto com solo e formação do depósito de tálus.

Fonte: A autora, 2023.

Ambas as hipóteses foram formuladas a partir dos dados coletados em campo juntamente a estudos de bibliografias sobre a área. Não é possível determinar com certeza qual das hipóteses corresponde com mais precisão ao deslizamento ocorrido em 2022, objeto deste estudo; No entanto, alguns pontos devem ser levados em consideração.

A região é caracterizada pela presença de um dique de diabásio orientado no sentido NE, alinhado de forma concordante com a foliação do embasamento. Esta mesma orientação é predominantemente observada no sistema de fraturas e falhas da área. A presença desta intrusão pode ter causado fraturamento e enfraquecimento das rochas circundantes (charnockito e ortognaisse), criando zonas

de fraqueza propensas a falhas e instabilidades. Além disso, ao gerar descontinuidades geométricas na encosta, o dique pode ter contribuído para o acúmulo de água, facilitando a infiltração e o enfraquecimento do solo. Ainda, existe uma diferença na resistência à erosão entre o dique de diabásio e as rochas encaixantes (ortognaisse e charnockito). Isso se deve ao fato que o aspecto migmatítico do ortognaisse presente na área apresenta zonas de fraqueza devido a diferenciação mineral ocorrida durante os processos metamórfico enquanto o charnockito apresenta uma foliação incipiente atribuída a processos magmáticos, tornando-o mais propenso à ocorrência de fraturas em comparação ao diabásio. Este último, dentro do contexto da região, exibe uma textura mais homogênea com menos zonas de fraqueza. Essa diferença contribui para a erosão diferencial, na qual a água da chuva erode mais rapidamente o solo adjacente ao dique, criando uma diferença de altura entre as áreas erodidas e as áreas adjacentes. Essa variação de altura pode resultar no colapso e deslizamento do solo.

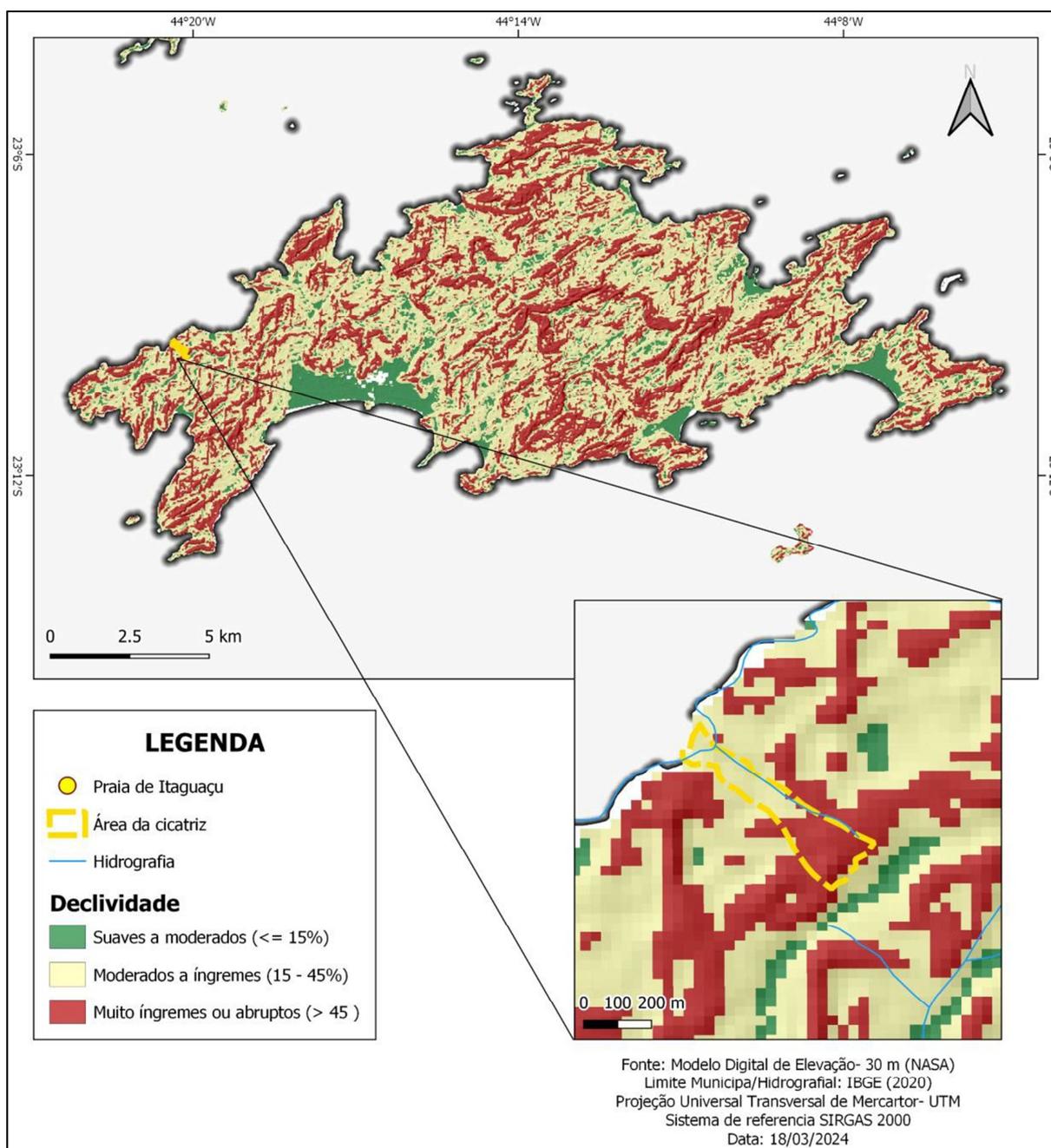
A cicatriz de deslizamento apresenta sinais evidentes de influência hidrológica, evidenciada pela presença de drenagem ativa e sinais de fluxo de água recente. Ao examinar a área afetada, observa-se a presença de canais de drenagem naturalmente formados ao longo das margens da cicatriz (Figura 11). Esses canais exibem características de erosão, indicando um fluxo significativo de água durante ou após o evento de deslizamento, que pode ter contribuído significativamente para a saturação do solo.

Figura 11: Rede de drenagem observada na cicatriz.



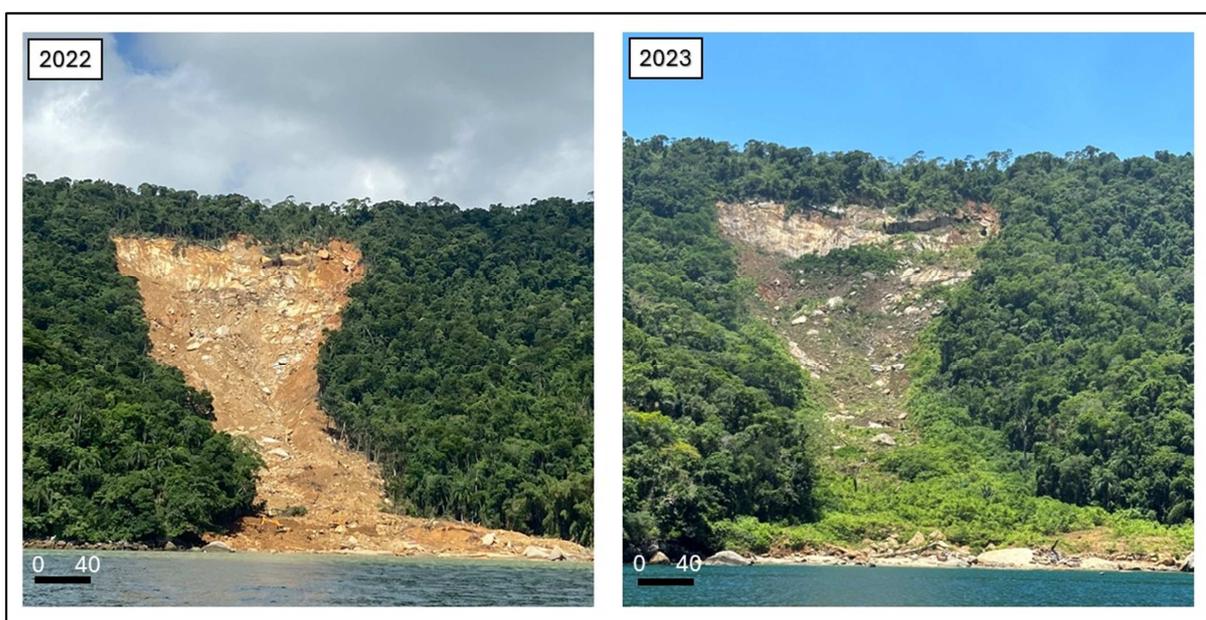
A encosta da praia de Itaguaçu exibe um perfil morfológico com um declive predominantemente abrupto ( $>45$ ) em seu topo e moderado a íngreme em seu corpo (15-45%), sem apresentar nenhuma área de relevo suave (Figura 12). O contato solo-rocha em declividades elevadas como estas, costuma ser raso. Nesse contexto, quando associado com os altos índices pluviométricos que afetam a região, esses fatores tornam a encosta propensa a deslizamentos, como o ocorrido no evento.

Figura 12 Mapa de declividade da área de estudo.



Por fim, analisando as imagens coletadas no período de um ano após o evento (Figura 13), é evidente que a área da cicatriz de deslizamento está passando por um processo de regeneração, indicando uma resposta positiva do ambiente após o deslizamento. Uma característica notável é a progressiva regeneração natural, com a presença de arbustos com altura de até 5 metros, sobretudo no sopé da encosta, onde uma grande parte do material proveniente do deslizamento foi depositada.

Figura 13: Área da cicatriz de deslizamento em 2022, logo após o deslizamento e em 2023, um ano após o evento.



Fonte: A autora, 2022- 2023.

O solo na área está atravessando um processo de regeneração, caracterizado por uma progressiva consolidação e restauração da sua estrutura. Os sinais de erosão superficial estão diminuindo gradualmente, ao passo que a reintegração de nutrientes e a formação de horizontes distintos indicam um retorno à fertilidade do solo. É provável que as drenagens pré-existentes na região tenham sido alteradas devido a obstrução ou desvio pelo deslocamento do material durante o deslizamento. Os novos canais agora fornecem uma rota para a drenagem pluvial, contribuindo para a estabilidade hidrológica e a resiliência do sistema.

Esta evolução da encosta é uma demonstração da capacidade do ambiente de se adaptar a perturbações e de se recuperar ao longo do tempo. No entanto, é importante reconhecer que o processo de regeneração completa da área da cicatriz

de deslizamento pode ser prolongado e dinâmico, sujeito a influências climáticas e geológicas variáveis. Os avanços observados até o momento destacam a resiliência intrínseca dos ecossistemas diante de perturbações naturais, enfatizando a importância da conservação e da gestão responsável dos recursos naturais em ambientes propensos a deslizamentos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ilha Grande, localizada em Angra dos Reis - RJ, é considerada um dos principais patrimônios naturais do Estado do Rio de Janeiro, sendo a terceira maior ilha oceânica do Brasil e abrigando um vasto remanescente de Mata Atlântica. Devido às suas características geográficas, geológicas e, especialmente climáticas particulares, a região apresenta uma história marcada por cicatrizes resultantes de movimentos de massa.

O deslizamento ocorrido na encosta da Praia de Itaguaçu, em abril de 2022, foi um desses eventos significativos que deixaram marcas na história da região. Desencadeado por chuvas intensas, esse episódio resultou em um movimento de massa que afetou uma área considerável, envolvendo aproximadamente 70.368 m<sup>3</sup> de solo e abrangendo uma extensão total de 70.551 m<sup>2</sup>. Como consequência, três residências situadas na base da encosta foram completamente devastadas, resultando em três vítimas fatais.

O objetivo deste estudo foi estabelecer uma base empírica para ajudar a compreender as causas, mecanismos e fatores que levaram ao deslizamento. Nas fotografias aéreas observou-se a presença de blocos de ortognaisse na coroa da cicatriz do movimento ligeiramente deslocados para jusante do seu lugar de origem. No trabalho de campo também foi observada a presença destes blocos na zona de transporte do movimento. Entre o terço superior e o terço médio da cicatriz foi observada a presença de um dique de diabásio. Associando estas duas observações, propôs-se duas hipóteses para a origem do movimento: o rompimento do dique causado pela sobrecarga devido a saturação do solo confinado a montante ou a queda de um ou mais blocos de ortognaisse a partir do topo da cicatriz que romperam o dique causando o movimento.

A metodologia proposta demonstrou sua eficácia em áreas de difícil acesso, como a enseada da região de estudo, localizada em uma região insular com encostas íngremes (>45°), sem áreas planas e acesso limitado.

Este mecanismo de movimento já foi observado várias vezes na região, em algumas vezes causando tragédias como a da enseada do Bananal em 2010. Apesar da dificuldade no reconhecimento de áreas potenciais para a ocorrência de novos eventos controlados por este mecanismo, é de grande importância a atenção

das áreas a montante de regiões habitadas ou de uso regular. Se identificadas as mesmas condições, sugere-se o mapeamento detalhado destas áreas a fim de evitar tragédias como as citadas se repitam.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. L. S. et al. (2012). SIG-WEB Ceará em mapas interativos, novas ferramentas na cartografia escolar. *Revista Mercator*, v. 11, ed. 24, p. 253-269.

ALCÁNTARA-AYALA, I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability, and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, p. 107–124.

ANTONINI, R. D.; NUNES-FREITAS, A. F. (2004). Estrutura populacional e distribuição espacial de *Miconia prasina* D.C. (Melastomataceae) em duas áreas de Floresta Atlântica na Ilha Grande, RJ, Sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, 18(3), 671-676.

AQUINO, A. R. de et al. *Vulnerabilidade Ambiental*. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p.

ARAUJO, C. D.; CARVALHO, A. G.; SILVA, C. D. (2005). Impactos ambientais do Turismo na Ilha Grande: Um estudo comparativo sobre a percepção dos moradores da Vila do Abraão e da Vila Dois Rios. *Caderno Virtual de Turismo*, Vol. 5, N° 3. Disponível

em:<[http://ilhagrandehumanidades.com.br/sites/default/files/Araujo\\_Carvalho\\_Silva\\_2005\\_Impactos-ambientais-do-turismo\\_21005.pdf](http://ilhagrandehumanidades.com.br/sites/default/files/Araujo_Carvalho_Silva_2005_Impactos-ambientais-do-turismo_21005.pdf)> Acessado em 10 mar. de 2023.

AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização Geológica-Geotécnica Voltada a Estabilização de Encosta: Uma proposta Metodológica. In? 1ª COBRAE, Anais ABMS/ABGE, v.2, p. 721-733. Rio de Janeiro.

AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI J. C. (1998) **Estabilidade de taludes**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 243-269 p.

BISPO, L. (2006) **Mapeamento em subsuperfície do canal central da Baía da Ilha Grande com base em dados de sísmica rasa de alta resolução**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. 99f.

BITELLI, G. et al. (2004, julho). *Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry Techniques to Monitor Landslide Bodies*. DISTART – University of Bologna, Viale Risorgimento, p. 1-6.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2015). ICA 100-40. Rio de Janeiro.

CARRIVICK, J. L.; SMITH, M. W.; QUINCEY, D. J. (2016). **Structure from Motion in the Geosciences**. Londres, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd.

CARTIER, R.; BARCELLOS, C.; HÜBNER, C.; PORTO, M.F. (2009). Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça

ambiental. Caderno de Saúde Pública, v. 25, n. 12, p. 2695-2704.

CASTRO, A. L. C. (1979). **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 83p.

CAWOOD, A. J. (2017). **LiDAR, UAV, or compass-clinometer? Accuracy, coverage, and the effects on structural models**. Journal of Structural Geology, 98,p. 67-82.

CIDADE, L. C. F. (2013). **Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar**. Cadernos Metr pole, São Paulo, v. 15, n. 29, p. 171-191.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980) **Geomorfologia**. São Paulo:Edgar Blucher, 2<sup>a</sup> ed., 188p.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2001) **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Ministério de Minas e Energia, Brasília (DF). CD-ROM.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. M.; SILVA, C. R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A.; OLIVEIRA, R. P.; MANSUR, K.; FERREIRA, C. E. O. (2000). **Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. (CD-ROM).

DAVIS, E.G., NAGHETTINI, M.C. (2001) **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. Estudo Geoambiental de Estado do Rio de Janeiro. MME-CPRM, Brasília, 135 p.

DESCHAMPS, M. V. (2004). **Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 155p.

DOURADO, F., FERNANDES, N.F. (2013). **Os escorregamentos da Enseada do Bananal e Morro da Carioca em Angra dos Reis na Baía de Ilha Grande**. Integra o Homem-Meio Ambiente nas Zonas Costeiras Brasil/Portugal, 137-146p.

EM-DAT – Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponível em: <http://www.emdat.net>. Acesso em 15 jan. 2024.

EMPRESA CHINESA – DJI. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/mavic-pro-platinum>>, 2018.

ESBERARD, C. E. L.; NOGUEIRA, T. J.; LUZ, J. L.; MELO, G. G. S.; MANGOLIN, R.; Jucá, N.; RAÍCES, D. S. L.; ENRICI, M. C.; BERGALLO, H. (2006). **Morcegos da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Zoci ncias,8(2),147-153. Disponível em: [http://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea\\_imagens/downloads/pesquisas/PE\\_Ilha\\_Grande](http://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea_imagens/downloads/pesquisas/PE_Ilha_Grande)

EZEQUIEL, C. A. *et al.* (2014). **UAV Aerial Imaging Applications for Post-Disaster Assessment, Environmental Management, and Infrastructure Development.** International Conference on Unmanned Aircraft Systems - ICUAS, [s. l.], p. 274-283, 2014.

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., & DEMÉTRIO, J. G. A. (2008) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3a. Ed. CPRM, Rio de Janeiro, 812pp.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (2003). **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.** In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.), Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand Brasil, Cap. 3, p. 123-194.

FERREIRA, A. M. R. (2014). **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado: VANT, para uso em aerolevantamentos.** (Dissertação de Mestrado em Geociências). Universidade de Brasília, Brasília, 92p. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17305>. Acesso em: 08 mar. 2023.

FERREIRA, F. S. (2013) **Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP)/ São Paulo.**

FELICISIMO, A. (1994). **Introducción a los modelos digitales del terreno. Modelos Digitales del Terreno,** Universidad de Extremadura - Oviedo, p. 1-118.

FIGUEIREDO, E. O.; Figueiredo, S. M. M. (2018). **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3.** Circular Técnica 75.

FIORENTINO, T. G. (2008). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais** (1ª ed. atual.). São Paulo: Oficina de Textos.

FREIRE, E.S.M (1965). **Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Sistemática.** Construção, Rio de Janeiro, p. 10-18, 1965.

FURLAN, M. C.; Lacruz, M. S. P.; Sausen, T. M. (2011). **Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15,. Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 4540-4546.

GAMA, S. V. G.; EIRADO SILVA, L. G.; Salgado, C. (2009). **Geologia, relevo e solos** In: Bastos, M. & Callado, C. H. (org). O Ambiente da Ilha Grande. 1ed. Rio de Janeiro: Editora UERJ, v. 2, p. 21-64.

GIORDAN, D. *et al.*, (2015). **UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides.**

GUEDES, E. (2007). **O magmatismo Mesozoico-Cenozoico no embasamento da Bacia de Santos: região entre Resende e a Baía da Ilha Grande.** Rio de Janeiro:

UERJ. 300p. Tese de Doutorado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

GUIDICINI, G; NIEBLE, C.M. (1984) **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª ed., 194 p.

HASUI, Y. (2010) **"A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional."** São Paulo: UNESP, Geociências, v. 29, n. 2, p. 141-169.

HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C. M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M. (2000). **From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil**. In: Talwani, M., & Mohriak, W. (Editors), *Atlantic Rifts and Continental Margins*, p. 1-34. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, V 115.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. (2003). **Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil)**. *Precambrian Res.*, 125:87-112.

HEILBRON, M., PEDROSA, S., ANTONIO Carlos, CAMPOS NETO, M., DA SILVA, L., TROUW, R., ALLARDI, JANANSI, V. (2004). **Província Mantiqueira**.

HUTCHINSON, J. N. (1988) **General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology**. 5th International Symposium on Landslides. A. A. Balkema, Lausanne: 3-35.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). *Manuais técnicos em geociências no 1: manual técnico da vegetação brasileira (2a ed.)*. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. (2013). **Parque Estadual da Ilha Grande: plano de manejo (fase 2)/resumo executivo**. Rio de Janeiro: INEA.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. (1998). **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE).

JÚNIOR et al. (2015). **Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT**. *Revista Brasileira de Cartografia*, (N 67/7), 1453-1466. ISSN: 1808-0936.

JUNIOR, M. J. C. B. (2018). **Percepção de risco em desastres naturais: um estudo de caso em áreas já afetadas no município de Angra dos Reis**. 91f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Pública). Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.

LONGHITANO, G. A. (2010). **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.3.2010.tde-10012011-105505. Acesso em: 08 mar. 2023.

LOUSADA, G.; FARIAS, H. (2014). **Desastres ambientais, prevenção e mitigação: um estudo de caso da região de Angra dos Reis/RJ**. Revista Continentes (UFRRJ), ano 3, n. 5, p. 131-149.

MACEDO, E. S. de; SANDRE, L. H. (2022). **Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.12, n.1, p.110-117.

MAGALHÃES, M. A. F. (2008). **Procedimentos para revisão de plano de manejo: Parque Estadual da Ilha Grande, RJ**. Monografia Bacharelado em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 81p.

MARCELINO, E. V.; Nunes, L. H.; Kobiyama, M. (2006). **Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais**. Caminhos de Geografia, v.6, n.19, p. 130-149.

MEDEIROS, M. F. **Estudo da Sequência sedimentar holocênica das baías da Ribeira e Parati (Baía da Ilha Grande – RJ) através de métodos sísmicos e análises de testemunhos**. Niterói: Universidade Federal Fluminense. Dissertação de Mestrado. 1v. 100p, 2006.

NIMER, E. 1979. **Climatologia do Brasil. Superintendência dos Recursos Naturais e Meio Ambiente**, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, Rio de Janeiro: IBGE. N. 24, 421pp.

NYIMBILI, P.H. *et al.* (2016) **Structure from Motion (Sfm) – Approaches & Applications**. International Scientific Conference on Applied Sciences - Antalya/Turkey, [S. l.], p. 1- 8, set.

OLIVEIRA, R. R.; COELHO NETTO, A. L. 2011. **Captura de nutrientes atmosféricos pela vegetação na Ilha Grande, RJ**. Pesquisa Botânica 51: 31-49.

OLIVEIRA E SILVA, A. C. **O controle litológico-estrutural na evolução da morfologia das bacias de drenagem da Ilha Grande, RJ**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Monografia (Graduação em Geologia). 1v. 88P. 1999.

ONU - Organização das Nações Unidas. (2004). **Living with Risk: A global review of Disaster Reduction Initiatives**. Disponível em: <[http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm)> Acesso em: 15 jun. 2023.

PASTORE, E.L. & FONTES, R.M. **Caracterização e Classificação de solos**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO; S.N.A. (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, p. 197-210, 1988.

RIBEIRO, A. M. (2014). **A Dinâmica populacional de Angra dos Reis e seus impactos nas ocupações irregulares e em áreas de risco**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, v.1, n.51, mar. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/dinamicapopulacional-deangra-dos-reis-e-seus-impactos-nas-ocupacoes-irregulares-e-em-areas>. Acesso em: 08 mar. 2023.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria do Ambiente. Assessoria de Comunicação do Inea. Inea desloca pessoal e máquinas para socorrer municípios atingidos pelas chuvas. Rio de Janeiro, 18 março 2013. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=1492505>. Acesso em 07 abril 2024.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Defesa Civil. Assessoria de Comunicação. Defesa Civil atualiza informações sobre as chuvas em Petrópolis. Rio de Janeiro, 22 março 2013. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=1500316>. Acesso em 07 abril 2024.

ROSA, R. (2011). **Geotecnologias na Geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p. 81-90

SAMPAIO, R. S. (2005). **Estratégias para a superação de problemas locais à Vila do Abraão e sua relação com o desenvolvimento sustentável do turismo**. Dissertação de mestrado, Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3957/RafaelS.pdf?sequence=1> >. Acesso em 13 mar. 2023.

SESTINI, M. F. (1999). **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM-Landsat e SIG**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

SELBY, M. J. (1993). **Hillslope Materials & Processes**. Oxford University Press, New York, 2ª ed., 451p

SMITH, M.W. *et al.* (2015) **Structure from motion photogrammetry in physical geography**. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, [s. l.], v. 40, p. 247-275.

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E. (2009) **Percepção de riscos ambientais: teoria e aplicações**. Fortaleza: UFC edições, (Coleção estudos geográficos, 6).

TOMINAGA, L. K. (2007). **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese de Doutorado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.8.2007.tde-18102007-155204. Acesso em: 08 mar. 2023.

TORRES, F. S. de M. (2014). **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município do Ipojuca-PE**. Dissertação de Mestrado em Engenharia

Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. (2000). **Neoproterozoic western Gondwana assembly and subduction related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira belt**. Revista Brasileira de Geociências, 30(1), 007-011.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. (2013). **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2 ed, Florianópolis: CEPED UFSC.

UFRRJ/IEF/PRÓ-NATURA – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / Instituto Estadual de Florestas do Estado do Rio de Janeiro / Fundação Brasileira de Estudos e Pesquisas Ambientais, Plano diretor do Parque Estadual da Ilha Grande. Itaguaí: UFRRJ. 247p., 1993.

VALEJJO, L. R. 2005. **Políticas Públicas e Conservação Ambiental: Territorialidades em conflito nos Parques Estaduais da Ilha Grande, da Serra da Tiririca e do Desengano (RJ)**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense. 103p.

VELOSO, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. (1991). **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE.

VARNES, D. J. (1978) **Slope movement and types and process**. In: R.L. SCHUSTER; R.J. KRIZEK (Eds.) Landslides: Analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington D.C, P.11-33.

\_\_\_\_\_. (1984) **Landslides hazard zonation: a review of principles and practice**, UNESCO, Paris, França, 56 p.,

VEDOVELLO, R., & MACEDO, E. (2007). **Deslizamentos de encostas**. In: Santos, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos** Brasília MMA Disponível em [https://fld.com.br/w/content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade\\_Ambiental\\_Desastres\\_Naturais\\_ou\\_menos\\_Induzidos.p](https://fld.com.br/w/content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_menos_Induzidos.p)

WICANDER, R.; MONROE, J. S. (2009) **Fundamentos de geologia**. São Paulo: Cengage Learning.

WOLLE, C. M. (1988). **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encosta**. Tese de Doutorado apresentado a Escola Politécnica da USP, São Paulo, p.406.

WUNDER, S. 2006. **O estado das florestas na Ilha Grande**. In: PRADO, R.M. (Org.). Ilha Grande: do sambaqui ao turismo. Rio de Janeiro: Editora Garomond - EDUERJ, p.118-122.