



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**



Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo

**VOLUME 2: DESLIZAMENTO PLANAR,
DESLIZAMENTO ROTACIONAL
E RASTEJO**

Realização

Divisão de Geologia Aplicada - DIGEAP
Departamento de Gestão Territorial - DEGET

2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

Chefe da Divisão de Gestão Territorial

Maria Angélica Barreto Ramos

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patricia Duringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Valter Alvarenga Barradas

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo

Volume 2: Deslizamento Planar,
Deslizamento Rotacional e Rastejo

AUTOR

Rafael Silva Ribeiro



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

EQUIPE TÉCNICA

Elaboração

Rafael Silva Ribeiro

Diagramação (SUREG/SP)

Marina das Graças Perin

Foto da capa: Deslizamento planar no município de Ipatinga (MG) em 2014.

Créditos: Rafael Silva Ribeiro/ CPRM.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

RIBEIRO, Rafael Silva
R484r Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo. volume 2 : deslizamento planar, deslizamento rotacional e rastejo / Rafael Silva Ribeiro. – Brasília : CPRM, 2021.
1 recurso eletrônico : PDF
ISBN
1.Risco geológico. 2.Hidrologia. 3.Deslizamentos. I. Ribeiro,Rafael Silva. II. Título.
CDD 551.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB-7 5662.

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

RESUMO

O volume dois dos Resultados Preliminares do Atlas de Risco do Estado do Espírito Santo traz o panorama atualizado do risco a movimentos gravitacionais de massa na referida unidade da federação na última década. No documento constam informações sobre três processos: deslizamentos planares, deslizamentos rotacionais e rastejos. Para isso foram lidos, validados, organizados e incluídos dados dos mapeamentos de risco da CPRM e dos PMRRs que se iniciaram em 2011. Essas informações foram geoestatisticamente tratadas, o que possibilitou a produção das cartas. As cartas confeccionadas foram baseadas em três parâmetros: número de construções, população percentual municipal em risco e população percentual estadual em risco para cada processo nos municípios. Os resultados demonstram que o deslizamento planar é o movimento gravitacional de massa que gera o maior número de construções em situação de risco geológico na unidade da federação. Além disso é nítida a disparidade entre este processo e os outros dois estudados neste volume, o que expõe o reduzido número de deslizamentos rotacionais e rastejos encontrados no território capixaba. Embora não foi possível incluir, neste momento, os dados de Serra, o segundo volume dos Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo é uma importante ferramenta na prevenção de desastres, no planejamento territorial e na adoção de medidas mitigadoras para os movimentos gravitacionais de massa identificados nos 77 municípios do estado considerados na pesquisa.

Palavras-chave: Atlas. Espírito Santo. Deslizamento planar. Deslizamento rotacional. Rastejo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESLIZAMENTO PLANAR, DESLIZAMENTO ROTACIONAL E RASTEJO	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS PRELIMINARES	21
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

Movimentos gravitacionais de massa constituem ameaça à vida no planeta, indo de uma pequena perturbação até uma catástrofe social e econômica (CROZIER; GLADE, 2004). Há uma tendência mundial no aumento destes eventos, o que tem impulsionado maior preocupação acerca da redução do perigo e do risco envolvidos no fenômeno (Figura 1).

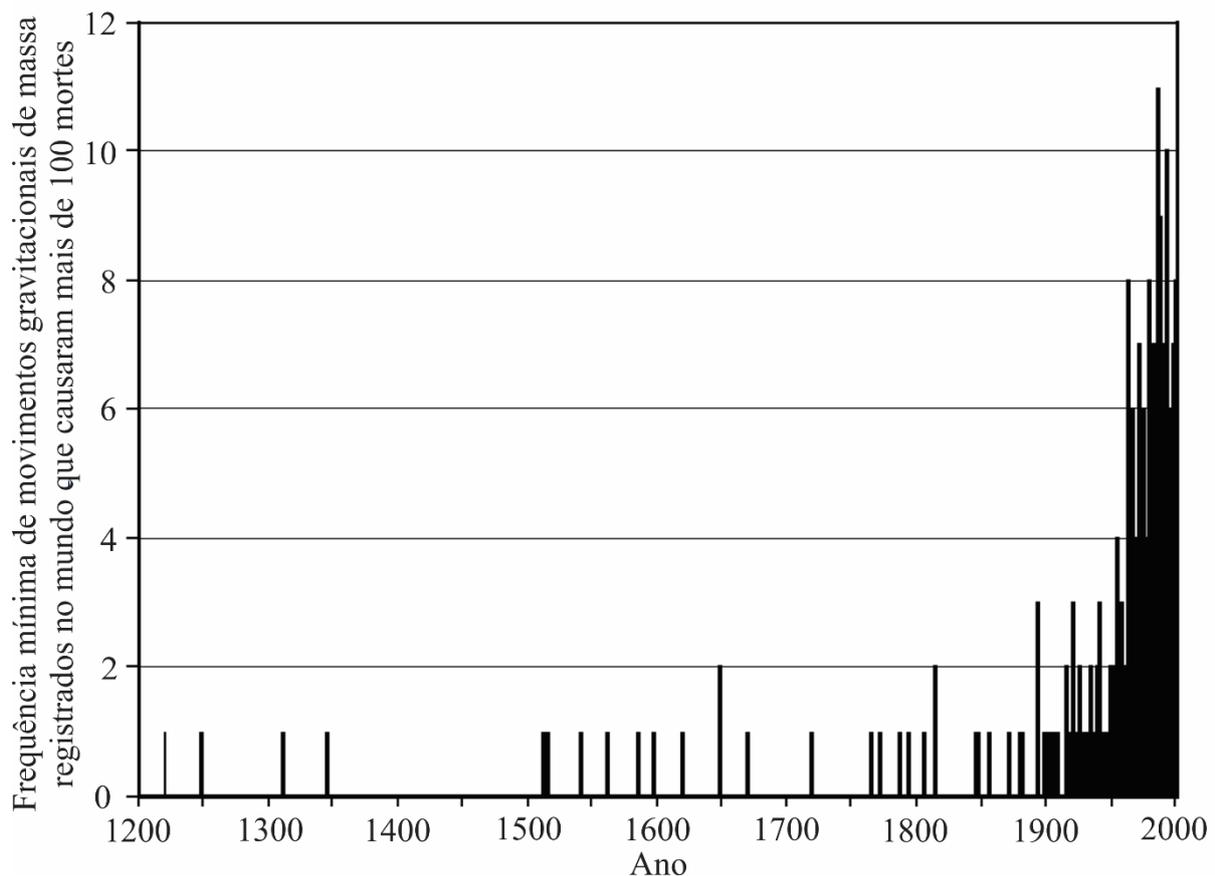


Figura 01 - Registros de movimentos gravitacionais de massa que provocaram mais de 100 óbitos no mundo. Fonte: Adaptado de Glade; Dikau, 2001 *apud* Crozier; Glade, 2004.

O estudo de Froude e Petley (2018) indica que o Brasil é um dos países com o maior número de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa com óbitos e não provocados por atividade sísmica no período entre 2004 e 2016 (Figura 2). Na América do Sul a maioria destes processos provocados por chuva e com mortes está no Brasil (37%) e na Colômbia (32%) (FROUDE; PETLEY, 2018). Segundo os pesquisadores, os movimentos gravitacionais de massa com fatalidades e desencadeados pela atividade humana vêm aumentando no planeta impulsionados por mineração ilegal, cortes inadequados no terreno (Figura 3) e construções erguidas sem o devido conhecimento técnico.

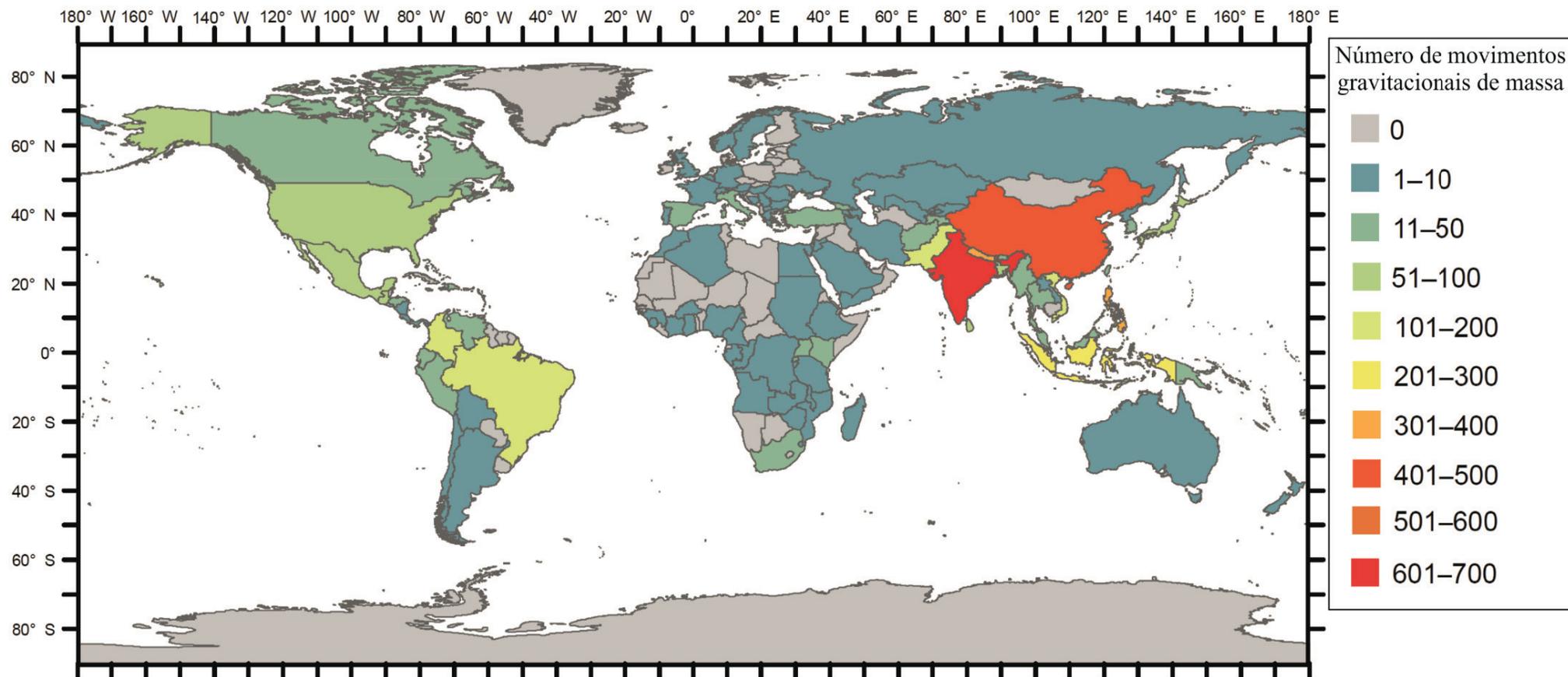


Figura 02 - Ocorrências de movimentos gravitacionais de massa no mundo com óbitos e não provocados por atividade sísmica de 2004 a 2016. Fonte: Modificado de Froude e Petley (2018).



Figura 03 - Talude de corte em Malacacheta (MG). Foto: Rafael Silva Ribeiro (2014).

Movimentos gravitacionais de massa correspondem aos mecanismos de transporte de material (solos, rochas e/ou sedimentos), induzidos pela força da gravidade e pela ação combinada ou isolada de fatores naturais e ações antrópicas (DIAS; BARROSO, 2006). Tominaga (2009) escreve que:

Movimento de massa é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

Conforme Fernandes e Amaral (1996) existem na natureza diferentes movimentos gravitacionais de massa que envolvem variados materiais, processos e fatores condicionantes.

Na língua inglesa o termo *landslide* é atribuído a movimentos gravitacionais de massa. Cruden (1991) afirma que o termo é erroneamente assumido como sinônimo de deslizamento de solo e define *landslide* como todo movimento de massa de rocha, solo ou detritos que cai de um declive.

De acordo com Cruden (2003) a primeira classificação de movimentos gravitacionais de massa foi publicada por James Dwight Dana no ano de 1864 em seu livro Manual de Geologia. Sem nomeá-los, Dana reconheceu três tipos: corrida de detritos, espalhamento lateral e deslizamento de rocha. Hungr, Leroueil e Picarelli (2014) apontam que na Suíça, em 1875, Beltzer parece ter sido o pioneiro na divisão dos movimentos gravitacionais de massa conforme seus modos de movimentação, chegando aos seguintes processos: queda, tombamento e deslizamento.

Ribeiro (2013) afirma que a Classificação de Varnes é a mais conhecida internacionalmente e se baseia no tipo de movimento e tipo de material. Conti (2012) deixa claro que a classificação de Varnes, de 1978, se tornou referência para muitos pesquisadores ao redor do mundo, sendo ela a considerada oficial pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental - IAEG.

Cruden e Varnes (1996) definem dois tipos básicos de material: rocha e solo. Segundo os autores, o solo é dividido em terra e detritos. É considerada como terra o material com 80% ou mais de partículas com diâmetros inferiores a 2 mm. Já os detritos possuem considerável quantidade de material mais grosseiro, possuindo de 20 a 80% de grãos com diâmetros superiores a 2 mm.

Para se adequar ao que costumeiramente é citado na língua portuguesa, optou-se por substituir o termo terra por solo na Classificação de Varnes (Quadro 1).

Quadro 01 - Classificação de Varnes resumida.

Tipo de movimento	Tipo de material		
	Rocha	Detritos	Solo
Queda	Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de solo
Tombamento	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
Deslizamento rotacional	Deslizamento rotacional de rocha	Deslizamento rotacional de detritos	Deslizamento rotacional de solo
Deslizamento translacional	Deslizamento translacional de rocha	Deslizamento translacional de detritos	Deslizamento translacional de solo
Espalhamento lateral	Espalhamento de rocha	-	Espalhamento de solo
Corrida	Rastejo de rocha	Corrida de tálus	Corrida de areia seca
		Corrida de detritos	Corrida de areia úmida
		Avalanche de detritos	Corrida de argila sensível
		Solifluxão	Corrida de solo
		Rastejo de solo	Corrida rápida de solo
			Corrida de <i>loess</i>
Complexo	Deslizamento de rocha-avalanche de detritos	Arqueamento-abaulamento do vale	Deslizamento de solo-corrida de solo

Fonte: Varnes (1978) *apud* Hungr, Leroueil e Picarelli (2014).

No Brasil Augusto Filho (1992 *apud* AZEVEDO; ALBUQUERQUE FILHO, 1998) indicou os principais movimentos gravitacionais de massa na dinâmica ambiental do país (Quadro 2).

Quadro 02 - Características dos principais movimentos de massa na dinâmica ambiental brasileira.

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; Geometria indefinida.
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> Poucos planos de deslocamento (externos); Velocidades de médias (m/h) a altas (m/s); Pequenos a grandes volumes de material; Geometria e materiais variáveis; <ol style="list-style-type: none"> Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> Sem planos de deslocamento; Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; Velocidades muito altas (vários m/s); Material rochoso; Pequenos e médios volumes; Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.; Rolamento de matacão; Tombamento.
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação); Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; Desenvolvimento ao longo das drenagens; Velocidades médias a altas; Mobilização de solo, rocha, detritos e água; Grandes volumes de material; Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Augusto Filho (1992) *apud* Azevedo e Albuquerque Filho (1998).

Os movimentos gravitacionais de massa ocorrem devido a fatores ou causas de distintas naturezas e, que a depender da forma como o pesquisador as estuda, podem ser agrupados em diferentes categorias.

Para Highland e Bobrowsky (2008) as causas pertencem a duas categorias: naturais e antrópicas. As principais causas naturais são água, atividade sísmica e atividade vulcânica, sendo a saturação do terreno a principal causa dos movimentos gravitacionais de massa. As causas antropogênicas estão relacionadas com as alterações provocadas pelo homem no ambiente. Podem ser citados os cortes e aterros no terreno, remoção de vegetação e o lançamento de água.

Os fatores que geram movimentos gravitacionais de massa também podem ser agrupados em condicionantes e desencadeadores. Os fatores condicionantes ou predisponentes são aqueles relacionados com o ambiente e contribuem para a instabilidade do talude ou encosta. Já os fatores desencadeantes correspondem aos gatilhos que possibilitam a deflagração do processo, ou seja, com apenas uma ocorrência há o início do fenômeno. Corominas *et al.* (2014) elencaram as duas categorias de fatores e os agruparam segundo a sua natureza. Os pesquisadores também determinaram a importância destes parâmetros para movimentos gravitacionais de massa rasos e corridas de massa, movimentos gravitacionais de massa volumosos e lentos e quedas de blocos. O quadro 4 mostra estas informações e sua legenda está disponível no quadro 3.

Quadro 03 - Legenda do quadro 4.

Símbolo	Significado
C	Fator condicionante ou predisponente
D	Fator desencadeante
R	Queda de blocos
S	Movimentos gravitacionais de massa rasos e corridas de massa
L	Movimentos gravitacionais de massa volumosos e lentos
	Parâmetro pouco importante
	Parâmetro moderadamente importante
	Parâmetro muito importante
	Parâmetro crucial

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Corominas *et al.* (2014).

Quadro 04 - Fatores que controlam os movimentos gravitacionais de massa.

Grupo	Parâmetros	Tipos de fator		Movimentos gravitacionais de massa		
		C	D	R	S	L
Topografia	Amplitude altimétrica	■				
	Inclinação do talude ou encosta	■	■			
	Direção do talude ou encosta	■				
	Comprimento, formato, curvatura e rugosidade do terreno	■				
	Direção e acumulação do fluxo d'água	■				
Geologia	Tipo de rocha	■				
	Intemperismo do maciço rochoso	■				
	Descontinuidades e características	■				
	Aspectos estruturais como direção e ângulo do talude ou encosta	■				
	Distância entre falhas ativas e largura das zonas de falhas	■				
Solo	Tipos de solo	■				
	Profundidade do solo	■				
	Propriedades geológico-geotécnicas do solo	■				
	Propriedades hidrológicas do solo	■				
Hidrologia	Nível d'água	■	■			
	Umidade do solo	■	■			
	Componentes hidrológicas	■	■			
	Rede e densidade de drenagens	■				
Geomorfologia	Ambiente geomorfológico	■				
	Antigos movimentos gravitacionais de massa	■				
	Histórico de movimentos gravitacionais de massa	■				
Uso do terreno e fatores antropogênicos	Atual uso do terreno e cobertura vegetal	■				
	Mudanças no uso do terreno e cobertura vegetal	■	■			
	Obras em rodovias	■				
	Taludes de corte para construções	■	■			
	Vazamentos de redes de drenagem e/ou esgoto	■	■			
	Pedreiras e minerações	■	■			
	Barragens e reservatórios de água	■	■			
Terremotos e vulcões	Sismicidade		■			
	Características de falhas	■	■			
	Tipo de vulcão	■	■			
	Tipos de erupção vulcânica	■	■			
Clima	Precipitação		■			
	Temperatura	■	■			

Fonte: Modificado de Corominas *et al.* (2014).

A atuação destes fatores no terreno afeta o fator de segurança, importante parâmetro que indica o grau de estabilidade do talude ou encosta. De forma simplificada o fator de segurança (FS) pode ser entendido como:

$$FS = \frac{\text{Forças resistentes}}{\text{Forças instabilizadoras}} \quad (1)$$

Quando $FS > 1$, as forças resistentes são maiores que aquelas que desestabilizam o talude. Dessa forma o talude permanece estável. Se $F = 1$, chega-se ao equilíbrio-limite e o início do processo é eminente. Quando $FS < 1$, há a ruptura do talude e a conseqüente ocorrência do movimento gravitacional de massa. O gráfico da figura 4 revela como determinados fatores comprometem o fator de segurança do terreno com o tempo.

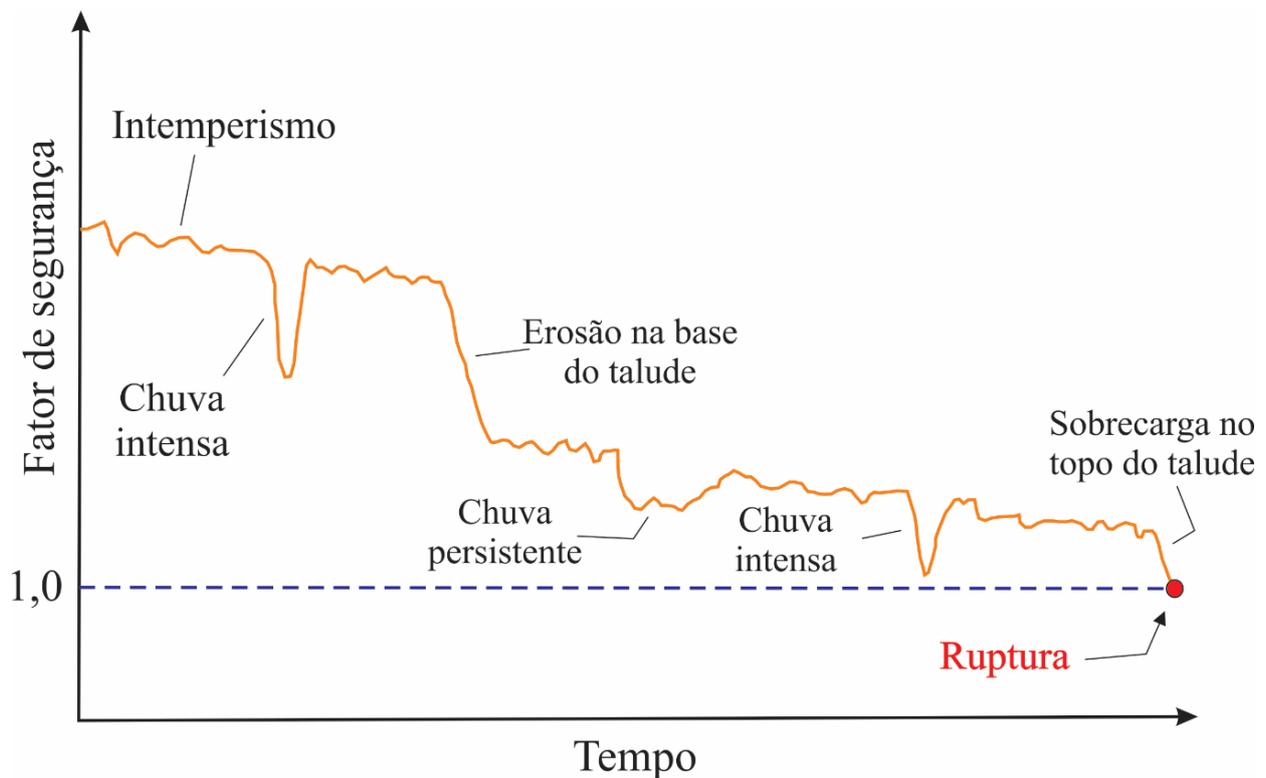


Figura 04 - Exemplo de alteração do Fator de Segurança com o tempo. Fonte: Modificado de Popescu (2002).

Conforme Guzzetti *et al.* (2006) a magnitude de um movimento gravitacional de massa está relacionada com sua área de atingimento e o seu poder destrutivo. Cardinali *et al.* (2002) apontam que sua magnitude ou intensidade (I_{MGM}) é a medida do poder destrutivo do fenômeno. A I_{MGM} depende do volume de material envolvido no processo (v) e sua velocidade (s):

$$I_{MGM} = f(v, s) \quad (2)$$

O Grupo de Trabalho da *International Union of Geological Sciences* (INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES..., 1995) estabeleceu sete classes de velocidade para os movimentos gravitacionais de massa, cujos limites e características destrutivas estão na figura 5.

Classe	Descrição	Velocidade (mm/seg)	Limites de Velocidade	Algumas características destrutivas
VII	Extremamente Rápido	$5 \cdot 10^3$	5m/seg	Catástrofe de grande violência; edifícios destruídos pelo impacto do material deslocado; muitas mortes; improvável escape de indivíduos do local
VI	Muito Rápido	$5 \cdot 10^1$	3m/min	Algumas vidas perdidas; velocidade muito grande para permitir que todas as pessoas saiam do local
V	Rápido	$5 \cdot 10^{-1}$	1,8 m/h	Possível escape de indivíduos; estruturas, posses e equipamentos destruídos
IV	Moderado	$5 \cdot 10^{-3}$	13 m/mês	Algumas estruturas podem ser mantidas temporariamente
III	Lento	$5 \cdot 10^{-5}$	1,6 m/ano	Reparação de construções podem ser realizadas durante o movimento; determinadas estruturas podem ser mantidas com manutenção frequente se não houver uma grande mobilização de material transportado
II	Muito Lento	$5 \cdot 10^{-7}$	15 mm/ano	Algumas estruturas permanentes não são afetadas pelo movimento
I	Extremamente Lento			Imperceptível sem instrumentos; construção possível com precauções

Figura 05 - Escala de velocidade de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Modificado de International Union of Geological Sciences... (1995).

A partir de dados da literatura científica e baseados na escala de velocidade citada anteriormente, Sarkar, Kanungo e Sharma (2013) atribuíram as velocidades mostradas no quadro 5 para os movimentos gravitacionais de massa considerados em seu estudo.

Quadro 05 - Velocidades atribuídas a diferentes movimentos gravitacionais de massa.

Movimento gravitacional de massa	Descrição	Velocidade (m/s)
Queda de blocos	Muito alta	5
Deslizamento de rocha/corrida de detritos	Alta	$5 \cdot 10^{-2}$
Deslizamento de detritos	Moderada	$5 \cdot 10^{-4}$
Deslizamento rotacional/subsidência	Lenta	$5 \cdot 10^{-8}$

Fonte: Modificado de Sarkar; Kanungo e Sharma (2013).

Cardinali *et al.* (2002) definiram quatro classes para a intensidade de movimentos gravitacionais de massa: Classe I₁ – Pequena intensidade; Classe I₂ – Média intensidade; Classe I₃ – Alta intensidade e Classe I₄ – Muito

alta intensidade. Os autores então determinaram a intensidade de acordo com o tipo de movimento gravitacional de massa (Quadro 6).

Quadro 06 - Graus de intensidade de movimentos gravitacionais de massa.

Volume estimado (m ³)	Velocidade esperada		
	Muito rápida (Queda de blocos)	Rápida (Corrida de massa)	Moderada a baixa (Deslizamento)
< 0,001	I ₁		
< 0,5	I ₂		
> 0,5	I ₃		
< 500	I ₃	I ₁	
500 – 10.000	I ₃	I ₂	I ₁
10.000 – 500.000	I ₄	I ₃	I ₂
> 500.000		I ₄	I ₃
>> 500.000			I ₄

Fonte: Modificado de Cardinali *et al.* (2002).

Em campo um movimento gravitacional de massa encontra-se sob determinado estado de atividade. Cruden e Varnes (1996) definem o estado de atividade como a etapa cronológica do processo no terreno. Segundo os pesquisadores, os estados de atividade são:

- Ativo: Movimento gravitacional de massa que está se deslocando no terreno, incluindo os primeiros movimentos;
- Suspensão: Estado de atividade de movimento gravitacional de massa que se movimentou no último ciclo anual de estações, mas não está se movendo no presente;
- Reativado: Estado de atividade de um movimento gravitacional que ficou novamente ativo após período de inatividade;
- Inativo: Movimento gravitacional de massa em que o último deslocamento foi anterior ao último ciclo anual de estações. Este estado pode ser subdividido em:
 - Repouso: Se as causas do movimento permanecem aparentes;
 - Abandonado: Caso onde o curso d'água que está erodindo a base do movimento gravitacional de massa altera o seu curso;
 - Estabilizado: Caso em que a base do movimento gravitacional de massa está protegida de processos erosivos por dique ou outra obra de engenharia, interrompendo assim o processo;
- Remanescente: Movimento gravitacional de massa de talvez milhares anos atrás e que se desenvolveu sob condições geomorfológicas ou climáticas diferentes das existentes hoje no terreno.

A figura 6 representa diferentes estados de atividade de movimento gravitacional de massa.

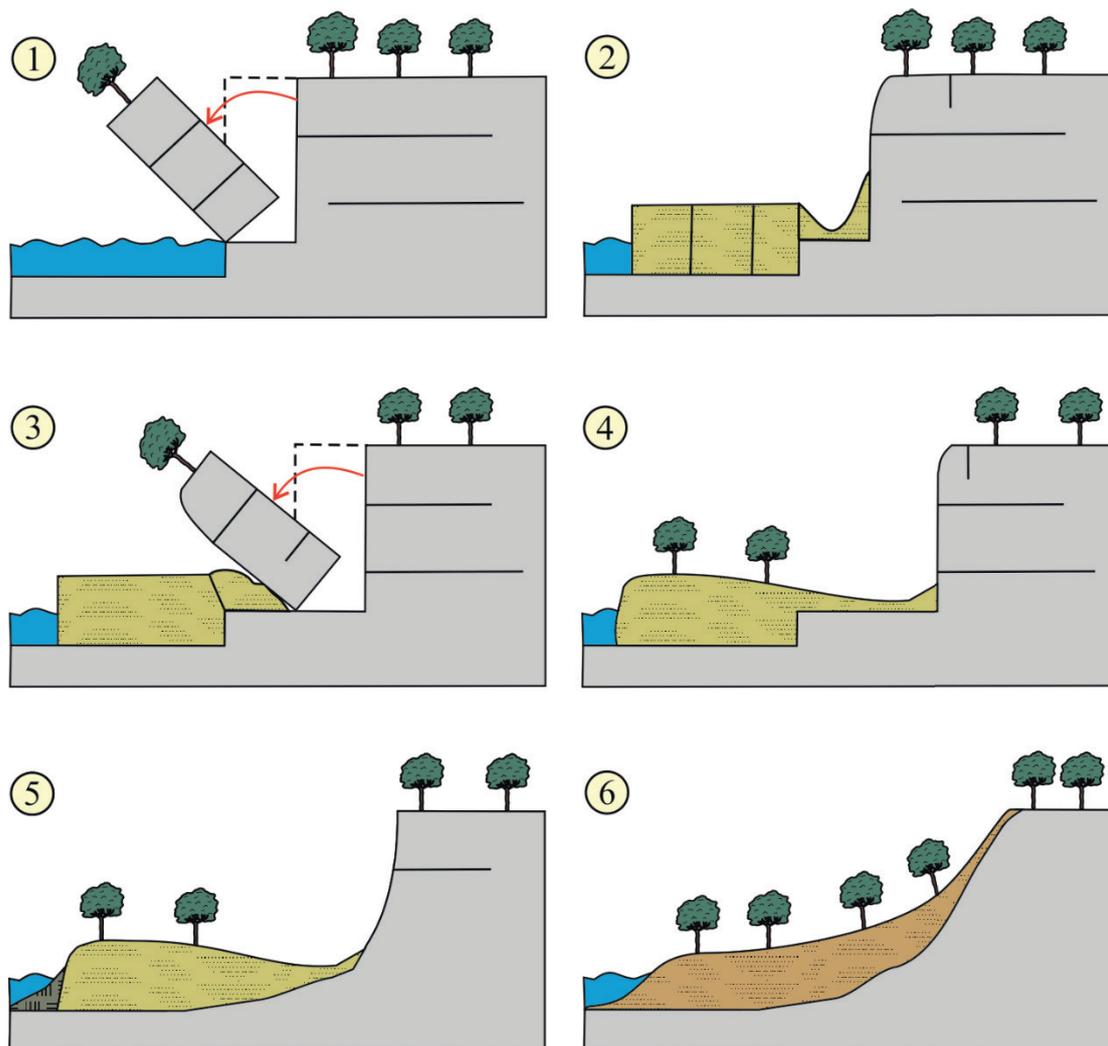


Figura 06 - Estados de atividade de um movimento gravitacional de massa: 1 – Ativo, 2 – Suspensão, 3 – Reativado; Inativo: 4 – Repouso, 5 – Estabilizado; e 6 – Remanescente. Fonte: Elaborado pelo autor a partir de modificação da imagem de Cruden e Varnes (1996).

De acordo com Dai, Lee e Ngai (2002) a delimitação da área afetada pelo movimento gravitacional de massa é imprescindível na avaliação do risco. Wong *et al.* (1997 *apud* DAI; LEE; NGAI, 2002) preconizam que o tamanho desta área e o poder destrutivo são afetados pelos seguintes parâmetros:

- Alcance: Distância entre a fonte do movimento gravitacional de massa e a ponta distal da área de deposição;
- Largura do corredor de danos: Largura da área sujeita a danos provocados pelo movimento gravitacional de massa;
- Velocidade: Velocidade de deslocamento do movimento gravitacional de massa;
- Profundidade do movimento gravitacional de massa: Influencia a força de impacto no corredor de danos;
- Profundidade do depósito: Podem causar o colapso das estruturas na área de deposição.

No Brasil a maioria dos movimentos gravitacionais estão organizados e descritos na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (BRASIL, 2012). Entretanto há alguns processos que estão ausentes na classificação. Por isso, neste estudo, foram adicionados itens e adotados os termos e siglas mostrados nas duas últimas colunas do quadro 7. Em amarelo estão selecionados os processos analisados neste volume.

Quadro 07 - COBRADE com os processos analisados neste volume marcados em amarelo.

COBRADE				Atlas de riscos geológico e hidrológico do ES	
Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	Termo adotado	Sigla
Geológico	Movimentos de massa	Quedas, tombamentos e rolamentos	Blocos	Queda de blocos	QB
			Lascas		
			Matacões		
			Lajes		
	Corridas de massa	Deslizamentos	Deslizamentos de solo e/ou rocha	Deslizamento planar	DP
			Solo/Lama	Corrida de massa	CM
	Subsidências e colapsos		Subsidência e colapso	SC	
	Erosão	Erosão Costeira/Marinha		Erosão marinha	EM
			Erosão de Margem Fluvial	Erosão de margem fluvial	EF
Erosão Continental		Laminar	Erosão continental	EC	
		Ravina			
Boçorocas					
Hidrológico	Inundações			Inundação	ID
	Enxurradas			Enxurrada	EX
Processos não contemplados na COBRADE				Rastejo	RT
				Enchente	ET
				Deslizamento rotacional	DR

Fonte: Modificado de Brasil (2012).

De acordo com Crozier e Glade (2004), a estimativa do risco passa pela integração da análise de perigo com os elementos em risco e suas vulnerabilidades, a fim de permitir o cálculo de risco, consagrado na forma da seguinte equação genérica:

$$Risco = Perigo \times Vulnerabilidade \times Elemento \text{ em risco} \quad (3)$$

Segundo Corominas *et al.* (2014) o risco associado a movimentos gravitacionais de massa pode ser expresso como:

$$R = P(M_i) \cdot P\left(\frac{X_j}{M_i}\right) \cdot P\left(\frac{T}{X_j}\right) \cdot V_{ij} \cdot C \quad (4)$$

Onde:

- R é o risco devido à ocorrência de um movimento gravitacional de massa de magnitude M_i a um elemento localizado à distância X da fonte;

- $P(M_i)$ é a probabilidade de um movimento gravitacional de massa de magnitude M_i ocorrer;
- $P\left(\frac{X_j}{M_i}\right)$ é a probabilidade de um movimento gravitacional de massa de intensidade j atingir um elemento situado à distância X da fonte;
- $P\left(\frac{T}{X_j}\right)$ é a probabilidade do elemento estar no ponto X no momento T da ocorrência do movimento gravitacional de massa;
- V_{ij} é a vulnerabilidade do elemento para o movimento gravitacional de massa de magnitude i e intensidade j ; e
- C é o valor do elemento em risco.

A setorização de risco a movimentos gravitacionais de massa da CPRM consiste no levantamento das construções que foram ou podem ser atingidas e afetadas por tais processos. Estas construções são agrupadas em setores que são qualificados em quatro graus de risco: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto (Quadro 8). No mapeamento são considerados apenas os setores de risco alto (R3) e muito alto (R4). É então feita estimativa do número de moradores nos setores demarcados.

Quadro 08 - Graus de risco para deslizamento e erosão de margem fluvial.

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	<ul style="list-style-type: none"> • Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; • Não se observa (m) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens; • Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	<ul style="list-style-type: none"> • Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; • Observa-se a presença de algum (ns) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade, porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento; • Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; • Observa-se a presença de significativo (s) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade. Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo; • Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 Muito Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de muita alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; • Os sinais, feições ou evidências de instabilidade são expressivos e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo possível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento; • Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

Fonte: Modificado de Brasil e IPT (2007).

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) é um documento detalhado que, entre outras informações, define e qualifica áreas de risco e norteia as intervenções estruturais e não-estruturais mais adequadas de serem implementadas para a eliminação ou redução do risco. A qualificação das áreas de risco segue as classificações apresentadas nos quadros 2 e, assim como nos setores de risco produzidos pela CPRM, há descrição, registros fotográficos e indicação do limite do polígono.

Este volume do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo tem por objetivo apresentar resultados dos municípios capixabas em relação aos riscos alto e muito alto oriundos de deslizamentos planares, deslizamentos rotacionais e rastejos no período de 2011 a 2020.

Foram concluídos os estudos em 77 municípios capixabas. O PMRR de Serra será lido e os dados verificados e adicionados na publicação final.

2. DESLIZAMENTO PLANAR, DESLIZAMENTO ROTACIONAL E RASTEJO

Em algumas publicações é possível que o termo “escorregamento” esteja sendo utilizado em substituição a “deslizamento”. Para padronizar a nomenclatura, o termo adotado no atlas para o movimento gravitacional de massa é deslizamento.

Cruden e Varnes (1996) definem deslizamento como movimento descendente de solo e/ou rocha em um declive que ocorre em superfícies de rupturas ou em zonas relativamente finas com intensa deformação cisalhante. Frequentemente o surgimento de trincas no terreno é o primeiro sinal do processo e onde a principal superfície de ruptura irá se formar (CRUDEN; COUTURE, 2011). A massa do deslizamento vai além da base da superfície de ruptura e atinge região onde o volume de material deslocado fica depositado. Riffel, Guasselli e Bressani (2016) apontam que os deslizamentos são processos rápidos (m/h ou m/s) e marcantes na evolução das encostas.

Conforme Tominaga (2009) o deslizamento ocorre no momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade do talude ou encosta. O material se desloca em uma superfície de ruptura bem definida que pode ocorrer na interface rocha-solo, rocha sã-rocha alterada, horizonte pedogenético ou em outra estrutura presente no terreno.

Guidicini e Nieble (1984) afirmam que os deslizamentos são rápidos, de duração relativamente curta e com volume geralmente bem definido cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

Os deslizamentos podem evoluir para quedas ou corridas, o que depende de fatores externos e internos, como ângulo de inclinação, teor de umidade e velocidade do processo (HARDWICK, 2012).

De acordo com o formato da superfície de ruptura, os deslizamentos são classificados em:

- Planar ou translacional (Figura 7);
- Rotacional ou circular (Figura 8).

O deslizamento planar é caracterizado por sua superfície de ruptura praticamente plana e aproximadamente paralela ao terreno em que a massa se desloca de maneira translacional. A ruptura se dá por cisalhamento ao longo de estruturas geológicas, na interface solo-rocha, entre camadas do solo ou em outras descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas do maciço. Ocorre principalmente em encostas de alta declividade e em solos pouco espessos e desenvolvidos (QUINA, 2019). Geralmente o processo é deflagrado pelo aumento do grau de saturação provocado por intensos e/ou longos períodos de chuva.

É o mais frequente entre os movimentos gravitacionais de massa e geralmente possui de 0,5 a 5,0 metros de profundidade (TOMINAGA, 2009). Highland e Bobrowsky (2008) enfatizam que este deslizamento pode alcançar distâncias consideráveis se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário do deslizamento rotacional, que tende a restaurar o equilíbrio do deslizamento. O deslizamento planar tende a ser mais veloz e possuir maiores alcances que o deslizamento rotacional.

O deslizamento rotacional é discernido por sua superfície de ruptura curva com concavidade voltada para cima onde há rotação da massa deslocada. Geralmente é mais profundo e lento quando comparado ao deslizamento planar. Conforme Ahrendt (2005) o processo ocorre preferencialmente em materiais homogêneos e, por isso, é comum sua incidência em barragens de terra e aterros. Tominaga (2009) aponta que geralmente estão associados a solos espessos e homogêneos. Em solos comumente exibe razão profundidade/comprimento de ruptura entre 0,15 e 0,33 (SKEMPTON; HUTCHINSON, 1969 *apud* CRUDEN; VARNES, 1996). Muitas vezes o início da movimentação é provocado por execução de cortes na base do declive, como ocorre, por exemplo, na implementação de estradas, construção de edificações ou erosão fluvial (FERNANDES; AMARAL, 1996).

O rastejo é um movimento gravitacional de massa lento e contínuo identificado no terreno pela alteração de elementos na superfície tais como inclinação de postes, muros, lápides e cercas; ondulação e deformação de rodovias; degraus de abatimento; trincas no terreno e em construções e troncos curvados de árvores (Figura 9). É causado devido à atuação da gravidade e variações de temperatura e umidade (TOMINAGA, 2009). Para Vargas (2015) este é o movimento mais lento que existe, mas com o aumento da saturação de água no solo, ele pode assumir uma maior velocidade, tornando-se um perigo para as construções que estão na encosta ou no vale. Neste caso o fenômeno evolui para um deslizamento.

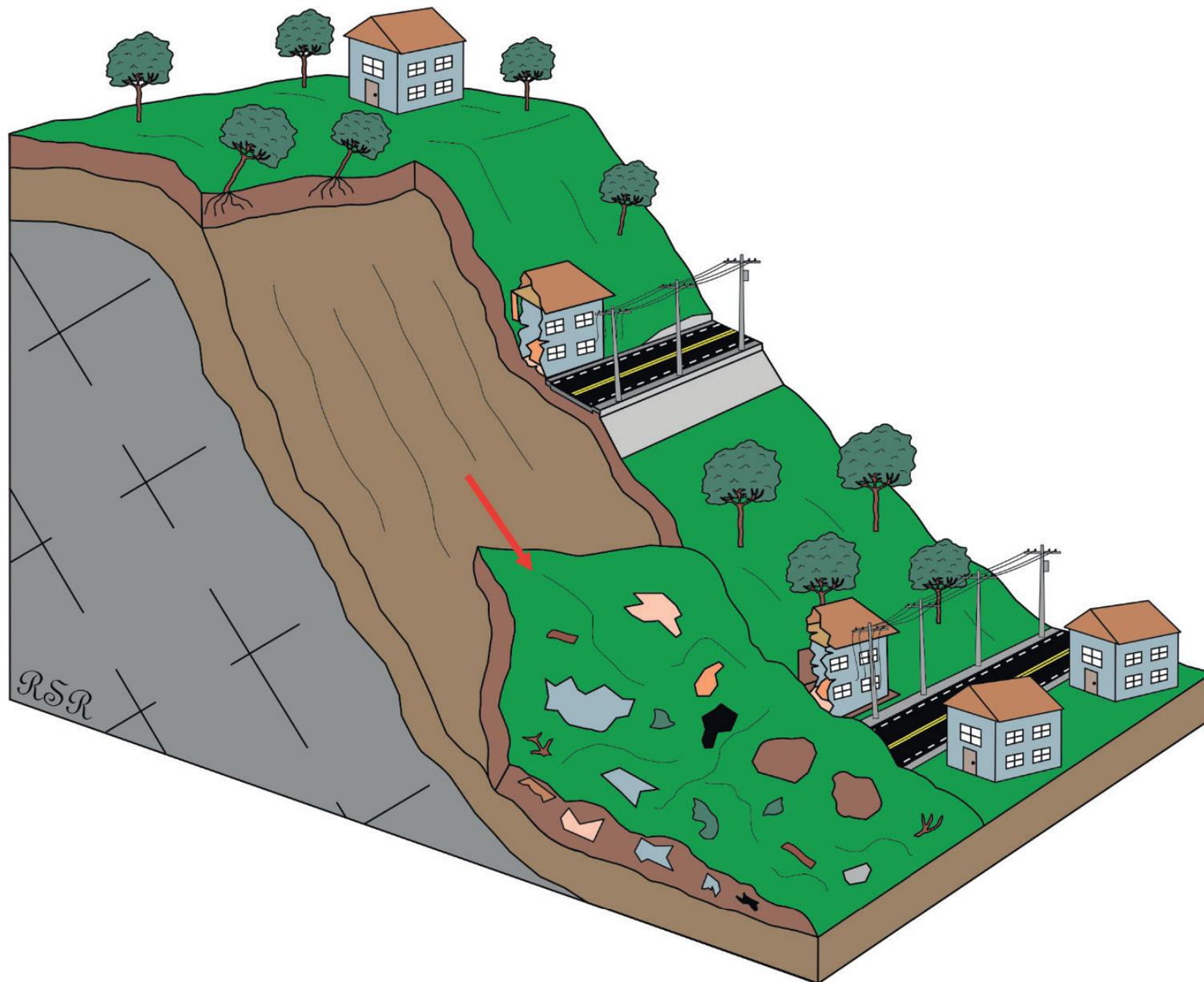


Figura 07 - Representação esquemática de deslizamento planar. Fonte: Elaborado pelo autor.

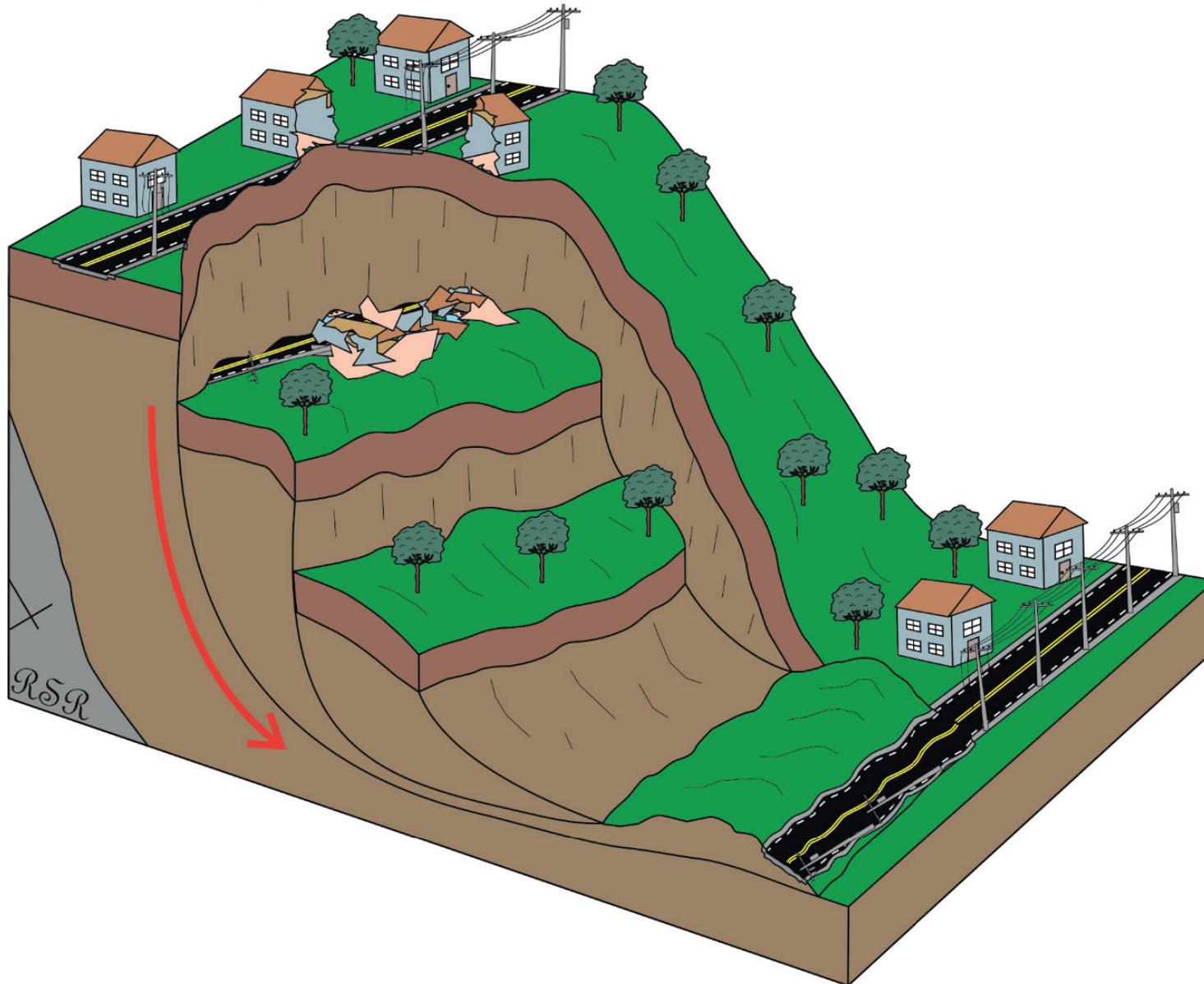


Figura 08 - Representação esquemática de deslizamento rotacional. Fonte: Elaborado pelo autor.

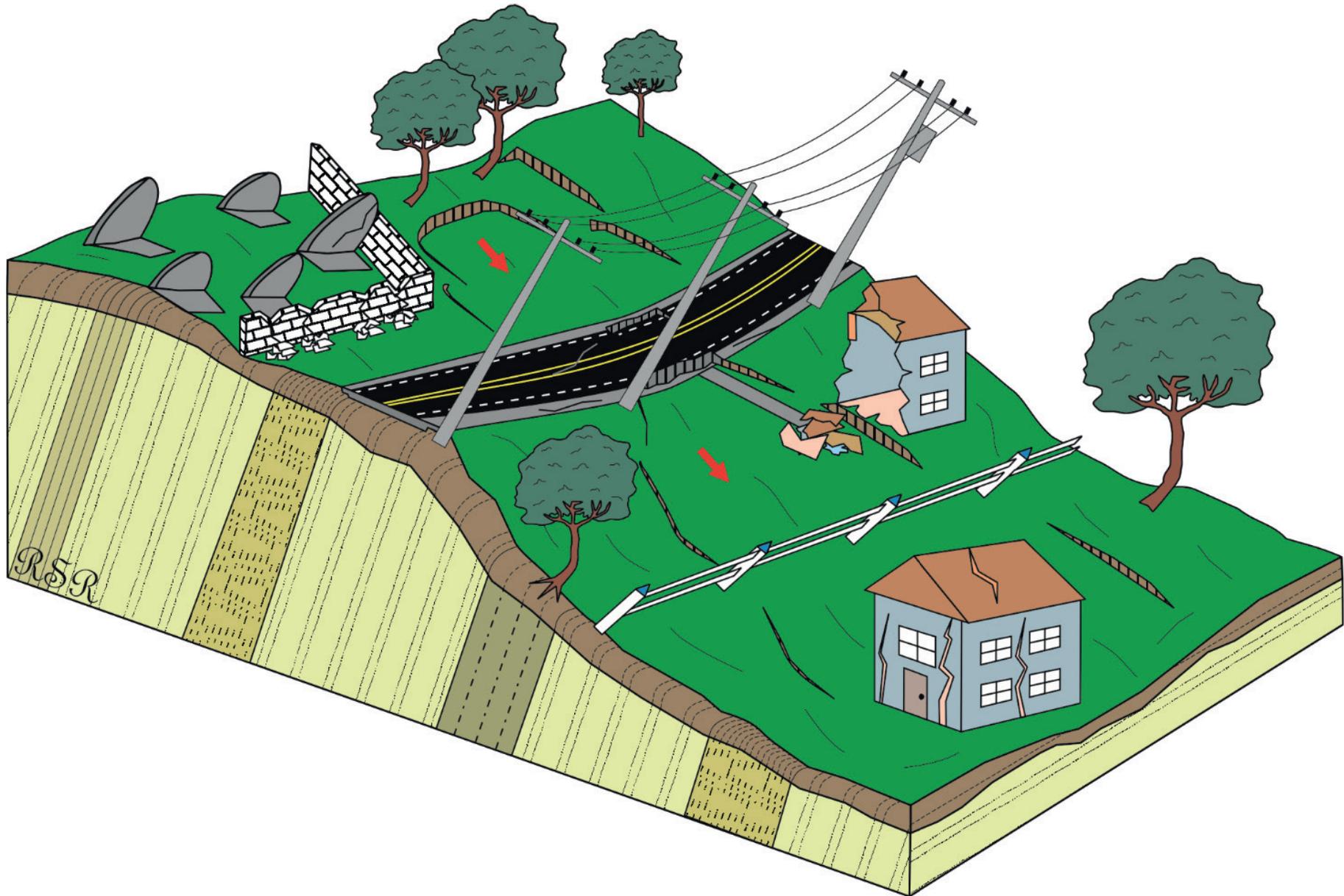


Figura 09 - Representação esquemática de rastejo. Fonte: Elaborado pelo autor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas deste volume do atlas seguem o fluxograma da figura 10.

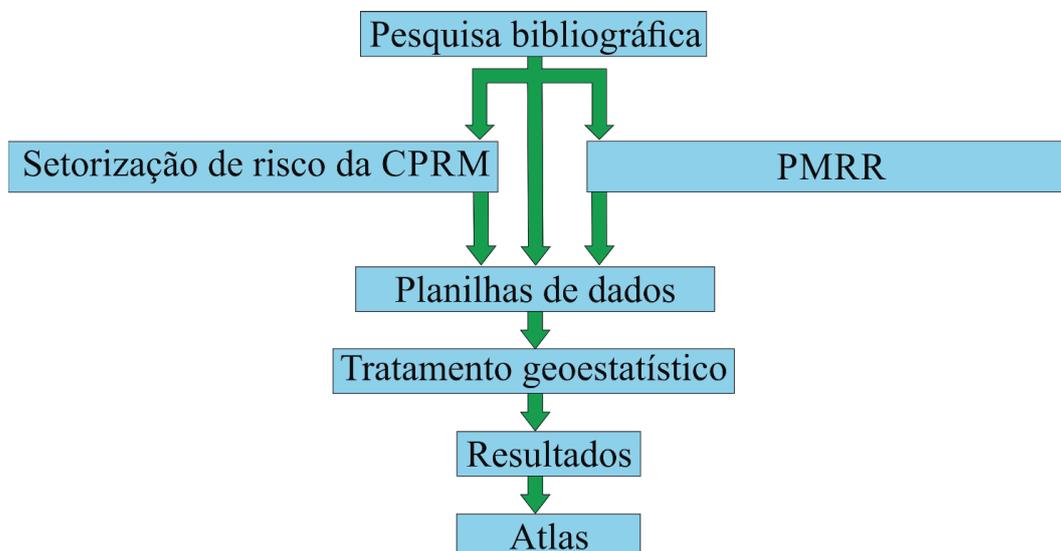


Figura 10 - Fluxograma com as etapas metodológicas do atlas. Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente foi feita pesquisa bibliográfica sobre os processos abordados em teses, periódicos, livros e outras publicações que pudessem subsidiar a elaboração do relatório.

Com exceção do município de Serra, foram inseridas e organizadas as informações dos Planos Municipais de Redução de Riscos dos municípios mais populosos e das setorizações de risco do Serviço Geológico do Brasil realizados entre 2011 e 2020. Em casos específicos foram consultados os PMRRs de municípios cujos mapeamentos são mais recentes que as setorizações da CPRM. Nestes documentos foram analisados, setor por setor, os polígonos de risco, descrições, graus de risco, fotografias, logradouros, números de construções e população em risco.

Com as fotografias dos documentos, os polígonos que delimitam os setores de risco e o *Google StreetView* foi possível a validação das informações. Rodovias, ruas, avenidas, becos e travessas foram virtualmente acedadas no *Google StreetView*. Foram minuciosamente conferidos o número de construções, o grau de risco das construções e a estimativa da população residente em cada setor. Durante este processo algumas modificações foram consumadas e os dados inseridos na planilha Dados de Risco, cujas colunas são apresentadas no quadro 9.

Quadro 09 - Colunas da planilha Dados de Risco.

Título	Descrição
Município	Nome do município.
Ano	Ano do mapeamento de risco.
Setor	Número do setor de risco.
Processos	Indicação de um ou mais processos que ocorreram ou podem ocorrer no setor.
Grau	Grau de risco: Alto ou Muito alto.
Construções	Número de construções em risco no setor.
População	Estimativa da população em risco no setor.
OBS	Observações sobre o mapeamento de risco: se é PMRR, se houve alterações, em que coluna ocorreram e o motivo das alterações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que a avaliação da situação em campo é indispensável. É neste momento que o pesquisador identifica feições, estabelece o grau de risco, avalia a vulnerabilidade das construções, dialoga com moradores e a Defesa Civil, determina características geológicas-geotécnicas do terreno e decide com precisão os limites dos setores de risco.

Os dados foram tratados na planilha Geoestatística. Neste volume foram analisadas as informações contidas nas colunas da referida planilha apresentadas no quadro 10.

Quadro 10 - Colunas da planilha Geoestatística analisadas neste volume.

Título	Descrição
Município	Nome do município.
N	Número do município conforme a sua posição em ordem alfabética.
Popu_2010	Número de habitantes no município de acordo com o Censo Demográfico de 2010.
DP_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para deslizamento planar.
DP_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para deslizamento planar.
DP_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para deslizamento planar.
DP_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para deslizamento planar.
DR_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para deslizamento rotacional.
DR_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para deslizamento rotacional.
DR_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para deslizamento rotacional.
DR_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para deslizamento rotacional.
RT_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para rastejo.
RT_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para rastejo.
RT_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para rastejo.
RT_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para rastejo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual da população estadual em risco alto e muito alto para cada município foi determinado com a aplicação da equação 5. O percentual da população municipal em risco alto e muito alto para cada processo foi calculado com base no último Censo Demográfico do Brasil, concluído em 2010 (IBGE, 2010) (Equação 6).

$$PP_L^{UF} = \left(\frac{Popu_L^{R3 e R4}}{\sum Popu_L^{R3 e R4}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

- PP_L^{UF} é o percentual da população da unidade da federação UF em risco alto e muito alto no município para o processo L ;
- $Popu_L^{R3 e R4}$ é a população do município em risco alto ($R3$) e muito alto ($R4$) devido ao processo L ; e
- $\sum Popu_L^{R3 e R4}$ é a população da unidade da federação em risco alto ($R3$) e muito alto ($R4$) para o processo L .

$$PP_L^{Mn} = \left(\frac{Popu_L^{R3 e R4}}{Popu_{2010}} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Onde:

- PP_L^{Mn} é o percentual da população municipal em risco alto e muito alto no município Mn para o processo L ;
- $Popu_L^{R3 e R4}$ é a população do município em risco alto ($R3$) e muito alto ($R4$) devido ao processo L ; e
- $Popu_{2010}$ é a população do município no Censo Demográfico de 2010.

Os resultados obtidos na planilha Geoestatística foram inseridos no QGis 3.16® em coordenadas geográficas e tendo como sistema de referência geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000). As cartas montadas no programa contêm os limites municipais do estado e os municípios são preenchidos por cores próprias estabelecidas de acordo com as classes dos valores do parâmetro estudado. Para a definição da quantidade de classes foi aplicada a Regra de Sturges:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log(n) \quad (7)$$

Onde: k é a quantidade de classes; e

n é o número de dados.

Como o número de dados nas cartas é igual a 78, $k=7,2$. Logo são sete classes para a representação nas legendas das cartas. Entretanto os municípios com valor nulo para o parâmetro estudado e Serra, que nesta pesquisa não foi analisado, são indicados em classe própria e na cor branca. Dessa forma adotou-se oito classes para as cartas.

Após a conclusão das cartas, estas foram exportadas para comporem este relatório técnico-científico.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

O deslizamento planar é o movimento gravitacional de massa dominante na avaliação do risco geológico no estado do Espírito Santo. Cerca de 70% dos setores de risco alto e muito alto estão sujeitos a este processo. No estado há 20.049 construções que foram ou podem ser afetadas pela ocorrência de deslizamentos planares. No âmbito municipal destacam-se os municípios de Cariacica e Cachoeiro de Itapemirim com mais de 2 mil construções em risco e Colatina e Vitória com mais de mil construções em situação de risco provocado por este fenômeno (Figura 11).

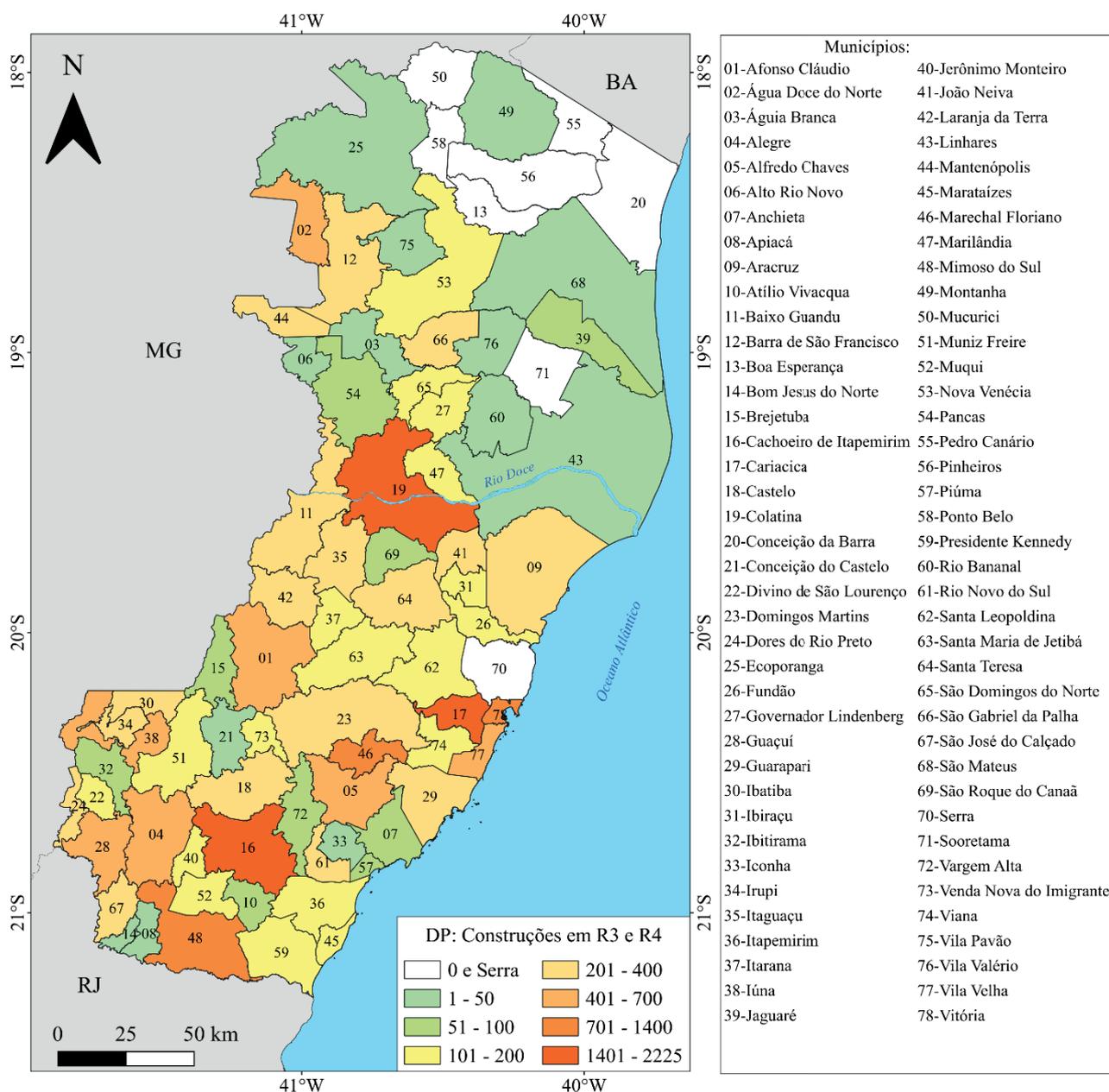


Figura 11 - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento planar (DP) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Como consequência cerca de 1/3 da população capixaba em risco devido a deslizamentos planares estão nos municípios de Cariacica, Cachoeiro de Itapemirim, Colatina e Vitória (Figura 12).

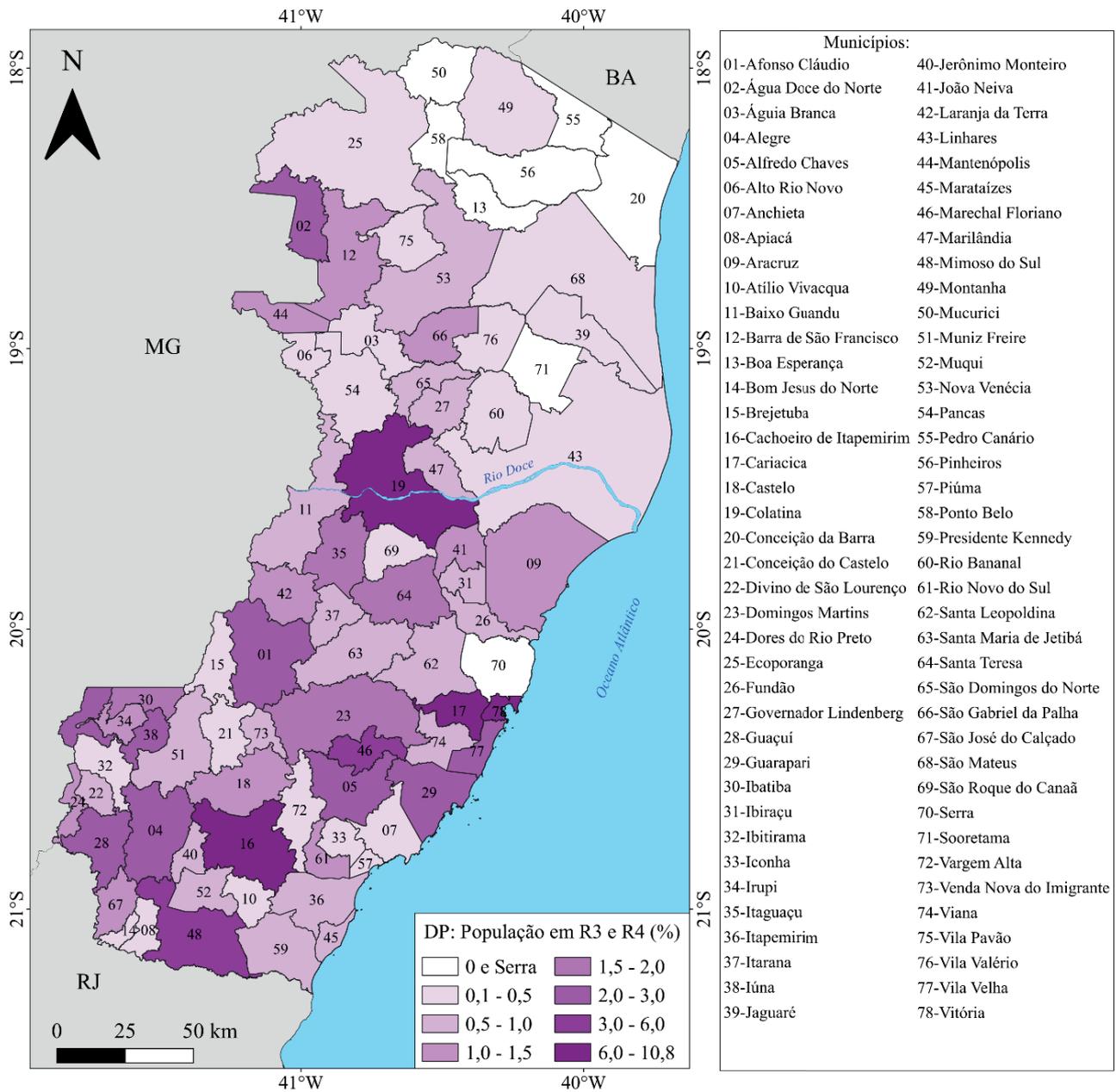


Figura 12 - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento planar (DP) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os municípios de Boa Esperança, Conceição da Barra, Mucurici, Pedro Canário, Pinheiros, Ponto Belo e Sooretama não possuem setores de risco associados a deslizamentos planares. Em contraste com tais cidades, sobressaem-se Marechal Floriano, Dolores do Rio Preto, Água Doce do Norte, Mimoso do Sul, Divino de São Lourenço, Alfredo Chaves e Itaguaçu, com no mínimo 10% dos municípios em risco alto e muito alto (Figura 13).

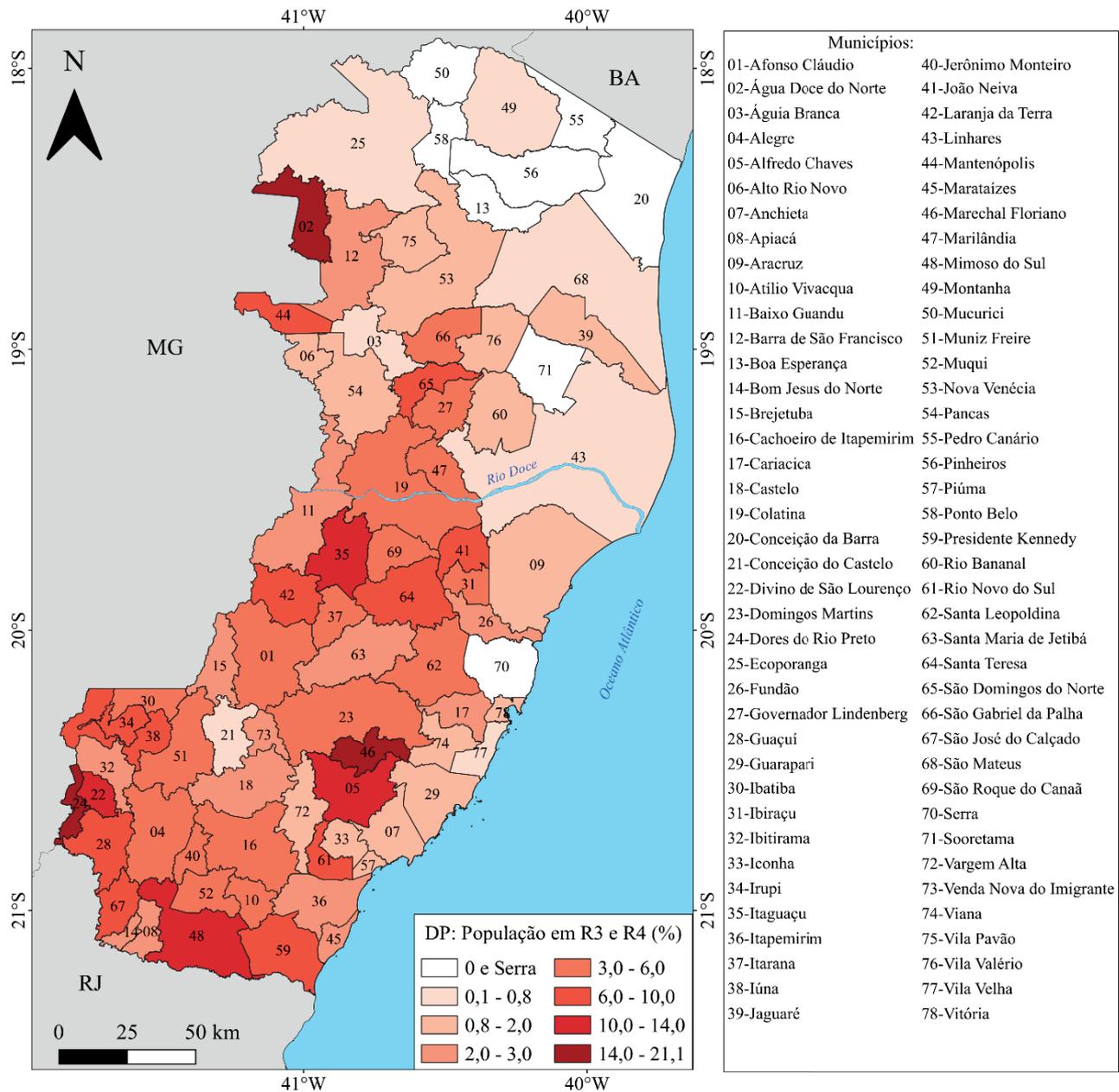


Figura 13 - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento planar (DP) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

O deslizamento rotacional está presente em 0,5% dos setores de risco geológico do Espírito Santo. No estado há 145 construções que foram ou podem ser afetadas pela ocorrência do fenômeno distribuídas em apenas 6 municípios: Atílio Vivacqua, Castelo, Muqui, Jerônimo Monteiro, Mantenópolis e Itaguaçu (Figura 14).

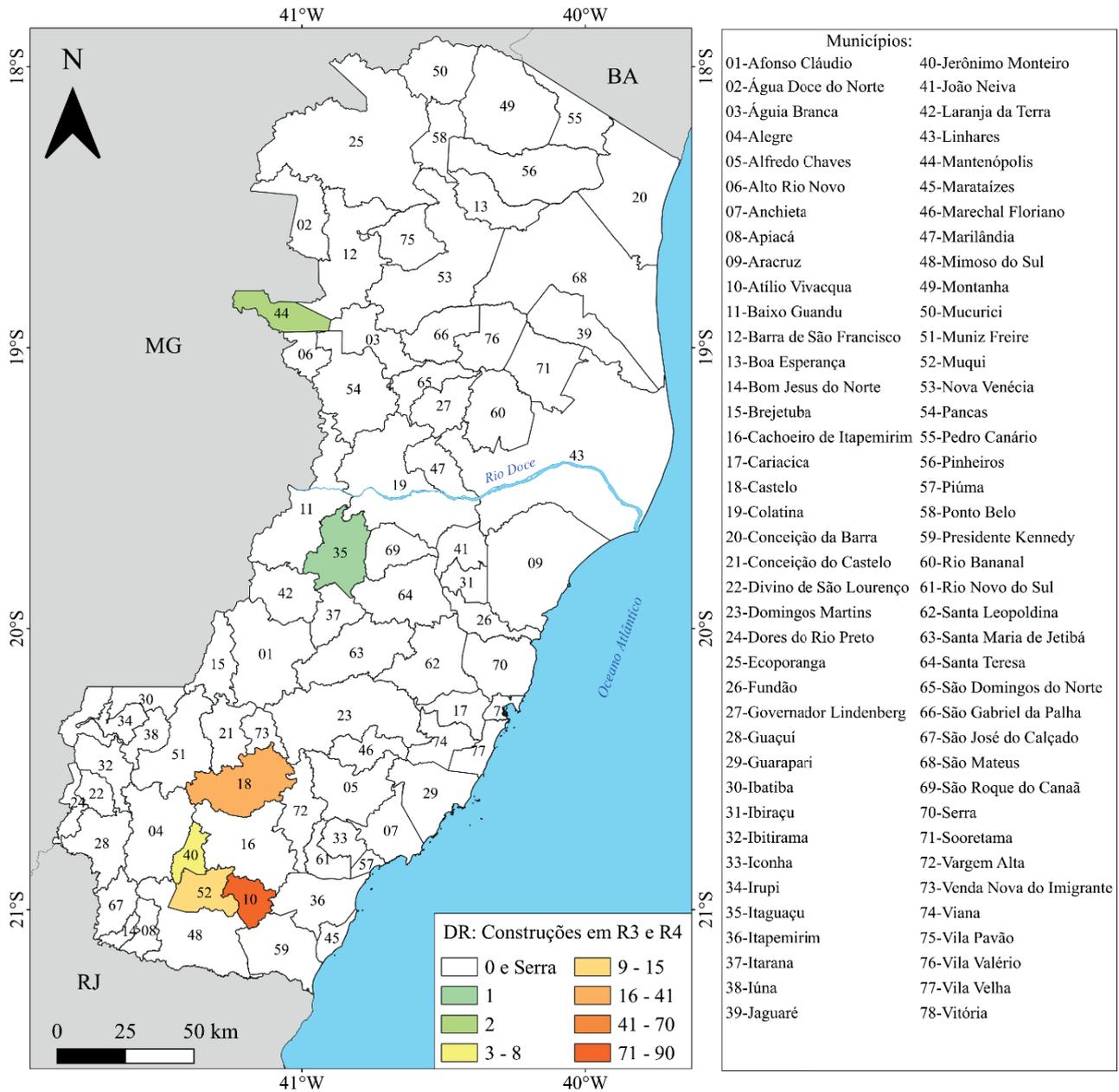


Figura 14 - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento rotacional (DR) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

De cada 10 capixabas em situação de risco originado por deslizamentos rotacionais, 6 residem em Atílio Vivacqua (Figura 15). Em conjunto com Castelo este número sobe para 8 entre 10 capixabas.

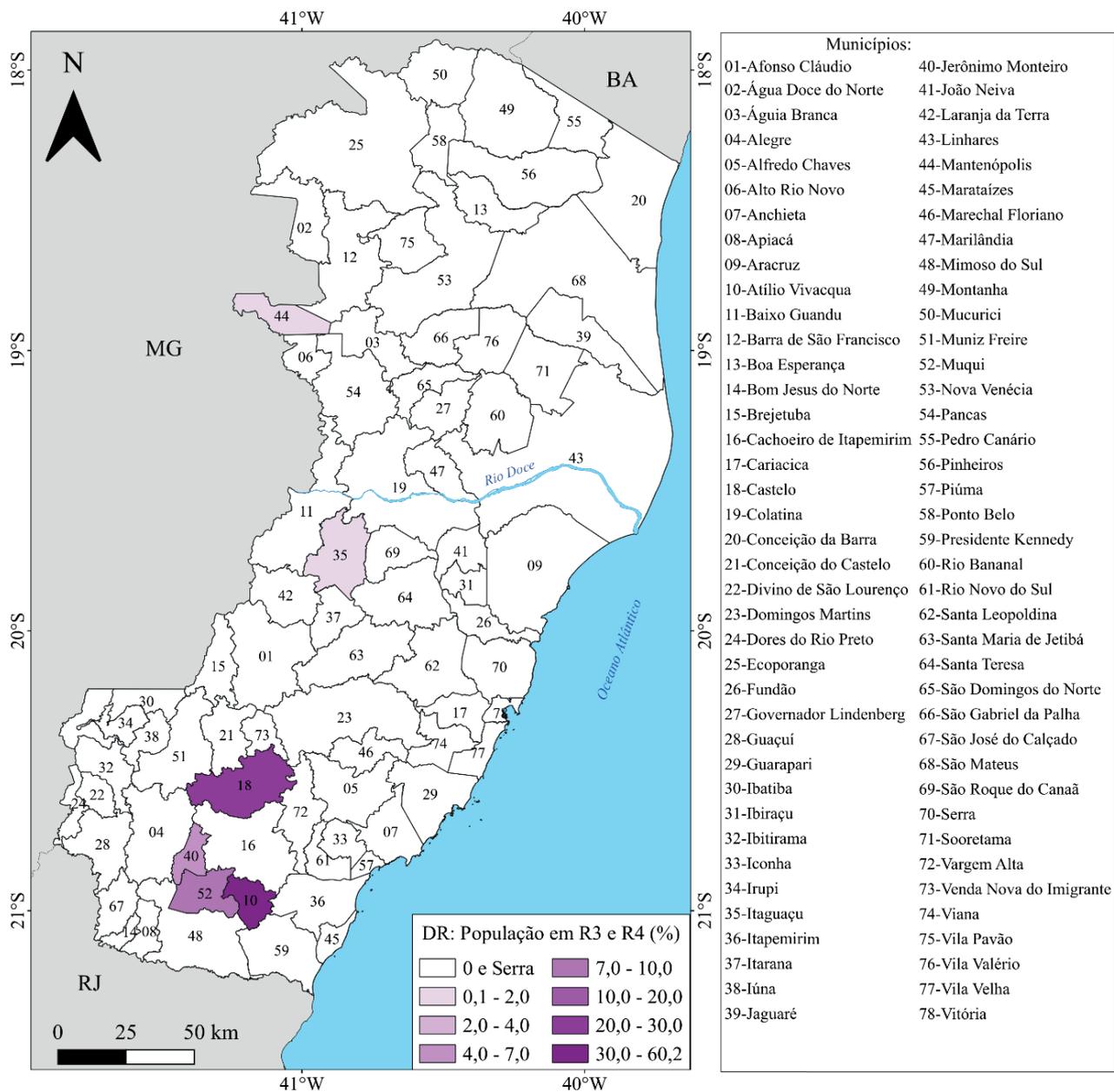


Figura 15 - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento rotacional (DR) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da concentração do movimento gravitacional de massa em poucas cidades capixabas, estas cifras representam percentuais pequenos da população dos municípios. O maior número é em Atilio Vivacqua, onde 3,7% dos municípes encontram-se em situação de risco alto e muito alto. As outras cidades não chegam a atingir o patamar de 0,5% da população em risco oriundo deste processo (Figura 16).

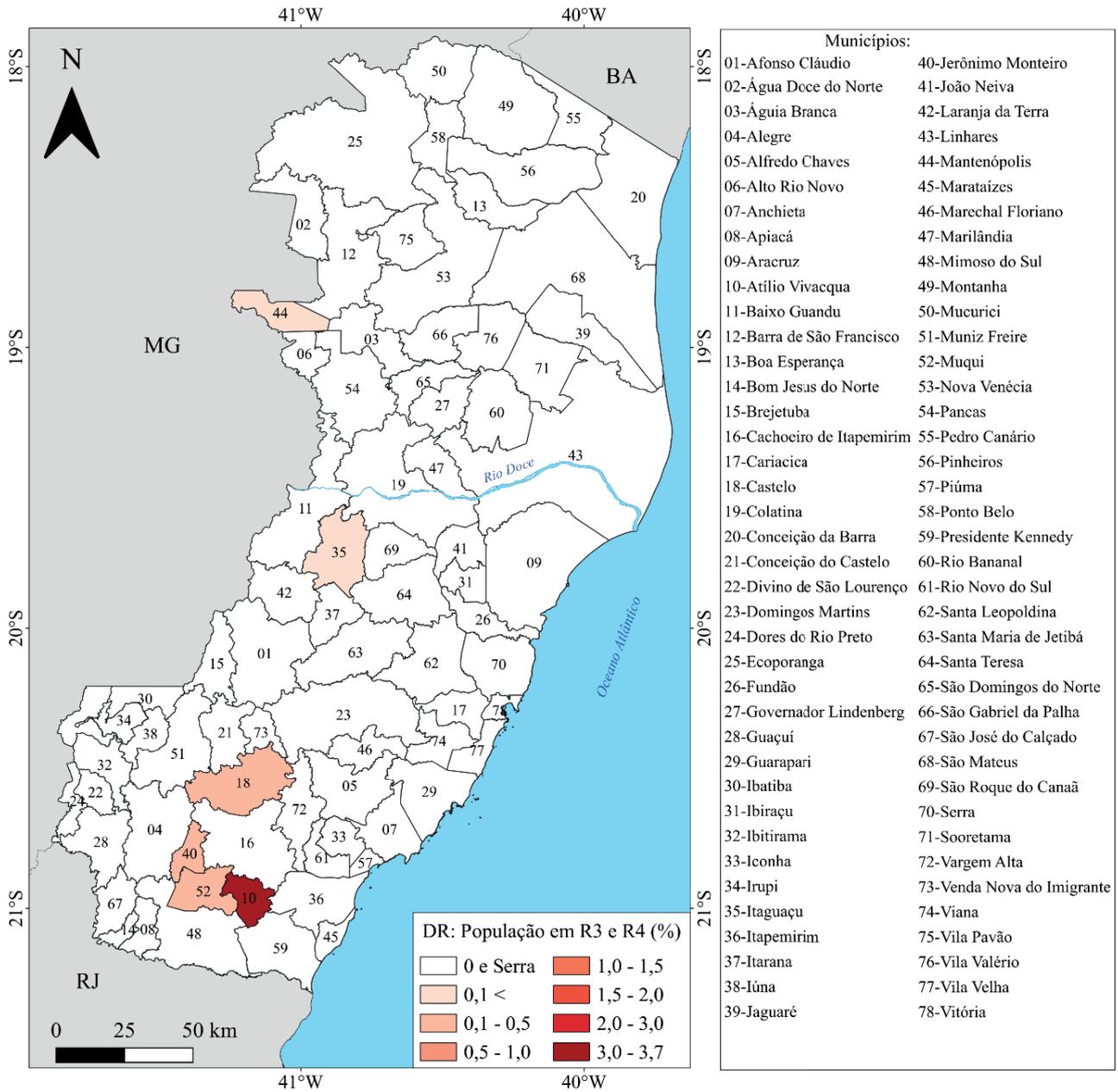


Figura 16 - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para deslizamento rotacional (DR) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Presente em 2,5% dos setores analisados, o risco associado a rastejo afeta ou pode afetar 623 construções no Estado do Espírito Santo. De cada dez, três estão localizadas em Cachoeiro de Itapemirim (Figura 17).

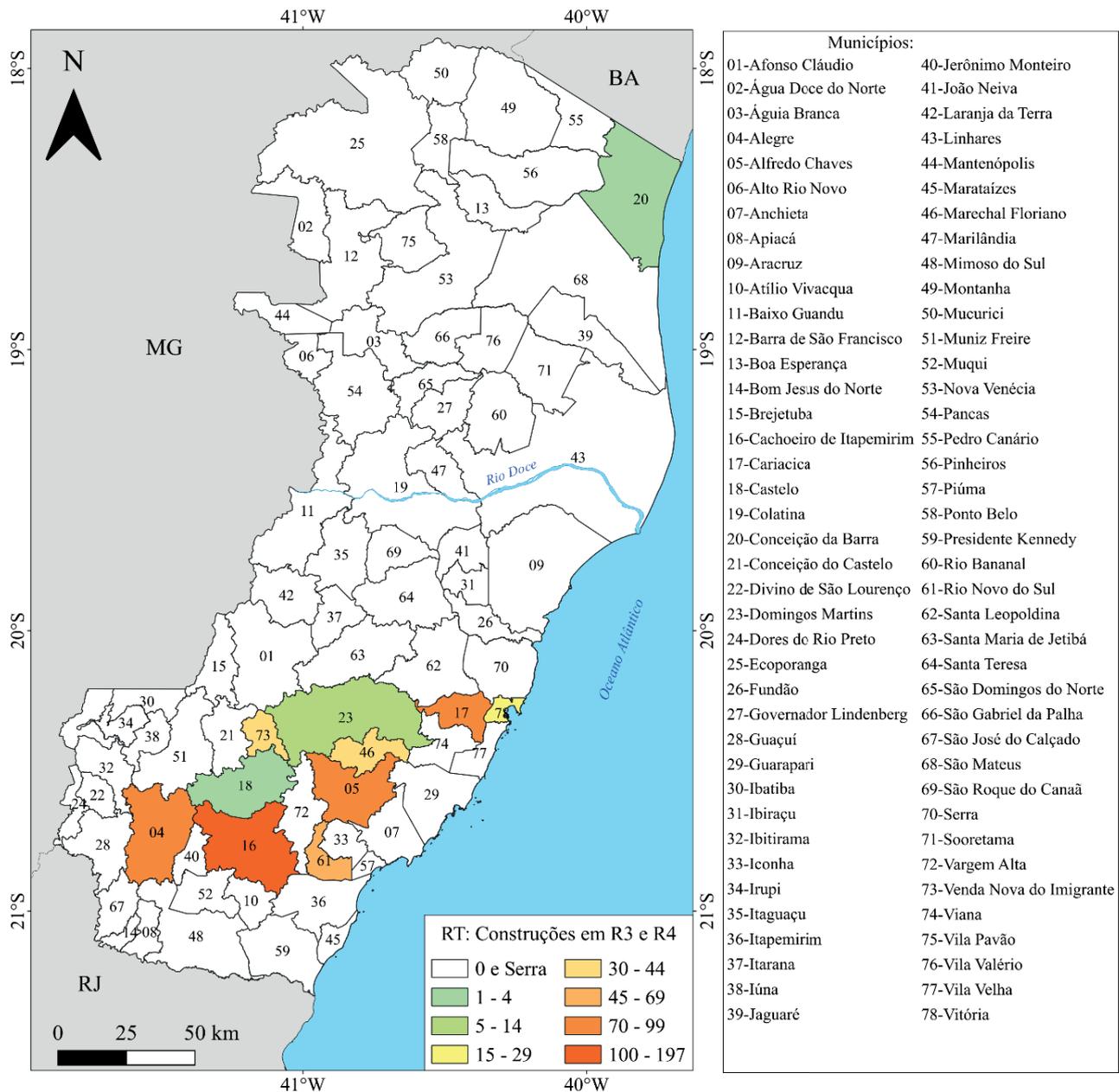


Figura 17 - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para rastejo (RT) nos municípios do Estado do Espírito Santo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Cerca de 30% da população estadual sujeita ao risco geológico originado por deslizamentos rotacionais reside em Cachoeiro de Itapemirim. Aproximadamente 3/4 dos capixabas nesta situação estão em Cachoeiro de Itapemirim, Alegre, Alfredo Chaves e Cariacica (Figura 18).

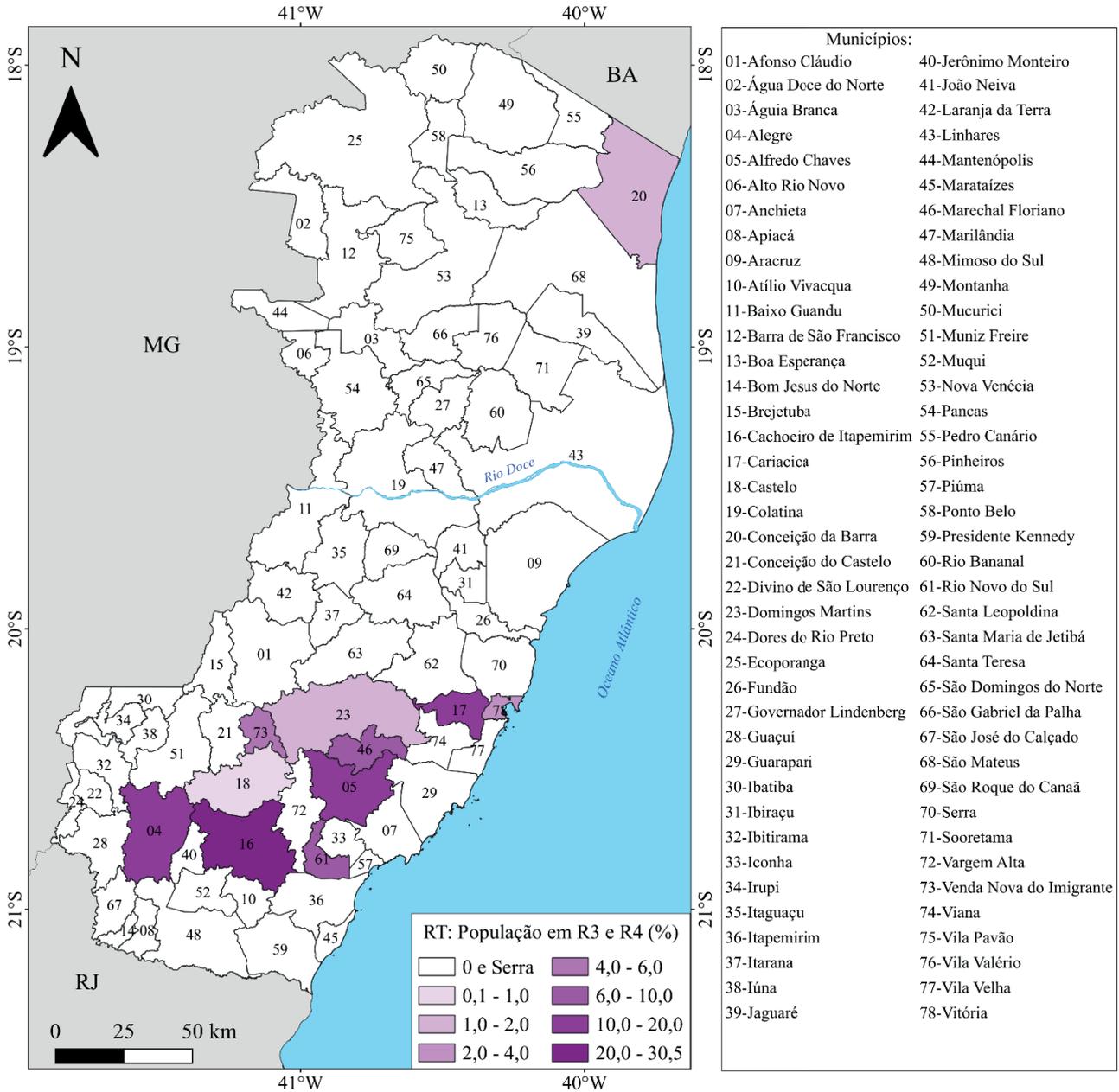


Figura 18 - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para rastejo (RT) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme aponta a figura 19, o movimento gravitacional de massa foi identificado em 11 dos 77 municípios estudados. No cenário municipal do Espírito Santo o risco provocado por deslizamentos rotacionais atinge o percentual máximo de 2,8% dos habitantes de Alfredo Chaves.

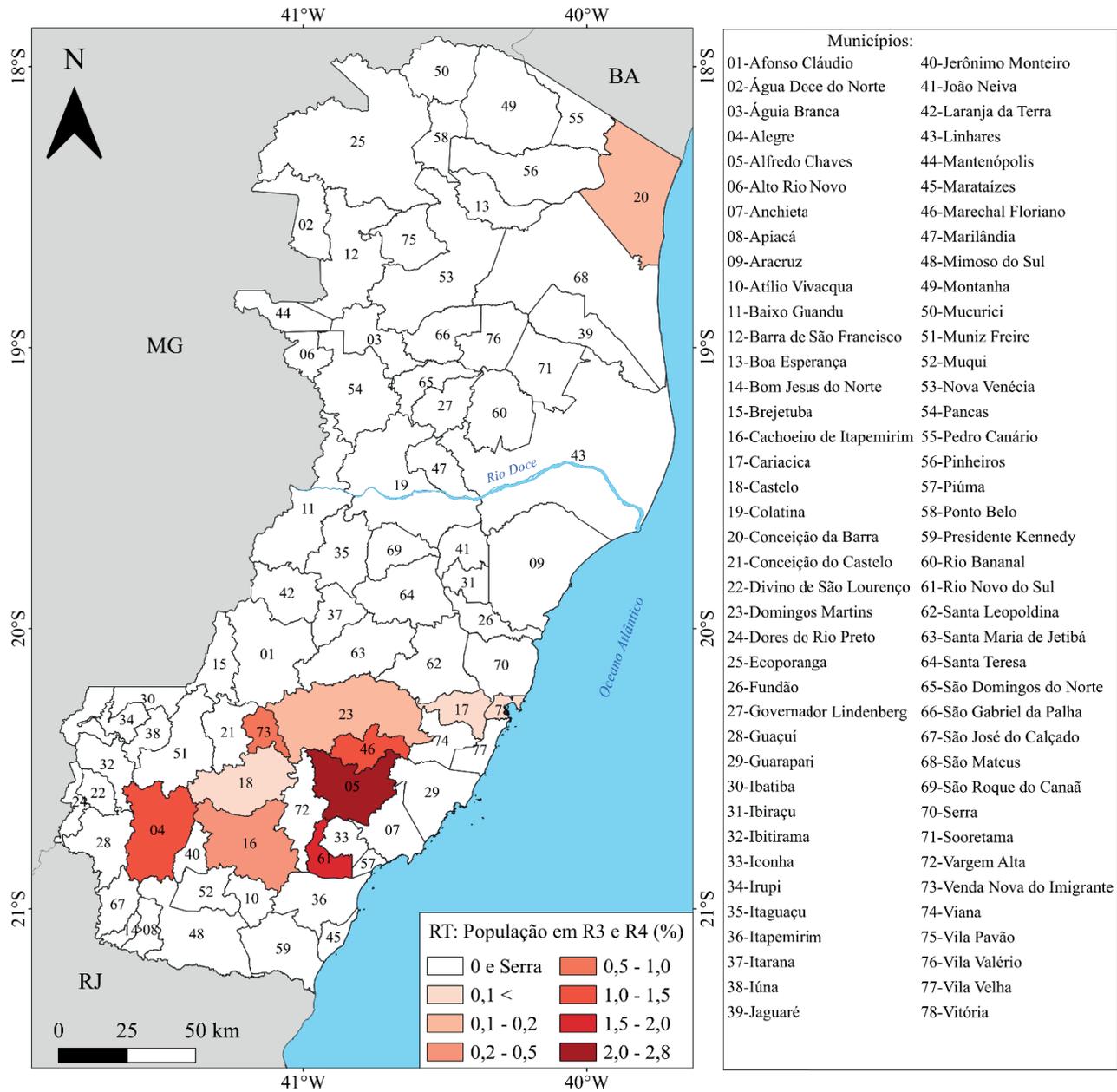


Figura 19 - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para rastejo (RT) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O segundo volume dos Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo atualiza o panorama do risco geológico oriundo de deslizamentos planares, deslizamentos rotacionais e rastejos na última década no estado e é uma importante ferramenta no entendimento das realidades municipais e estadual. Sabendo em quais municípios e qual a proporção que tais movimentos gravitacionais de massa representam do risco geológico alto e muito alto, os gestores públicos podem adotar medidas de planejamento territorial, prevenção e mitigação mais apropriados para a realidade de cada unidade político-administrativa.

O deslizamento planar é o movimento gravitacional de massa dominante na pesquisa sobre o risco geológico da unidade da federação e, como esperado, é de longe o mais comum entre os processos analisados neste relatório. A disparidade entre eles é marcante. Enquanto cerca de 70% dos setores de risco alto e muito alto contêm deslizamento planar, somente 2,5% e 0,5% dos setores do Espírito Santo possuem respectivamente rastejo e deslizamento rotacional. Dos 77 municípios estudados, 70 possuem pelo menos uma construção em risco devido a deslizamento planar. Na contramão deste dado apenas 6 e 11 municípios capixabas registram, respectivamente, construções em situação de risco originado por deslizamento rotacional e rastejo. Estas cifras demonstram a quão esporádica é a ocorrência destes movimentos gravitacionais de massa na natureza e no panorama do risco do estado.

A pesquisa continuará avançando com o desenvolvimento de novos volumes de relatórios técnico-científicos específicos para outros processos estudados. Como trata-se de produto preliminar, haverá pequenas modificações e possivelmente novos resultados serão adicionados do documento final. O Plano Municipal de Riscos do município de Serra será avaliado, o que ocasionará o término do atlas e a sua publicação final.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais – proposta de um sistema de previsão**: aplicação na área urbana de Campos do Jordão, SP. 2005. 364 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- AZEVEDO, A.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Águas subterrâneas. *In*: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de (ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 111-130.
- BRASIL. Ministério das Cidades; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília, 2007. 176 p. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Classificação e codificação brasileira de desastres (COBRADE)**. 2012. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobra2.pdf. Acesso em: 06 mai. 2021.
- CARDINALI, M.; REICHENBACH, P.; GUZZETTI, F.; ARDIZZONE, F.; ANTONINI, G.; GALLI, M.; CACCIANO, M.; CASTELLANI, M.; SALVATI, P. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [Kitenburg-Lindau, Germany], v. 2, n. 1/2, p. 57-72, 2002. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2-57-2002>. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/2/57/2002/>. Acesso em: 07 jul. 2021.
- CONTI, A. **Desenvolvimento de um modelo matemático transiente para previsão de escorregamentos planares em encostas**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- COROMINAS, J.; VAN WESTEN, C.; FRATTINI, P.; CASCINI, L.; MALET, J.P.; FOTOPOULOU, F.; CATANI, F.; VAN DEN ECKHAUT, M.; MAVROULI, O.; AGLIARDI, F.; PITILAKIS, K.; WINTER, M.G.; PASTOR, M.; FERLISI, F.; TOFANI, V.; HERVÁS, J.; SMITH, J.T. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bulletin of Engineering Geology Environment**, Berlin, v. 73, p. 209-263, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-013-0538-8>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- CROZIER, M.J.; GLADE, T. Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. *In*: GLADE, T.; ANDERSON, M.; CROZIER, M.J. (ed.). **Landslide hazard and risk**. Chichester, UK; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004. Cap. 1, p. 1-36. Disponível em: http://dept.ru.ac.bd/geology/acad/landslide_hazard_1-35.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.
- CRUDEN, D.M. A simple definition of a landslide. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, Berlin, v. 43, p. 27-29, 1991.
- CRUDEN, D.M. The first classification of landslides? **Environmental and Engineering Geoscience**, College Station, TX, v. 9, n.3, p. 197-200, aug. 2003.
- CRUDEN, D.M.; COUTURE, R. The working classification of landslides: material matters. *In*: CANADIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE, 64., 2011, Toronto. **Proceedings** [...]. [Canada]: Canadian Geotechnical Society, 2011. 7 p. Disponível em: <http://geoserver.ing.puc.cl/info/conferences/PanAm2011/panam2011/pdfs/GEO11Paper1106.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021. Cap. 3, p. 36-75.
- CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. *In*: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (ed.). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, DC: National Academy Press, 1996. Cap. 3, p. 36-75. (Transportation Research Board. National Research Council. Special report, 247). Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-003.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- DAI, F.C.; LEE, C.F.; NGAI, Y.Y. Landslide risk assessment and management: an overview. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 65-87, 2002.
- DIAS, G.P.; BARROSO, E.V. Determinação experimental do coeficiente de restituição normal de rochas: aplicação na previsão do alcance de blocos em encostas. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 149-167, 2006. Disponível em: papego.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4873. Acesso em: 08 jul. 2021.
- FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. *In*: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 123-194.

- FROUDE, M.J.; PETLEY, D.N. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [Katienburg-Lindau, Germany], v. 18, n. 8, p. 2161-2181, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/18/2161/2018/>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1984. 194 p., il.
- GUZZETTI, F.; GALLI, M.; REICHENBACH, P.; ARDIZZONE, F.; CARDINALI, M. Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [Katienburg-Lindau, Germany], v. 6, n. 1, p. 115-131, 2006. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-6-115-2006>. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/6/115/2006/>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- HARDWICK, D. **A mass movement classification for the southern Drakensberg, South Africa**. 2012. 414 f., il. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10539/12736>. Acesso em: 08 jul. 2021.
- HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2008. xiii, 129 p., il. (U.S. Geological Survey circular, 1325). Disponível em: https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.
- HUNGR, O.; LEROUÉIL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. **Landslides**, Berlin, v. 11, p. 167-194, 2014.
- IBGE. **Censo 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 08 jan. 2020.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES WORKING GROUP ON LANDSLIDES. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, Paris, n. 52, p. 75-78, oct. 1995.
- POPESCU, M.E. Landslide causal factors and landslide remedial options. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDES, SLOPE STABILITY AND SAFETY OF INFRA-STRUCTURES, 3., 2002, Singapore. **Proceedings** [...]. Singapore: Conference Secretariat, CI-Premier, 2002. p. 61-81. Disponível em: https://www.geoengineer.org/storage/publication/19461/publication_file/2727/Lanslides-Popescu.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.
- QUINA, R.R. **Avaliação do MDE gerado pelo sensor Palsar/Satélite Alos, como alternativa para o zoneamento de áreas de risco a escorregamentos em locais com deficiência de dados**. 2019. 197 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/10266>. Acesso em: 08 jul 2021.
- RIBEIRO, R.S. **Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discretos**. 2013. xxii, 265 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- RIFFEL, E.S.; GUASSELLI, L.A.; BRESSANI, L.A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão da literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-101, maio/ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v36i2.42796>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/42796>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- SARKAR, S.; KANUNGO, D.P.; SHARMA, S. Landslide hazard assessment in the upper Alaknanda valley of Indian Himalayas. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, Abingdon, UK, v. 6, n. 4, p. 308-325, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.847501>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2013.847501>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- TOMINAGA, L.K. Desastres naturais: por que ocorrem? *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Cap. 1, p. 11-23. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2010/03/lancado-livro-sobre-desastres-naturais-no-site-do-ig/>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- VARGAS, L.V. de. **Suscetibilidade a movimentos de massa: um estudo geomorfológico na sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do Dnos, em Santa Maria, RS**. 2015. 132 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/9447>. Acesso em: 09 jul. 2021.

Sede Brasília
Setor Bancário Norte - SBN
Quadra 02, Asa Norte
Bloco H - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - CEP: 70040-904
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro – ERJ
Av. Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – CEP: 22290-255
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Hidrologia e Gestão
Territorial
Tel.: (21) 2295-8248
(21) 2546-0214

Departamento de Gestão
Territorial
Tel.: (21) 2295-6147
(21) 2546-0419

Divisão de Geologia Aplicada
Tel.: (31) 3878-0304

Divisão de Gestão Territorial
Tel.: (71) 3878-0304

Ouvidoria
Tel.: 21 2295-4697
ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento
ao Usuário – SEUS
Tel.: 21 2295-5997
seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br

2021



SECRETARIA DE
**GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

