

MAPEAMENTO DE RISCOS

Conceitos e métodos
aplicados a processos
geológicos e hidrológicos

DISTRIBUIÇÃO
VENDA PROIBIDA
GRATUITA

LEONARDO ANDRADE
DE SOUZA

RODOLFO BAÊSSO
MOURA

MINISTÉRIO DAS
CIDADES



MINISTÉRIO DAS CIDADES

MAPEAMENTO DE RISCOS

**Conceitos e métodos
aplicados a processos
geológicos e hidrológicos**

Leonardo Andrade de Souza
Rodolfo Baêso Moura
Ministério das Cidades

Fotos da capa: Secretaria Nacional de
Periferias, Leonardo A. Souza e Leandro Vaz



2026

Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva	Instituições parceiras <i>Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT</i>
Vice-Presidente da República Geraldo José Rodrigues Alckmin Filho	Alessandra Corsi Claudio Ridente Gomes Eduardo Soares de Macedo Filipe Antônio Marques Falcetta Gerson Salviano de Almeida Larissa Mozer Blaudt Marcelo Fischer Gramani Nestor Kenji Yochikawa Omar Yazbek Bitar
Ministro de Estado das Cidades Antônio Vladimir Moura Lima	<i>Serviço Geológico do Brasil – SGB</i>
Secretário Nacional de Periferias Vitor Araripe Freire Pacheco	Diogo Rodrigues da Silva Iris Celeste Nascimento Bandeira Júlio Cesar Lana Marcelo de Queiroz Jorge Marco Antônio Oliveira Patrícia Mara Lage Simões Rodrigo Luiz Gallo Fernandes Sheila Gatinho Teixeira Tiago Antonelli
Chefe de Gabinete Bárbara Lopes de Azevedo	<i>Universidades</i>
Assessores do Gabinete Daniela Buosi Rohlfs Josué Medeiros de Freitas	Ana Elisa Silva de Abreu – Unicamp Eduardo Antonio Gomes Marques– UFV Milena Marília Nogueira de Andrade – UFRA Olavo Francisco dos Santos Júnior – UFRN
Diretora de Regularização, Urbanização Integrada e Qualificação de Territórios Periféricos Simone Gueresi de Mello	Consultores técnicos Fabio de Santis Campos
Diretor do Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco Rodolfo Baêsson Moura	Especialistas convidados Celso Santos Carvalho – SPU/SP Fernando Rocha Nogueira – SNP/Mcidades; UFABC
Coordenadores-Gerais Cláudia Regina Mendes de Ávila (<i>Soluções Fundiárias Urbanas</i>)Daniel Masiero (<i>Urbanização de Favelas</i>) Leonardo Santos Salles Varallo (<i>Planos de Riscos e SBN</i>) Luana Alves de Melo (Articulação e Planejamento) Melissa Kikumi Matsunaga (Melhorias Habitacionais e Urbanas) Paulo César Guedes (Orçamento e Gestão) Pedro Henrique Lopes Batista (Obras) Samia Nascimento Sulaiman (Articulação e Parcerias) Samuel da Silva Cardoso (Regularização Fundiária)	Revisão ortográfica José Carlos Prandini
Coordenação Geral da Obra Leonardo Andrade de Souza Rodolfo Baêsson Moura	Projeto Gráfico, capa e diagramação Ana Carolina Seganfredo Mateus Novais Siqueira Vinicius Chozo Inoue
Organização Daniela Buosi Rohlfs Jackeline Leite Pereira Pavin	
Revisão técnica-científica Daniela Buosi Rohlfs Fernando Rocha Nogueira Jackeline Leite Pereira Pavin Leonardo Santos Salles Varallo Rodolfo Baêsson Moura	
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)	
Souza, Leonardo Andrade de Mapeamento de riscos [livro eletrônico] : conceitos e métodos aplicados a processos geológicos e hidrológicos / Leonardo Andrade de Souza, Rodolfo Baêsson Moura. -- 1. ed. -- Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2026. Outros organizadores: Jackeline Leite Pereira Pavin, Daniela Buosi Rohlfs, Leonardo Santos Salles Varallo, Fernando Rocha Nogueira. Bibliografia. ISBN 978-85-7958-108-3 1. Cartografia 2. Desastres socionaturais 3. Geociências 4. Gestão de riscos 5. Periferias urbanas 6. Risco ambiental - Avaliação - Brasil I. Moura, Rodolfo Baêsson. II. Título.	
26-381106.0	CDD-553

Índices para catálogo sistemático:

1. Urbanização : Desastres naturais : Geociências 553
Henrique Ribeiro Soares - Bibliotecário - CRB-8/9314



LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Lista de Figuras

- Figura 1** – Integração dos fatores básicos do risco em um cenário de deslizamentos e rolamentos de blocos rochosos em Ponta Negra/RJ..... **19**
- Figura 2** – Abordagem sistêmica das ações em gestão de risco e de desastres. **25**
- Figura 3** – Representação esquemática de uma bacia hidrográfica, destacando os divisores de água, as nascentes, os afluentes e o rio principal, além da ocupação urbana ao longo do território (Mauá/SP)..... **29**
- Figura 4** – Esquema ilustrativo das variações do nível de um canal fluvial, indicando a situação normal, a enchente ou cheia (elevação do nível dentro do leito) e a inundação (transbordamento que atinge áreas adjacentes), Recife/PE. **31**
- Figura 7** – Registro de Inundação gradual no Delta do Jacuí, município de Canoas/RS (A), e no Rio Pomba, município de Cataguases/MG (B). **36**
- Figura 8** – Cidade de Anamá, interior do Amazonas, tomada pelas águas do Rio Solimões..... **37**
- Figura 9** – Registro de inundação, Rio Papagaio, afluente do Rio Juruena, Campo Novo do Parecis/MT..... **38**
- Figura 10** – Áreas afetadas pela chuva em Recife/PE..... **39**
- Figura 11** – Registro de inundação, Rio Doce, Governador Valadares/MG..... **40**
- Figura 12** – Áreas afetadas por inundação brusca no Rio Una, Barreiros/PE (A), no Arroio do Meio/RS (B), e no Rio Ubã, afluente do Rio Pomba, Ubã/MG (C e D).... **41**
- Figura 13** – Área afetada por enxurrada e inundação – Córrego e Avenida Vilari-nho, Belo Horizonte/MG..... **42**
- Figura 14** – Área afetada por inundação. Maré alta em Paraty/RJ (A) e Vigia de Nazaré/PA (B)..... **43**
- Figura 15** – Casas inundadas, marginais a Lagoa (uvala) de Santo Antônio, Pedro Leopoldo/MG..... **45**
- Figura 16** – Registro de alagamento em diferentes localidades. Município de Lauro de Freitas/BA (A); Recife/PE (B) e Favela do Acari, na Zona Norte do Rio de Janeiro/RJ (C)..... **46**
- Figura 18** – Exercício de cartografia social em que moradores utilizam mapas e imagens impressas para indicar locais com ocorrência de enxurradas, áreas de inundação recorrente e mudanças recentes na dinâmica do território..... **51**
- Figura 19** – Processo de diálogo estruturado entre equipe técnica e comunidade visando mapear riscos, vulnerabilidades físicas e sociais e níveis de resiliência local, elementos indispensáveis para a implementação de uma gestão integrada de riscos. **52**
- Figura 20** – Exemplos de evidências de atingimento em edificações observadas em vistorias de campo..... **55**
- Figura 21** – Área afetada por enxurrada em trecho ocupado não associado a cursos d’água (rua) no município de Viana/ES (A) e bairro Sol Nascente, região administrativa de Ceilândia/DF (B). **58**
- Figura 22** – Fotografias aéreas registradas durante evento de inundação em Mu-riaé/MG, utilizadas para a calibração e validação da modelagem hidrodinâmica. **61**

Figura 23 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de perigo para o processo de inundação (Processos hidro- lógicos – Ph) em um trecho as margens do Rio Muriaé no município de Muriaé/MG.....	68
Figura 24 – Exemplo de classificação de vulnerabilidade baseado na altura da lâmina d’água e frequência para um trecho do município de Muriaé/MG.	69
Figura 25 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para o processo de inundação (Processos hidrolô- gicos – Ph) em um trecho as margens do Rio Muriaé no município de Muriaé/MG.	70
Figura 26 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para o processo de enxurrada (Ex) ao longo do sistema viário de uma comunidade do município de Santo André/SP.....	73
Figura 27 – Registro de solapamento de margem de canal no Rio Guandu, Afonso Cláudio/ES (A e B) e no Rio Ubá, Ubá/MG (C e D).	78
Figura 28 – Sulcos erosivos desenvolvidos em talude marginal de estrada localizada no município de Caeté/MG.	79
Figura 29 – Ravinas desenvolvidas em talude de corte no município de Sabará/MG.	80
Figura 30 – Processos erosivos do tipo voçoroca no município de Buriticupu/MA (A e B) e no município de Açailândia/MA (C).	81
Figura 31 – Processos erosivos costeiros na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A), e na Praia do Pacheco, Caucaia/CE (B e C).....	83
Figura 32 – Erosão da margem no Rio Maratauíra, orla da cidade de Abaetetuba/PA.....	85
Figura 33 – Erosão flúviomarinha na Praia do Paraíso, Ilha do Mosqueiro, Belém/PA.....	86
Figura 34 – Processo de terras caídas na Costa do Rebojão, Ilha do Careiro, Rio Amazonas (A); na Vila Aruma, em Beruri/AM (B) e no porto de Manacapuru/AM (C).....	87
Figura 35 – Solapamento de margem de canal fluvial no Rio Guandu, Afonso Cláudio/ES – Risco Alto (A); no Rio Doce, Colati- na/ES – Risco Muito Alto (B) e no Rio Ubá, Ubá/MG – Risco Muito Alto (C).	91
Figura 36 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão fluvial (Ef) /solapamento em um trecho do Rio Ubá no município de Ubá – MG.....	92
Figura 37 – Processo de Terras Caídas no Rio Solimões, município de Manacapuru/AM – Setor classificado como Risco Alto (R3) (A); e margem esquerda do rio Acre, Brasileira/AC – Setor classificado como Risco Muito Alto (R4) (B).	94
Figura 38 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de Terras Caídas (Tc) em um trecho do Rio Amazonas.....	95
Figura 39 – Área classificada como de Risco Alto. Voçoroca em área periurbana do município de Buriticupu/MA.	98
Figura 40 – Área classificada como de Risco Muito Alto. Voçoroca em área periurbana do município de Buriticupu/MA.	100
Figura 41a – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão linear (Er) no município de Buriticupu/MA.....	101
Figura 41b – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão linear (Er) no município de Buriticupu/MA.....	102
Figura 42 – Setor classificado como de Risco Alto para Erosão costeira na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A); na Praia de Canoa Quebrada, Aracati/CE (B) e na Praia do Pacheco, Caucaia/CE (C).....	105
Figura 43 – Setor classificado como de Risco Muito Alto na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A e B).	106
Figura 44a – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão costeira (Erc) em um trecho da Praia do Pacheco no município de Caucaia/CE.	107
Figura 44b – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão costeira (Erc) em um trecho da praia de Picos no município de Icapuí/CE.	108
Figura 45 – Setor classificado como de Risco Alto em relação ao sistema viário, no bairro São João do Outeiro, Ilha do Outeiro, Belém /PA.....	111

Figura 46 – Setor classificado como de Risco Muito Alto. Vila 40 do Mocoóca, município de Maracanã/PA.....	112
Figura 47 – Setor classificado de Risco Muito Alto, município de Abaetetuba/PA.....	113
Figura 48 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão fluviomarinha (Efm) em um trecho do Furo do Combu, no município de Belém/PA.....	114
Figura 49 – Processo de rastejo no Bairro Taquaral em Ouro Preto/MG.....	118
Figura 50 – Deslizamentos translacionais rasos, no município de Barra Longa/MG.....	122
Figura 51 – Deslizamentos translacionais rasos. Juiz de Fora/MG.....	123
Figura 52 – Deslizamentos translacionais rasos. (A) Município de Colatina/ES; (B) Município de Vitoria/ ES; (C) Distrito de Ca- choeira do Brumado, Mariana/ MG e (D) Município de Ouro Preto/MG.....	124
Figura 53 – Registro de deslizamento rotacional em talude no distrito de São Sebastião do Soberbo, Santa Cruz do Escalvado/MG.....	126
Figura 54 – Superfície de ruptura de deslizamento rotacional de grande porte. Bairro Progresso, município de Ponte Nova/MG.....	127
Figura 55 – Deslizamento em cunha ou estruturado na cidade de Ouro Preto/MG.....	128
Figura 56 – Deslizamento em cunha na Serra da Mesa /GO (A), e em Nova Lima/MG (B).	129
Figura 57 – Blocos instáveis em talude rochoso a montante do Bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade/MG.	131
Figura 58 – Blocos instáveis em talude rochoso no Bairro Cabanas, município de Mariana/MG.....	132
Figura 59 – Modelo diagnostico dos principais fatores condicionantes ao rolamento de blocos rochoso, bairro Sagrada Famí- lia, Vila Velha/ES.	134
Figura 60 – Bloco rochoso instável. Morro do Jaburu, Vitoria/ES (A); Bloco rochoso de grande porte estabilizado no Bairro Jaburu, Vitoria/ES (B) e Bloco rochoso a montante de edificação de baixo padrão construtivo no Município de Vargem Alegre/MG (C).	135
Figura 61 – Queda e tombamento de rochas no município de Capitólio/MG.....	136
Figura 62 – Suscetibilidade a ocorrência de queda e tombamento de rochas no município de Capitólio/MG.	137
Figura 63 – Desplacamento em encosta na localidade do Ingã, Distrito da Posse, Petropolis/RJ (A) e Visão aproximada do mesmo deslocamento (B).....	138
Figura 64 – Perfis deposicionais em diferentes trechos do canal, com destaque para o arranjo granulométrico. A descrição dos depósitos pode auxiliar na classificação das corridas de massa.....	140
Figura 65 – Representação esquemática da dinâmica de fluxo de detritos.....	142
Figura 66 – Fluxo de detritos ocorrido em Nova Friburgo/RJ (A) e no córrego da Posse, em Teresópolis/RJ (B e C).	143
Figura 67 – Trecho intensamente afetado pela passagem do debris flow no ribeirão Guarda-Mão, município de Itaoca/SP.	144
Figura 68 – Perfil esquemático dos processos de subsidência e colapso.....	146
Figura 69 – Cratera de colapso no município de Cajamar/SP.	147
Figura 70 – Ocupação de feijão cárstica (dolina) no município de Matozinhos/MG.	148
Figura 71 – Registros do processo de subsidência induzida em Maceió/AL: evidencias de instabilidade no terreno e estruturas nos bairros de Pinheiro e Mutange, que afetaram cerca de 60 mil pessoas (A e B); edificações abandonadas devido ao risco muito alto de colapso estrutural (C).....	149
Figura 72 – Dinâmica multitemporal de processos em falésias na Praia de Canoa Quebrada, Aracati/CE: evidências de queda de blocos e deslizamentos (A); evidências de processos erosivos e deslizamentos (B e C).	151
Figura 73 – Processos erosivos lineares, queda e rolamento de blocos e deslizamentos em trecho da Praia de Peroba, Icapui/CE (A); queda e rolamento de blocos e deslizamentos provocados pela erosão costeira na base da falésia, na mesma praia (B).	152

Figura 74 – Corrida de areia em duna no bairro de Mãe Luiza, em Natal/RN.....	154
Figura 75 – Alcance do escoamento da corrida de areia em duna no bairro de Mãe Luiza, em Natal/RN.	155
Figura 76 – Etapas para o Mapeamento de Riscos de Deslizamentos e Rastejos.	157
Figura 77 – Exemplo de elementos observáveis em campo para a avaliação e caracterização de um setor de risco.	159
Figura 78 – Exemplo de interpretação da imagem para extração de elementos que devem ser observados em campo para a avaliação e caracterização de um setor de risco.....	160
Figura 79 – Exemplo de interpretação de foto oblíqua com delimitação preliminar de áreas críticas para o mapeamento do risco em campo, na escala de detalhe.....	161
Figura 80 – Indícios de desenvolvimento e evidências de instabilidade observadas em campo.....	164
Figura 81 – Exemplo de encosta para avaliação da suscetibilidade/perigo/risco a ocorrência de deslizamentos em Muriaé/MG.....	168
Figura 82 – Mapeamento de perigo no município de Muriaé/MG.	169
Figura 83 – Vulnerabilidade e exposição integradas às análises de perigo e risco.....	171
Figura 84a – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em um trecho do município de Muriaé/MG. Classificação do Risco (A) e Classificação do Risco com a indicação da área de abrangência projetada (B).	177
Figura 84b – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em um trecho do município de Muriaé/MG. Classificação do Risco (A) e Classificação do Risco com a indicação da área de abrangência projetada (B).	178
Figura 85 – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em uma comunidade do município de Diadema/SP.	179
Figura 86 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para movimentos gravitacionais de massa em falésias trecho da praia de Canoa Quebrada no município de Aracati/CE.	180
Figura 87 – Expansão urbana sobre depósito de talus no bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade/MG.	182
Figura 88 – Sequência técnica de mapeamento de risco para o processo de queda e rolamento de blocos.....	184
Figura 89 – Composição de Fotos de campo, mostrando forma, dimensão, estruturação e cicatrizes de desprendimento de blocos rochosos.	187
Figura 90 – Avaliação do alcance a partir de análise observacional, Bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade /MG. ..	189
Figura 91 – Exemplo road. fal8. Rocscience.	191
Figura 92 – Exemplo de análise da distância do ponto de chegadas de blocos rochosos com uso do programa RocFall 3D.	191
Figura 93 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para queda e rolamento de blocos rochosos no município de João Monlevade/MG.....	195
Figura 94 – Cálculo do Índice de risco de queda de blocos e seus principais indicadores.....	196
Figura 95 – Exemplo de cartografia de suscetibilidade a ocorrência de fluxos de detritos em bacias hidrográficas baseada no Índice de Melton.....	200
Figura 96 – Condição topográfica para identificar bacias com potencial de geração de fluxos.....	201
Figura 97 – Exemplo de cartografia de suscetibilidade em bacias hidrográficas no município de Petrópolis/RJ.	202
Figura 98 – Dinâmica de movimentos complexos condicionados por linhas de descontinuidade no Morro do Cristo, Juiz de Fora/MG.	204
Figura 99 – Sequência técnica recomendada para a avaliação de perigo e risco de fluxos de detritos em bacias hidrográficas....	207
Figura 100 – Exemplo de delimitação da zona crítica e da zona de espreadimento (atingimento do fluxo de detritos) na base de um maciço rochoso.....	208
Figura 101 – Delimitação de Zona critica de fluxo de detritos ocorrido em Nova Friburgo/RJ.	209

Lista de Quadros

Quadro 1 – Síntese dos conceitos básicos do risco.....	22
Quadro 2 – Indicadores e condicionantes dos processos de inundação e enxurrada para a avaliação do perigo.....	54
Quadro 3 – Critérios utilizados para classificação do perigo de inundações graduais.....	57
Quadro 4 – Critérios utilizados para classificação do perigo de inundações bruscas/enxurradas associado a cursos d’água.....	57
Quadro 5 – Critérios utilizados para classificação do perigo de enxurradas não associadas a cursos d’água (vias e ruas).....	59
Quadro 6 – Dados necessários para a modelagem do perigo à inundação.	60
Quadro 7 – Critérios baseado no fator de velocidade que devem ser utilizados para a determinação dos graus de perigo para inundações graduais, bruscas e enxurradas, nos casos de mapeamento quantitativos.	63
Quadro 8 – Critérios utilizados para classificação do perigo de alagamentos.	64
Quadro 9 – Critérios utilizados para avaliação da vulnerabilidade.	66
Quadro 10 – Critérios utilizados para estimativa do risco a inundação, alagamentos e enxurradas.	66
Quadro 11 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para inundação gradual, alagamento e enxurrada associada a cursos d’água.....	67
Quadro 12 – Critérios utilizados para avaliação da vulnerabilidade.	71
Quadro 13 – Critérios utilizados para estimativa do risco.	71
Quadro 14 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para enxurrada em vias e ruas.	72
Quadro 15 – Principais critérios dimensionais e evolutivos para distinção de feições erosivas pluviais.	82
Quadro 16 – Indicadores e condicionantes para avaliação do risco a solapamento de margem e terras caídas.	89
Quadro 17 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para solapamento de margem.	90
Quadro 18 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para terras caídas.....	93
Quadro 19 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão linear para a avaliação do risco.	96
Quadro 20 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão linear.....	97
Quadro 21 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão costeira para avaliação do risco.....	103
Quadro 22 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão costeira.	104
Quadro 23 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão fluviomarinha para avaliação do risco.....	109
Quadro 24 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão fluviomarinha.	110
Quadro 25 – Principais características do processo de rastejo.....	117
Quadro 26 – Principais características do processo de deslizamento.....	121
Quadro 27 – Principais características do processo de queda e rolamento de blocos rochosos.....	130
Quadro 28 – Principais características do processo de rolamento de blocos rochosos.....	133
Quadro 29 – Principais características do processo de tombamento.....	135
Quadro 30 – Principais características do processo de fluxo de detritos.....	141
Quadro 31 – Principais características do processo de fluxo de detritos.....	146
Quadro 32 – Indicadores e condicionantes para avaliação do risco a deslizamentos e rastejos.....	163
Quadro 33 – Grau de probabilidade para classificação do perigo.....	167

Quadro 34 – Classes de Vulnerabilidade física. 173

Quadro 35 – Critérios utilizados para estimativa do risco. 174

Quadro 36 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para deslizamentos. 175

Quadro 37 – Propostas de medidas estruturais e não estruturais em relação à classificação de risco. 176

Quadro 38 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para queda e rolamento de blocos.....181

Quadro 39 – Descrição das classes de Perigo / Suscetibilidade. 192

Quadro 40 – Classes de Vulnerabilidade. 193

Quadro 41 – Matriz de pontuação dos indicadores. 194

Quadro 42 – Matriz de classificação de risco. 194

Quadro 43 – Parâmetros para a avaliação da suscetibilidade da ocorrência de *debris flow* 198

Quadro 44 – Índice de suscetibilidade. 199

Quadro 45 – Interpretação e limiares práticos da aplicação do Índice de Melton (M). 199



SUMÁRIO

PREFÁCIO 10

APRESENTAÇÃO 12

INTRODUÇÃO
Jackeline Leite Pereira Pavin; Daniela Buosi Rohlfs 13

CAPÍTULO 1: PANORAMA E CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RISCOS E DESASTRES GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS
Leonardo Andrade de Souza; Fernando Rocha Nogueira; Omar Yazbek Bitar; Leonardo Santos Salles Varallo; Daniela Buosi Rohlfs, Jackeline Leite Pereira Pavin, Rodolfo Baêso Moura 15

CAPÍTULO 2: PROCESSOS HIDROLÓGICOS
Leonardo Andrade de Souza, Ana Elisa Silva de Abreu, Filipe Antônio Marques Falcetta, Daniela Buosi Rohlfs, Jackeline Leite Pereira Pavin, Rodolfo Baêso Moura, Fernando Rocha Nogueira, Leonardo Santos Salles Varallo 28

CAPÍTULO 3: PROCESSOS EROSIVOS
Leonardo Andrade de Souza, Júlio Cesar Lana, Milena Marília Nogueira de Andrade, Jackeline Leite Pereira Pavin, Daniela Buosi Rohlfs, Leonardo Santos Salles Varallo, Fernando Rocha Nogueira, Rodolfo Baêso Moura 76

CAPÍTULO 4: MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA
Leonardo Andrade de Souza, Fernando Rocha Nogueira, Eduardo Antônio Gomes Marques, Alessandra Corsi, Eduardo Soares de Macedo, Marcelo Fischer Gramani, Olavo Francisco dos Santos Júnior, Celso Santos Carvalho, Jackeline Leite Pereira Pavin, Daniela Buosi Rohlfs, Rodolfo Baêso Moura, Leonardo Santos Salles Varallo 116

CONSIDERAÇÕES FINAIS
Daniela Buosi Rohlfs, Jackeline Leite Pereira Pavin, Rodolfo Baêso Moura, Leonardo Santos Salles Varallo 212

ORGANIZADORES E REVISORES DA OBRA 214

PREFÁCIO

É com enorme satisfação que recebo – e apresento a vocês – o livro **“ Mapeamento de Riscos: Conceitos e métodos aplicados a processos geológicos e hidrológicos”** da Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades.

A gestão dos riscos relacionados a processos do meio físico desenvolvidos no contexto da ocupação urbana, principalmente nas áreas periféricas carentes de infraestrutura, iniciou-se no Brasil há relativamente pouco tempo, no início dos anos 1990, com metodologias de análise de riscos sendo desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pela Universidade Federal de Pernambuco e pela Prefeitura do Rio de Janeiro, principalmente. Esse trabalho de pesquisa, na medida em que era desenvolvido, já era aplicado na gestão de riscos em prefeituras progressistas como São Paulo, Santos, Belo Horizonte e Recife, no final do século XX.

A gestão de riscos urbanos, desenvolvida pelas prefeituras, teve um grande impulso em 2003, com a criação do Ministério das Cidades, que tornou possível construir uma política nacional de prevenção de prevenção de riscos e desastres.

Além de investir recursos federais para apoiar os municípios na elaboração de planos, projetos e obras de redução de riscos, o Ministério das Cidades investiu na capacitação de equipes municipais para gestão de riscos e na sistematização de uma metodologia de mapeamento de riscos que pudesse ser utilizada nas diversas regiões do País.

O esforço de capacitação apoiou-se em uma publicação – **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios** – editada em 2007, que reuniu e sistematizou o conhecimento desenvolvido em várias regiões do Brasil, como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Pernambuco, principalmente.

Nos anos que se seguiram, este método foi amplamente utilizado nas diversas regiões do Brasil, por prefeituras, por governos estaduais e pelo Serviço Geológico do Brasil que, em escala nacional, mapeou quase 2.000 municípios até 2026.

Em 2023, o governo recriou o Ministério das Cidades e organizou, no novo ministério, um local para a elaboração e aplicação de políticas especificamente direcionadas para o combate à desigualdade socioespacial das cidades brasileiras: a SNP, Secretaria Nacional de Periferias.

Nesse contexto, a SNP não poderia deixar de lado a gestão de riscos urbanos, visto que é nas periferias que os processos destrutivos se manifestam de forma mais dramática. Assim, foi criado o Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco.

Ao reconstruir o programa nacional de gestão de riscos, a SNP encontrou uma metodologia defasada.

A aplicação extensiva da metodologia de 2007 mostrou um grave problema de escala: mapeamentos feitos na escala de planejamento foram utilizados para a definição de intervenções físicas, que exigem um mapeamento em escala de detalhe, uma análise casa a casa. Pior que isso, setores classificados como de risco alto ou muito alto eram, às vezes, diretamente associados à proposta de remoção de todos os moradores, sem uma investigação de detalhe nem uma análise de intervenções alternativas. Assim, uma metodologia voltada para a melhoria das condições de vida da população mais pobre foi, em alguns casos, subvertida, sendo utilizada para justificar a expulsão dos moradores periféricos.

Além disso, no período entre 2007 e 2023 as tecnologias experimentaram um avanço impressionante. Os VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) tornaram muito mais fácil a elaboração de mapas ortogonais de grande definição e a informação georreferenciada, assim como as modelagens computacionais tornaram-se mais acessíveis.

Também os processos do meio físico se intensificaram, tanto em frequência quanto em magnitude, com a instalação da crise climática. Eventos como as grandes inundações no Rio Grande do Sul, na Amazônia e no Nordeste, enxurradas como as de Juiz de Fora, erosão marítima, os grandes deslizamentos e corridas de massa no Sudeste.

Finalmente, surgiu um novo ator – essencial – na gestão de riscos. As comunidades organizadas em torno do Programa Periferia Viva.

Tudo isso tornou necessária – e permitiu – a elaboração do livro **“ Mapeamento de Riscos: Conceitos e métodos aplicados a processos geológicos e hidrológicos”**. Um livro fruto da ampla experiência desenvolvida pela Secretaria Nacional de Periferias desde 2023, com a adaptação do método utilizado para a elaboração dos Planos Municipais de Redução de Riscos e o desenvolvimento dos inovadores Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática, aplicados nas mais diversas regiões do País. Uma experiên-

cia que se apoiou nos trabalhos pioneiros do Ministério das Cidades, mas os superou em muito, mostrando principalmente a importância de se compor o conhecimento técnico-científico e o conhecimento local, popular e tradicional, para se avançar na resolução dos grandes problemas nacionais.



Celso Santos Carvalho

Engenheiro civil, mestre e doutor em engenharia pela Escola Politécnica da USP, especialista em infraestrutura sênior, responsável pelo programa de gestão de riscos e prevenção de desastres do Ministério das Cidades entre 2003 e 2014.



APRESENTAÇÃO

Secretaria Nacional de
Periferias do Ministério
das Cidades

A criação da Secretaria Nacional de Periferias (SNP) em 2023, no âmbito do Ministério das Cidades, representou um marco político e institucional decisivo para o fortalecimento da agenda nacional de prevenção de riscos e adaptação climática. Este novo capítulo na gestão pública brasileira, conduziu a necessidade de atualizar e expandir os instrumentos técnicos voltados aos territórios mais vulneráveis, servindo como impulsionador para a revisão e ampliação das orientações aqui descritas.

Neste contexto, apresentamos o livro “**Mapeamento de Riscos: Conceitos e métodos aplicados a processos geológicos e hidrológicos**”, uma atualização fundamental e necessária da publicação “*Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios*”, publicada originalmente em 2007. Esta nova edição reflete o amadurecimento técnico alcançado nas últimas décadas, trazendo novas abordagens, métodos, técnicas e uma conceituação revisada e inclusiva, no que tange às diferentes realidades brasileiras, para responder aos desafios impostos pelo agravamento da crise climática e pela dinâmica das periferias brasileiras.

Este livro rompe com antigos paradigmas ao reafirmar, sob uma sólida fundamentação científica, que os riscos não são fatalidades da natureza, mas sim construções sociais. Essa perspectiva reconhece que a vulnerabilidade das periferias é o resultado direto de modelos de urbanização que, historicamente, segregaram as populações de menor renda em áreas de fragilidade ambiental, como encostas íngremes e planícies de inundação. Nesse contexto, a gestão de riscos deixa de ser uma agenda meramente reativa para consolidar-se como uma política de Estado estratégica, voltada à garantia efetiva do direito à cidade e à moradia digna.

Para garantir o rigor científico e a aplicabilidade prática desta obra, seus capítulos contam com a autoria de profissionais de grande expertise nas áreas de mapeamento de riscos do Brasil. O corpo de autores reúne especialistas de instituições e universidades que foram protagonistas na construção das metodologias de gestão de riscos no país, unindo a excelência acadêmica à vivência prática e diária nas periferias.

No campo técnico, o livro oferece diretrizes rigorosas para o diagnóstico de processos hidrológicos e geológicos, sistematizando critérios de perigo e vulnerabilidade expressos na relação fundamental: **Risco = Ameaça × Exposição × Vulnerabilidade**.

Inovamos, ao integrar modelagens quantitativas avançadas à riqueza do mapeamento participativo, reconhecendo que o saber popular e a memória das comunidades são indispensáveis para o refinamento do diagnóstico técnico e para o fortalecimento da resiliência local.

Que este livro sirva como orientativo para que gestores e sociedade civil possam, juntos, transformar cenários de risco, especialmente nas periferias, em territórios de vida, dignidade e cidadania.



INTRODUÇÃO

Jackeline Leite Pereira Pavin;
Daniela Buosi Rohlfs

O processo de gestão de riscos e desastres no Brasil vem atravessando mudanças profundas, impulsionadas pela urgência de respostas técnicas robustas frente à aceleração da crise climática. Evidências atuais demonstram que o agravamento dos extremos climáticos, manifestado pela maior severidade de eventos críticos, gera impactos sistêmicos que superam a capacidade de resiliência das infraestruturas urbanas tradicionais. Segundo o IPCC (2023), o aquecimento global decorrente das atividades humanas, resultou em mudanças rápidas na dinâmica atmosférica e oceânica, elevando a intensidade de precipitações e inundações a níveis que superam a capacidade de suporte dos territórios e a precária infraestrutura existente em diversas localidades do Brasil.

Nesse contexto, o Plano Clima Adaptação (Brasil, 2025a) estabelece que a recorrência de eventos extremos exige uma evolução da ciência do risco para uma abordagem multirrisco, reconhecendo interações em cascata, tais como secas severas seguidas de chuvas intensas em solos hidrofóbicos, que resultam em enxurradas bruscas. No âmbito municipal e territorial, essa diretriz operacionaliza-se por meio do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) (Brasil, 2025b), focado em medidas estruturantes de médio e longo prazo, e do Plano Comunitário de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA) (Brasil, 2025c). O PCRA atua na escala do território, fortalecendo a resiliência comunitária por meio da identificação participativa de riscos e do planejamento de medidas de adaptação locais. Ambos os instrumentos são vitais para que o diagnóstico técnico seja instrumento efetivo na mitigação e prevenção de riscos de populações vulnerabilizadas.

Nesse cenário, o mapeamento de riscos vai além do mapeamento geológico tradicional, para consolidar-se como um instrumento estratégico de suporte à decisão e redução de vulnerabilidades. Isto porque, a compreensão da natureza socialmente construída do risco revela que os desastres resultam da interação entre ameaças geodinâmicas e vulnerabilidades socioespaciais preexistentes, muitas vezes ancoradas em um processo histórico de urbanização excludente. No Brasil, esse fenômeno remonta à Lei de Terras de 1850 (Brasil, 1850) e à consolidação de um “nó da terra” (Maricato, 2002) que empurrou milhões de pessoas para áreas de fragilidade ambiental, o que Santos (2005) define como a produção social do espaço por meio da auto-organização da sobrevivência.

A estrutura deste livro é rigorosamente técnica e está organizada em quatro capítulos:

- **Capítulo 1:** Panorama e conceitos básicos sobre riscos e desastres geológicos e hidrológicos,;
- **Capítulo 2:** Processos Hidrológicos, detalhando a dinâmica de inundações, alagamentos e enxurradas;
- **Capítulo 3:** Processos Erosivos, com foco em dinâmicas continentais, costeiras e fluviomarinhas;
- **Capítulo 4:** Movimentos Gravitacionais de Massa, detalhando a dinâmica de rastejos, deslizamentos, queda, rolamento e tombamento de blocos rochosos, fluxo ou corridas de detritos, subsidências e colapsos.

Cabe enfatizar que a eficácia desses métodos depende de sua integração aos instrumentos de planejamento territorial e ao diagnóstico participativo. Um trabalho de campo minucioso, amparado por fichas de cadastro sistemáticas e enriquecido pela memória das comunidades expostas, permanece como a metodologia mais legítima para subsidiar a tomada de decisão governamental. A engenharia preventiva, integrada às geociências, deve consolidar-se como o pilar de políticas públicas que unam soluções estruturais, tais como obras de contenção de encostas, a Soluções Baseadas na Natureza (SBN). Conforme as diretrizes de SBN nas Periferias (Brasil, 2024), essas estratégias utilizam processos naturais para enfrentar desafios climáticos, promovendo a adaptação inclusiva e a resiliência dos territórios.

Ao consolidar estas diretrizes, a Secretaria Nacional de Periferias reafirma seu compromisso com uma política pública onde a técnica está subordinada à preservação da vida. Espera-se que os parâmetros técnicos aqui sistematizados sirvam de guia para que gestores e a sociedade civil unam esforços na construção de cidades mais seguras, justas e climaticamente resilientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 601, de 18 de setembro de 1850. Dispõe sobre as terras devolutas do Império. Rio de Janeiro, 1850. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l0601-1850.htm. Acesso em: 03 jul. 2026.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. SBN nas periferias: avanços na regulamentação de uma nova política pública. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Clima Adaptação. Brasília, DF: MMA, 2025a.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Periferia sem risco: guia para planos municipais de redução de riscos (PMRR). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025b.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Guia para Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025c.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023.

MARICATO, Ermínia. O nó da terra. Piauí, n. 1, p. 1-12, 2002.

SANTOS, Milton. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.



CAPÍTULO 1 PANORAMA E CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RISCOS E DESASTRES GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

*Leonardo Andrade de Souza;
Fernando Rocha Nogueira;
Omar Yazbek Bitar;
Leonardo Santos Salles Varallo;
Daniela Buosi Rohlfs;
Jackeline Leite Pereira Pavin;
Rodolfo Baêso Moura*

A gestão de riscos relacionados a processos geológicos e hidrológicos recorrentes no Brasil, como movimentos de massa, dinâmicas hidrológicas e processos erosivos e de instabilidade do solo, tem sido historicamente estruturada a partir de soluções desenvolvidas pelas geociências aplicadas. Destacam-se, nesse contexto, as contribuições da geografia, da geologia, e das engenharias civil, ambiental, urbana, geotécnica, hidráulica, hídrica e de sedimentos, que fornecem fundamentos técnicos que dão suporte à análise, prevenção e mitigação desses fenômenos.

A intensa urbanização iniciada em meados do século XX agravou conflitos sociais e ampliou a degradação ambiental urbana. Esse processo afetou de forma assimétrica as populações mais vulneráveis no Brasil e no mundo. Nesse cenário, a gestão de riscos incorporou contribuições de diversos campos, como ciências sociais, planejamento urbano, políticas públicas e comunicação. Essa diversificação reflete a ampliação dos atores envolvidos (governos, comunidades, universidades e empresas), que agora integram a análise e a implementação de ações para redução de desastres.

Desse modo, amplia-se a capacidade de formular e implementar soluções mais abrangentes e eficazes, capazes de contemplar múltiplas dimensões relacionadas à segurança das populações expostas a processos geológicos e/ou hidrológicos. Ao mesmo tempo, tais abordagens incorporam questões essenciais de sustentabilidade e de qualidade de vida nos assentamentos urbanos, fortalecendo a integração entre gestão de riscos, planejamento territorial e desenvolvimento urbano sustentável.

Os estudos de Hermelin (2005) no campo das geociências aplicadas a desastres evidenciam a importância de se adotar uma perspectiva ampliada à gestão de riscos, destacando especialmente a análise da vulnerabilidade em comunidades expostas a ameaças. Essa compreensão também se reflete em autores de diferentes áreas que atuam de forma multidisciplinar no tema, como Santos *et al.*,(2007), Sulaiman

Movimentos de massa: deslizamentos, queda de rolamento de blocos, rastejos, corrida de detritos

Dinâmicas hidrológicas: enxurradas, inundações e alagamentos.

Processos erosivos e de instabilidade do solo: erosões fluvial, pluvial e costeira, assoreamento, subsidência e colapsos.

e Jacobi (2018) e Brasil (2024). Em conjunto, esses trabalhos reforçam a necessidade de expandir a abordagem tradicional centrada apenas na identificação dos riscos, incorporando não apenas os aspectos relacionados à vulnerabilidade, mas também a participação social e a construção de uma cultura contínua de prevenção, elementos essenciais para enfrentar os novos desafios impostos à gestão de riscos.

A série de conferências internacionais dedicadas à gestão de riscos e desastres, promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) ao longo das últimas décadas, com a participação de profissionais de instituições e organizações de diferentes setores, ressalta os esforços globais para ampliar e aprimorar a abordagem sobre o tema. Nesse contexto, destacam-se os eventos conduzidos por distintas agências da ONU, como o United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), voltado à redução de riscos e desastres; o United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), dedicado ao enfrentamento da precariedade nos assentamentos humanos urbanos e rurais; o United Nations Development Programme (UNDP), responsável pela promoção do desenvolvimento sustentável; e o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), que trata do aquecimento global de origem antropogênica e dos impactos regionais e locais decorrentes das mudanças climáticas.

Na formulação do Acordo de Sendai, resultante da 3ª Conferência Mundial da UNDRR e direcionado ao período de 2015–2030 (UN, 2015), ganhou destaque a discussão sobre a natureza sistêmica do risco. Essa perspectiva levou ao estabelecimento de prioridades para que os países signatários avançassem no conhecimento e na compreensão de seus territórios, considerando as complexidades envolvidas e a multiplicidade de fatores que contribuem para a geração do risco. Para isso, torna-se imprescindível integrar saberes e perspectivas provenientes de diferentes campos do conhecimento, bem como assegurar a participação ativa de todos os setores e agentes envolvidos no tema.

A avaliação do andamento do Acordo de Sendai (UNDRR, 2023), realizada após a metade do período previsto para sua implementação, indica que, no que se refere à prioridade de compreender os múltiplos fatores que contribuem para a criação do risco, a maioria dos países

reconhece que ampliar o acesso a dados de qualidade é fundamental para a redução eficaz dos riscos. O relatório observa: i. que a informação sobre riscos tem sido cada vez mais incorporada ao planejamento do desenvolvimento e para a adaptação ao contexto de mudanças climáticas; ii. a necessidade de monitorar e avaliar esse movimento com base empírica, de modo a aferir adequadamente o grau de assimilação e os efeitos desejados nas políticas públicas; iii. que justiça, inclusão social e direitos humanos permanecem elementos essenciais para uma abordagem abrangente da redução de riscos; e, por fim, iv. destaca que novas tecnologias têm ajudado a suprir lacunas de dados e aperfeiçoar a tomada de decisão, enquanto formas emergentes de colaboração têm fortalecido a compreensão da natureza sistêmica do risco.

RELACIONANDO CONCEITOS BÁSICOS

Considerando o contexto evolutivo das competências científicas nesse campo do conhecimento, entende-se que a apresentação de conceitos básicos em um compêndio destinado a subsidiar **mapeamentos para fins de setorização de risco e planejamento de medidas de mitigação**, especialmente em territórios urbanos periféricos e precários, deve ser estruturada de modo a facilitar a comunicação e cooperação entre os diversos agentes envolvidos na gestão de riscos e de desastres. Busca-se, assim, promover um entendimento comum que possa ser utilizado pelo público em geral, por autoridades governamentais e por profissionais de diferentes áreas que atuam na temática.

Inclui-se, nesse escopo, a formulação de **planos municipais de redução de riscos** que incorporem a cartografia geotécnica voltada à setorização de risco em escala de detalhe, assegurando também a participação da sociedade em seu processo de elaboração. Esses planos devem indicar medidas de mitigação estruturais (obras de engenharia) e não estruturais (soluções diversas), selecionadas conforme sua prioridade e viabilidade socioambiental e econômica, contribuindo simultaneamente para o aprimoramento do planejamento urbano municipal.

Nesta discussão, buscou-se evitar o engessamento de conceitos, reconhecendo que, na prática inter-

disciplinar, determinadas definições podem gerar controvérsias e dúvidas, dificultando sua aplicação no planejamento de medidas de mitigação. Por isso, os conceitos apresentados aqui concentram-se em elementos fundamentais compartilhados pelos diferentes atores envolvidos. Detalhamentos específicos aparecem nos itens dedicados aos processos geológicos e hidrológicos, onde podem ocorrer variações e distinções próprias de cada fenômeno.

Além disso, será adotada aqui, uma conceituação básica capaz de ser aplicada a diferentes regiões do país e aos diversos tipos de processos geológicos e hidrológicos identificados no território nacional. Essa abordagem está alinhada aos objetivos das ações estratégicas de prevenção (evitar a criação de novos riscos) e mitigação (reduzir riscos existentes), previstas tanto no Acordo de Sendai, quanto na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) – Lei Federal 12.608/2012 (Brasil, 2012).

As ações de **prevenção** têm como finalidade central antecipar problemas e evitar a criação de novos riscos, tanto na ocupação de áreas suscetíveis, cujo avanço deve ser planejado e monitorado, quanto no interior de assentamentos já consolidados, considerando sua dinâmica de expansão e adensamento. Já as ações de **mitigação**, além das medidas estruturais (obras) para a eliminação do risco, podem envolver também a convivência ativa com o risco já instalado, buscando impedir sua evolução para situações de maior complexidade que comprometam a viabilidade prática de soluções urbanísticas e de engenharia previamente planejadas.

Por sua vez, as ações subsequentes previstas na PNPDEC – preparação, resposta e recuperação – também podem se beneficiar das aplicações conceituais aqui discutidas. A fase de **preparação** envolve a organização da estrutura e do funcionamento dos sistemas de resposta a emergências. A fase de **resposta** busca proteger vidas e bens, além de restabelecer os serviços essenciais diante da ocorrência de eventos destrutivos. Já a fase de **recuperação** compreende a reconstrução da infraestrutura afetada e a reabilitação das dinâmicas socioambientais e econômicas impactadas. Em todas essas etapas, os fundamentos conceituais apresentados contribuem para qualificar a tomada de decisão e fortalecer a gestão integrada do risco. Também, é importante

destacar que o planejamento e implementação dessas ações precisam se apoiar no conhecimento detalhado e especializado dos riscos.

Considerando a evolução metodológica das últimas décadas, que transita da análise fenomenológica de processos geológicos e hidrológicos, como apresentado por Cerri e Amaral (1998), Carvalho, Macedo e Ogura (2007) e Fell *et al.*, (2008), para abordagens integradas que exigem a ampliação dessa perspectiva (UN, 2015; IPCC, 2014; IPCC, 2022, UNDRR, 2023; UNDRR, 2025), a fundamentação aqui adotada, ancora-se na interação dinâmica entre ameaça, exposição e vulnerabilidade. Tal abordagem reconhece o risco não como um evento natural inevitável, mas como um produto de processos sociais, sintetizado na seguinte relação:

$$\text{Risco} = \text{Ameaça} \times \text{Exposição} \times \text{Vulnerabilidade.}$$

Sob esta perspectiva, a estimativa de **Risco** resulta da integração de três fatores: a **Ameaça** (processo físico com potencial de dano, como deslizamentos ou inundações), a **Exposição** (elementos presentes na área afetável) e a **Vulnerabilidade** (grau de fragilidade desses elementos).

Operacionalmente, o **Perigo (P)** representa a ameaça integrada à exposição em um território, enquanto a **Consequência (C)** sintetiza a vulnerabilidade física e a estimativa de perdas humanas e materiais. Uma variação terminológica conceitual e operacional, frequentemente adotada, refere-se à fórmula conceitual de risco expressa como o produto da interação entre **perigo** e **consequência**:

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Consequência}$$

Nessa abordagem, o perigo (P) passa a representar a própria condição de ameaça integrada à exposição dos elementos em um dado território. A consequência (C), por sua vez, sintetiza a vulnerabilidade física desses elementos expostos combinada à estimativa de perdas humanas, sociais e materiais esperadas.

Na sequência, serão discutidos os fatores **suscetibilidade, perigo, consequência** e **vulnerabilidade**. Para cada fator, serão abordados diferentes aspectos a serem considerados na análise, sem que isso exclua outros que possam ser incorporados conforme a escala, a finalidade e os dados disponíveis em cada mapeamento ou setorização de risco. Ao final, são apresentadas variações na forma de combinar esses fatores para a estimativa geral do **risco**.

Perigo (P)

O conceito de perigo é comumente relacionado, na literatura internacional, a um processo, fenômeno ou atividade humana com potencial de causar perda de vidas, ferimentos, impactos à saúde, danos à propriedade, perturbação social e econômica ou degradação ambiental (UNDRR, 2025). Assim, o perigo é considerado uma **condição potencial de ameaça**, cuja ocorrência eventual tende a gerar impactos socioambientais e econômicos significativos em determinado local.

No contexto prático de mapeamento e setorização de riscos geológicos e hidrológicos, a avaliação probabilística do **Perigo** deve se fundamentar na construção do provável cenário evolutivo da **ameaça**, requerendo-se a compreensão prévia das interações dinâmicas entre a **suscetibilidade** inerente ao meio físico, os aspectos de indução, aceleração e/ou deflagração do processo e as condições de ocupação na **área** potencialmente afetada, em dado período considerado na análise. A figura 1 exemplifica a integração dos fatores básicos do risco na localidade de Ponta Negra, no município de Parati/RJ.

Suscetibilidade (S)

A suscetibilidade é a potencialidade de o meio físico desenvolver processos geológicos e hidrológicos, e estes causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (Sobreira e Souza, 2012). A ocorrência desses processos é condicionada pela predisposição natural do terreno (geologia, relevo, solos, hidrologia), mas pode ser potencializada por fatores indutores antrópicos, como as práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, ou por fatores gatilhos, como eventos extre-

mos de chuva. Estudos de suscetibilidade analisam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos diante desses processos, independentemente da ocupação humana. Neles, são avaliados os processos que podem ocorrer em áreas abrangentes, considerando agentes deflagradores de diferentes magnitudes, sem atribuição de probabilidade ou tempo de retorno. Os resultados são representados em cartas de suscetibilidade, que têm caráter eminentemente qualitativo e são mais eficazes no planejamento em nível macro. Essas cartas indicam as áreas com maior ou menor propensão a processos perigosos, orientando restrições e diretrizes para uso e ocupação do solo.

No mapeamento da suscetibilidade em nível local, as características ambientais mais relevantes devem ser priorizadas para subsidiar a compreensão das condições potenciais de ameaça e, posteriormente, orientar as setorizações de risco. Os atributos investigados variam conforme o processo analisado e envolvem:

- **Geologia:** litologia, estruturas geológicas, grau de alteração.
- **Relevo:** altimetria, declividade, amplitude, forma e perfil das encostas, presença de cabeceiras de drenagem.
- **Solos:** espessura, profundidade do topo rochoso, tipologia (solos de acumulação ou degradação, residuais ou transportados, jovens ou maduros, solos superficiais e de alteração), outras características geotécnicas condicionantes ou resistentes ao desenvolvimento de processos geológico-geotécnicos e/ou hidrológicos.
- **Hidrologia:** dinâmica e morfometria das bacias hidrográficas, vazões dos cursos d'água, regime de escoamento superficial, capacidade de infiltração, presença de áreas úmidas e saturadas.
- **Águas subterrâneas:** profundidade do nível d'água, características dos lençóis freáticos, surgências e fluxos em subsuperfície.
- **Outros fatores específicos**, conforme o tipo de processo e as condições locais.

Figura 1 – Integração dos fatores básicos do risco em um cenário de deslizamentos e rolamentos de blocos rochosos em Ponta Negra/RJ.



Foto: Fábio de Santis Campos, 2023. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

A obtenção de dados de campo é imprescindível para esse nível de detalhe e deve ser realizada por meio de levantamentos específicos. Quando houver investigações geotécnicas e dados prévios disponíveis sobre o regime e a distribuição espacial das chuvas na região, essas informações devem ser incorporadas ao mapeamento, dado seu papel direto na deflagração dos processos.

Em termos operacionais, o perigo corresponde à probabilidade de ocorrência de uma condição de ameaça em dado período, considerando a **suscetibilidade** do processo geológico ou hidrológico envolvido e a presença de elementos expostos.

Deve-se atentar para áreas onde a suscetibilidade natural do meio físico é baixa ou nula, mas que, sob ocupação, passam a apresentar perigo real de perdas e danos. Nesses cenários, as intervenções antrópicas alteram de tal forma a dinâmica local que criam uma ameaça onde antes não havia propensão física. Modificações severas na geometria das encostas, sobrecargas estruturais ou desvios no sistema de drenagem, reformulam o comportamento original dos terrenos, induzindo perigos estritamente associados ao padrão de uso do solo. Em síntese, intervenções humanas podem modificar o comportamento natural dos terrenos e induzir a formação de perigos que não existiriam em condições originais.

Na configuração do cenário de perigo, é essencial identificar as evidências de campo que indicam a indução, a deflagração ou a aceleração de processos, tais como:

- Feições erosivas ativas e ravinamentos;
- Trincas e rachaduras no solo ou nas estruturas das edificações;
- Degraus de abatimento e desníveis no terreno;
- Árvores, postes ou muros inclinados;
- Cicatrizes de movimentos de massa recentes;
- Campos de blocos rochosos e taludes fraturados;
- Marcas de lâmina d'água em edificações e áreas de inundação recorrente.

Paralelamente, devem ser mapeadas as alterações decorrentes da infraestrutura urbana e do adensamento local que interferem na dinâmica do terreno: lançamento concentrado de águas servidas, estruturas hidráulicas

subdimensionadas ou obstruídas, cortes de taludes para implantação de vias e impermeabilização do solo. Esses fatores podem modificar – para mais ou para menos – as suscetibilidades inerentes ao meio físico, influenciando diretamente a configuração da ameaça.

Por fim, analisa-se o estágio evolutivo da ameaça para delimitar a área potencialmente afetada. Essa análise inclui estimar o alcance espacial e temporal dos materiais mobilizáveis (volumes de solo, rocha, água ou detritos) e identificar as zonas de impacto direto.

A inclusão da variável temporal altera a percepção do perigo:

- **Sem a variável temporal:** a análise limita-se a espacializar a suscetibilidade e a indicar a área de alcance da ameaça, o que pode atenuar a percepção de urgência das ações de mitigação.
- **Com estimativa temporal:** o cenário assume caráter de urgência, induzindo maior agilidade na implementação de obras estruturais de contenção ou ações de remoção temporária de moradores.

Consequência (C)

O fator consequência compreende os efeitos e impactos socioambientais e econômicos decorrentes da materialização de um cenário de perigo sobre o território analisado. Sua avaliação exige transcender os limites físicos da área diretamente afetada, identificando reflexos que alcancem o entorno imediato ou setores a jusante. Esses impactos podem comprometer sistemas de infraestrutura, ecossistemas e atividades sociais em diferentes escalas temporais e espaciais, devendo ser espacializados e registrados para fornecer uma compreensão integrada das repercussões do processo físico.

A caracterização detalhada da consequência é realizada a partir da delimitação da poligonal sob perigo, constituindo etapa norteadora para a estimativa quantitativa ou qualitativa do risco. Esse procedimento consiste em dimensionar a magnitude e a relevância das perdas potenciais sobre os elementos expostos, classificando-os em três categorias principais:

- População exposta: projeção de danos à integridade física, desalojados, desabrigados e óbitos.
- Infraestrutura e serviços básicos: vulnerabilidade das redes de saneamento, drenagem, vias de acesso, fornecimento de energia elétrica e telecomunicações.
- Ativos ambientais e socioeconômicos: impactos sobre corpos d'água, vegetação estabilizadora, comércio local e patrimônio material e imaterial das comunidades afetadas.

Vulnerabilidade (V)

Enquanto fator de ponderação da consequência para fins de estimativa do risco, a caracterização da vulnerabilidade deve considerar os aspectos físicos inerentes aos elementos expostos, estabelecidos no cenário de **Perigo**. Essa caracterização envolve a análise da tipologia construtiva, da presença de eventuais anteparos, dos sistemas de drenagem, das estruturas de contenção e de outros componentes relevantes.

No entanto, o avanço do debate sobre a gestão integrada de riscos exige que a análise incorpore também os processos socioambientais, urbanos e econômicos que moldam a fragilidade do território. Esses fatores dinâmicos atuam de forma direta na atenuação ou na ampliação dos efeitos físicos da **Consequência**.

Nessa perspectiva ampliada, a vulnerabilidade passa a englobar três dimensões interdependentes:

1. **Vulnerabilidade Física:** resistência e resposta estrutural das moradias e da infraestrutura urbana diante das forças geradas pelo processo geológico ou hidrológico.
2. **Vulnerabilidade Socioeconômica:** condições de renda, acesso a serviços básicos e perfil demográfico da população afetada, que determinam a capacidade financeira e social de absorver o impacto.
3. **Capacidade de Resiliência:** o grau de preparação e adaptabilidade do sistema urbano. Esta dimensão avalia a qualidade da governança local, a robustez da organização comunitária para ações colaborativas de adaptação climática, e a eficiência dos planos de preparação, resposta e recuperação pós-desastre (UNDRR, 2025).

A integração dessas dimensões, que abrangem desde a coesão social e a corresponsabilidade na gestão de riscos até a consolidação de canais de diálogo entre poder público, comunidade e empresas, permite construir um diagnóstico abrangente da vulnerabilidade do território, superando a análise estritamente construtiva.

Risco (R)

A estimativa de **Risco (R)**, seja ela qualitativa ou quantitativa, envolve a análise integrada dos fatores conceituais discutidos – **Perigo (P)** e **Consequência (C)** – os quais concorrem dinamicamente para sua geração e evolução no território. Esses fatores devem ser considerados nos mapeamentos destinados à setorização de risco e em estudos correlatos aplicados a assentamentos urbanos sujeitos a processos geológicos e/ou hidrológicos.

Na composição e na perspectiva de **Classificação do Risco**, especialmente voltadas à formulação de planos municipais de redução de riscos (PMRR), é fundamental reconhecer a interdependência entre os fatores básicos. À medida que aumenta a magnitude de P, C e V, eleva também o risco; de modo inverso, a redução desses fatores implica diminuição do risco. No limite conceitual, a ausência de ameaça ou de exposição anula o perigo e, consequentemente, zera o risco. Da mesma forma, na ausência de consequência, não há razão para se referir à existência de risco a ser gerido.

Dada a associação a fatores básicos que envolvem, necessariamente, a compreensão da estrutura e da dinâmica da ocupação urbana na análise a ser efetuada, ou seja, tanto na avaliação do perigo, quanto da consequência e de sua vulnerabilidade associada, ressalta-se o inequívoco caráter antrópico do risco.

Assim, o conhecimento dos fatores básicos e a diretriz de gestão integrada no sentido primordial de reduzir a dimensão de cada um deles (P, C e V), por meio da formulação e implementação de medidas estruturais (obras de engenharia) e não estruturais (soluções diversas), tende a propiciar as bases para a elaboração de planos municipais de redução de riscos e estudos correlatos mais completos e abrangentes. Dessa forma contribui-se para assegurar maior efetividade na mitigação do risco.

No quadro 01, apresenta-se uma síntese estruturada e exemplos práticos dos principais conceitos aplicados ao mapeamento de riscos geológicos e hidrológicos, consolidando as interações causais discutidas neste capítulo.

Quadro 1 – Síntese dos conceitos básicos do risco.

FATOR	CONCEITO	CARACTERÍSTICAS
Ameaça	Ameaça (do inglês hazard) é todo processo ou fenômeno físico com potencial de causar impactos negativos, como movimentos de massa, inundações, erosões e subsidências. Ela é definida pela sua probabilidade e intensidade, mas não leva em conta os elementos expostos (pessoas, edificações, infraestrutura), que pertencem a outra dimensão da análise de risco.	Toda ameaça é caracterizada por duas propriedades intrínsecas: magnitude (intensidade do fenômeno) e alcance espacial (extensão territorial que pode atingir). Quando a essas características se associa uma probabilidade de ocorrência, a ameaça passa a configurar o que chamamos de perigo — ou seja, o perigo é a ameaça medida pela sua chance de acontecer.
Exposição	Exposição é a presença de elementos que podem ser afetados por uma ameaça, sejam pessoas, modos de vida, espécies, ecossistemas, infraestrutura, serviços ambientais ou ativos econômicos, sociais e culturais, situados em áreas e condições que os tornam suscetíveis a sofrer danos (IPCC, 2022).	A exposição identifica os elementos sujeitos a serem atingidos pela ameaça.
Vulnerabilidade (V)	Vulnerabilidade é a propensão de um sistema — seja uma comunidade, um ecossistema ou uma infraestrutura — a sofrer impactos negativos. Ela não se resume à simples exposição a uma ameaça: envolve três componentes interligados: a sensibilidade (ou susceptibilidade) ao dano, a incapacidade de lidar com os impactos quando ocorrem, e a baixa capacidade de se adaptar às mudanças ao longo do tempo (IPCC, 2022).	A vulnerabilidade é composta por três dimensões interligadas: características físicas dos elementos expostos (como tipo de construção e localização), fatores socioeconômicos (renda, acesso a serviços, organização comunitária) e capacidade de resiliência (habilidade de se preparar, responder e se recuperar). A variação desses componentes — para mais ou para menos — altera diretamente o grau esperado de perdas e danos sobre os elementos expostos. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o dano potencial para uma mesma ameaça.
Consequência (C)	Efeitos e impactos adversos - perdas humanas, danos materiais, impactos socioeconômicos e ambientais - decorrentes do cenário de Perigo.	Pode extrapolar a área diretamente afetada desde que haja elementos expostos e impactos indiretos sobre a qualidade de vida e saúde.
Suscetibilidade	Potencialidade do meio físico ao desenvolvimento de processos geológicos/hidrológicos, independe da ocupação humana. A suscetibilidade é uma base para identificar onde a ameaça pode ocorrer, mas não é a ameaça. Representa o terreno natural, mas não considera probabilidade, intensidade e os elementos expostos.	Deve considerar fatores como geologia, relevo, solos, hidrologia, águas subterrâneas, regime de chuvas. Expresso na forma de cartografia temática predominantemente qualitativa.
Perigo (P)	Condição de exposição a uma ameaça, considerando a proximidade, a intensidade do fenômeno e a probabilidade de dano. O perigo (P) é a condição em que uma ameaça encontra elementos expostos.	Análise baseada na suscetibilidade em conjunção a fatores de indução/deflagração dos processos em locais ocupados. O perigo considera o caráter evolutivo da ameaça por um determinado período. Pode ser expresso por grau de probabilidade.
Risco (R)	Risco é o resultado da interação entre ameaça (A), exposição (E) e vulnerabilidade (V) — não uma soma simples, mas uma relação em que cada componente amplifica ou atenua os demais. Um mesmo deslizamento (ameaça) causa danos muito diferentes dependendo de quantas pessoas e bens estão expostos (exposição) e do grau de preparo dessas pessoas e estruturas para resistir e se recuperar (vulnerabilidade). Formalmente, representa-se como: $R = A \times E \times V$ Diferentemente do perigo — que combina ameaça e probabilidade —, o risco incorpora as condições do território ocupado, ou seja, quem está lá e em que condições. Por isso, reduzir o risco não passa apenas por controlar a ameaça (contenção de encosta, por exemplo), mas também por reduzir a exposição (realocar moradias) e diminuir a vulnerabilidade (melhorar habitações, criar sistemas de alerta, fortalecer a organização comunitária)	O risco, portanto, é o resultado da integração entre ameaça, exposição e vulnerabilidade aplicada a um território específico e a um período determinado, não existe risco no abstrato, fora de um lugar e de um contexto temporal. Por envolver escolhas sociais sobre onde e como se ocupa o território, o risco tem caráter essencialmente antrópico: é moldado por determinantes socialmente construídos, como desigualdades sociais e assimetrias de investimento público. Um mesmo fenômeno físico produz riscos muito diferentes em territórios com perfis socioeconômicos distintos. Por fim, o risco pode ser expresso de forma qualitativa (alto, médio, baixo) ou quantitativa (probabilidade estimada de perda em reais, número de vidas afetadas, área atingida), dependendo dos dados disponíveis e do objetivo da análise

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES: CONCEITOS E ESTRATÉGIAS EM CONSTANTE EVOLUÇÃO

Os riscos e desastres no século XXI possuem causas estruturais que transcendem seus fatores deflagradores imediatos. Eles não se explicam apenas pela ocorrência de eventos naturais extremos, como chuvas intensas que provocam inundações e deslizamentos, nem por falhas tecnológicas isoladas, como o colapso de barragens. Tem se consolidado, de forma progressiva, o entendimento de que os riscos não são naturais, mas sim construídos socialmente, resultantes da maneira como a sociedade modifica o ambiente, se apropria de seus recursos e ocupa os territórios (Sulaiman, Moura & Nogueira, 2021).

Pode-se definir a **gestão de riscos e desastres (GRD)** como um processo permanente e contínuo da sociedade, apoiado por estruturas institucionais e comunitárias de governança, voltado à identificação, redução e controle dos fatores de risco que atuam no território. Esse processo se materializa por meio da implementação de políticas públicas, estratégias, instrumentos legais e ações concretas, como iniciativas de informação, mobilização social e organização de procedimentos coletivos articulando-se diretamente com os processos de gestão sustentável do desenvolvimento e do ambiente.

Os anos 90 ficaram marcados como a Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais – DIRDN (1990–1999), na campanha lançada pela Organização das Nações Unidas (ONU) para promover estratégias de prevenção. As diretrizes propostas já indicavam a importância do conhecimento dos riscos: (1) identificação dos riscos; (2) análise de riscos; (3) medidas de prevenção e mitigação; (4) preparação para as emergências; e (5) informações públicas e treinamentos.

Predominava, nesse período, a forte perspectiva positivista de que soluções técnicas, especialmente aquelas oriundas da engenharia, seriam capazes de “controlar” a natureza. Esse paradigma foi progressivamente contestado ao longo da década, no sentido de superar a concepção de que o risco é um elemento “natural”, com causalidades externas às dinâmicas de desenvolvimento territorial, econômico e social, e que poderia ser enfrentado exclusivamente por meio de

práticas de engenharia e geotecnologias, centradas no manejo dos desastres já materializados.

Assumir que o risco é socialmente construído e que **os desastres não são naturais** implica reconhecer o contexto histórico que produziu e continua produzindo os riscos, as formas de ocupação do território, as relações sociais e as escolhas políticas e econômicas adotadas ao longo do tempo (Veyret; Richemond, 2007).

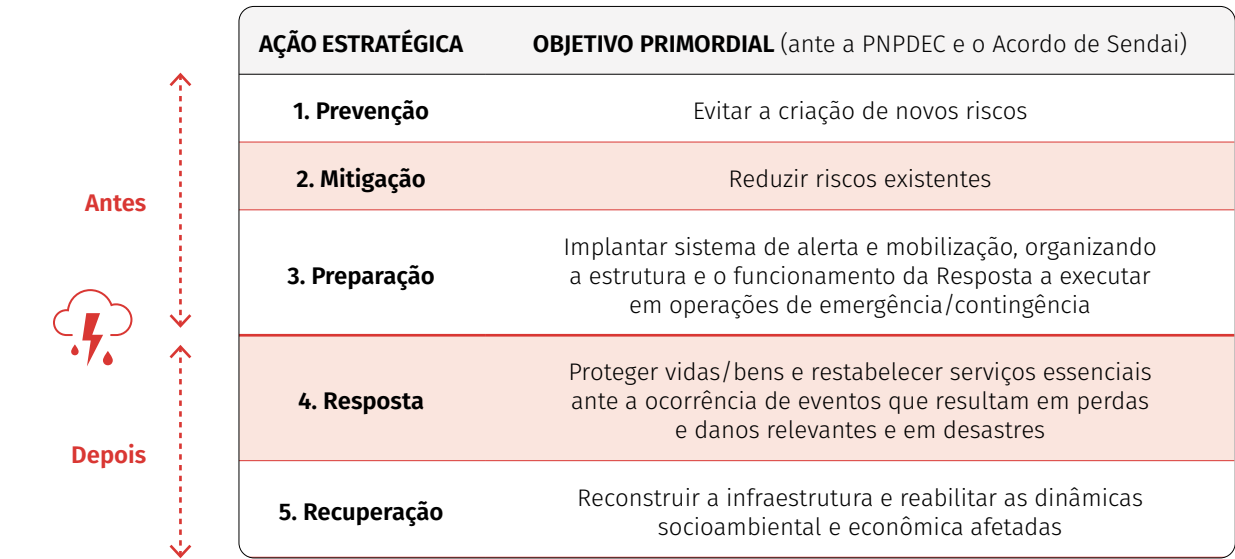
O Marco de Ação de Hyogo (2005–2015), primeiro protocolo global para redução de riscos, adotado por 168 países na Conferência Mundial da ONU, já incorporou esse debate, destacando a necessidade de reduzir a vulnerabilidade das populações em risco e seus fatores sociais, aumentando a prevenção e a resiliência das cidades. Dez anos depois, o Marco de Sendai (2015-2025) nos apontou a importância da governança e participação política da sociedade na gestão de riscos e desastres.

No Brasil, a Lei n º 12.608, de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), trouxe novas perspectivas para a GRD. Essa Lei dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e sobre o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). A PNPDEC deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

São diretrizes da PNPDEC, no Artigo 4:

- I. atuação articulada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios para redução de desastres e apoio às comunidades atingidas;
- II. abordagem sistêmica das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação;
- III. a prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres;
- IV. adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d’água;
- V. planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional;
- VI. participação da sociedade civil.

Figura 2 – Abordagem sistêmica das ações em gestão de risco e de desastres.



Fonte: elaborado a partir do Protocolo de Sendai, PNPDEC e legislação correlata.

A efetividade das políticas públicas nacionais depende, em grande medida, de sua concretização no nível municipal, uma vez que os desastres mais recorrentes no território brasileiro apresentam alcance predominantemente local ou regional. No entanto, os municípios tendem a ser mais frágeis, tanto em termos de capacidade econômica quanto técnico-administrativa. Por isso, torna-se fundamental a articulação entre diferentes escalas de gestão, permitindo a otimização de recursos materiais, técnicos, humanos e logísticos, que podem ser compartilhados entre municípios e outras instâncias regionais, como no âmbito das microbacias (Nogueira e Canil, 2018).

A Lei nº 12.608/2012 estabelece que os municípios devem conhecer os perigos presentes em seu território, elaborando cartas de suscetibilidade, cartas de aptidão à urbanização e cartas de setorização de risco. Os resultados desses instrumentos devem ser incorporados ao Plano Diretor Municipal e aos demais instrumentos de planejamento e gestão territorial e ambiental sob responsabilidade da administração pública e, igualmente, da sociedade em geral.

Nesse processo de evolução de conceitos e de políticas públicas, diante de conjunturas dinâmicas no Brasil e no mundo, a criação da Secretaria Nacional de Periferias (SNP), em 2023, representou um marco político relevante para o fortalecimento de uma agenda nacional voltada à prevenção de riscos e à adaptação climática nos territórios periféricos. Desde sua constituição, o Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco da SNP vem ampliando os limites das abordagens tradicionais de gestão de riscos e desastres (GRD).

Os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR) têm incentivado os municípios a adotar processos participativos em seus diagnósticos e na governança das ações (Brasil, 2026). Já os Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA) têm como objetivo promover o protagonismo de moradores de favelas e comunidades urbanas no reconhecimento dos riscos territoriais e na implementação de procedimentos de emergência e de medidas adaptativas de redução e controle de riscos (Brasil, 2026).

A abordagem metodológica para a gestão de riscos e desastres (GRD) proposta pela Secretaria Nacional de Periferias concentra-se em cinco eixos fundamentais:

- 1. Prevenção e antecipação de crises e desastres**, buscando reduzir a exposição e a vulnerabilidade antes que os eventos se materializem.
- 2. Reconhecimento de que riscos e desastres são socialmente construídos**, resultantes de um desenvolvimento urbano e territorial desigual, segregador e insustentável.
- 3. Valorização da diversidade socioambiental brasileira**, com a necessidade de leitura específica de cada território para orientar ações e medidas de prevenção adequadas ao contexto local.
- 4. Fortalecimento da resiliência nas comunidades periféricas**, apoiando-se em suas potências, capacidades e protagonismo como caminhos para superar vulnerabilidades históricas.
- 5. Estímulo a práticas e medidas adaptativas nas periferias diante da crise climática**, promovendo respostas locais inovadoras e sustentáveis.

SÍNTESE DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS E FATORES DO RISCO

A dinâmica dos riscos de desastres geológicos e hidrológicos fundamenta-se na interação entre o meio físico natural e a ação antrópica no território. Na base dessa relação está a suscetibilidade, que representa a predisposição intrínseca do terreno (definida por fatores como geologia, relevo, solos e hidrologia) para desenvolver processos instáveis, e que pode ocorrer de forma totalmente independente da presença humana. Quando essa propensão natural se manifesta como um fenômeno físico real com potencial de causar danos, caracteriza-se a ameaça, cuja gravidade é medida por sua magnitude e alcance espacial.

A presença de populações, infraestruturas e ativos ambientais localizados na área de influência dessa ameaça configura a exposição. A combinação direta da ameaça com a exposição do território, associada à probabilidade de ocorrência do evento em um determinado período, define o perigo.

A possibilidade de que esses elementos expostos sofram danos reais ao serem atingidos pelo perigo é determinada pela vulnerabilidade, que engloba a fragilidade física das estruturas, as condições socioeconômicas da população e a sua capacidade de resiliência para absorver e se recuperar do impacto.

Quando o perigo se materializa sobre um cenário vulnerável, ocorrem as consequências, que são os efeitos adversos tangíveis, como perdas humanas, danos materiais e prejuízos socioeconômicos.

O risco, portanto, consolida-se como a síntese preditiva de todo esse sistema, sendo expresso pela interação multiplicativa entre a ameaça, a exposição e a vulnerabilidade (). Por fim, essa estrutura conceitual demonstra que o risco é uma construção social, passível de redução por meio de intervenções planejadas em cada um de seus componentes.

Diante disso e a partir dessas premissas conceituais, serão detalhadas a seguir as dinâmicas das principais ameaças associadas à atuação de eventos hidrológicos e geológicos no território nacional. Os capítulos seguintes abordam, de forma prática e contextualizada, os movimentos de massa, que englobam deslizamentos em solos, rochas e depósitos antrópicos, rastejos, quedas e rolamentos de blocos rochosos, fluxos de detritos e movimentos complexos, além dos processos hídrico-erosivos, representados por inundações, enxurradas, alagamentos, processos erosivos continentais, dinâmicas costeiras e fluviomarinhas, e o solapamento de margens de rios e córregos. Essa análise respeita tanto a abrangência nacional quanto as especificidades geográficas e urbanas de cada região do Brasil. Adicionalmente, as próximas seções detalham os métodos para mapeamento de perigo e setorização de risco, fornecendo critérios técnicos e parâmetros de referência consolidados para orientar o trabalho de campo e a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. SBN nas periferias: avanços na regulamentação de uma nova política pública. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Guia para Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Periferia sem risco: guia para planos municipais de redução de riscos (PMRR). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2026.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; São Paulo: IPT, 2007.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

FELL, R. *et al.*, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, v. 102, 2008.

HERMELIN, M. (Ed.). Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. Medellín: Universidad EAFIT, 2005.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. Gestão de riscos e desastres: a importância da articulação entre diferentes escalas de gestão. In: SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (Org.). Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018.

SANTOS, Milton. A urbanização brasileira. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2005.

SANTOS, R. F. *et al.*, Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000. Belo Horizonte: CPRM/UFOP, 2012.

SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (Org.). Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018.

SULAIMAN, S. N.; MOURA, R. B.; NOGUEIRA, F. R. Gestão de riscos e desastres: um campo de conhecimento em construção. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 13, 2021.

UNDRR. Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030. Genebra: UNDRR, 2015.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2023). Geneva: UNDRR, 2023.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2025). Geneva: UNDRR, 2025.

VEYRET, Yvette; RICHEMOND, Nancy Meschinet de. L'invention du risque. Paris: Armand Colin, 2007.

CAPÍTULO 2 PROCESSOS HIDROLÓGICOS

Leonardo Andrade de Souza,
Ana Elisa Silva de Abreu,
Filipe Antônio Marques Falcetta,
Daniela Buosi Rohlfs,
Jackeline Leite Pereira Pavin,
Rodolfo Baêso Moura,
Fernando Rocha Nogueira,
Leonardo Santos Salles Varallo.

Os processos hidrológicos derivam da interação entre variáveis climáticas e características físicas do meio, definindo a ‘assinatura hídrica’ de cada bacia. Em climas úmidos, a dinâmica é contínua e intensa, com alta precipitação e recarga de aquíferos. Já em regiões áridas, a circulação de água é intermitente e depende de eventos episódicos e concentrados.

No Brasil é comum a utilização de uma variedade de termos para descrever processos hidrológicos, destacando-se entre eles: cheia, enchente, represamento, transbordamento, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamento, inundação ribeirinha, inundação urbana, enchente repentina, alagações, entre outros. Essa diversidade terminológica reflete a complexidade dos fenômenos hidrológicos no território nacional, bem como as diferentes formas com que a população os vivência e nomeia. Alguns termos populares também são amplamente conhecidos como cabeça d’água, tromba d’água, enchente relâmpago e sangria.

Nesse contexto, a identificação, caracterização e o mapeamento dos processos hidrológicos são ferramentas essenciais para o planejamento urbano e territorial, subsidiando a formulação de políticas públicas voltadas ao uso e à ocupação do solo e, principalmente, à gestão de riscos, incluindo-se aqui o aperfeiçoamento da efetividade da comunicação de risco, que depende diretamente da terminologia e linguagem usada e a proposição e adoção de ações preventivas e mitigatórias.

Para evitar ambiguidade na compreensão dos processos que são objeto desta publicação, apresentamos, no item seguinte, a conceituação das terminologias aqui utilizadas para a caracterização dos processos hidrológicos.

CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela PNP-DEC, a bacia hidrográfica deve ser adotada como unidade básica de análise para ações de prevenção de riscos e desastres relacionados aos corpos d’água. Essa abordagem, além de permitir integrar as políticas públicas municipais e intermunicipais, considera que os

impactos dos eventos hidrológicos e das intervenções em uma bacia não se limitam a um único território, mas se propagam ao longo de toda a rede hidrográfica.

A bacia hidrográfica é constituída por um conjunto de vertentes (encostas) onde a entrada é o volume de águas

precipitado, que converge por uma rede de drenagem, e a saída é o volume de água escoado, que conflui até alcançar um leito único na foz ou exutório. A figura 3 traz a representação esquemática de uma bacia hidrográfica.

Figura 3 – Representação esquemática de uma bacia hidrográfica, destacando os divisores de água, as nascentes, os afluentes e o rio principal, além da ocupação urbana ao longo do território (Mauá/SP).



Foto: Fábio de Santis Campos, 2024. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é influenciado por uma série de fatores físicos, climáticos e antrópicos que interagem entre si. Entre os principais fatores físicos e climáticos destacam-se a precipitação, a temperatura, a radiação solar e as características geológicas, envolvendo a litologia e os tipos de solo. Destacam-se também as características geomorfológicas e morfométricas, representadas pelo relevo, declividade, forma, área, perímetro, comprimento do curso d'água principal, sistema de drenagem, coeficiente de compacidade, ordem dos cursos d'água, além da declividade e elevação média da bacia. Já entre os fatores antrópicos, merecem destaque os relacionados à urbanização, ao uso do solo e à modificação do regime natural das vazões por meio de barramentos e canalizações.

Em áreas com relevo acidentado e declividades elevadas, é comum o escoamento superficial ser rápido e intenso, com menores taxas de infiltração e maior suscetibilidade de ocorrerem enxurradas. Em contrapartida, terrenos com relevos menos declivosos a planos, principalmente ao longo de planícies fluviais (planícies aluvionares), amplia-se o tempo necessário para o escoamento e a infiltração das águas favorecendo a ocorrência de inundações graduais, a deposição de sedimentos e a movimentação lateral dos canais. Terrenos com rochas impermeáveis, com baixa permeabilidade e/ou com solos argilosos tendem a dificultar a infiltração, intensificando e concentrando o escoamento superficial, enquanto em regiões com rochas permeáveis e/ou solos arenosos a água tende a infiltrar e alimentar os aquíferos, favorecendo processos de recarga e fluxo subterrâneo. Coberturas vegetais densas, diferentemente dos ambientes desmatados ou com vegetação rarefeita promovem interceptação da chuva, maior infiltração e menor escoamento superficial.

A posição geográfica dos municípios dentro dos limites da bacia hidrográfica (seja em áreas de cabeceira, foz, divisores de água ou fundos de vale) possui correlação direta com o tipo do processo e as consequências causadas pelos eventos hidrológicos, determinando o tipo de impacto mais frequente. Municípios situados em cabeceiras (porções das bacias com maior declividade), por exemplo, estão em áreas com a possibilidade de escoamento superficial mais rápido, o que re-

duz o tempo de concentração e pode contribuir para a ocorrência de enxurradas. Por outro lado, municípios situados em áreas de foz (porções das bacias em terrenos planos / planícies fluviais / regiões costeiras) estão mais sujeitos a inundações graduais com longos períodos de permanência da água, devido à lentidão do escoamento.

Nas áreas urbanas, as bacias hidrográficas adquirem características distintas das áreas rurais. O alto grau de intervenção ao longo dos canais altera a dinâmica fluvial e a impermeabilização reduz significativamente a infiltração da água no solo, intensificando o escoamento superficial e diminuindo o tempo de resposta hidrológica da bacia em relação às bacias rurais.

A partir dessas condicionantes territoriais, serão detalhadas a seguir as dinâmicas e os métodos de avaliação dos processos hidrológicos mais recorrentes e que geram os maiores impactos socioambientais no território nacional.

ENCHENTE OU CHEIA

A **enchente ou cheia** refere-se ao aumento do volume de água no interior do leito (canal) de um rio. Esse fenômeno ocorre exclusivamente dentro do canal de drenagem, sem que haja transbordamento para as margens (planície de inundação). Desse modo, caracteriza-se pela elevação do nível da água até a cota máxima de contenção do leito, ou seja, o ponto mais alto que o canal suporta sem extravasar para a planície de inundação. A figura 4 ilustra, por meio de um esquema, as variações do nível de um canal fluvial, indicando a situação normal, a enchente e a inundação no Rio Beberibe, em Recife –PE. Já a figura 5 retrata enchentes em diversas regiões do Brasil.

Em princípio, não se espera que a cheia seja associada a risco, pois não deveria haver edificações no interior do leito do rio. No entanto, em diversas regiões do país, é observada a presença de construções, passarelas, aterros e moradias dentro do próprio leito menor do canal. Essa forma de ocupação pode reduzir a capacidade de escoamento e favorecer o represamento das águas, fazendo com que mesmo cheias que não deveriam causar danos passem a gerar riscos significativos.

Figura 4 – Esquema ilustrativo das variações do nível de um canal fluvial, indicando a situação normal, a enchente ou cheia (elevação do nível dentro do leito) e a inundação (transbordamento que atinge áreas adjacentes), Recife/PE.



Situação normal

Condição que o canal está em equilíbrio, com a lâmina água estando na posição mais baixa possível em relação ao fundo do canal.



Enchente ou cheia

Aumento do volume de água no interior do leito (canal) de um rio sem que haja transbordamento para as margens (planície de inundação).



Inundação

O volume de água em um canal, seja ele natural ou artificial, ultrapassa sua capacidade de escoamento, resultando no transbordamento das águas para além da cota máxima de contenção do leito (além da crista das margens do canal atingindo a planície de inundação).





Foto: Fábio de Santis Campos, 2025. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 5 – Registro de enchentes nos Rios Ribeirão do Carmo, Mariana/MG (A); Vermelho, em Goiás Velho/GO (B) e Subaé, Santo Amaro/BA (C).



Foto: (A) Leonardo A. Souza, 2012 e (B) **Fonte:** o Popular, 2024; (C) **Fonte:** Correio 24 horas, 2025.

INUNDAÇÃO

A **inundação** é um processo que ocorre quando o volume de água em um canal, seja ele natural ou artificial, ultrapassa sua capacidade de escoamento, resultando no transbordamento das águas para além da cota máxima de contenção do leito, ou seja, além da crista das margens do canal atingindo a planície de inundação, conforme foi demonstrado na figura 4. Esta planície é a área mais baixa, e relativamente plana, adjacente ao canal que se estende ao longo do rio, onde os processos hidrológicos ocorrem com frequência quando o nível da água sobe e extravasa a calha fluvial.

Os terraços fluviais, por outro lado, são formas de relevo mais elevadas que formam degraus em relação às planícies de inundação, resultantes de antigos leitos onde o rio corria no passado. Esses terraços não integram a planície de inundação ativa, mas correspondem a planícies antigas que foram abandonadas à medida que o curso d'água aprofundou seu vale e remodelou o relevo ao redor. Geralmente, as inundações se restringem às planícies de inundação, exceto em cenários extremos, como eventos climáticos severos ou rompimentos de barragens.

Esse processo hidrológico pode ser classificado em dois tipos principais: **inundação gradual** ou **inundação brusca**, sendo esta última também conhecida como **enxurrada**. Outras tipologias menos frequentes compreendem as **inundações induzidas por marés** e aquelas decorrentes da **subida do nível d'água subterrânea**.

Inundações Graduais

As inundações graduais são um fenômeno comum no Brasil, especialmente em regiões com relevo suave e baixa declividade como planícies fluviais (várzeas), pantanais e áreas costeiras. Apresentam um conjunto de características que as distinguem de outros processos hidrológicos mais intensos e súbitos. Entre suas principais particularidades, destacam-se:

- a) Área de abrangência ampla, afetando grandes extensões;
- b) Aumento gradual no nível da água;
- c) Duração mais longa, que pode variar de dias a semanas; e
- d) Impactos significativos como perda de cultivos, interrupção de vias de transporte, danos a edificações, prejuízos econômicos.

Nas planícies fluviais e pantanais o transbordamento ocorre de forma lenta e progressiva, geralmente causado por chuvas bem distribuídas, contínuas e de grande volume acumulado em toda a bacia hidrográfica, que tendem a perdurar por longos períodos. No território brasileiro, a dinâmica do Rio Acre, no município de Rio Branco (AC), constitui um exemplo emblemático desse fenômeno.

Em condições de vazão regular, o traçado sinuoso do rio corta a malha urbana densamente consolidada em suas margens, evidenciando a proximidade das edificações em relação ao canal de drenagem principal (Figura 6A). Durante episódios de precipitação persistente na bacia, o tempo de trânsito lento das águas favorece o extravasamento contínuo e gradual. Esse processo resulta na submersão de extensas áreas urbanas adjacentes, onde as moradias e a infraestrutura local ficam parcial ou totalmente isoladas pelo avanço da massa hídrica (Figura 6B).

Figura 6 – Vista aérea parcial do Rio Acre, Rio Branco/AC, 2009 (A) e Registro de Inundação gradual (“alagação”), no mesmo trecho rio, em 2023 (B).



Fonte: Agência de Notícias do Acre, CC BY 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>>, via Wikimedia Commons (A) e **Foto:** Marcos Vicentti/Secom/G1 (B).

As figuras 7A e 7B também registram inundação gradual no Delta do Jacuí, no município de Canoas/RS e o Rio Pomba, no município de Cataguases/MG.

Figura 7 – Registro de Inundação gradual no Delta do Jacuí, município de Canoas/RS (A), e no Rio Pomba, município de Cataguases/MG (B).



Fotos: (A) Wikimedia Commons, 2024 e (B) Defesa Civil de Cataguases/MG, 2012.

Considerando a geodiversidade do território brasileiro, algumas regiões se destacam pela maior suscetibilidade às inundações graduais em função do relevo mais plano, da presença de rios de médio e grande porte e de bacias hidrográficas extensas. Entre as áreas mais afetadas, destacam-se:

→ **Bacia Amazônica:** a várzea do Rio Amazonas e de seus principais afluentes (como os rios Solimões, Negro, Madeira, Xingu e Acre) é caracterizada por inundações lentas e sazonais. As cheias ocorrem historicamente de forma gradual e previsível, embora esse padrão de recorrência já esteja bastante comprometido pelas mudanças do clima e muitas comunidades ribeirinhas buscando formas de se readaptar a esses ciclos ainda de menor previsibilidade. Essa dinâmica é resultado de uma combinação de fatores naturais como a grande extensão

territorial da bacia, o relevo predominantemente plano e a densa cobertura vegetal. Esses elementos contribuem para que a onda de cheia se propague ao longo de vários meses até alcançar seu pico máximo. Durante os anos de grandes cheias, os níveis de água permanecem acima da cota de inundação por mais de 70 dias, provocando impactos prolongados nas comunidades ribeirinhas, na navegação, nas atividades econômicas e no meio ambiente. A figura 8 exemplifica inundação pelo Rio Solimões, em Anamá/AM.

Figura 8 – Cidade de Anamá, interior do Amazonas, tomada pelas águas do Rio Solimões.



Foto: Defesa Civil do Amazonas, 2021.

→ **Pantanal (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul):** Considerado uma das maiores áreas alagáveis do planeta, o Pantanal sofre inundações sazonais durante a estação chuvosa. O transbordamento dos rios inunda vastas extensões de terra, sendo esse processo fundamental para a manutenção do ecossistema, embora também afete atividades hu-

manas como a pecuária, a infraestrutura urbana e rural. Aquidauana, Corumbá, Coxim, Camapuã, Porto Murtinho, Ladário, no Mato Grosso do Sul – MS e Cuiabá, Várzea Grande, Barão de Melgaço, Rondonópolis, Cáceres e Poconé, no Mato Grosso – MT, são exemplos de municípios afetados pelas inundações (Figura 9).

Figura 9 – Registro de inundação, Rio Papagaio, afluente do Rio Juruena, Campo Novo do Parecis/MT.



Foto: Reprodução via Araguaia Notícias, 2017.

→ **Planícies Costeiras:** Em áreas litorâneas de relevo plano, que se estendem do Nordeste ao Sul do Brasil, inundações graduais podem ocorrer e ter seus efeitos aumentados se coincidirem com momentos

de maré alta e ressacas. Esses fatores dificultam o escoamento das águas pluviais, aumentando o risco de ocorrência dos processos de inundação (Figura 10).

Figura 10 – Áreas afetadas pela chuva em Recife/PE.



Fotos: (A) Palácio do Planalto de Brasília, Brasil, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons, 2022; e (B) reprodução governo de Pernambuco, 2022.

→ **Bacias interiores:** segundo o *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), algumas bacias hidrográficas interiores se destacam pela alta frequência de inundações graduais geralmente associadas ao acúmulo persistente de chuvas intensas ao longo de vários dias, levando à saturação do solo e à insuficiência das redes de drenagem locais. O escoamento len-

to da água, característico dessas regiões, dificulta o processo de retirada do excesso hídrico, prolongando os efeitos da inundação. As bacias do Rio Paraíba do Sul, do Rio Grande, do Rio Doce (Figura 11), do Rio São Francisco, do Rio Tocantins-Araguaia, do Rio Parnaíba, do Paraná, do Rio Piranhas-Açu, do Rio Itajaí, do Rio Jacuí, do Rio Iguaçu e do Rio Uruguai são exemplos de bacias afetadas pelas inundações

Figura 11 – Registro de inundação, Rio Doce, Governador Valadares/MG.



Foto: Luciano Drones, reprodução via Serviço Geológico do Brasil (SGB), 2024.

As inundações graduais geralmente apresentam menor letalidade em comparação às inundações bruscas, principalmente devido à viabilidade de emissão de alertas e à realização de evacuações preventivas. No entanto, seu impacto socioeconômico pode ser

significativo, em razão da ampla extensão das áreas afetadas e da longa duração desses eventos, que dificultam a retomada das atividades cotidianas e exigem esforços prolongados de resposta e recuperação.

Inundação brusca e enxurrada

A inundação brusca é caracterizada pelo escoamento superficial de alta velocidade e elevada energia, provocado por chuvas intensas e concentradas em um curto intervalo de tempo, ocorrendo normalmente em pequenas

bacias de relevo acidentado e em áreas urbanas com solos impermeabilizados. Esse processo está sempre associado à calha fluvial, e suas principais características são a combinação entre uma alta velocidade de escoamento, súbito aumento das vazões e das lâminas d'água, curta duração e alto potencial destrutivo (Figura 12).

Figura 12 – Áreas afetadas por inundação brusca no Rio Una, Barreiros/PE (A), no Arroio do Meio/RS (B), e no Rio Ubã, afluente do Rio Pomba, Ubã/MG (C e D).



Fotos: (A) José Cruz/Agência Brasil, 2010; (B) Ricardo Stuckert/Presidência da República, via COP30 Brasil, 2024; (C) e (D) Leonardo A. Souza, 2026.

Contudo, nem sempre a elevação brusca do nível d'água está vinculada diretamente aos cursos fluviais. É comum sua ocorrência ao longo de vias urbanas construídas sobre antigos leitos de rios, em linhas de drenagem mal dimensionadas, e em trechos ao longo das encostas que concentram o escoamento das águas superficiais, comumente ocupados e/ou parcialmente obstruídos, onde a inclinação acentuada do terreno intensifica o escoamento (alto gradiente hidráulico). Nestes casos em que o fluxo d'água se con-

centra ao longo de linhas de drenagem que não estão naturalmente associadas a cursos d'água o fenômeno é denominado **enxurrada**.

Devido à alta velocidade do escoamento, ampliado pelo cenário de mudanças climáticas, as enxurradas e as inundações bruscas possuem grande poder destrutivo, causando sérios danos à infraestrutura urbana e às edificações, com um número expressivo de vítimas associado a esse processo nos últimos anos (Figura 13).

Figura 13 – Área afetada por enxurrada e inundação – Córrego e Avenida Vilarinho, Belo Horizonte/MG.



Fonte: Wikimedia Commons: Angeoribeiro, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons, 2023.

Embora na prática um mesmo evento de inundação não possa ser classificado simultaneamente como gradual e brusco, dado que ambos possuem características e tempos de resposta distintos, a dinâmica do território pode apresentar cenários complexos. A inundação brusca apresenta desencadeamento rápido e de curta duração, ao passo que a inundação gradual se desenvolve de forma lenta e pode persistir por dias ou semanas.

Essa diferença de comportamento manifesta-se claramente quando analisamos a bacia hidrográfica como um todo: um evento extremo pode iniciar-se como uma inundação brusca ou enxurrada nas cabeceiras de drenagem (áreas de maior declividade) e evoluir para uma inundação gradual à medida que atinge os trechos planos de planície a jusante. Da mesma forma, é comum

a ocorrência concomitante de inundações bruscas em múltiplos afluentes menores, culminando no aumento lento e na inundação gradual do canal principal.

Inundação devido à maré

A inundação devido à maré é caracterizada pela submersão de áreas normalmente secas, decorrente da elevação do nível do mar em ocasiões de maré alta. Esse fenômeno pode ser provocado pela destruição de barreiras naturais ou construídas, por processos de subsidência (afundamento) do terreno junto à costa e pela elevação do nível do mar associada às mudanças climáticas. Seus efeitos podem ser agravados pela ocorrência concomitante de ventos soprando em direção à costa, podendo o processo ocorrer inclusive em períodos sem precipitação (Figura 14).

Figura 14 – Área afetada por inundação. Maré alta em Paraty/RJ (A) e Vigia de Nazaré/PA (B).



A

B



Fotos: (A) Sérgio Teodoro da Silva, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>>, via Wikimedia Commons, 2016 e (B) Willo Marajoara. Portal G1, 2024.

Inundação devido à subida dos níveis d'água subterrânea

É caracterizada pela submersão de áreas normalmente secas, decorrente da elevação desse nível. Esse processo pode ser desencadeado por períodos prolongados de precipitação, pelo enchimento de reservatórios

ou pela elevação do nível do mar, uma vez que ambos estão associados a alterações nas cargas hidráulicas dos aquíferos, ou ainda por processos de circulação das águas em aquíferos cársticos. O fenômeno pode ocorrer de forma rápida ou lenta; contudo, a subsequente redução das lâminas d'água acumuladas sobre a superfície é tipicamente lenta (Figura 15).

Figura 15 – Casas inundadas, marginais a Lagoa (uvala) de Santo Antônio, Pedro Leopoldo/MG.



Fonte: Maria Giovana Parizzi, 2023.

Alagamento

É o acúmulo temporário de água em uma determinada área, seja ela urbana ou rural, decorrente da dificuldade de escoamento do volume de precipitação recebido. Esse acúmulo ocorre quando a capacidade dos sistemas de drenagem é insuficiente para conduzir a água precipitada. Trata-se, portanto, de um fenômeno tipicamente associado ao escoamento superficial imediato, caracterizado pela formação de lâminas d'água sobre ruas, terrenos e outras superfícies, sem necessariamente envolver o transbordamento de cursos d'água. A figura 16 (A a C) retrata exemplos de alagamentos em diferentes localidades brasileiras. Nas áreas urbanas, o alagamento, para fins de mapeamento de risco, é um processo relacionado à microdrenagem e tem como causas:

- **Insuficiência ou obsolescência da rede pluvial:** incapacidade das galerias e bueiros de comportar o volume de escoamento superficial gerado pelas chuvas em bacias com alto índice de impermeabilização do solo;
- **Obstrução física do sistema:** presença de resíduos sólidos urbanos, entulhos de construção e sedi-

mentos que bloqueiam as bocas de lobo e galerias, impedindo o fluxo livre das águas;

- **Conformação topográfica desfavorável:** existência de depressões e pontos baixos no relevo urbano que funcionam como bacias de recepção natural, acumulando as águas que escoam das áreas adjacentes mais elevadas;
- **Eventos de precipitação extrema:** chuvas intensas e concentradas em curtos intervalos de tempo, cujo volume supera instantaneamente a capacidade de projeto das redes de micro e macrodrenagem;
- **Influência de marés altas:** elevação do nível do mar em regiões costeiras urbanizadas, que impede a descarga da rede e provoca o refluxo das águas pluviais pelas tubulações; e
- **Refluxo por elevação do corpo receptor:** subida do nível d'água de rios e canais (em condições de cheia, mas ainda sem extravasamento das margens), o que força o retorno da água em direção às vias urbanas através das saídas do sistema de drenagem.

Figura 16 – Registro de alagamento em diferentes localidades. Município de Lauro de Freitas/BA (A); Recife/PE (B) e Favela do Acari, na Zona Norte do Rio de Janeiro/RJ (C).



Fotos: (A) Secom/Bahia, 2010 wikimedia Commons; (B) Alexandre Aroeira/Folha de Pernambuco, 2022 e (C) Marcia Foletto/Agência – O Globo, 2025.

MÉTODOS DE MAPEAMENTO DE RISCO HIDROLÓGICO

No Brasil, os mapeamentos de processos hidrológicos dividem-se em três categorias principais: **suscetibilidade, perigo e risco**. A tradução cartográfica da disposição dos terrenos, conforme sua condição de desenvolver determinados processos (ameaça), resulta nas **cartas de suscetibilidade**. Esses produtos retratam a potencialidade de processos hidrológicos causarem transformações no meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Nesse caso, a possibilidade de ocorrência desses processos está condicionada à predisposição natural do meio físico ao seu desenvolvimento, permitindo classificar a área em diferentes níveis, que geralmente variam de baixo a alto. Por sua vez, a **carta de perigo** delimita cenários com base na probabilidade de ocorrência de um evento associado a um tempo de retorno específico (por exemplo, 5, 10, 25, 50 ou 100 anos). Já a **carta de risco** engloba, além dessa probabilidade (perigo), as possíveis consequências estimadas a partir da avaliação da vulnerabilidade.

Os métodos para o mapeamento de áreas sujeitas a processos hidrológicos podem ser subdivididos em **qualitativos e quantitativos**. Os primeiros baseiam-se em análises observacionais diretas dos condicionantes e indícios desses processos, enquanto o segundo representa uma abordagem mais comum à engenharia e aos conceitos de hidrologia e hidráulica.

Métodos qualitativos

Os **métodos qualitativos** possuem natureza subjetiva e fundamentam-se em informações não numéricas, como o conhecimento técnico de especialistas, as percepções e experiências da população afetada e os registros obtidos em trabalhos de campo. Quando estruturados em instrumentos sistemáticos, como fichas de campo, e integrados a abordagens quantitativas, esses métodos ampliam a capacidade de interpretação, oferecendo uma compreensão mais abrangente, contextualizada e integrada dos processos de risco.

Nas áreas já ocupadas ou parcialmente ocupadas, especialmente em ambientes urbanos e periurbanos

de municípios brasileiros desenvolvidos às margens de rios, córregos, arroios e igarapés a primeira etapa viável para a determinação da suscetibilidade à inundação consiste em uma análise descritivo-qualitativa dos múltiplos componentes do ambiente fluvial, marinho ou fluviomarinho. Essa análise envolve parâmetros como geomorfologia, morfometria, tipos de solo, sistemas deposicionais, cobertura vegetal, entre outros. Trata-se de uma técnica de mapeamento direto, fortemente dependente da experiência de campo dos profissionais, na qual a suscetibilidade é inferida pela combinação de diferentes mapas temáticos e dados ambientais utilizados para caracterizar os terrenos.

A suscetibilidade à inundação, quando correlacionada ao histórico de ocorrências, aos níveis de atingimento (altura da lâmina d'água identificada por marcas em edificações ou relatos de moradores) e à vulnerabilidade física das edificações, subsidia a delimitação e a classificação dos setores de risco.

É fundamental, entretanto, adotar cautela na utilização das informações produzidas por essa abordagem. Embora as análises qualitativas permitam uma delimitação rápida dos trechos suscetíveis, elas apresentam limitações relacionadas à escala e à data de elaboração dos mapas topográficos, modelos digitais de terreno e imagens utilizados, bem como à existência, precisão e confiabilidade dos registros históricos empregados na avaliação do perigo (probabilidade subjetiva). Essas limitações reforçam a importância da validação em campo para verificação e refinamento *in situ* dos condicionantes e indícios de processos hidrológicos identificados, etapa essencial para qualificar e confirmar as interpretações. Ainda assim, observa-se com frequência o uso inadequado de cenários de inundação derivados de análises de suscetibilidade elaboradas em escalas incompatíveis (como 1:50.000 ou 1:100.000), os quais acabam sendo convertidos, de forma equivocada, em cenários de perigo e risco, sem a devida consideração das restrições metodológicas.

Por outro lado, considerando a grande extensão territorial do Brasil, suas marcantes especificidades re-

gionais e a heterogeneidade da base de dados físico-ambientais disponível, os mapeamentos de risco fundamentados em dados qualitativos continuam sendo instrumentos essenciais para a proposição de ações preventivas, desde que apoiados em trabalhos de campo conduzidos com rigor técnico.

Métodos quantitativos

Os **métodos quantitativos** utilizam dados numéricos e modelos matemáticos para conferir objetividade à análise. Entre as principais ferramentas, destacam-se as modelagens hidrológicas, hidráulicas e hidrodinâmicas, além do modelo HAND e do uso de Inteligência Artificial. Esses modelos permitem projetar manchas de inundação para eventos extremos que podem não constar nos registros históricos, sendo essenciais para simular cenários de mudanças climáticas. Abaixo segue uma descrição resumida de alguns métodos quantitativos:

1 – Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica utiliza equações matemáticas e representações conceituais para simular o comportamento do escoamento superficial e subterrâneo em uma bacia hidrográfica. Esses modelos permitem estimar hidrogramas de cheia, prever vazões ao longo da rede de drenagem e avaliar a resposta hidrológica da bacia a diferentes cenários de precipitação e de uso do solo.

2 – Modelagem hidráulica

A modelagem hidráulica representa o escoamento da água em canais, corpos d’água e áreas adjacentes, considerando parâmetros como geometria do canal, rugosidade, declividade e condições de contorno. Essa abordagem permite simular níveis d’água, lâminas de inundação e extensão da área alagada sob diferentes cenários de cheia, sendo amplamente utilizada para delimitação de áreas de inundação em ambientes urbanos e rurais.

3 – Modelagem hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica simula o escoamento da água em múltiplas direções, incorporando variáveis

como velocidade, profundidade, pressão e interação com o relevo. Por representar o movimento da água de forma mais realista, especialmente em terrenos complexos ou planícies de inundação amplas, essa abordagem amplia a capacidade de prever velocidades médias de fluxo, gradientes de energia e padrões de circulação durante eventos de inundação.

Estes modelos proporcionam estimativas da área de atingimento da inundação (modelos hidrológico-hidráulicos e modelos hidrodinâmicos), da altura da lâmina d’água esperada em cada ponto da área atingida (modelos hidrológico-hidráulicos e hidrodinâmicos) e das velocidades médias de fluxo em cada parte da área inundada (apenas modelos hidrodinâmicos). A acurácia destas estimativas e, por consequência, também da avaliação do perigo relacionado à inundação depende dos dados de entrada do modelo, que incluem dados sobre precipitação, topografia do terreno e batimetria do canal fluvial, uso do solo ou cobertura (para estimativa da rugosidade superficial), assim como da calibração e validação do modelo com dados de inundações que já aconteceram na área que está sendo modelada. Para a calibração e validação são necessários dados sobre a extensão da mancha de inundação, o que permite aferir a extensão da área inundada e das lâminas d’água previstas. Para que se possa estimar com confiança as velocidades do fluxo da água durante a inundação por meio de modelagem hidrodinâmica são necessários dados sobre as vazões do rio no evento de inundação.

4 – Modelo HAND

O Modelo HAND estima a suscetibilidade à inundação a partir da altura relativa do terreno em relação ao canal de drenagem mais próximo, derivada de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Em vez de simular processos hidrológicos ou hidráulicos, o HAND identifica áreas potencialmente inundáveis com base na conectividade topográfica e na diferença altimétrica entre cada célula do terreno e o talvegue associado.

Essa abordagem é especialmente útil em contextos urbanos e rurais onde há escassez de dados hidrológicos e hidráulicos detalhados, permitindo uma avaliação preliminar rápida e consistente da suscetibilidade.

5 – Modelos baseados em dados

Em estudos voltados para a elaboração de mapas de inundação, modelos baseados em dados e técnicas de aprendizado de máquina têm sido cada vez mais aplicados. A inteligência artificial é uma ferramenta computacional que aprimora a performance em tarefas específicas por meio da experiência, aprendendo com exemplos e analogias. A definição das características (atributos) que farão parte da base de dados é uma etapa crucial no processo de previsão. A base de dados, também conhecida como conjunto de treinamento, é composta por dados históricos e utilizada na fase de aprendizado, onde o sistema adquire o conhecimento necessário para realizar as previsões. Este tipo de modelo também precisa ser validado e testado. A validação e o teste podem ser realizados, separando-se o conjunto de dados disponíveis em “pacotes” de treinamento, validação e teste ou pode ser realizada pela comparação com dados obtidos por outros métodos, por exemplo, métodos participativos.

Os métodos quantitativos enfrentam limitações semelhantes às dos métodos qualitativos, sobretudo no que diz respeito à escala e à atualidade dos mapas topográficos, dos modelos digitais de terreno e das imagens utilizadas para o mapeamento da suscetibilidade. A confiabilidade dos resultados também depende da existência e qualidade dos registros históricos empregados na avaliação do perigo, que servem como referência para calibração e validação das simulações.

Além dessas restrições, a aplicação de modelos quantitativos exige disponibilidade de dados hidrometeorológicos adequados, especialmente séries temporais de precipitação e vazão. A ausência desses dados ou sua baixa resolução temporal compromete a capacidade de representar adequadamente a dinâmica das cheias e inundações.

→ Para inundações graduais, são necessários dados de precipitação com resolução de 30 a 60 minutos, suficientes para captar a evolução mais lenta do hidrograma.

→ Para inundações bruscas (*flash floods*), a resolução deve ser muito maior, idealmente a cada 1 a 5 minutos, pois a resposta hidrológica é rápida e sensível a variações de curta duração.

A calibração e o treinamento dos modelos dependem de séries históricas de vazão observada, que permitem ajustar parâmetros e reduzir incertezas. Sem esses dados, a modelagem torna-se mais dependente de estimativas indiretas e de parâmetros transferidos de outras bacias, o que reduz a precisão.

Mapeamento participativo

O **mapeamento participativo** integra o saber local à análise técnica, refinando as interpretações e fortalecendo a governança territorial. Ele valoriza a memória da comunidade sobre eventos passados e dinâmicas ambientais que, muitas vezes, não constam em bases cartográficas oficiais. Ao envolver os moradores, constrói-se não apenas um diagnóstico mais preciso, mas também um ambiente de confiança para a implementação de futuras medidas de mitigação. Entre suas principais características e benefícios, destacam-se:

→ **Valorização do conhecimento local** – incorpora percepções, memórias e experiências acumuladas pelos moradores, permitindo identificar áreas de risco que podem não ser detectadas por análises exclusivamente técnicas.

→ **Participação ativa da comunidade** – envolve moradores em todas as etapas do processo, favorecendo a compreensão dos fenômenos de risco e estimulando o engajamento na gestão territorial.

→ **Fortalecimento da capacidade de resposta** – contribui para a organização social, para a mobilização comunitária e para a adoção de práticas preventivas, ampliando a resiliência local.

→ **Construção de confiança** – aproxima técnicos, gestores públicos e população, criando um ambiente colaborativo que favorece a implementação de medidas de prevenção e mitigação.



A obtenção de dados junto à comunidade pode ser realizada por meio de diferentes instrumentos (Figuras 17 – 19), que variam conforme o contexto e os objetivos do diagnóstico:

- Caminhadas diagnósticas, que permitem observar *in loco* pontos críticos, marcas de inundação, alterações no relevo e estruturas vulneráveis. Preferencialmente, devem ser lideradas por moradores da própria comunidade.
- Construção de mapas e representações esquemáticas para registrar a percepção espacial dos moradores sobre áreas de risco, rotas de fuga e locais historicamente afetados.
- Entrevistas individuais ou em grupo, que aprofundam relatos sobre eventos extremos, frequência de ocorrências e impactos socioeconômicos.
- Imagens e mapas impressos, que servem como base para que os participantes indiquem áreas inundadas, trajetórias da água e mudanças recentes no ambiente
- Oficinas participativas, que integram diferentes atores e permitem a construção coletiva de cenários, prioridades e estratégias de prevenção.

Figura 17 – Utilização de mapas e imagens impressas para que moradores indiquem áreas historicamente afetadas e rotas de fuga durante processos participativos.

Fonte: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Figura 18 – Exercício de cartografia social em que moradores utilizam mapas e imagens impressas para indicar locais com ocorrência de enxurradas, áreas de inundação recorrente e mudanças recentes na dinâmica do território.



Fonte: Secretaria Nacional de Periferias, (A) 2025 e (B) 2026.

Figura 19 – Processo de diálogo estruturado entre equipe técnica e comunidade visando mapear riscos, vulnerabilidades físicas e sociais e níveis de resiliência local, elementos indispensáveis para a implementação de uma gestão integrada de riscos.



Fonte: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

As inspeções de campo devem ser realizadas por equipes técnicas especializadas, com o apoio da comunidade local, para identificar pontos críticos associados ao comportamento hidrológico e ao funcionamento da infraestrutura de drenagem. A observação direta do ambiente permite reconhecer condições que frequentemente não aparecem em análises exclusivamente quantitativas ou em bases cartográficas, como obstruções em canais, acúmulo de sedimentos, erosões ativas, infraestruturas mal dimensionadas ou mal executadas, além de alterações recentes no uso e ocupação do solo.

Essas inspeções também possibilitam verificar a coerência entre os modelos e a realidade observada, identificar trechos com recorrência de processos hidrológicos e registrar marcas de nível, rotas preferenciais de escoamento e vulnerabilidades estruturais. Quando articuladas com o conhecimento da comunidade, tornam-se ainda mais eficazes, pois moradores costumam indicar locais onde eventos passados ocorreram, pontos que alagam com maior frequência e situações que não são facilmente detectáveis por imagens ou modelos.

A integração entre inspeções de campo, participação comunitária e análises técnicas fortalece a qualidade do diagnóstico e reduz incertezas na avaliação de risco.

MAPEAMENTO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO E ENXURRADA

Método qualitativo associado a métodos participativos

A elaboração dos mapas de perigo fundamenta-se em levantamentos de campo sistemáticos, integrados aos dados do mapeamento participativo, como oficinas, caminhadas diagnósticas e reuniões técnicas. Este processo permite construir representações precisas das áreas suscetíveis ao aliar o rigor técnico ao conhecimento local. O planejamento das atividades deve seguir as seguintes etapas:

- **Análise de Bases Cartográficas:** avaliação de modelos digitais de terreno (MDT), ortofotos e mapas topográficos.
- **Diagnóstico do Relevo:** identificação de feições fluviais (calhas, planícies e terraços) e linhas de drenagem efêmeras, propensas a enxurradas.

- **Articulação Institucional:** reuniões com a Defesa Civil e secretarias municipais para consolidar o histórico de eventos e pontos críticos.
- **Pré-setorização:** uso de ferramentas como SIG, modelo HAND ou mapas de suscetibilidade para a delimitação preliminar.

Como etapa final do planejamento, realiza-se a **validação preliminar em campo** para assegurar a confiabilidade e a precisão técnica das informações que subsidiarão a pré-setorização definitiva

O uso de **Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs/drones)** para a captura de imagens oblíquas e zenitais constitui uma etapa estratégica no mapeamento. Essa tecnologia fornece um retrato atualizado da ocupação do solo e das transformações recentes nos ambientes urbano e periurbano, superando as limitações de bases cartográficas antigas.

A visão aérea permite uma leitura integrada do meio físico, facilitando a identificação de:

- Padrões de drenagem e obstáculos ao escoamento;
- Áreas impermeabilizadas e trechos com processos de erosão ou assoreamento;
- Níveis de vulnerabilidade presentes no tecido urbano.

Ao complementar e orientar o planejamento das visitas terrestres, o imageamento aéreo reduz incertezas e amplia a precisão na delimitação dos setores. Este diagnóstico integrado subsidia a pré-setorização da área, que servirá de base para o refinamento posterior em campo, integrando observações diretas e o mapeamento participativo

Durante os trabalhos de campo são avaliados diversos condicionantes do meio físico, condicionantes hidrológicos e intervenções antrópicas, fundamentais para caracterizar adequadamente os processos de inundação e enxurrada. O quadro 2 apresenta alguns dos indicadores que devem ser observados em campo durante o mapeamento qualitativo.

Quadro 2 – Indicadores e condicionantes dos processos de inundação e enxurrada para a avaliação do perigo.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Ambiente e hidrodinâmica fluvial	Avaliação de fatores como presença de formações superficiais; forma e dimensão da bacia ou sub-bacia; posição na bacia hidrográfica (áreas de cabeceira, foz, divisores de água ou fundos de vale); forma e extensão das planícies aluvionares; declividade; desnível do terreno em relação ao canal mais próximo; variações no nível de água do canal; aporte sedimentar e processos hidrodinâmicos (processos fluviais, presença de barras arenosas e terraços, extensão da planície aluvionar); análise dos sedimentos presentes no leito dos rios; variação dos padrões de vegetação (fitofisionomias) características de ambientes fluviais e adjacências
Ambiente e hidrodinâmica em regiões litorâneas	Avaliação de fatores como relevo, praias, dunas, falésias, estuários, manguezais, oscilações periódicas do nível do mar e marés meteorológicas, morfodinâmica costeira (interação ondas-correntes-maré).
Ambiente e hidrodinâmica em regiões muito planas e em regiões cársticas	Avaliação de fatores como geologia, formas cársticas superficiais (dolinas, uvalas, poljes, sumidouros), formas cársticas subterrâneas (cavernas, galerias e condutos), formas cársticas de transição (dolinas de colapso, janelas cársticas).
Características dos canais	Tipologia, perfil transversal do talvegue, largura máxima, altura máxima das margens.
Obstruções e interferências ao longo dos canais	Presença de resíduos; entulhos; assoreamento; intervenções e obstruções ao longo do canal; presença, extensão e espessura de aterros e depósitos em áreas de várzeas.
Redes de drenagem naturais e sistemas de drenagem artificiais	Identificação e funcionalidade de redes de drenagem naturais e sistemas de drenagem artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação (cursos d’água naturais ou artificiais contribuintes próximos e a montante da área em avaliação, sarjetas, guias e meios-fios, canaletas, bocas de lobo, tubulações, galerias pluviais, piscinões e reservatórios de detenção); identificação de linhas de drenagem que não estão naturalmente associadas a cursos d’água mas que podem concentrar fluxos superficiais.
Infraestrutura viária e impermeabilização do entorno	Declividade das vias e obstruções no sistema de drenagem superficial, grau de impermeabilização da área de contribuição
Distância das edificações em relação ao canal	Posição da moradia em relação ao ambiente e à hidrodinâmica fluvial e, principalmente, em relação às evidências de atingimento em eventos anteriores.
Evidências de atingimento	Altura máxima da inundação observadas ao longo de estruturas e edificações e/ou repassada por moradores; existência de comportas ou estruturas similares nas edificações para conter a entrada das águas; dados históricos de ocorrências de enxurrada, incluindo raio de alcance máximo da enxurrada, altura máxima da lâmina d’água, volume de precipitação e velocidade do escoamento superficial; existência de evidências de atingimento e eventuais danos sofridos em eventos anteriores de enxurrada.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Em cidades costeiras, deve-se correlacionar o regime de marés à tipologia do evento, distinguindo inundações graduais, bruscas ou enxurradas potencializadas pela maré alta de inundações causadas estritamente pelo nível do mar. Da mesma forma, mapeamentos qualitativos e participativos devem observar a elevação do nível freático após chuvas prolongadas. É vital reconhecer que os eventos são, frequentemente, complexos e envolvem a atuação simultânea de diferentes dinâmicas de inundação.

Havendo indícios de inundação por elevação do nível freático, recomenda-se consultar dados de monitoramento de aquíferos para correlacionar as oscilações do nível d’água subterrânea aos eventos registrados.

Os dados descritos no quadro 2 devem ser registrados em fichas de campo e fotografias durante as vistorias, que devem ocorrer por meio de caminhamentos conjuntos com técnicos municipais e moradores. Edificações situadas em margens de rios ou planícies aluvionares devem ser inspecionadas detalhadamente em busca de evidências físicas de atingimento. Alguns exemplos dessas evidências são mostrados na figura 20, onde: (a) marcas de nível d’água em fachadas; (b) depósitos de sedimentos e lama; (c) danos estruturais por impacto ou força de arraste; (d) identificação de cotas históricas via relatos de moradores; (e) dispositivos de autoproteção e vedação (comportas); e (f) acúmulo de detritos e materiais transportados pelo fluxo.

Figura 20 – Exemplos de evidências de atingimento em edificações observadas em vistorias de campo.





Fotos: (A e C) Defesa Civil de Ipanema, 2011; (B e D)Defesa Civil de Cataguases, 2012; (E) Nova Lima – Leonardo A. Souza, 2021; (F) Açailândia – Leonardo A. Souza, 2026.

Finalizados os levantamentos de campo, o refinamento da setorização ocorre em ambiente de escritório, onde se integram vídeos, fotografias e registros jornalísticos de eventos históricos. Esse conjunto robusto de dados subsidia a classificação precisa do perigo de inundação e de enxurrada. Considerando a ampla geodiversidade brasileira, cada cenário demanda uma análise criteriosa de suas particularidades. Para tanto, propõe-se que a classificação do perigo se fundamente em dois pilares: a **altura da lâmina d'água** e a **frequência de ocorrência** em um intervalo de dez anos. A aplicação técnica desses critérios deve observar o objetivo da avaliação:

- **Ocupação urbana:** a altura da lâmina d'água deve ser medida, preferencialmente, no interior das edificações;
- **Tráfego em vias públicas:** a mensuração deve ser realizada na própria via.

A **frequência** é estabelecida pelo número de repetições do evento na última década, permitindo caracterizar a recorrência e conferir consistência à definição do nível de perigo. A estruturação desse perigo, seja para inundações graduais ou bruscas/enxurradas, organiza-se nos arranjos detalhados nos quadros 03 e 04.

O estabelecimento dos limiares de altura para cada classe de perigo prioriza três aspectos críticos de segurança:

1. Integridade física e a vida humana;
2. Potencial de arraste de veículos pelos fluxos; e
3. Risco de colapso estrutural de edificações.

Tais parâmetros encontram respaldo na literatura consolidada, notadamente em Smith, Davey e Cox (2014). Devido à elevada energia cinética e às velocidades superiores das inundações bruscas e enxurradas em relação às graduais, seus limiares de profundidade são obrigatoriamente mais restritivos. Esta diferenciação é indispensável para refletir o potencial destrutivo e o risco à vida inerentes a fluxos rápidos e de alta energia.

Quadro 3 – Critérios utilizados para classificação do perigo de inundações graduais.

CLASSE DE PERIGO	ALTURA LÂMINA D'ÁGUA (metros)	FREQUÊNCIA (últimos 10 anos)
P2 Médio	$h \leq 0,5$	Mais de 3 ocorrências
	$0,5 < h < 1,2$	Até uma ocorrência
P3 Alto	$0,5 < h < 1,2$	Mais de uma ocorrência
	$1,2 \leq h < 2,0$	Até uma ocorrência
P4 Muito Alto	$1,2 \leq h < 2,0$	Mais de uma ocorrência
	$h \geq 2,0$	Pelo menos uma ocorrência

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Quadro 4 – Critérios utilizados para classificação do perigo de inundações bruscas/enxurradas associado a cursos d'água.

CLASSE DE PERIGO	ALTURA LÂMINA D'ÁGUA (metros)	FREQUÊNCIA (últimos 10 anos)
P2 Médio	$h \leq 0,30$	Mais de 3 ocorrências
	$0,30 > h < 0,50$	Até uma ocorrência
P3 Alto	$0,30 > h < 0,50$	Mais de uma ocorrência
	$0,50 \leq h < 1,20$	Até uma ocorrência
P4 Muito Alto	$0,50 \leq h < 1,20$	Mais de uma ocorrência
	$h \geq 1,20$	Pelo menos uma ocorrência

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Nos mapeamentos qualitativos e participativos, para inundações graduais, quando as alturas de lâmina d'água forem inferiores a 0,50 m, e houver menos de três ocorrências nos últimos dez anos, considera-se que a área não apresenta perigo de inundação. Para inundações bruscas, aplica-se o mesmo critério quando as alturas forem inferiores a 0,30 m e houver menos de três ocorrências no mesmo período.

Especificamente para os casos de enxurrada em que o fluxo d'água não está associado a cursos d'água naturais, ocorrendo predominantemente em vias, ruas e superfícies urbanizadas, propõe-se uma variação na classificação do perigo. Nesses cenários, o comportamento hidrodinâmico do escoamento, a interação com a infraestrutura urbana e a ausência de um canal definido alteram significativamente os padrões de velocidade, profundidade e energia do fluxo, justificando a adoção de critérios diferenciados.

Essa distinção é necessária a partir das seguintes considerações:

- O escoamento tende a ser mais rápido e concentrado devido à impermeabilização e à declividade das vias;
- A ausência de leito natural aumenta a imprevisibilidade da direção do fluxo e a possibilidade de mudanças súbitas de trajetória;
- A interação com obstáculos urbanos (meios-fios, veículos, muros, bocas de lobo) pode gerar acelerações localizadas, turbulência e aumento do potencial destrutivo;
- A população exposta é diferente, envolvendo principalmente pedestres, motoristas e edificações voltadas para a rua, o que demanda limiares de perigo ajustados.

Por esses motivos, a classificação do perigo para enxurradas urbanas não canalizadas deve considerar parâmetros específicos, mantendo coerência com os critérios gerais, mas adaptando os limiares de profundidade e velocidade para refletir o maior potencial de dano em ambientes urbanos densamente construídos. A figura 21 (A e B) exemplifica duas áreas (Espírito Santo e Distrito Federal) afetadas por enxurradas em trecho ocupado.

Figura 21 – Área afetada por enxurrada em trecho ocupado não associado a cursos d'água (rua) no município de Viana/ES (A) e bairro Sol Nascente, região administrativa de Ceilândia/DF (B).



Foto (A) Defesa Civil de Viana/ES, 2011 e (B) **Fonte:** Instagram Ceilândiamuitatreta, 2023.

A classificação do perigo para enxurradas não associadas a cursos d'água adota uma lógica em que a altura da lâmina d'água exerce papel prioritário em relação à frequência de ocorrência. Essa escolha decorre das características hidrodinâmicas do escoamento superficial em vias urbanas, nas quais pequenas variações de profundidade podem resultar em mudanças significativas na energia do fluxo, no potencial de arraste e na capacidade de causar danos a pessoas, veículos e edificações.

Assim, quando profundidade e frequência apresentam combinações que poderiam levar a classificações distintas, a profundidade é utilizada como critério decisivo. Dessa forma, eventos com maior profundidade, mesmo que pouco frequentes, são enquadrados em classes superiores de perigo, pois representam maior potencial destrutivo e risco imediato à vida. Por outro lado, eventos menos profundos podem ser enquadrados em classes intermediárias quando apresentam recorrência elevada, refletindo o impacto cumulativo sobre a população exposta e a infraestrutura urbana. O quadro 5 estabelece os critérios utilizados para classificação do perigo de enxurradas não associadas a cursos d'água (vias e ruas).

Quadro 5 – Critérios utilizados para classificação do perigo de enxurradas não associadas a cursos d'água (vias e ruas).

CLASSE DE PERIGO	ALTURA LÂMINA D'ÁGUA (metros)	FREQUÊNCIA (últimos 10 anos)
P2 Médio	$h \leq 0,15$	Mais de 1 ocorrência
	$0,15 < h < 0,30$	Até uma ocorrência
P3 Alto	$0,15 < h < 0,30$	Mais de uma ocorrência
	$0,30 \leq h < 0,50$	Até uma ocorrência
P4 Muito Alto	$h \geq 0,50$	Pelo menos uma ocorrência

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Principais Vantagens do Método Qualitativo

O **método qualitativo** oferece vantagens estratégicas para o mapeamento de perigo de inundação e enxurradas, especialmente em contextos urbanos e municípios com lacunas de dados. Dentre seus principais benefícios, destacam-se:

- **Execução simples por equipes treinadas:** a aplicação depende sobretudo de conhecimento técnico e experiência de campo, sem necessidade de instrumentação complexa.
- **Adequação à escala local:** permite captar especificidades do território, da ocupação urbana e da percepção dos moradores, o que é essencial para compreender a dinâmica real dos eventos.
- **Independência de bases cartográficas detalhadas:** pode ser realizado mesmo na ausência de mapas de alta resolução ou modelos digitais de terreno, utilizando observações diretas e registros locais.
- **Independência de séries hidrológicas completas:** não exige dados pluviométricos ou de vazão, o que o torna aplicável em municípios sem monitoramento hidrometeorológico estruturado.

Principais Desvantagens do Método Qualitativo

Apesar das vantagens, o método qualitativo apresenta limitações inerentes ao seu caráter empírico e retrospectivo:

- **Incapacidade de estimar cenários com períodos de retorno maiores:** como se baseia exclusivamente em eventos já observados, o método não permite projetar inundações associadas a chuvas extremas que ainda não ocorreram no período analisado. Isso restringe a avaliação de eventos raros, mas potencialmente catastróficos.
- **Incapacidade de estimar cenários de mudanças hidráulicas e hidrológicas na bacia hidrográfica:** Como se baseia em eventos já observados, o método não permite prever alterações nos cenários futuros de inundação decorrentes de implantação de infraestruturas de macro e micro drenagem, barragens e alterações significativas no uso e ocupação do solo.
- **Dependência da memória e da percepção local:** embora valiosa, a informação fornecida por mora-

dores pode conter lacunas, imprecisões ou vieses, especialmente para eventos antigos.

→ **Menor capacidade de generalização:** os resultados são altamente dependentes do contexto local e podem não ser extrapoláveis para áreas vizinhas com características distintas.

Mapeamento quantitativo

Modelagem hidrológica-hidráulica-hidrodinâmica

O mapeamento quantitativo utiliza modelos matemáticos e computacionais para traduzir fenômenos físicos em representações cartográficas objetivas. O acoplamento entre modelos hidrológicos e hidráulicos constitui uma estratégia eficaz para simular cenários futuros, inclusive sob limitações de dados. Enquanto a modelagem hidrológica representa o comportamento da bacia

para estimar o escoamento superficial (vazão) a partir da precipitação, a modelagem hidráulica delimita as áreas afetadas e define as cotas de inundação.

O objetivo central deste método é determinar as manchas de inundação sob diferentes probabilidades de ocorrência. Para isso, aplicam-se modelos unidimensionais (1D), que definem as cotas, e bidimensionais (2D), que permitem delimitar a extensão da área inundada. A confiabilidade desses resultados exige um conjunto de dados rigoroso, detalhado no quadro 6.

Ressalta-se que o método qualitativo (trabalho de campo) agrega valor indispensável à modelagem, pois fornece os condicionantes do meio físico e as intervenções antrópicas que servem de insumo para que o modelo represente fielmente as condições reais da área estudada.

Quadro 6 – Dados necessários para a modelagem do perigo à inundação.

CATEGORIA	INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS	OBSERVAÇÕES
Hidrologia	- Vazões máximas, médias e mínimas - Séries históricas de chuvas e de vazões	A partir do uso de métodos empíricos ou séries históricas de instituições oficiais
Topografia e batimetria	- Modelo Digital de Terreno (MDT) - Levantamentos topográficos e batimétricos de precisão	A acurácia da simulação hidráulica está diretamente relacionada à resolução do MDT
Geometria dos cursos d'água	- Seções transversais e longitudinais do canal - Largura, profundidade e inclinação	Essencial para definir a área de escoamento e o comportamento da cheia
Uso e ocupação do solo	- Grau de impermeabilização - Tipo de cobertura vegetal - Ocupação urbana	Impacta na geração do escoamento superficial e na infiltração
Infraestrutura urbana	- Rede de drenagem existente (bueiros, galerias) - Obras hidráulicas (drenos, diques, canais)	Importante para simular cenários com ou sem intervenção
Condições de contorno	- Nível d'água a jusante - Vazões iniciais e limites da bacia	Define como o sistema responde nas bordas da área simulada
Parâmetros hidráulicos	- Coeficiente de Manning - Perdas de carga localizadas - Coeficiente de rugosidade	Deve-se ajustar conforme o tipo de solo, vegetação e canalização
Eventos simulados	- Chuvas de projeto com diferentes períodos de retorno (TR) - Eventos extremos históricos	Utilizado para análise de risco e dimensionamento de infraestrutura
Estruturas de controle de vazão	- Capacidades hidráulicas - Limites de descarga - Regras operacionais e cronogramas de manobras - Intervenções extraordinárias	Alteram diretamente o comportamento hidrológico e hidráulico do canal.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A modelagem hidrológica-hidráulica-hidrodinâmica gera um conjunto de mapas que descrevem vazões, profundidades e velocidades de fluxo para diferentes cenários de inundação. Esses produtos são sempre associados a períodos de retorno específicos, constituindo a base técnica para a elaboração dos mapas de perigo à inundação.

A qualidade e a confiabilidade desses resultados dependem diretamente da precisão dos dados de entrada, como séries pluviométricas, características geomorfológicas, parâmetros de rugosidade, condições de contorno e representação da ocupação urbana. Quanto mais consistentes forem esses dados, menor será o tempo necessário para ajustes e análises complementares.

A validação dos resultados é uma etapa obrigatória e deve ser realizada por meio da comparação entre as simulações e a dinâmica real observada (Figura 22). Para assegurar a fidelidade do modelo, a aferição

deve incluir vistorias técnicas e inspeções de campo, fundamentais para:

- Verificar a coerência entre as manchas simuladas e as marcas físicas de atingimento (marcas de lama e nível d'água);
- Confrontar os resultados com fotografias aéreas e registros históricos;
- Validar os dados a partir do conhecimento local e mapeamentos participativos, integrando a memória dos moradores sobre a profundidade e o comportamento das águas no bairro

A integração entre modelagem numérica, validação em campo e conhecimento local fortalece a robustez do diagnóstico, reduz incertezas e contribui para a construção de mapas de perigo mais representativos da realidade territorial.

Figura 22 – Fotografias aéreas registradas durante evento de inundação em Muriaé/MG, utilizadas para a calibração e validação da modelagem hidrodinâmica.





Fonte: Rádio Muriaé, 2023.

A definição dos graus de perigo apresenta diferenças relevantes entre a aplicação de métodos qualitativos-participativos e métodos quantitativos no estudo de processos de inundação. Nos métodos quantitativos, destaca-se a possibilidade de geração de cenários de inundação associados a diferentes tempos de retorno, bem como a determinação das velocidades de escoamento (particularmente em modelagens hidrodinâmicas), informação essencial para compreender a capacidade de transporte do fluxo.

Com base nessa premissa, a análise do perigo pode ser desenvolvida alternativamente a partir do **fator de velocidade (FV)**, definido como o produto entre a altura da lâmina d’água e a velocidade do fluxo. Sua unidade de medida é L^2/T , onde:

L^2 (Comprimento ao quadrado): Representa uma unidade de área. No sistema métrico, isso é usualmente expresso em **metros quadrados (m^2)**.

T (Tempo): Representa uma unidade de tempo, usualmente expressa em segundos (s).

Portanto, a expressão dimensional L^2/T traduz-se na unidade prática de **metros quadrados por segundo (m^2/s)**

Esse parâmetro deve ser associado à frequência de ocorrência da inundação, conforme apresentado no quadro 7, que considera simulações para um tempo de retorno de 25 anos.

Para inundações graduais, quando as alturas de lâmina d’água forem inferiores a 0,50 m, e houver menos de três ocorrências nos últimos dez anos, considera-se que a área não apresenta perigo de inundação, não sendo necessário calcular o fator de velocidade. Para inundações bruscas, aplica-se o mesmo critério quando as alturas forem inferiores a 0,30 m e houver menos de três ocorrências no mesmo período.

Quando a lâmina d’água ultrapassar 2,0 m em inundações graduais ou 1,20 m em inundações bruscas, devem ser adotados diretamente os critérios dos quadros 7 e 8, classificando-se a área como perigo classe P4, independentemente do valor do fator de velocidade.

Quadro 7 – Critérios baseado no fator de velocidade que devem ser utilizados para a determinação dos graus de perigo para inundações graduais, bruscas e enxurradas, nos casos de mapeamento quantitativos.

CLASSE DE PERIGO	Fator de velocidade (FV) (m^2/s)
P2 Médio	$0,3 \leq FV < 0,6$
P3 Alto	$0,6 \leq FV < 1,0$
P4 Muito Alto	$FV \geq 1,0$

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Deve-se observar que, dentre os métodos de modelagem, alguns não são capazes de subsidiar a utilização deste critério de classificação de perigo, pois não fornecem a velocidade do fluxo. Nestes casos utilizam-se os quadros 7 e 8 para classificação do grau de perigo, sempre considerando que ocorreu a validação dos dados estimados pelo modelo.

Os modelos baseados em dados, incluindo aqueles fundamentados em técnicas de inteligência artificial, apresentam ampla diversidade metodológica e podem ou não estimar velocidades de escoamento, dependendo da disponibilidade, qualidade e representatividade dos dados utilizados no treinamento.

Independentemente da abordagem adotada, esses modelos devem ser submetidos a procedimentos rigorosos de calibração e validação, de modo a assegurar confiabilidade às estimativas produzidas.

Vantagens do Método Quantitativo

O emprego de métodos quantitativos no mapeamento de riscos oferece diferenciais estratégicos, permitindo uma análise objetiva e preditiva dos processos hidrológicos. Dentre a sua **principal vantagem**, destaca-se: a capacidade de simular áreas de inundação associa-

das a eventos de precipitação não registrados historicamente ou vinculados a tempos de retorno elevados. Essa característica é particularmente relevante para a avaliação de cenários futuros de precipitação e vazão, sobretudo no contexto das **mudanças climáticas**, que tendem a alterar padrões hidrológicos e intensificar eventos extremos.

Desvantagens do Método Quantitativo

Contudo, a aplicação dessas abordagens numéricas impõe desafios e **limitações operacionais** que devem ser criteriosamente ponderados:

- **Exigência de Especialização:** a eficácia das modelagens depende de uma equipe técnica altamente qualificada para a obtenção, o tratamento e a parametrização rigorosa dos dados
- **Custos e Prazos Elevados:** os custos operacionais são significativamente superiores aos dos métodos qualitativos, exigindo maior investimento em tempo para a aquisição, o processamento e a análise das informações.
- **Dependência de bases de dados robustas e de alta resolução:** que implica maior tempo de aquisição, processamento e análise.
- **Sensibilidade a deficiências em dados topográficos e batimétricos:** que podem comprometer a acurácia dos resultados e levar à representação inadequada das áreas inundáveis, especialmente no que se refere à morfologia do leito do canal e às características geomorfológicas da planície adjacente.

Mapeamento de Perigo de Alagamento

A elaboração dos mapas de perigo de alagamento fundamenta-se em dados obtidos diretamente em campo, complementados por informações fornecidas por moradores e pela equipe técnica municipal durante o processo de mapeamento qualitativo e participativo. As vistorias incluem a análise de diversos condicionantes associados à ocorrência de alagamentos, entre os quais se destacam:

- Presença, ausência ou insuficiência de sistemas de drenagem superficial, incluindo sarjetas, bocas de

- lobo, galerias e dispositivos complementares.
- Disposição natural dos terrenos em acumular água devido à linha de saturação do solo próximo a superfície (terrenos naturalmente alagadiços)
- Condições operacionais dos sistemas de drenagem, com verificação de obstruções, assoreamento, danos estruturais ou falhas de manutenção que possam comprometer a capacidade de escoamento.
- Histórico de eventos anteriores, obtido por meio de relatos de moradores, registros de órgãos públicos, imagens fotográficas e materiais audiovisuais que permitam caracterizar a frequência, intensidade e extensão das ocorrências.

Os métodos empregados correspondem àqueles descritos no item **Mapeamento qualitativo e participativo para inundações enxurradas**, utilizando-se as classes de perigo definidas para inundação gradual (quadro 8), que orientam a classificação das áreas conforme a suscetibilidade observada e reportada.

Quadro 8 – Critérios utilizados para classificação do perigo de alagamentos.

CLASSE DE PERIGO	ALTURA LÂMINA D'ÁGUA (metros)	FREQUÊNCIA (últimos 10 anos)
P2 Médio	$h \leq 0,5$	Mais de 3 ocorrências
	$0,5 < h < 1,2$	Até uma ocorrência
P3 Alto	$0,5 < h < 1,2$	Mais de uma ocorrência
	$1,2 \leq h < 2,0$	Até uma ocorrência
P4 Muito Alto	$1,2 \leq h < 2,0$	Mais de uma ocorrência
	$h \geq 2,0$	Pelo menos uma ocorrência

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Nos mapeamentos de alagamentos, quando as alturas de lâmina d'água forem inferiores a 0,50 m e houver menos de três ocorrências nos últimos dez anos, considere-se que a área não apresenta perigo de alagamento.

Esse tipo de abordagem é especialmente útil em áreas onde não há séries históricas de dados hidrológicos ou infraestrutura de monitoramento, permitindo identificar padrões locais de alagamento a partir da combinação entre observação técnica e conhecimento comunitário. A qualidade do mapeamento depende diretamente da precisão das informações coletadas, da representatividade das vistorias e da participação efetiva dos moradores.

Principais vantagens do método

- Integração entre intensidade e recorrência: a combinação de altura da lâmina d'água com frequência de eventos permite capturar tanto o potencial de dano (altura) quanto a probabilidade de ocorrência (frequência).
- Aplicabilidade em áreas com dados limitados: o método pode ser aplicado mesmo quando não há séries hidrológicas completas, pois utiliza informações observadas em campo e registros comunitários, mantendo boa capacidade de diagnóstico.
- Facilidade de interpretação: as classes são intuitivas e facilmente compreendidas por equipes técnicas, gestores públicos e comunidades, facilitando comunicação de risco e tomada de decisão.
- Compatibilidade com mapeamentos qualitativos e participativos: o método se integra bem a levantamentos de campo, relatos de moradores e registros fotográficos, valorizando o conhecimento local e aumentando a precisão espacial.
- Possibilidade de padronização: os critérios podem ser replicados em diferentes bacias e municípios, permitindo comparabilidade entre áreas e consistência metodológica em planos de gestão de risco.

Principais desvantagens do método

- Dependência de dados de campo e relatos: a qualidade da classificação depende da precisão das medições e da confiabilidade dos relatos. Em áreas com pouca participação comunitária ou registros escassos, a classificação pode ficar limitada.

- Sensibilidade a erros de estimativa da altura da lâmina d'água: alturas mal estimadas (por falta de marcas) podem deslocar uma área para uma classe incorreta, afetando o mapa final.
- Frequência de eventos pode ser subestimada: eventos não registrados oficialmente ou esquecidos pelos moradores podem levar a uma classificação mais baixa do que a real, especialmente em áreas com população flutuante ou rotatividade habitacional.
- Pode não capturar mudanças recentes no ambiente: alterações urbanas, obras de drenagem, entre outras alterações podem modificar rapidamente o comportamento das águas, tornando a classificação desatualizada se não houver revisões periódicas.

Avaliação da vulnerabilidade e estimativa do risco a inundação, alagamentos e enxurradas

A avaliação do risco de inundação, alagamentos e enxurradas em canais de drenagem deve considerar três componentes fundamentais:

- **Perigo (ou ameaça):** intensidade, frequência e características do processo hidrológico (inundação gradual, alagamento, enxurrada).
- **Exposição:** presença de pessoas, edificações, infraestrutura e atividades na área sujeita ao evento.
- **Vulnerabilidade:** fragilidade física, social e funcional dos elementos expostos.

A vulnerabilidade é avaliada considerando as seguintes dimensões:

- **Tipo de edificação:** resistência estrutural e capacidade de suportar impactos de água e detritos.
- **Condições de acesso:** facilidade de evacuação e chegada de equipes de emergência.
- **Serviços urbanos essenciais:** disponibilidade de água, esgoto e energia, que influenciam a resiliência pós-evento.
- **Equipamentos institucionais:** presença de escolas, postos e unidades de saúde, CRAS, entre outros, que aumentam a relevância social da área.

Quadro 9 – Critérios utilizados para avaliação da vulnerabilidade.

CLASSE DE VULNERABILIDADE	TIPO EDIFICAÇÃO	TIPOS DE ACESSOS	SERVIÇOS URBANOS	EQUIPAMENTOS INSTITUCIONAIS
V1 Vulnerabilidade Baixa	Edificações em alvenaria com estrutura, boa resistência a impactos e umidade.	Ruas pavimentadas, com circulação adequada para veículos de emergência e de pedestres.	Rede de abastecimento de água, coleta de esgoto, serviço de coleta de resíduos sólidos, fornecimento regular de energia elétrica.	Presença de equipamentos institucionais na área de mapeamento ou entorno próximo.
V2 Vulnerabilidade Média	Predominância de alvenaria sem amarração estrutural, menor resistência a esforços hidrodinâmicos	Ruas pavimentadas e não pavimentadas, com trechos que podem dificultar o acesso a veículos e pedestres.	Água encanada, mas sem coleta/afastamento de esgoto, ausência/intermitência de coleta de resíduos sólidos; fornecimento de energia disponível.	Presença de equipamentos institucionais na área de mapeamento ou entorno próximo.
V3 Vulnerabilidade Alta	Predominância de madeira, lona ou materiais frágeis, com alta suscetibilidade a colapso.	Ruas não pavimentadas presença de buracos, desníveis e obstruções à circulação, vielas ou becos, dificultando a evacuação e o acesso de socorro.	Ausência de serviços básicos (rede de abastecimento água, ausência de coleta/afastamento de esgoto, ausência de coleta de resíduos sólidos e ausência de energia elétrica.	Ausência de equipamentos institucionais na área mapeada.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Como mostrado no quadro 9, a classe **V3 – Vulnerabilidade alta** caracteriza cenários críticos, nos quais a fragilidade das estruturas e a precariedade dos serviços básicos potencializam significativamente o risco de perdas humanas e materiais.

Um aspecto fundamental nesta avaliação é que a presença de **equipamentos institucionais** (como escolas, unidades de saúde ou centros de referência de assistência social – CRAS) em áreas de vulnerabilidade média (classe V2) eleva automaticamente a **prioridade de intervenção**, mesmo que a fragilidade física das edificações não seja a mais alta (quadro 9).

Para a determinação do nível de vulnerabilidade do setor, adota-se o princípio da **precedência da maior fragilidade**. Nos casos em que as **três dimensões** (Edificação, Acesso e Infraestrutura/Serviços) indiquem classes diferentes, deve-se priorizar a classificação mais elevada:

- Se qualquer uma das dimensões for identificada como **V3**, esta será a classe adotada para o setor.
- Se houver dimensões indicando **V2** e as demais forem V1, o setor será classificado como **V2**

Para estudos de maior complexidade e detalhamento, recomenda-se a incorporação de indicadores sociais adicionais, tais como faixas de renda e o percentual de

populações mais sensíveis (menores de 5 anos e idosos, acima de 65 anos), permitindo que o diagnóstico evolua para uma análise de vulnerabilidade socioambiental.

A estimativa de risco final constitui, portanto, o produto do cruzamento entre a classe de perigo e a vulnerabilidade consolidada. Para o cenário de enxurradas em vias urbanas, esse diagnóstico é operacionalizado pela matriz de risco representada no quadro 10, tendo como base os critérios específicos de vulnerabilidade detalhados no quadro 11.

Quadro 10 – Critérios utilizados para estimativa do risco a inunda  o, alagamentos e enxurradas.

		VULNERABILIDADE			
		V1 – Baixa	V2 – Média	V3 – Alta	
PERIGO	P2 Médio	R2 – Risco médio	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	RISCO
	P3 Alto	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	
	P4 Muito Alto	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	R4 – Risco muito alto	
		RISCO			

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Quadro 11 – Crit  rios utilizados para determina  o da classifica  o do risco para inunda  o gradual, alagamento e enxurrada associada a cursos d’  gua.

GRAU DE RISCO	DESCRI��O	VULNERABILIDADE
R2 Médio	áreas sujeitas a inunda��es, alagamentos e enxurradas de baixa a moderada intensidade, com lâmina d’água geralmente inferior a 1,2 m e frequência reduzida. Os impactos tendem a ser limitados, com danos materiais moderados e baixa probabilidade de perdas estruturais significativas. A inunda��o pode causar transtornos, interrup��o temporária de serviços e necessidade de a��es pontuais de resposta.	Edifica��es com maior resistência estrutural (V1) ou áreas com vulnerabilidade intermediária (V2), onde o acesso �� relativamente viável e os serviços urbanos estão presentes, ainda que parcialmente. A exposi��o existe, mas a capacidade de suporte e resposta reduz o potencial de danos.
R3 Alto	áreas com inunda��es, alagamentos e enxurradas frequentes ou com lâmina d’água entre 0,5 m e 2,0 m, capazes de causar danos significativos a edifica��es, vias e infraestrutura urbana. A popula��o pode ser afetada de forma recorrente, com prejuízos materiais relevantes e maior necessidade de a��es de resposta durante eventos de chuva.	Edifica��es de menor resistência (V2) ou áreas com alta vulnerabilidade (V3), onde acessos são precários, serviços urbanos são insuficientes e a capacidade de resposta �� reduzida. A combina��o de perigo e vulnerabilidade aumenta substancialmente o potencial de danos.
R4 Muito Alto	áreas sujeitas a inunda��es, alagamentos e enxurradas intensas, com lâmina d’água superior a 1,2 m e ocorrência frequente, representando ameaça direta �� integridade física da popula��o. Os danos potenciais incluem destrui��o de edifica��es frágeis, perdas materiais severas, isolamento de moradores e interrup��o de serviços essenciais.	Predomínio de edifica��es frágeis (V3), ausência de serviços urbanos, acessos muito restritos e alta exposi��o direta ao processo de inunda��o. A popula��o apresenta baixa capacidade de autoprote��o e alta suscetibilidade a impactos graves.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A  es recomendadas por classe de risco, entre in  meras poss  veis e necess  rias:

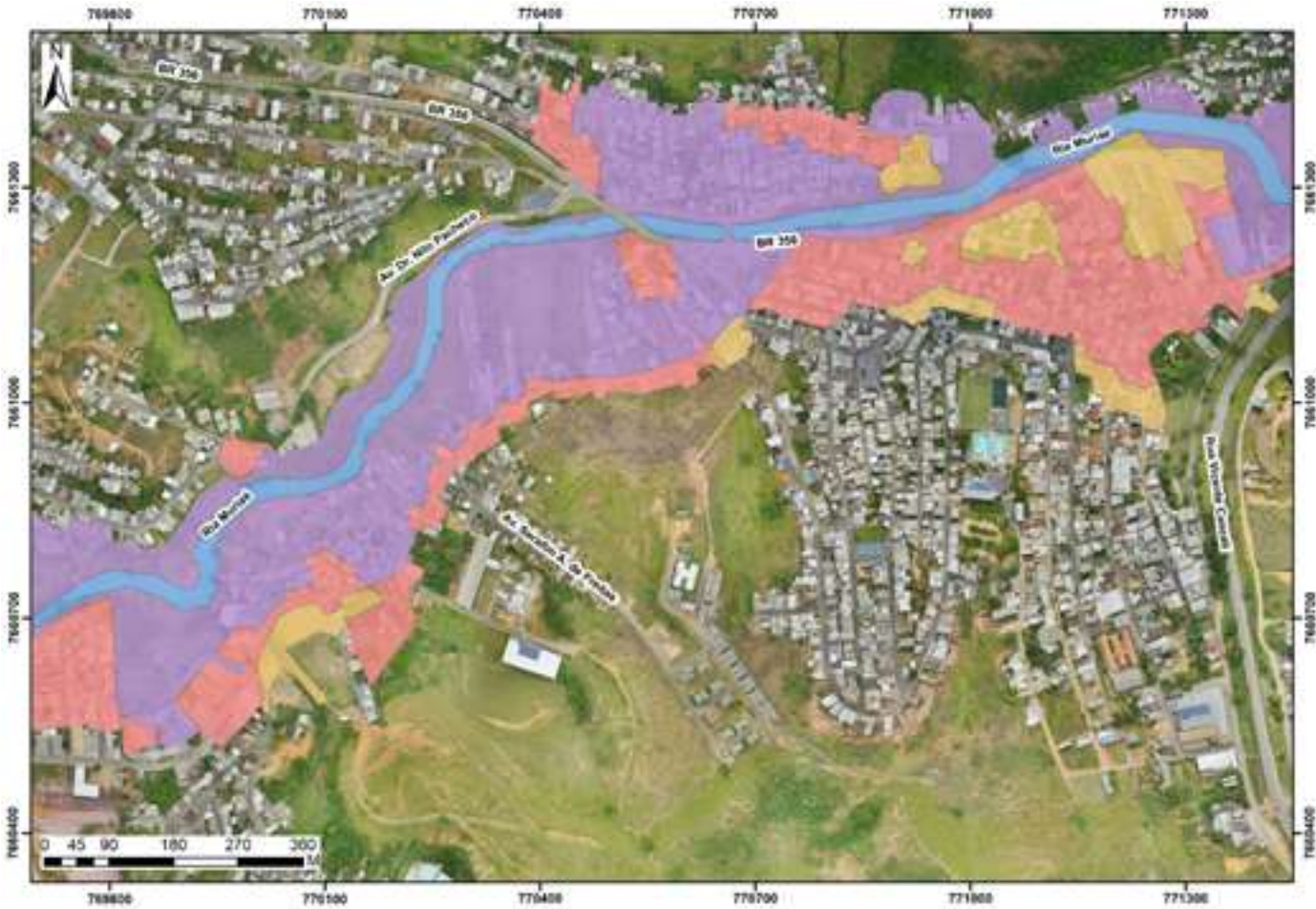
- **R2 – Risco m  dio:** monitoramento peri  dico; manuten  o rotineira dos sistemas de drenagem; educa  o e sinaliza  o, medidas n  o-estruturais (planos de evacua  o, alertas locais), interven  es pontuais para melhoria nos sistemas de drenagem.
- **R3 – Risco alto:** obras de mitiga  o (aumento de capacidade de escoamento, conten  es locais, reten  o de   gua na fonte), melhoria de acessos, planos de conting  ncia e cria  o de rotas de evacua  o e refor  o da sinaliza  o. Fortalecimento da defesa civil

local, a  es educativas cont  nuas. Pode haver necessidade de remo  o preventiva em pontos cr  ticos.

- **R4 – Risco muito alto:** obras estruturais de maior porte, remo  o preventiva de fam  lias em situa  o cr  tica, reassentamentos quando necess  rio, implanta  o de sistemas de alerta e abrigos institucionais, monitoramento cont  nuo e atua  o integrada entre   rg  os municipais, estaduais e federais.

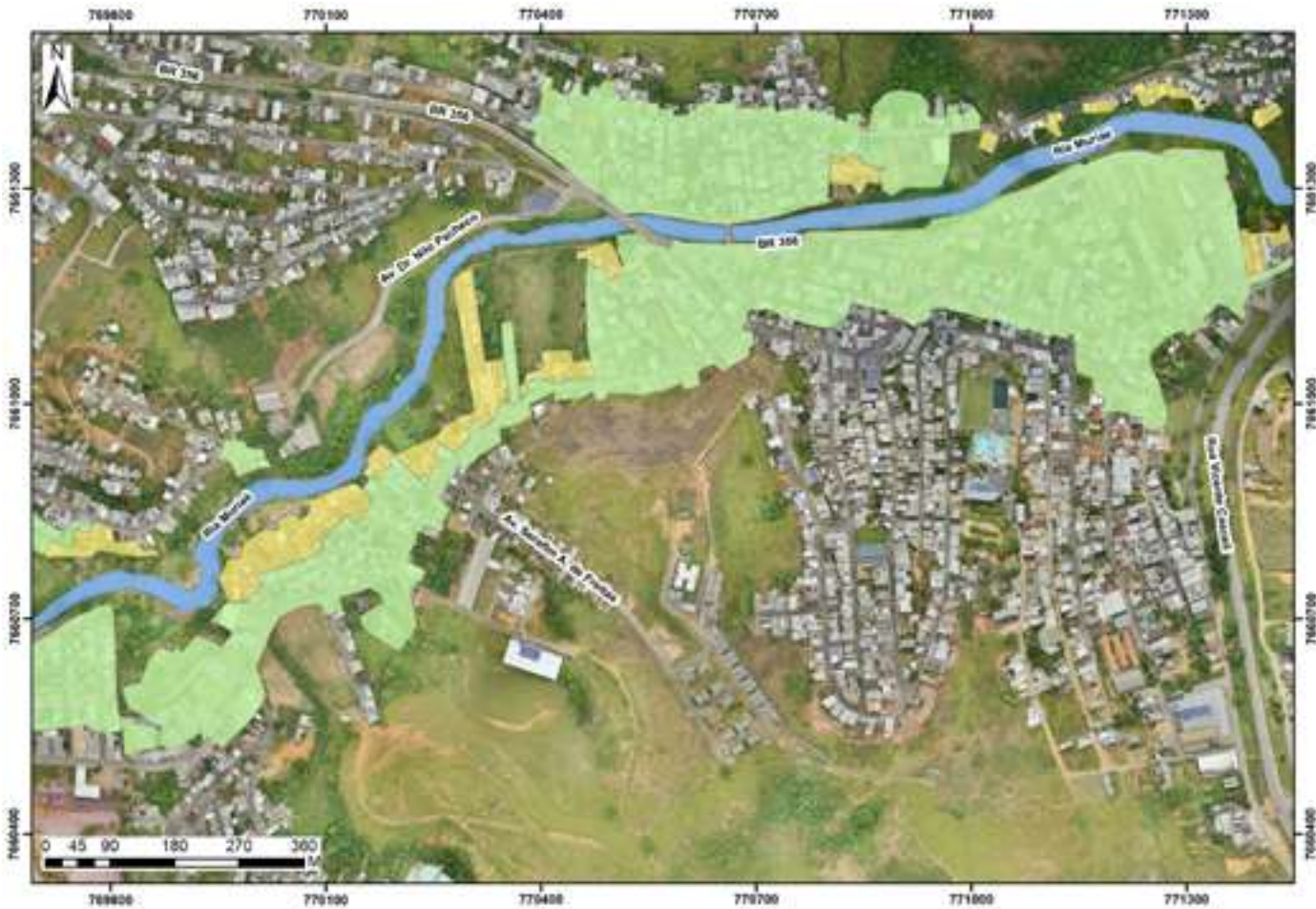
A aplica  o pr  tica das metodologias de mapeamento hidrol  gico    demonstrada nas figuras 23 a 25, tendo o munic  pio de Muria  /MG como base de exemplifica  o.

Figura 23 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de perigo para o processo de inundação (Processos hidrológicos – Ph) em um trecho as margens do Rio Muriaé no município de Muriaé/MG.



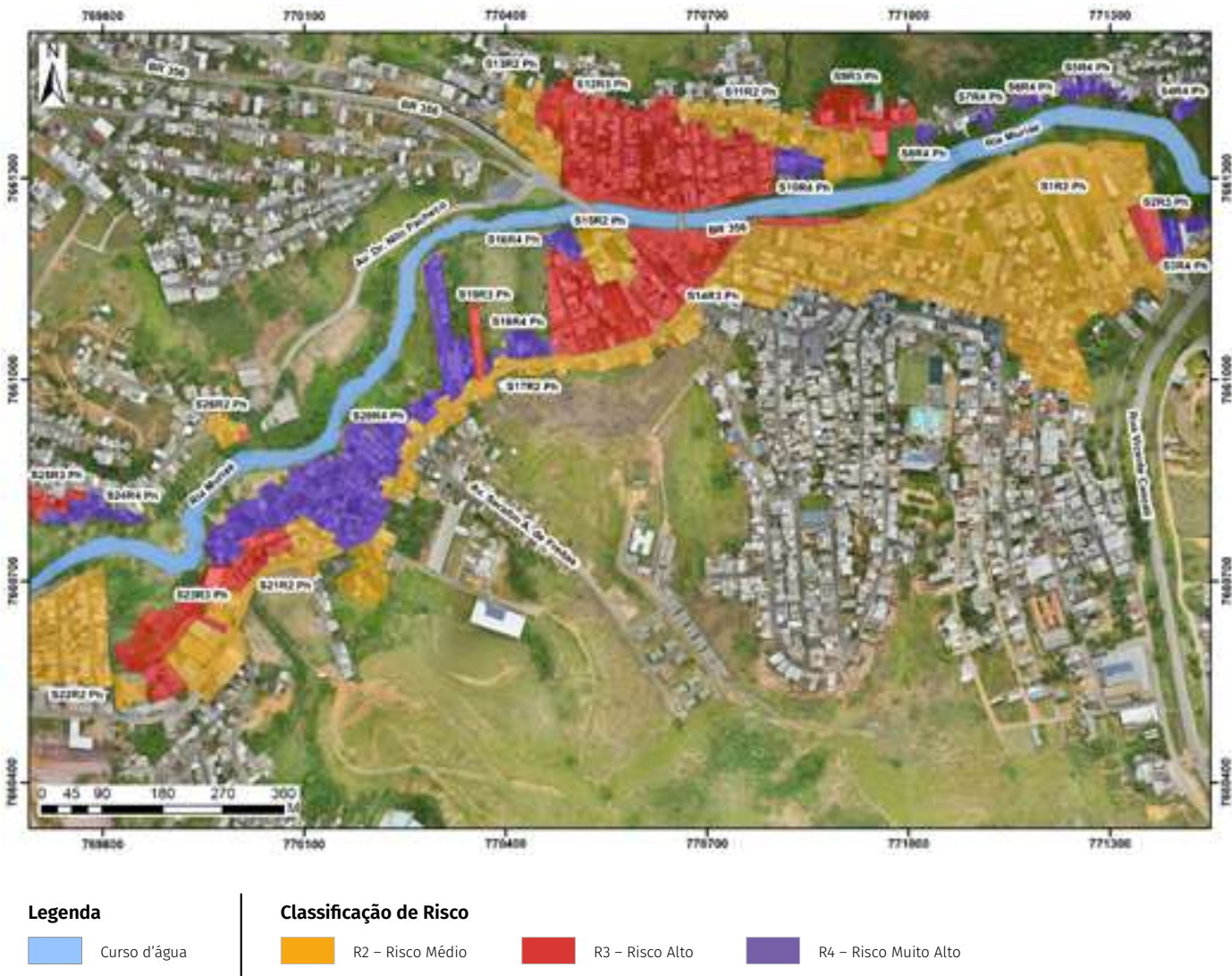
Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Figura 24 – Exemplo de classificação de vulnerabilidade baseado na altura da lâmina d'água e frequência para um trecho do município de Muriaé/MG.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Figura 25 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para o processo de inundação (Processos hidrológicos – Ph) em um trecho as margens do Rio Muriaé no município de Muriaé/MG.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Na definição dos níveis de risco para enxurradas em vias e ruas, a análise da vulnerabilidade distingue-se da abordagem aplicada a edificações por priorizar a segurança da mobilidade urbana e a salvaguarda da integridade física de transeuntes e condutores. Os parâmetros para essa avaliação estão estruturados em

três níveis distintos, conforme detalhado no quadro 12. A estimativa final do risco consolida-se por meio do cruzamento matricial entre as classes de perigo e os graus de vulnerabilidade identificados (quadro 13), permitindo a determinação da classificação do risco segundo os critérios estabelecidos no quadro 14.

Quadro 12 – Critérios utilizados para avaliação da vulnerabilidade.

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DESCRIÇÃO	CONDIÇÃO DE SEGURANÇA
V1 Vulnerabilidade Baixa	Fluxo de água não impede locomoção de pedestres e veículos.	Geralmente seguro
V2 Vulnerabilidade Média	Condições que dificultam o trânsito de veículos e aumentam risco para grupos vulneráveis; edificações menos robustas podem sofrer danos ou colapso parcial.	Inseguro para veículos, crianças e idosos
V3 Vulnerabilidade Alta	Fluxo com energia e profundidade que coloca em risco pedestres e veículos; todos os tipos de edificações podem sofrer danos estruturais; edificações frágeis têm risco de colapso.	Inseguro para veículos e pessoas; danos estruturais generalizados

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Quadro 13 – Critérios utilizados para estimativa do risco.

		VULNERABILIDADE			
		V1 – Baixa	V2 – Média	V3 – Alta	
PERIGO	P2 Médio	R2 – Risco médio	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	RISCO
	P3 Alto	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	
	P4 Muito Alto	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	R4 – Risco muito alto	
		RISCO			

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Quadro 14 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para enxurrada em vias e ruas.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE
R2 – Médio	Enxurradas de baixa intensidade, com lâmina d’água geralmente inferior a 0,30 m, capazes de causar transtornos à circulação, danos leves a veículos e alagamento superficial de vias. O fluxo apresenta energia limitada, sem capacidade significativa de arrastar pessoas ou veículos, embora possa gerar riscos pontuais para grupos vulneráveis.	Áreas classificadas como V1 ou V2, onde o fluxo não impede totalmente a locomoção, mas pode dificultar o trânsito de veículos leves e representar risco para crianças, idosos e pessoas com mobilidade reduzida. Em caso de atingimento, as edificações mais robustas tendem a resistir, com possibilidade de danos menores.
R3 – Alto	Enxurradas com lâmina d’água entre 0,15 m e 0,50 m, com velocidade suficiente para deslocar objetos, comprometer a circulação de veículos e colocar pedestres em risco. Os danos materiais podem ser significativos, incluindo prejuízos a edificações vulneráveis, erosão superficial e danos à pavimentação.	Áreas V2 ou V3, onde o fluxo dificulta ou impede a circulação de veículos, aumenta o risco para pedestres e pode causar danos estruturais em edificações menos resistentes. A capacidade de resposta é reduzida e a exposição da população é elevada.
R4 – Muito Alto	Enxurradas intensas, com lâmina d’água igual ou superior a 0,50 m, apresentando alta energia e velocidade, capazes de arrastar veículos, derrubar pessoas e causar danos estruturais severos. Representam ameaça direta à vida e podem provocar destruição de edificações frágeis, isolamento de moradores e interrupção total da mobilidade urbana.	Áreas V3, onde o fluxo é perigoso para qualquer pessoa ou veículo, e todos os tipos de edificações podem sofrer danos estruturais. Edificações frágeis apresentam risco de colapso, e a população tem baixa capacidade de autoproteção.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A classificação do risco apresentada na figura 26 constitui o fundamento para a implementação de um cronograma de gestão de riscos e de desastres, escalonado conforme a gravidade de cada setor mapeado.

Figura 26 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para o processo de enxurrada (Ex) ao longo do sistema viário de uma comunidade do município de Santo André/SP.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

AÇÕES RECOMENDADAS POR CLASSE DE RISCO ENTRE INÚMERAS POSSÍVEIS E NECESSÁRIAS

Para os setores classificados como R2 (Risco Médio)



Monitoramento contínuo mantendo registros de ocorrências e vistorias periódicas em pontos críticos.



Manutenção preventiva com a limpeza periódica de bocas de lobo e desobstrução de canais e instalação temporária de barreiras em pontos sensíveis.



Comunicação com sinalização local e avisos informativos orientando a população sobre locais de ocorrência das enxurradas e indicação de rotas seguras.

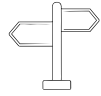


Alertas e restrições com emissão de alertas quando previsto chuvas de maior intensidade e restrição de circulação de pessoas e veículos em trechos vulneráveis.



Proteção de grupos vulneráveis com a identificação de escolas, asilos e unidades de saúde, preparando rotas alternativas e pontos de apoio.

Para os setores classificados como R3 (Risco Alto)



Comunicação com sinalização local e avisos informativos orientando a população sobre locais de ocorrência das enxurradas e indicação de rotas seguras.



Mobilização antecipada com o posicionamento de equipes de emergência, equipamentos e abrigos temporários antes do evento.



Evacuação parcial com a retirada de veículos e pessoas de edificações frágeis e áreas de risco e sinalização de rotas de fuga.

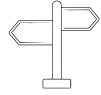


Execução de obras de mitigação de médio prazo como retenção de água a montante, canais de escoamento, contenções locais, elevação de pontos críticos.



Comunicação intensiva com emissão de alertas por rádio, SMS e redes sociais e comunicação coordenada com escolas e serviços essenciais.

Para os setores classificados como R4 (Risco Muito Alto)



Comunicação com sinalização local e avisos informativos orientando a população sobre locais de ocorrência das enxurradas e indicação de rotas seguras.



Evacuação preventiva ampla com a retirada de pessoas e veículos das áreas de risco, ativação de abrigos e logística de transporte.



Resposta de emergência com a mobilização de equipes de busca e salvamento, atendimento pré-hospitalar e controle de tráfego.



Intervenções estruturais de grande porte com a execução de obras emergenciais e planejamento de reconstrução com critérios de redução de risco.

É fundamental ressaltar que, em muitos cenários de riscos hidrológicos (como inundações graduais, costeiras ou decorrentes da subida do nível freático), as **intervenções estruturais** necessárias frequentemente extrapolam os limites territoriais de um único município. Nesses casos, a gestão eficaz exige uma estreita coordenação e cooperação entre as cidades inseridas na mesma bacia hidrográfica, uma vez que os impactos e as soluções se propagam por toda a rede de drenagem. Tal articulação é indispensável para que o planejamento e a execução de obras sejam integrados, evitando-se medidas isoladas que possam transferir ou agravar os riscos em outros pontos da bacia.

Paralelamente, o planejamento e a implementação de **ações não estruturais** são imprescindíveis e devem ser realizados de forma transversal para todas as classes de risco. Essas medidas, que incluem sistemas de alerta, planos de contingência e educação ambiental, constituem a base para a resiliência urbana e devem ser mantidas independentemente da execução de obras físicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. *et al.*, Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Periferia sem risco: guia para planos municipais de redução de riscos (PMRR). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Guia para Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.

CPRM; IPT. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: nota técnica explicativa. Brasília: CPRM; São Paulo: IPT, 2014.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. Gestão de riscos e desastres: a importância da articulação entre diferentes escalas de gestão. In: SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (Org.). Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018.

RENNÓ, A. D. *et al.*, HAND, a new terrain descriptor using height above the nearest drainage. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (Org.). Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

UNDRR. Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030. Genebra: UNDRR, 2015.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2022). Geneva: UNDRR, 2022.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2023). Geneva: UNDRR, 2023.

74

75

CAPÍTULO 3 PROCESSOS EROSIVOS

Leonardo Andrade de Souza,
Júlio Cesar Lana,
Milena Marília Nogueira de Andrade,
Jackeline Leite Pereira Pavin,
Daniela Buosi Rohlfs,
Leonardo Santos Salles Varallo,
Fernando Rocha Nogueira,
Rodolfo Baêssso Moura.

A **erosão** é definida como o processo de remoção e transporte de partículas individualizadas de solo ou de rochas alteradas (sedimentos) por agentes como o vento, o gelo e, predominantemente no Brasil, a água (Morgan, 2005). Compreender esse fenômeno exige uma visão integrada, visto que ele resulta da interação dinâmica entre fatores físicos, meteorológicos e antrópicos que operam de forma interdependente, moldando a intensidade e a distribuição espacial do processo ao longo do tempo.

Entre os diversos fenômenos geológicos que influenciam o meio ambiente e a sociedade, os processos erosivos se sobressaem por sua expressiva abrangência territorial e pela elevada incidência de casos registrados em todo o território brasileiro, ocorrendo em todos os biomas do país – Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Amazônia e Pampas – tanto no interior das áreas continentais quanto nas faixas litorâneas. Frequentemente, esses processos são desencadeados pela supressão de matas ciliares e coberturas vegetais de vertentes, queimadas e práticas conduzidas de forma inadequada pelas atividades agropecuárias e pela construção civil, além das falhas ou ausência de planejamento urbano, que agravam a ocupação desordenada e a degradação ambiental.

Ao longo do tempo, os processos erosivos têm acarretado um pesado ônus à sociedade, não apenas pela perda dos recursos naturais, particularmente das camadas mais férteis do solo, como também dos investimentos públicos e privados ao afetar obras de infraestrutura e edificações. A erosão ainda promove, como consequência, o assoreamento de canais fluviais, lagos e barragens.

Há vários fatores que influenciam a potencialidade e as características dos processos erosivos, com destaque para o clima, marcadamente com a intensificação dos eventos climáticos extremos; a topografia condicionando a concentração do fluxo superficial das águas; a geologia e sua influência na resistência do solo e das rochas à ação dos agentes erosivos; a cobertura vegetal, pois protege o solo contra o impacto direto da chuva, reduz o escoamento superficial e favorece a infiltração da água; e as atividades

antrópicas que podem tanto gerar e/ou acelerar os processos, quanto minimizar os impactos com adoção de práticas sustentáveis, como reflorestamento, manejo adequado do solo, técnicas de engenharia ambiental e Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

Embora o processo físico de remoção de partículas seja comum a diversas áreas, a compreensão da erosão varia conforme o campo de aplicação. Sob a ótica da Engenharia Agrônômica, o foco reside primordialmente na conservação das camadas superficiais e férteis do solo (Morgan, 2005), visando à manutenção da produtividade agrícola e a proteção de recursos naturais contra o empobrecimento químico e físico. Já na Engenharia Geotécnica e na geologia aplicada, o interesse concentra-se na estabilidade do terreno e na segurança das estruturas (Guerra e Cunha, 2007). Aqui, a erosão é analisada como um processo geodinâmico capaz de gerar incisões profundas que comprometem a integridade de fundações, vias e infraestruturas, representando uma ameaça direta à segurança das populações e à viabilidade dos assentamentos urbanos.

CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

Os processos erosivos são classificados de acordo com o tipo de agente de remoção (agente erosivo) e com o ambiente em que ocorrem, sendo comumente subdivididos em erosão hídrica (provocada pela água), erosão eólica (provocada pelo vento) e erosão glacial (provocada pelo gelo). No Brasil, a erosão hídrica se destaca como a tipologia de processo erosivo mais comumente relacionada às áreas de risco, motivo pelo qual será caracterizada nos próximos tópicos em quatro subcategorias: erosão fluvial, erosão pluvial, erosão costeira e erosão fluviomarinha.

Os processos de erosão eólica e erosão glacial não serão abordados nesta publicação por não guardarem relação direta com o escopo da obra. A erosão glacial é restrita a ambientes com ocorrência de geleiras, inexistentes no território brasileiro, enquanto a erosão eólica, embora presente em algumas regiões do país, raramente é relevante ao mapeamento de risco geológico em escala de detalhe.

EROSÃO FLUVIAL

A **erosão fluvial** é um processo de desgaste dos materiais – solos, rochas e sedimentos, que compõem as margens e o fundo dos rios. Os desgastes são classificados como laterais ou verticais. **A erosão lateral** causa alargamento dos canais, atingindo as margens e, consequentemente, as edificações e infraestruturas implantadas nesses trechos, enquanto a erosão vertical é responsável por aprofundar o leito dos canais (Guerra e Cunha, 2007). No contexto dos desgastes laterais destacam-se os processos de **solapamento de margem**, com ocorrência generalizada em todo o território nacional, e o fenômeno das **terras caídas**, predominante na região amazônica. Devido à sua natureza particular, as terras caídas são classificadas nesta obra como **movimentos complexos** e detalhadas na seção final deste capítulo.

Solapamento de Margem

O **solapamento de margem** é um processo erosivo que causa a ruptura de taludes marginais de lagos, corpos d'água e canais fluviais (rios, córregos, arroios, igarapés), no qual a água desgasta gradualmente o solo ou a rocha da margem, causando instabilidade do talude. Podem ocorrer durante chuvas intensas, quando há aumento do volume e da velocidade do fluxo hídrico, bem como durante ou logo após processos de enchentes e inundações. Alterações no fluxo do rio, causadas pela inserção de canalizações e barragens, lançamento de águas servidas e pluviais, remoção da vegetação e construção de edificações próximas e/ou sobre as margens dos canais, podem modificar a dinâmica do escoamento e contribuir para a ocorrência desse processo.

A materialização desse processo e seus impactos na morfologia das margens podem ser observados nos registros da figura 27. As imagens capturadas no Rio Guandu (Afonso Cláudio/ES) (Figuras 27 A e 27B) (e no Rio Ubá (Ubá/MG) (Figuras 27C e 27D) exemplificam como o desgaste gradual provocado pelo fluxo hídrico compromete a estabilidade dos taludes marginais. Note-se que, em ambos os casos, a evolução da erosão lateral reduz progressivamente a sustentação do terreno, criando cenários de instabilidade que ameaçam a integridade das áreas adjacentes.

Figura 27 – Registro de solapamento de margem de canal no Rio Guandu, Afonso Cláudio/ES (A e B) e no Rio Ubá, Ubá/MG (C e D).



Fotos: (A e B) Leonardo A. Souza 2014, (C e D) Leonardo A. Souza, 2016.

EROSÃO PLUVIAL

A **erosão pluvial** resulta da ação direta das águas de chuva sobre a superfície do solo. Quando o escoamento superficial se concentra e sua velocidade excede a resistência ao cisalhamento do solo, inicia-se a **erosão linear**, caracterizada por incisões progressivas no terreno. A intensificação do escoamento gera fluxos concentrados que evoluem para feições de diferentes portes e morfologias, comumente classificadas, em ordem crescente de severidade, como **sulcos**, **ravinas** e **voçorocas**.

Nesse processo evolutivo, os sulcos são incisões superficiais e efêmeras formadas durante eventos chuvosos; tipicamente têm profundidade de centímetros e largura restrita (Figura 28). Apesar de sua baixa profundidade, sulcos podem transformar-se em caminhos preferenciais de escoamento, aumentando a concentração de fluxo e favorecendo a concentração de fluxo e a evolução para **ravinas**, que apresentam maior profundidade, continuidade espacial e taludes pronunciados, resultando em um transporte de sedimentos mais intenso. No estágio de maior severidade, formam-se as **voçorocas**: feições de grande escala com cabeceiras bem definidas, altas taxas de avanço e impactos significativos sobre a paisagem e o uso do solo.

Figura 28 – Sulcos erosivos desenvolvidos em talude marginal de estrada localizada no município de Caeté/MG.



Foto: Julio Lana, 2015.

Ravinas (Figura 29) e voçorocas (Figura 30A a 30C) constituem incisões erosivas perenes resultantes da ação do escoamento concentrado de água sobre o solo. A diferenciação entre essas feições não é uniformemente padronizada na literatura, mas estudos técnicos costumam adotar critérios dimensionais e evolutivos como parâmetros principais (profundidade, largura, continuidade espacial e

taxa de avanço) (Quadro 15). Sob essa ótica, o critério dimensional permite classificar sulcos, ravinas e voçorocas em uma escala de severidade, enquanto os parâmetros evolutivos (velocidade de avanço, integração em rede e persistência da cabeceira) permitem estimar o potencial de expansão do processo e os riscos iminentes à integridade da paisagem e das infraestruturas adjacentes.

Figura 29 – Ravinas desenvolvidas em talude de corte no município de Sabará/MG.

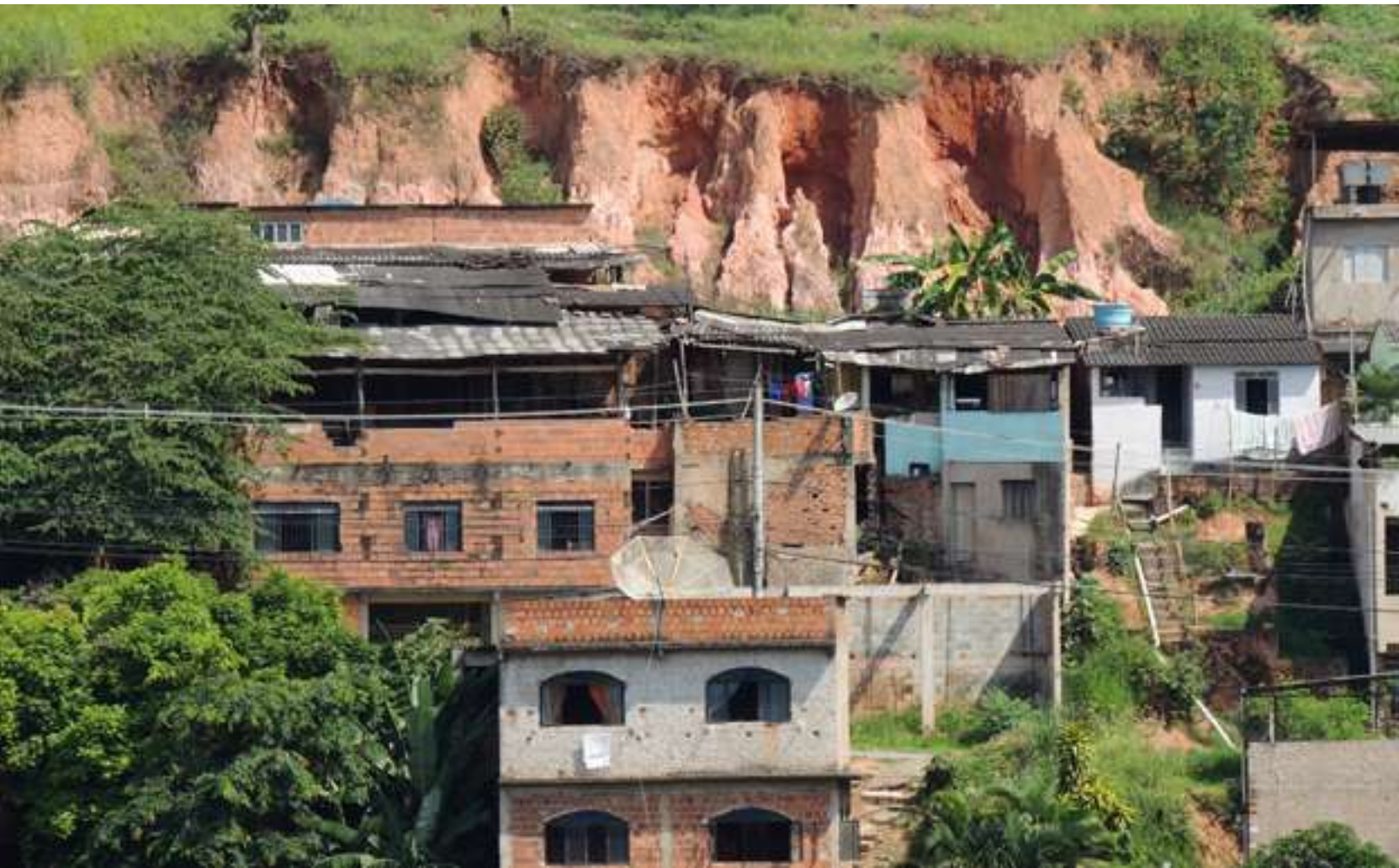


Foto: Leonardo A. Souza, 2013.

Em áreas urbanas, **ravinas** e **voçorocas** estão frequentemente associadas a processos de urbanização desordenada, sobretudo onde há deficiência de infraestrutura de drenagem. O lançamento inadequado de águas pluviais e águas servidas (efluentes) sobre faces de talude ou ao longo de vias de acesso intensifica o escoamento superficial e concentra fluxos, favorecendo a incisão do solo e a formação de canais erosivos perenes. A combinação de superfícies impermeabilizadas, cortes de talude sem estabilização e ausência de sistemas de captação e condução de águas pluviais reduz a infiltração, aumenta a velocidade do escoamento e eleva a probabilidade de ativação e avanço de feições erosivas.

A magnitude que esses processos podem assumir em cenários de precariedade urbana é evidenciada nas figuras 30A, 30B e 30C, que retratam voçorocas de grande dimensão nos municípios de Buriticupu e Açailândia, no Maranhão, **decorrentes principalmente da inadequação dos sistemas de drenagem urbana e de esgotamento sanitário**. Como se observa, essas voçorocas não apenas descaracterizam a paisagem, mas promovem a destruição direta de residências, vias e infraestruturas públicas. Esse cenário ilustra o estágio final de degradação discutido anteriormente, em que a energia do escoamento concentrado, potencializada pela impermeabilização do solo e pelo lançamento inadequado de efluentes, resulta em danos socioambientais de extrema gravidade e difícil reversão.

Figura 30 – Processos erosivos do tipo voçoroca no município de Buriticupu/MA (A e B) e no município de Açailândia/MA (C).



A



EROSÃO COSTEIRA

A **erosão costeira** é o processo de perda de material constituinte de uma determinada faixa litorânea, pela ação de agentes como ondas, correntes, marés, vento, chuvas e atividades humanas, causando o recuo da costa por meio de um balanço sedimentar negativo, ou seja, o material depositado é inferior em volume ao material carregado pelas marés (Figuras 31A, 31B e

31C). Pode ser causada por processos naturais, como pela elevação do nível do mar ou por causas antrópicas, como obras rígidas e supressão de faixas de areia. A compreensão espacializada desse fenômeno é fundamental para orientar políticas públicas e intervenções sustentáveis. Segundo Muehe (2018), cerca de 40% da linha de costa brasileira apresenta sinais de erosão, afetando ecossistemas frágeis e áreas densamente povoadas.

Figura 31 – Processos erosivos costeiros na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A), e na Praia do Pacheco, Caucaia/CE (B e C).



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Quadro 15 – Principais critérios dimensionais e evolutivos para distinção de feições erosivas pluviais.

TIPO	PROFUNDIDADE (m)	LARGURA (m)	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	REFERÊNCIAS
Sulco	≤ 0,20	≤ 0,30	Incisões rasas e estreitas, geralmente sazonais; podem evoluir para ravinas se o escoamento se concentrar.	EMBRAPA 2018; Guerra & Cunha 2012
Ravina	0,20 – 2,0	> 0,30	Canal linear mais profundo e contínuo que sulcos; escava horizontes superficiais do solo; taludes pronunciados; avanço moderado.	EMBRAPA 2018; Lepsch 2011
Voçoroca	> 2,0	> 10,0	Feição de grande porte com cabeceira ativa, paredes íngremes/verticais, alta taxa de avanço e grande remoção de volume de solo.	IBGE 2007; EMBRAPA 2018

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

EROSÃO FLUVIOMARINHA

A **erosão fluviomarina** resulta da ação combinada de correntes fluviais e de processos costeiros (marés semidiurnas e ondas), que atuam de forma integrada sobre margens estuarinas e trechos costeiros, promovendo transporte, redistribuição e perda de sedimentos. No contexto dos estuários da Zona Costeira Amazônica, o Serviço Geológico do Brasil – SGB, passou a adotar, a partir de 2023, o termo *erosão fluviomarina* para designar as erosões marginais que decorrem da interação entre a vazão fluvial e o fluxo de marés

Na interface entre ambientes fluviais e marinhos, as margens são fortemente condicionadas por uma

hidrodinâmica complexa, resultante da interação entre a vazão fluvial e os processos costeiros. As marés semidiurnas são determinantes, pois modulam o nível d’água, alteram as velocidades e direções das correntes e definem a extensão das áreas alagadas, influenciando diretamente a tensão de cisalhamento sobre o leito e a base dos taludes e, consequentemente, os padrões de erosão, deposição e mobilidade sedimentar.

Esse processo e seus impactos na infraestrutura urbana e na morfologia das margens podem ser observados nas figuras 32 e 33. O registro na orla de **Abaetetuba/PA** evidencia a erosão marginal sob influência de mesomarés (Figura 32).

Figura 32 – Erosão da margem no Rio Maratauíra, orla da cidade de Abaetetuba/PA.



Foto: Sheila Teixeira – Serviço Geológico do Brasil, 2023.

Na Ilha do Mosqueiro, Belém/PA (Figura 33) observa-se o risco associado à ocupação da borda de tabuleiros, com sucessivas construções ocupando a borda do tabuleiro que apresenta recuo dado o processo erosivo.

Figura 33 – Erosão flúviomarinha na Praia do Paraíso, Ilha do Mosqueiro, Belém/PA.



Foto: Acervo PMRR Belém, 2024.

TERRAS CAÍDAS

O termo “terras caídas” é utilizado para designar um fenômeno particular de erosão lateral associado a movimentos de massa de grandes proporções, que ocorrem predominantemente nas margens dos rios amazônicos (Figueiredo, 1945, Tricart, 1977, Sternberg, 1998, Carvalho, 2006, Labadessa, 2011, Rodrigues, 2014, Bandeira *et al.*, 2018 e 2021), podendo ocorrer, também, em outras regiões hidrográficas.

A ocorrência do processo é condicionada tanto pelas elevadas vazões, quanto pela variação sazonal do nível da água do rio. No período da cheia ou enchente ocorrem inicialmente solapamentos ao longo das margens, e na vazante por condições hidrostáticas, os taludes marginais perdem resistência e deslizam (Bandeira *et al.*, 2018). A depender do material que constitui o solo, esse movimento pode apresentar uma evolução lenta, como rastejos, mas que também causa instabilidade no terreno e compromete a estrutura das edificações e infraestruturas instaladas (Bandeira *et al.*, 2018). Entre as principais evidências de ocorrência do processo destacam-se o aparecimento de trincas e

degraus de abatimento no terreno, e a inclinação de árvores e estruturas.

A distinção fundamental entre este fenômeno e o solapamento convencional reside no seu **mecanismo físico de deflagração**. Nas terras caídas, os gatilhos são condicionados principalmente pela dinâmica da corrente e pela variação sazonal do nível hídrico (cheias e vazantes). Esse conjunto de fatores promove o solapamento da base do talude, reduz a coesão dos sedimentos e culmina em movimentos de massa (colapsos e deslizamentos) que podem ocorrer de forma rápida e recorrente durante ciclos de cheia, resultando em recuo contínuo da linha de margem. Em contraste, outros processos geológicos apresentam tempos de resposta distintos, muitos são mais lentos ou episódicos e têm gatilhos diferentes.

Os registros capturados na Ilha do Careiro (Figura 34A), em Careiro da Várzea/AM; no porto de Manacapuru/AM, na margem esquerda do rio Amazonas, que apresenta uma extensa área atingida pelo fenômeno de Terras Caídas (Figura 334B) e na Vila Arumã (Figura 34C), Beruri/AM, exemplificam a escala que o fenômeno pode assumir.

Figura 34 – Processo de terras caídas na Costa do Rebojão, Ilha do Careiro, Rio Amazonas (A); na Vila Aruma, em Beruri/AM (B) e no porto de Manacapuru/AM (C).





Fotos: (A) Carvalho, 2006); (B) Divulgação – G1 GLOBO, 2023; (C) Antônio Gilmar Honorato de Souza, 2024.

MÉTODOS DE MAPEAMENTO DE RISCO DOS PROCESSOS GEOLÓGICOS

Diferentemente das abordagens preditivas, que estimam a suscetibilidade à erosão a partir de condicionantes naturais e do uso do solo, o mapeamento de risco aplica-se a áreas onde processos erosivos já estão instalados, valendo-se da análise direta e criteriosa das feições presentes. Esse mapeamento inclui a identificação do processo erosivo e da sua dinâmica de evolução, a avaliação da sua relação com o entorno construído e a quantificação da exposição e vulnerabilidade de estruturas e edificações, de modo a priorizar intervenções e medidas de mitigação com base em evidências de campo.

Os métodos de mapeamento de risco a solapamento de margem, terras caídas, ravinas e voçorocas, erosão costeira e fluviomarinha aqui abordados são qualitativos e consistem, predominantemente, em informa-

ções obtidas a partir de dados pré-existentes (imagens aéreas, mapas topográficos, histórico de ocorrências, referências bibliográficas e outros) e, principalmente, na interpretação do território a partir de trabalhos de campo. Para a delimitação preliminar dos setores deve-se, inicialmente, obter imagens oblíquas e zenitais com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT/drones) com posterior identificação das feições erosivas nas imagens. Imagens de satélites recentes em escalas de detalhe também podem ser utilizadas. As informações obtidas em campo devem ser registradas diretamente em fichas e nas imagens durante as avaliações, por meio de caminhamentos em conjunto com equipe técnica da prefeitura municipal e moradores.

Recomenda-se, por fim, que essas vistorias sejam indissociáveis de diagnósticos participativos, promovendo o engajamento da população exposta na co-construção do conhecimento sobre os riscos de seu próprio território

Solapamento de margem

A avaliação dos processos de solapamento de margens requer, como etapa inicial, uma análise detalhada da dinâmica hidrossedimentológica do corpo d’água em estudo. Essa análise deve contemplar o transporte de sedimentos (cargas de fundo e em suspensão), os mecanismos dominantes de erosão e deposição, a variabilidade temporal das vazões e as alterações morfológicas do canal ao longo de séries temporais. A partir dessa caracterização é possível identificar trechos com predomínio de erosão marginal, onde a tensão de cisalhamento e as correntes concentradas promovem solapamento e colapso de taludes, e distingui-los de trechos com comportamento deposicional, nos quais ocorre acúmulo de sedimentos e progradação de margens.

Os mapas de risco são elaborados predominantemente a partir de vistorias de campo nas áreas previa-

mente selecionadas. Entretanto, quando disponíveis ou possíveis de serem produzidas, simulações computacionais hidrodinâmicas e morfodinâmicas podem complementar esse diagnóstico, permitindo prever o comportamento do escoamento junto às margens e identificar trechos com maior probabilidade de solapamento e instabilidade. Essas simulações também possibilitam quantificar velocidades, variações de nível e forças de erosão, subsidiando a priorização de intervenções e medidas de mitigação.

A etapa de mapeamento de campo deve fundamentar-se, sobretudo, no reconhecimento e registro sistemático de informações relativas ao perfil do solo, às evidências de instabilidade, às interferências naturais ou antrópicas e à distância entre as edificações e a crista do talude marginal, conforme detalhado no quadro 16.

Quadro 16 – Indicadores e condicionantes para avaliação do risco a solapamento de margem e terras caídas.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Ambiente fluvial	Tipo de solo, altura do talude, posição em relação ao meandro (curva do canal), nível de pedogenização, dinâmica da corrente e variação sazonal do nível hídrico (cheias e vazantes).
Perfil do terreno e do solo	Inclinação, amplitude, composição, textura, espessura de camadas, grau de saturação e relação de contato entre os horizontes que compõem o talude marginal.
Feições e evidências de instabilidade	Trincas no terreno, nas edificações e infraestrutura do entorno; degraus de abatimento; árvores e estruturas inclinadas; cicatrizes de deslizamento; e feições erosivas causadas tanto pela correnteza, quanto pela variação do nível de água do curso d’água.
Potencializadores naturais ou antropogênicos.	Redes de drenagem naturais e artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação (cursos d’água afluentes próximos e a montante da área avaliada, valetas, tubulações, galerias, redes de esgoto e lançamentos de água ou efluentes diretamente no terreno e/ou no talude marginal), escavações, aterros e vibrações.
Distância das edificações em relação à crista do talude marginal do curso d’água e às feições de instabilidade existentes.	Distância das residências em relação ao talude marginal do curso d’água e, principalmente, em relação às feições e evidências de instabilidade, considerando sempre que possível a análise da taxa de recuo da margem nos últimos 5 anos.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

As edificações situadas nas margens do trecho analisado devem ser submetidas a vistorias de campo para a identificação de sinais de instabilidade, como trincas em pisos, deslocamentos de fundação, recalques e fissuras em alvenaria. Posteriormente, em etapa de escritório, os setores de risco são refinados a partir da análise dos elementos expostos – edificações, redes de infraestrutura e acessos –, aplicando-se uma classificação baseada em critérios pré-definidos: **probabilidade de ocorrência, descrição da ameaça, severidade dos danos e vulnerabilidade física e, quando possível, social**. É fundamental que todos os registros incluam fo-

tografias, medições e observações padronizadas para subsidiar a priorização de ações mitigadoras.

A classificação final do risco para os processos de solapamento de margem fundamenta-se na integração entre a dinâmica da ameaça e o grau de vulnerabilidade das edificações e infraestruturas expostas. No quadro 17, são apresentados os critérios específicos para a determinação dos graus de risco Alto (R3) e Muito Alto (R4), correlacionando a descrição da instabilidade no terreno com os danos potenciais e as respectivas diretrizes para a gestão das áreas afetadas.

Quadro 17 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para solapamento de margem.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO DA AMEAÇA	VULNERABILIDADE	INDICAÇÃO PARA GESTÃO
R3 Alto	As evidências de instabilidade estão presentes no terreno, porém ainda não afetam diretamente as edificações. As construções encontram-se alinhadas e/ou paralelas à linha de evolução do processo de solapamento, apresentando distância em relação à margem erosiva igual ou inferior à altura máxima do talude da margem do canal ou corpo d'água.	Exposição dos quintais, de ruas e acessos e/ou edificações. Possibilidade de danos estruturais nas edificações e/ou infraestruturas e perdas parciais de bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas dentro do período de chuvas e interdição de vias; monitoramento periódico.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade estão presentes no terreno e já afetam as edificações, infraestruturas ou seu entorno imediato. As construções encontram-se adjacentes à crista dos taludes da margem erosiva.	Exposição das edificações, ruas e acessos. Possibilidade de colapso parcial ou total das edificações e/ou infraestruturas. Perdas parciais ou totais dos bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção imediata de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas ou definitivas de moradores; isolamento da área e ações de emergência.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Com o objetivo de ilustrar a aplicação prática dos critérios de classificação detalhados no quadro 17, as figuras 35A, 35B e 35C apresentam cenários reais de solapamento de margem em diferentes níveis de severidade em localidades do Espírito Santo e Minas Gerais.

Na figura 35A, exemplifica-se um setor classificado como de **Risco Alto (R3)** no Rio Guandu (ES), onde as

evidências de instabilidade, embora presentes no terreno, ainda não atingem diretamente as edificações alinhadas à margem. Já as figuras 35B e 35C, que retratam trechos dos rios Doce (ES) e Ubá (MG), exemplificam situações de Risco Muito Alto (R4); nestes casos, o avanço do processo erosivo já compromete o entorno imediato ou a própria estrutura das construções situadas adjacentes à crista do talude, representando uma ameaça iminente de colapso.

Figura 35 – Solapamento de margem de canal fluvial no Rio Guandu, Afonso Cláudio/ES – Risco Alto (A); no Rio Doce, Colatina/ES – Risco Muito Alto (B) e no Rio Ubá, Ubá/MG – Risco Muito Alto (C).



Foto: (A e B) Leonardo A. Souza, 2014, (C) Leonardo A. Souza, 2026.

Por fim, a figura 36 exemplifica o resultado esperado do processo de mapeamento, consolidando a **setorização técnica** e a classificação dos graus de risco sobre a base cartográfica para orientar as ações de gestão.

Figura 36 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão fluvial (Ef) / solapamento em um trecho do Rio Ubá no município de Ubá – MG.



Legenda

●

Evidências de Instabilidade

Área de Abrangência Projetada

Classificação de Risco

R3 – Risco Alto

R4 – Risco Muito Alto

Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Terras caídas

A classificação do risco para o fenômeno das terras caídas exige parâmetros específicos que acompanhem a complexidade desse processo de dinâmica amazônica. No quadro

18, são detalhados os critérios para a determinação dos graus de Risco Alto (R3) e Risco Muito Alto (R4), fundamentados tanto na observação de evidências de instabilidade no terreno quanto na análise quantitativa da proximidade das edificações em relação ao talude marginal

Quadro 18 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para terras caídas.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE	INDICAÇÃO PARA GESTÃO
R3 Alto	Observa-se a presença de evidências significativas de instabilidade no terreno situado entre as edificações e o talude marginal do curso d’água. A distância entre as edificações e o talude marginal é equivalente a 2 a 5 vezes a taxa média anual de recuo das margens, calculada com base nos últimos dez anos.	Exposição das ruas, quintais e/ou edificações. Possibilidade de perdas parciais de bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas dentro do período de chuvas e interdição de acessos; monitoramento periódico.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade são expressivas e ocorrem em grande número e/ou magnitude, já afetando diretamente as edificações e/ou seu entorno imediato. A distância entre as edificações e o talude marginal do curso d’água e/ou às feições de instabilidade é inferior a duas vezes a taxa média anual de recuo das margens, calculada com base nos últimos dez anos.	Exposição das edificações, ruas e acessos. Possibilidade de colapso parcial ou total das edificações e/ou infraestruturas. Perdas parciais ou totais dos bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção imediata de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas ou definitivas de moradores; isolamento da área e ações de emergência.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A aplicação prática dos parâmetros dimensionais e evolutivos estabelecidos no quadro 18 pode ser observada na figura 37A, que exemplifica um setor de Risco Alto (R3) no Rio Solimões, em Manacapuru/AM, onde a presença de evidências de instabilidade no terreno entre as moradias e a margem indica a necessidade de monitoramento e medidas preventivas.

Em contrapartida, a figura 37B ilustra o Risco Muito Alto (R4) na margem do Rio Acre, em Brasileia/AC; nesse registro, a magnitude das feições erosivas e a proximidade das edificações em relação à crista do talude configuram uma ameaça iminente de colapso, demandando ações de emergência conforme as diretrizes de gestão.

Figura 37 – Processo de Terras Caídas no Rio Solimões, município de Manacapuru/AM – Setor classificado como Risco Alto (R3) (A); e margem esquerda do rio Acre, Brasileia/AC – Setor classificado como Risco Muito Alto (R4) (B).



Fonte: (A) Antônio Gilmar Honorato de Souza, 2023 e (B) SGB/CPRM, 2015).

Exemplo de Mapa de setorização de risco para o fenômeno de **Terras Caídas** é apresentado na figura 38, que ilustra o resultado final do mapeamento de um trecho da margem do Rio Amazonas.

A delimitação da Área de Abrangência Projetada e a definição do setor S1R3 Tc (Setor 1 de Risco Alto para Terras Caídas) exemplificam como os critérios dimensionais e evolutivos do quadro 18 são espacializados para identificar infraestruturas e edificações sob ameaça, permitindo uma gestão de riscos baseada em evidências geodinâmicas.

Figura 38 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de Terras Caídas (Tc) em um trecho do Rio Amazonas.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Erosão linear (sulco, ravina, voçoroca)

A avaliação dos processos de erosão linear requer a adoção de critérios objetivos, replicáveis e facilmente observáveis durante a inspeção técnica. O diagnóstico deve fundamentar-se, prioritariamente, no reconhecimento e no registro sistemático de informações como o perfil do solo, as evidências de instabilidade, as interferências naturais ou antrópicas e a morfologia da feição. Além disso, é essencial determinar o eixo longitudinal de desenvolvimento da erosão, as condições

da vegetação e, sobretudo, a distância entre a crista da feição e as edificações a montante.

Visto que esses parâmetros permitem avaliar a ameaça e a probabilidade de evolução do processo de forma consistente, a operacionalização do diagnóstico deve ser guiada pelo levantamento dos indicadores detalhados no **quadro 19**. Este quadro reúne os parâmetros fundamentais para a avaliação, abrangendo desde a caracterização do terreno até o grau de impermeabilização e as interferências na infraestrutura urbana do entorno

Quadro 19 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão linear para a avaliação do risco.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Perfil do terreno e do solo	Inclinação e grau de compactação da camada superficial do terreno; grau de saturação, composição, textura, espessura e relação de contato entre os horizontes que compõem o talude marginal.
Feições e evidências de instabilidade	Identificação de trincas no terreno e nas edificações; rupturas, abatimentos ou degraus de abatimento em taludes; árvores e estruturas inclinadas; cicatrizes de deslizamento; variação do nível de água; erosão subsuperficial (piping); solapamentos ao longo da base do talude por fluxo de água.
Infraestrutura no entorno	Redes artificiais de drenagem que possam gerar interferências nas feições erosivas: sarjetas, valetas, tubulações, galerias, redes de esgoto, lançamentos de água ou efluentes diretamente no terreno/feições erosivas. Densidade de ocupação e o grau de impermeabilização dos terrenos no entorno da feição erosiva.
Condições da vegetação	Avaliação da vegetação no interior da feição (bem desenvolvida, efêmera ou inexistência de vegetação).
Distância das edificações e infraestruturas em relação às feições erosivas	Distância das edificações e infraestruturas em relação a crista dos taludes que definem a feição erosiva e/ou em relação às feições de instabilidade existentes, considerando sempre que possível a análise da taxa de recuo da borda nos últimos 5 anos.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Como ocorre em todos os processos de avaliação de risco, as edificações situadas no entorno da feição erosiva devem ser obrigatoriamente vistoriadas para identificar evidências de instabilidade, bem como toda a infraestrutura que possua relação direta com a dinâmica do processo. Posteriormente, em etapa de escritório, a delimitação dos setores é refinada com base na análise

dos elementos expostos, permitindo a classificação do grau de risco conforme critérios técnicos predefinidos. A determinação dos critérios para a erosão linear fundamenta-se na integração entre o estágio evolutivo da feição e sua proximidade com as estruturas vulneráveis. No quadro 20 estão os parâmetros para a definição dos graus de Risco Alto (R3) e Risco Muito Alto (R4)

Quadro 20 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão linear.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE	INDICAÇÃO PARA GESTÃO
R3 Alto	As evidências de instabilidade estão presentes no terreno, porém ainda não afetam diretamente as edificações. As construções encontram-se alinhadas e/ou paralelas ao eixo de evolução do processo erosivo, mantendo distância em relação à borda da feição e/ou aos seus indícios de instabilidade equivalente a até cinco vezes a taxa média anual de recuo da crista, calculada com base nos últimos dez anos, quando possível. Ressalta-se que, independentemente desse critério, a delimitação do setor deve considerar uma distância mínima em relação a borda da feição erosiva (crista) igual à altura máxima do talude lateral, formando um ângulo reto em relação ao centro de cada um dos elementos expostos.	Exposição dos quintais, de ruas e acessos e/ou edificações. Possibilidade de danos estruturais nas edificações e/ou infraestruturas e perdas parciais de bens materiais quando associados a outros processos (deslizamentos, enxurradas).	Adoção de medidas estruturais e não estruturais; remoções temporárias preventivas dentro do período de chuvas e interdição de vias; monitoramento periódico.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade estão presentes no terreno e já afetam as edificações, infraestruturas ou seu entorno imediato. As construções encontram-se adjacentes à crista dos taludes (borda da feição erosiva).	Exposição das edificações, ruas e acessos. Possibilidade de colapso parcial ou total das edificações e/ou infraestruturas. Perdas parciais ou totais dos bens materiais quando associados a outros processos (deslizamentos, enxurradas).	Adoção imediata de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas ou definitivas de moradores; isolamento da área e ações de emergência.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Para ilustrar a aplicação prática dos critérios do quadro 20, as figuras 39A, 39B,39C, 39D e 39E apresentam cenários de processos erosivos do tipo voçoroca no município de Buriticupu/MA.

As Figuras 39A e 39B apresentam setores de **Risco Alto (R3)**, nos quais as evidências de instabilidade estão presentes no terreno, mas as edificações ain-

da mantêm uma distância em relação ao eixo de evolução do processo, no município de Buriticupu/MA. Também, no mesmo Município, as Figuras 40A, 40B e 40C mostram situações de **Risco Muito Alto (R4)**, onde as construções encontram-se adjacentes à crista da voçoroca, com o avanço da feição atingindo diretamente a estrutura das moradias e a infraestrutura urbana.

Figura 39 – Área classificada como de Risco Alto. Voçoroca em área periurbana do município de Buriticupu/MA.



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Figura 40 – Área classificada como de Risco Muito Alto. Voçoroca em área periurbana do município de Buriticupu/MA.



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

A figura 41 apresenta o resultado esperado do mapeamento, consolidando a setorização do risco sobre o território para subsidiar a tomada de decisão e a priorização de obras de drenagem e contenção. As imagens (A) e (B) ilustram a síntese cartográfica do diagnóstico de campo, integrando a delimitação da borda da feição (crista) e os pontos de controle georreferenciados aos parâmetros técnicos de segurança. A setorização utiliza a projeção

do talude lateral e a área de abrangência projetada para classificar o território em: **Risco Alto** (R3 – polígonos vermelhos): setores onde a instabilidade está presente, mas as edificações ainda guardam a distância de segurança definida pelos critérios evolutivos e **Risco Muito Alto** (R4 – polígonos roxos): áreas onde as construções estão adjacentes à crista ou já são diretamente afetadas pelo avanço da feição erosiva, configurando ameaça iminente.

Figura 41a – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão linear (Er) no município de Buriticupu/MA.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Figura 41b – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão linear (Er) no município de Buriticupu/MA.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Com a integração desses parâmetros objetivos e dados de campo, o diagnóstico de erosão linear encerra o ciclo de análises voltado aos processos geodinâmicos continentais. A compreensão sistemática das taxas de recuo e das áreas de abrangência permite que a gestão municipal antecipe intervenções mitigadoras, garantindo a proteção da infraestrutura e das populações vulneráveis antes que a evolução das feições comprometa a viabilidade de soluções de engenharia. Concluída esta etapa, passamos a caracterizar a Erosão Costeira, fenômeno que exige a análise das complexas dinâmicas de interface entre o território e o oceano.

Erosão costeira

O mapeamento do risco costeiro exige a análise integrada de fatores geológicos, ambientais, climáticos e da dinâmica costeira, bem como das alterações associadas às mudanças no clima e no uso do solo, que influenciam diretamente a vulnerabilidade das áreas litorâneas. Entretanto, a identificação e a quantificação

desse risco constituem um desafio, dada a complexidade das diferentes escalas temporais e espaciais envolvidas, a escassez de programas contínuos de monitoramento e a insuficiência de dados abrangentes sobre os processos que compõem o balanço sedimentar.

Para a elaboração dos mapas de risco, é indispensável combinar variáveis como a composição de solos e rochas, o comportamento das ondas e marés, a elevação do nível do mar, correntes litorâneas, o impacto das intervenções antrópicas e, sobretudo, no escopo desta obra, a identificação de feições e indícios de instabilidade associados a processos erosivos já instalados, priorizando uma **abordagem diagnóstica** em detrimento de modelos puramente preditivos, o que não diminui a importância da elaboração de mapas de suscetibilidade e perigo. Os parâmetros técnicos que orientam esse diagnóstico sistemático em campo estão apresentados no quadro 21, que organiza os indicadores e condicionantes fundamentais, desde a hidrodinâmica fluvial até a análise da distância das edificações em relação à crista do talude.

Quadro 21 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão costeira para avaliação do risco.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Ambiente e hidrodinâmica costeira	Variações do nível do mar, das correntes e da dinâmica das ondas e marés, contribuindo para a remoção e transporte de sedimentos da costa, causando desequilíbrios e erosão localizada.
Perfil de sedimentos	Composição, inclinação, granulometria, textura, espessura e relações de contato entre as camadas de sedimentos costeiros.
Feições e evidências de instabilidade	Trincas no terreno e nas edificações, degraus de abatimento, e feições erosivas causadas tanto pela dinâmica das correntes litorâneas, quanto pela variação do nível do mar.
Redes de drenagem naturais e artificiais	Redes de drenagem naturais e artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação: cursos d'água contribuintes próximos da área em avaliação, valetas, tubulações, galerias, emissários submarinos e redes de esgoto.
Presença de vegetação	Avaliação da existência de vegetação bem desenvolvida, vegetação efêmera ou tombada sobre o arco praial ou inexistência de vegetação.
Distância das edificações em relação a crista do talude da linha de costa e das feições de instabilidade existentes	Avaliação da proximidade das edificações em relação ao talude marginal da costa e, principalmente, em relação às feições e evidências de instabilidade, considerando, quando possível, a análise da taxa de recuo da costa nos últimos 5 anos.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Quando disponíveis, modelagens hidrodinâmicas e simulações computacionais podem contribuir significativamente para a definição de cenários relacionados tanto à elevação do nível do mar quanto à ocorrência de eventos extremos, ampliando a capacidade de previsão e de planejamento das ações de mitigação.

Mantém-se aqui a necessidade de que as edificações existentes no trecho em análise sejam vistoriadas para a verificação da existência de evidências de ins-

tabilidade. Posteriormente, a delimitação dos setores deve ser refinada no escritório, com a definição da classificação do grau de risco. Essa classificação é realizada com base nos critérios estabelecidos no quadro 22, que utiliza a taxa média anual de recuo da linha de costa nos últimos cinco anos como métrica central para diferenciar o nível de ameaça e a vulnerabilidade das estruturas. O monitoramento remoto com a aplicação de imagens de satélite e drones deve ser usado para acompanhar mudanças na linha de costa.

Quadro 22 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão costeira.

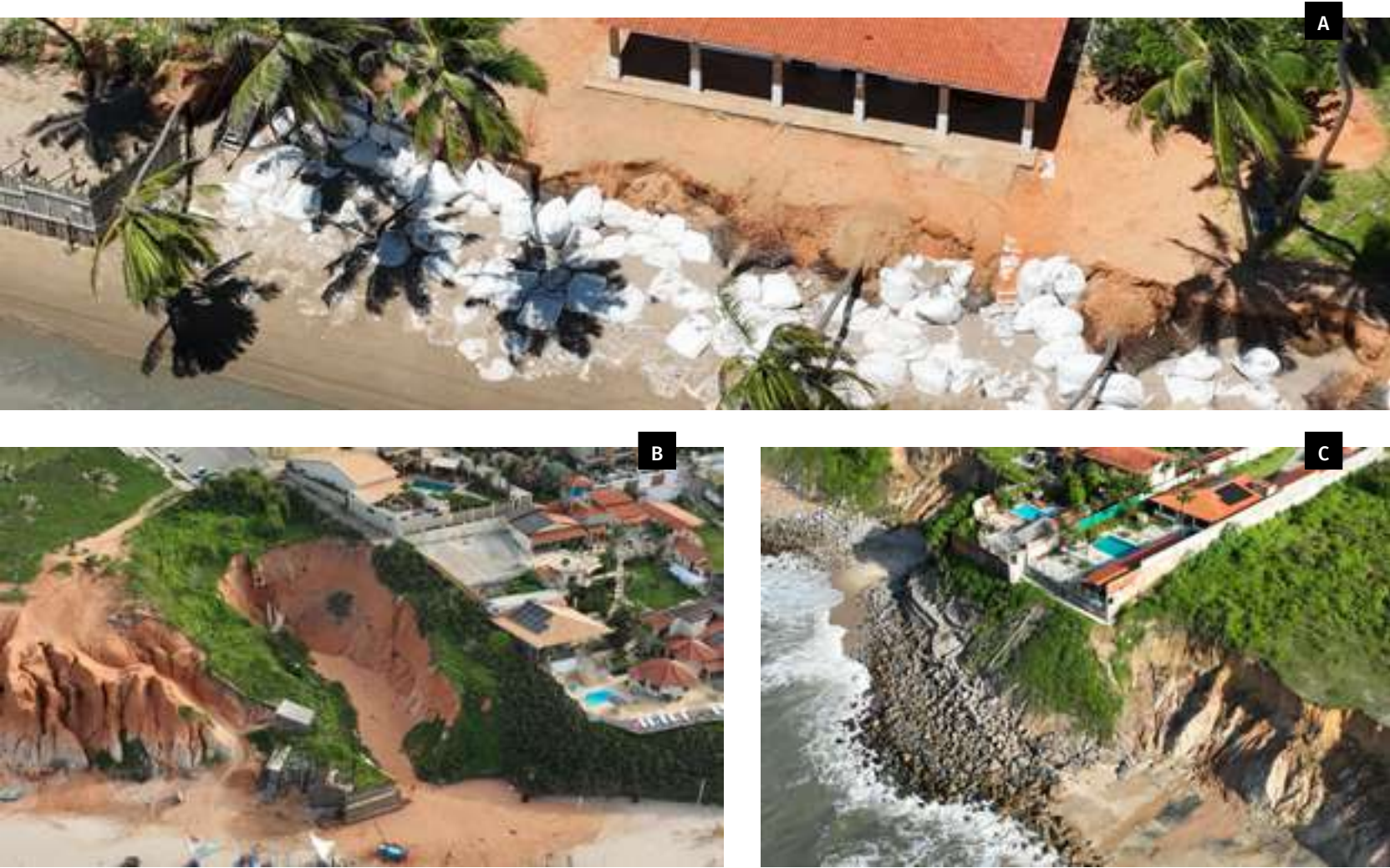
GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE	INDICAÇÃO PARA GESTÃO
R3 Alto	Observa-se a presença de evidências significativas de instabilidade e/ou perda de terreno na faixa localizada entre as edificações e o talude marginal da linha de costa. A distância entre as edificações e o talude e/ou às feições de instabilidade corresponde de 2 a 5 vezes à taxa média anual de recuo da linha de costa, calculada com base nos últimos cinco anos.	Exposição das ruas, quintais e/ou edificações. Possibilidade de perdas parciais de bens materiais quando associados a outros processos (inundações costeiras, ondas extremas, ressacas, movimentos de massa).	Adoção de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas dentro do período de chuvas e interdição de vias; monitoramento periódico.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade são expressivas e ocorrem em grande número e/ou magnitude, já afetando edificações e/ou a infraestrutura existente. Além disso, a distância entre as edificações e o talude marginal da linha de costa e/ou as feições de instabilidade é inferior a duas vezes a taxa média anual de recuo da linha de costa, calculada com base nos últimos cinco anos.	Exposição das edificações, ruas e acessos. Possibilidade de colapso parcial ou total das edificações e/ou infraestruturas. Perdas parciais ou totais dos bens materiais quando associados a outros processos (inundações costeiras, ondas extremas, ressacas, movimentos de massa).	Adoção imediata de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas ou definitivas de moradores; isolamento da área e ações de emergência.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

As figuras 42A, 42B e 42C exemplificam o **Risco Alto (R3)** nas praias de Peroba (Icapuí/CE), Canoa Quebrada (Aracati/CE) e do Pacheco (Caucaia/CE), respectivamente. Nesses setores, as evidências de instabilidade estão presentes, mas as edificações ainda mantêm uma distância entre duas a cinco vezes a taxa de

recuo anual. Já a figura 43 retrata cenários de **Risco Muito Alto (R4)** na Praia de Peroba (Icapuí/CE), onde a proximidade das edificações em relação ao talude marginal e a magnitude das feições erosivas configuram uma ameaça iminente de colapso.

Figura 42 – Setor classificado como de Risco Alto para Erosão costeira na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A); na Praia de Canoa Quebrada, Aracati/CE (B) e na Praia do Pacheco, Caucaia/CE (C).



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Figura 43 – Setor classificado como de Risco Muito Alto na Praia de Peroba, Icapuí/CE (A e B).

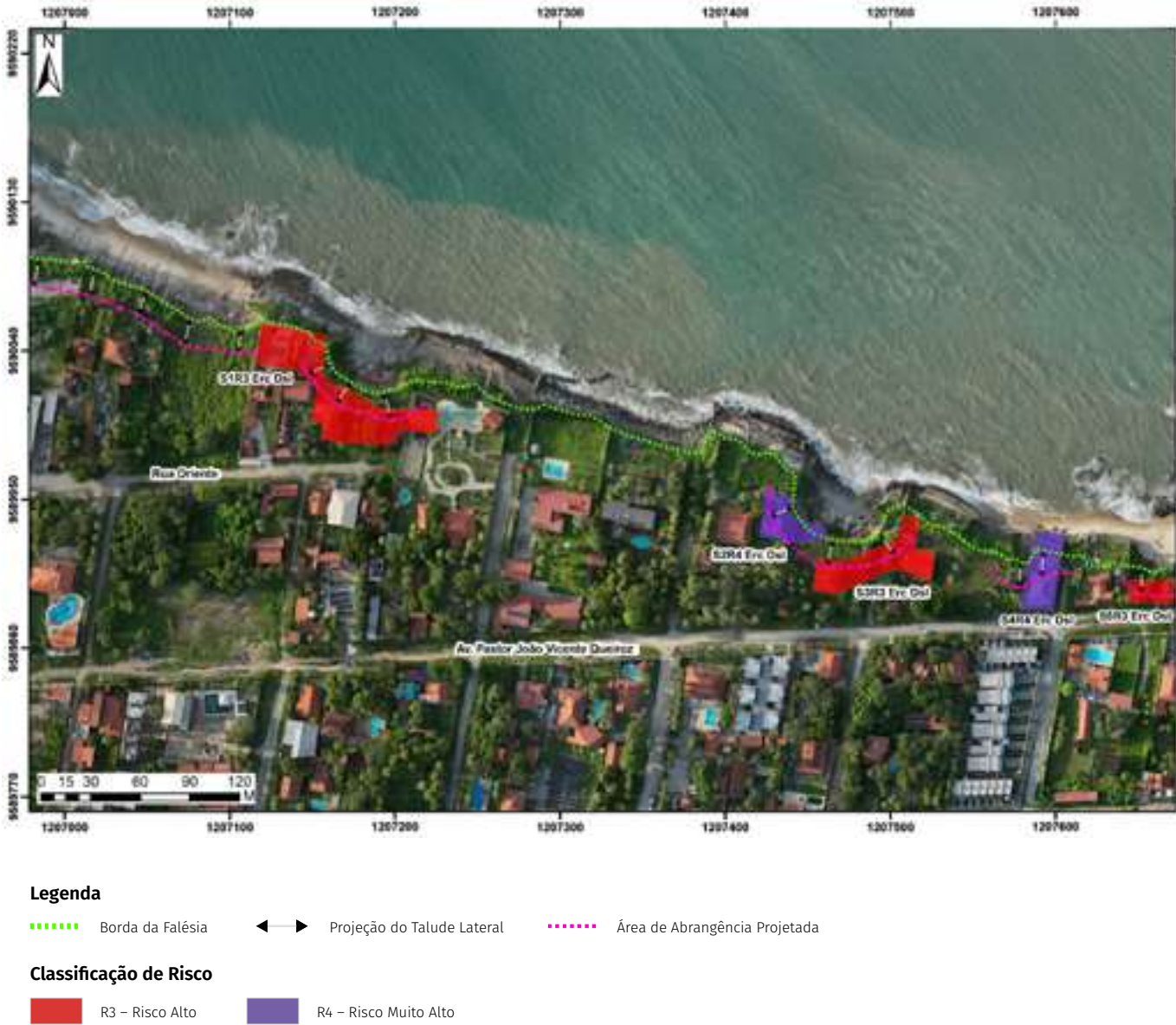


Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Por fim, a figura 44 apresenta exemplo de classificação do risco de erosão costeira em um trecho do município de Icapuí/CE. Em (A) observa-se a setorização em um trecho de falésia e a área de abrangência projetada para os setores de risco. Em (B), o

exemplo detalha o mapeamento na Praia de Picos – Icapuí/CE, onde a delimitação da linha de costa e das poligonais de **Risco Alto (R3)** e **Risco Muito Alto (R4)** orienta a priorização de medidas de mitigação e planejamento urbano.

Figura 44a – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão costeira (Erc) em um trecho da Praia do Pacheco no município de Caucaia/CE.



Legenda

..... Borda da Falésia ◀▶ Projeção do Talude Lateral Área de Abrangência Projetada

Classificação de Risco

■ R3 – Risco Alto ■ R4 – Risco Muito Alto

Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Figura 44b – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão costeira (Erc) em um trecho da praia de Picos no município de Icapuí/CE.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Erosão fluviomarinha

A avaliação dos processos de erosão fluviomarinha exige, antes de tudo, uma análise preliminar da hidrodinâmica estuarina ao longo do tempo. Esse diagnóstico inicial permite distinguir áreas naturalmente abrigadas da ação de agentes oceanográficos, como trechos internos de estuários ou regiões protegidas por ilhas, bancos e promontórios, de setores apenas parcialmente protegidos por efeitos de barreira, bem como de áreas diretamente expostas ao mar ou submetidas à alta energia das ondas. A utilização de simulações computacionais, quando disponíveis, contribui para prever o impacto do

fluxo de água sobre as margens e identificar zonas com maior suscetibilidade aos processos erosivos.

A etapa de mapeamento de campo deve se fundamentar, sobretudo, no reconhecimento e registro sistemático de informações relacionadas ao ambiente estuarino e à hidrodinâmica local; ao perfil e às características do solo; às feições e evidências de instabilidade; às interferências provocadas por redes de drenagem naturais ou artificiais; e à posição das edificações em relação à crista do talude marginal e às áreas com sinais de instabilidade. Os parâmetros técnicos que guiam essa investigação estão no quadro 23.

Quadro 23 – Indicadores e condicionantes do processo de erosão fluviomarinha para avaliação do risco.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Ambiente e hidrodinâmica dos estuários.	Fatores como variações no nível do mar, aporte sedimentar e processos hidrodinâmicos (processos fluviais, aporte sedimentar continental, presença de barras arenosas, praia, manguezais, falésias e/ou promontórios, bancos de cascalho, matacões); aumento das correntes e estreitamentos artificiais; processos marinhos, como ondas e marés; análise dos sedimentos presentes, que podem ser originados da erosão de rochas continentais e transportados pelos rios ou compostos por conchas e carapaças de organismos marinhos).
Perfil de solo.	Composição, inclinação, granulometria, textura, espessura e relações de contato entre as camadas de sedimentos.
Feições e evidências de instabilidade.	Trincas no terreno e nas edificações, degraus de abatimento, árvores e estruturas inclinadas, cicatrizes de deslizamento, e feições erosivas causadas tanto pela correnteza, quanto pela variação do nível de água dos corpos d’água, sulcos e ravinas na face das falésias, escarpamento de falésias.
Redes de drenagem naturais e artificiais.	Identificação de redes de drenagem naturais e artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação: cursos d’água contribuintes próximos e a montante da área em avaliação, valetas, tubulações, galerias, redes de esgoto e lançamentos de água ou efluentes diretamente no terreno e/ou no talude marginal das falésias e cursos d’água.
Presença de vegetação.	Avaliação da existência de vegetação bem desenvolvida, com raízes expostas, vegetação efêmera ou tombada sobre o arco praial ou planícies aluvionar, ou inexistência de vegetação.
Distância das edificações em relação a crista do talude marginal do curso d’água e das feições de instabilidade existentes.	Avaliação da proximidade das residências em relação ao talude marginal do curso d’água e, principalmente, em relação às feições e evidência de instabilidade, considerando a análise da taxa de recuo da margem nos últimos 5 anos

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Como em todas as análises relacionadas aos processos geológicos, as edificações existentes nas margens dos corpos d’água no trecho em análise, devem ser vistoriadas para a verificação da existência de evidências de instabilidade. Posteriormente, a delimitação dos setores deve ser refinada no escritório, com a definição da classificação do grau de risco, conforme os critérios do quadro 24.

Quadro 24 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para erosão fluviomarinha.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE	INDICAÇÃO PARA GESTÃO
R3 Alto	Observa-se a presença de evidências significativas de instabilidade no terreno localizado entre as edificações e o talude marginal do curso d’água. A distância entre as edificações e o talude e/ou as feições de instabilidade corresponde de 2 a 5 vezes a taxa média anual de recuo das margens, calculada com base nos últimos cinco anos.	Exposição das ruas, quintais e/ou edificações. Possibilidade de perdas parciais de bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas temporárias dentro do período de chuvas e interdição de vias; monitoramento periódico.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade são expressivas e ocorrem em grande número e/ou magnitude, já afetando diretamente as edificações e/ou seu entorno imediato. A distância entre as edificações e o talude marginal do curso d’água e/ou às feições de instabilidade é inferior a duas vezes a taxa média anual de recuo das margens, calculada com base nos últimos cinco anos.	Exposição das edificações, ruas e acessos. Possibilidade de colapso parcial ou total das edificações e/ou infraestruturas. Perdas parciais ou totais dos bens materiais quando associados a outros processos (inundação).	Adoção imediata de medidas estruturais e não estruturais; remoções preventivas ou definitivas de moradores; isolamento da área e ações de emergência.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A figura 45 é uma imagem oblíqua de drone que retrata um setor de **Risco Alto (R3)**, no bairro São João do Outeiro, Ilha do Outeiro, em Belém/PA, mostrando em primeiro plano o recuo da falésia e a interdição da pista de acesso veicular.

Figura 45 – Setor classificado como de Risco Alto em relação ao sistema viário, no bairro São João do Outeiro, Ilha do Outeiro, Belém /PA.



Foto: Acervo PMRR Belém,2025.

A figura 46 apresenta setor classificado como **de Risco Muito Alto (R4)**, na Vila 40 do Mocoóca, município de Maracanã/PA, onde parte da moradia localizada no topo da falésia foi destruída pelo processo erosivo.

Figura 46 – Setor classificado como de Risco Muito Alto. Vila 40 do Mocoóca, município de Maracanã/PA.



Foto: Sheila Teixeira – Serviço Geológico do Brasil, 2019.

A figura 47 apresenta **Risco Muito Alto (R4)**, onde imóveis foram destruídos pelo processo erosivo na orla da cidade de Abaetetuba/PA, com fendas e degraus de abatimento no piso da rua. Essa condição foi registrada em abril de 2023.

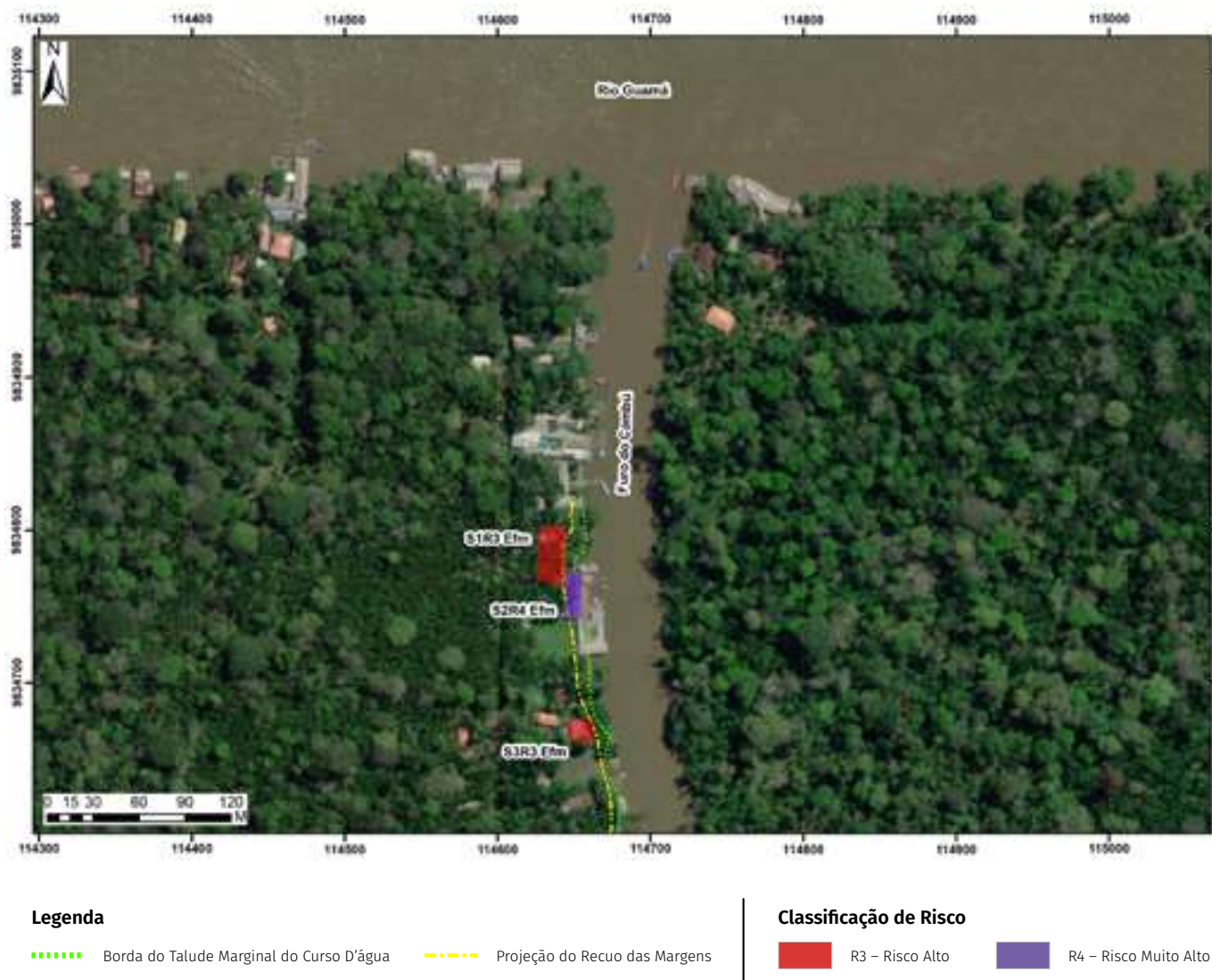
Figura 47 – Setor classificado de Risco Muito Alto, município de Abaetetuba/PA.



Foto: Sheila Teixeira – Serviço Geológico do Brasil, 2023.

Por fim, a figura 48 apresenta o exemplo de classificação do risco de erosão fluviomarinha em um trecho do Furo do Combú, em Belém/PA.

Figura 48 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para processos de erosão fluviomari-
nha (Efm) em um trecho do Furo do Combu, no município de Belém/PA.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Em síntese, a caracterização dos processos erosivos – sejam eles lineares, costeiros ou fluviomarinhos – demonstra que a gestão de riscos transcende a análise puramente geológica, consolidando-se como um diagnóstico da interação entre a dinâmica natural e a ocupação antrópica. A aplicação sistemática dos critérios

de setorização, fundamentada em indicadores de campo, evidências de instabilidade e taxas de recuo, permite transformar a observação técnica em ferramentas práticas e objetivas de planejamento territorial. Ao integrar a magnitude física das ameaças à vulnerabilidade sociofísica das comunidades, este capítulo fornece as bases para que as

intervenções de mitigação deixem de ser apenas respostas reativas a eventos extremos e passem a compor uma estratégia contínua de resiliência urbana e salvaguarda da integridade humana.

Com a consolidação dos métodos aplicados às dinâmicas erosivas, o Capítulo 4 avança para o detalhamento dos Movimentos Gravitacionais de Massa. A seguir, serão analisa-

dos processos como rastejos, deslizamentos e quedas de blocos, além de fenômenos de alta complexidade como os fluxos de detritos e as subsidências. A compreensão desses mecanismos geodinâmicos, impulsionados predominantemente pela força da gravidade e agravados pela interação entre o meio físico e a ocupação do solo, é o passo fundamental para o diagnóstico completo dos riscos em encostas e taludes urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANDEIRA, I. C. N. *et al*, Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. Environmental Earth Sciences, v. 77, p. 1-16, 2018.

BANDEIRA, I. C. N. *et al*, Fluvial erosion risk analysis: an Amazon study case. Revista GEONORTE, v. 12, n. 39, 2021.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Periferia sem risco: guia para planos municipais de redução de riscos (PMRR). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; São Paulo: IPT, 2007.

CARVALHO, J. A. L. Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFAM, Manaus, 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FIGUEIREDO, J. de L. Terras caídas. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, v. 3, n. 26, 1945.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

IBGE. Manual técnico de geomorfologia. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2014.

LABADESSA, A. S. “Terras Caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. Geoiנגá, v. 3, n. 1, 2011.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2005.

MUEHE, D. (Org.). Panorama da erosão costeira no Brasil. Brasília: MMA, 2018.

RODRIGUES, F. G. de S. O conceito de “terras caídas” e a caracterização morfodinâmica fluvial do alto Solimões. Revista Geonordeste, n. 3, 2014.

STERNBERG, H. O’R. A água e o homem na várzea do Careiro. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1998.

TRICART, J. Tipos de planícies aluviais e de leitos fluviais da Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 39, n. 2, 1977.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2023). Geneva: UNDRR, 2023.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2025). Geneva: UNDRR, 2025.



CAPÍTULO 4 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Leonardo Andrade de Souza,
Fernando Rocha Nogueira,
Eduardo Antônio Gomes Marques,
Alessandra Corsi,
Eduardo Soares de Macedo,
Marcelo Fischer Gramani,
Olavo Francisco dos Santos Júnior,
Celso Santos Carvalho,
Jackeline Leite Pereira Pavin,
Daniela Buosi Rohlfs,
Rodolfo Baêso Moura,
Leonardo Santos Salles Varallo

Os movimentos de massa constituem processos geodinâmicos que envolvem o deslocamento de materiais superficiais da crosta terrestre – como solo, rocha, vegetação e depósitos superficiais – sob a influência predominante da força gravitacional. Esses fenômenos são parte integrante da dinâmica morfogenética (modeladora das formas do relevo) e podem ocorrer de forma gradual ou súbita, a depender das condições geotécnicas, ambientais e do padrão de uso e ocupação do solo.

A litologia e as estruturas geológicas, as características dos perfis de intemperismo, as declividades acentuadas e as encostas encaixadas em canais de drenagem constituem fatores condicionantes fundamentais. Adicionalmente, a variação do nível do lençol freático, eventos sísmicos ou vibrações, carregamentos externos, escavações ou rebaiamentos e, sobretudo, o fluxo de água por percolação, configuram-se como elementos críticos na deflagração e no agravamento dos movimentos gravitacionais de massa.

No contexto brasileiro, a combinação entre a variabilidade das características geológicas e geomorfológicas locais, o clima, a ocupação desordenada de áreas de encosta e a ausência de infraestruturas adequadas torna este um tema prioritário para o planejamento territorial e a gestão de riscos socioambientais. A recorrência desses eventos tem gerado impactos severos, que abrangem desde elevados prejuízos econômicos até a perda de vidas humanas.

A classificação dos movimentos de massa pode ser realizada com base em critérios geomecânicos e geomorfológicos, conforme proposto por autores consagrados como Varnes (1978), Augusto Filho (1992) e Cruden & Varnes (1996). Nesta publicação, adota-se uma adaptação e complementação da classificação de Augusto Filho (1992), elencando os processos conforme segue:

Rastejos, deslizamentos, queda, rolamento e tombamento de blocos rochosos, fluxo ou corridas de detritos, subsidências e colapsos

RASTEJOS

Os rastejos constituem movimentos gravitacionais de massa caracterizados por deslocamentos lentos,

contínuos e de natureza plástica, que ocorrem predominantemente em encostas e taludes. Esses processos envolvem a deformação progressiva de grandes volumes de material, geralmente sem a presença de uma superfície de ruptura claramente definida. Esse tipo de movimento afeta principalmente os horizontes superficiais do solo e as zonas de transição entre depósitos superficiais e solo e rocha, podendo atingir profundidades significativas em contextos geológicos específicos, como solos residuais ou depósitos coluvionares e de tálus espessos.

A taxa de deslocamento associada ao rastejo é extremamente baixa, variando entre milímetros e poucos centímetros por ano. Apesar da baixa velocidade, os efeitos cumulativos ao longo do tempo são observáveis na paisagem e nas estruturas construídas, manifestando-se por meio de trincas e abaulamentos no terreno, inclinação de elementos verticais (árvores, postes, cercas), deformações em muros de contenção e patologias construtivas como paredes abauladas ou fissuradas.

Embora o rastejo também ocorra de forma natural, o processo pode ser desencadeado ou intensifica-

do por intervenções antrópicas, especialmente por cortes executados na porção média ou inferior da encosta, que alteram o estado de tensões do talude e atuam como fatores de instabilização ou de aceleração do movimento. Além disso, modificações na dinâmica de saturação do solo, como a elevação do nível d'água durante períodos prolongados de precipitação, a implantação de reservatórios de água, oscilações extremas entre cheias e vazantes ou o lançamento contínuo de água e efluentes na superfície e na subsuperfície contribuem significativamente para a redução da resistência ao cisalhamento dos materiais, favorecendo a progressão do processo de rastejo. A compreensão da dinâmica desse fenômeno, integrando suas propriedades geomecânicas e as feições resultantes da deformação plástica, é fundamental para o diagnóstico em campo.

No quadro 25 são apresentadas as principais características e parâmetros fundamentais para o reconhecimento o processo de rastejo – abrangendo aspectos de geometria, velocidade e a natureza dos materiais envolvidos – acompanhado de uma representação esquemática de seu perfil de deslocamento.

Quadro 25 – Principais características do processo de rastejo.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Vários planos de deslocamento (internos). • Velocidade muito baixa a baixa (cm/ano) e decrescente com a profundidade. • Inclinação do terreno: encostas suaves a moderadas. • Sem superfície de ruptura definida ocorrendo deformação plástica ao longo do tempo – Movimentos contínuos ou intermitentes. • Solo e depósito superficiais, solos espessos, rocha alterada/fraturada, detritos orgânicos.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

A figura 49 apresenta extensa área atingida pelo processo de rastejo no Bairro Taquaral em Ouro Preto/MG. A imagem detalha os efeitos cumulativos da movimentação lenta no ambiente construído, destacando

trincas no terreno e nas paredes das edificações, a formação de degraus de abatimento, a inclinação de postes e, em estágios avançados, a ocorrência de estruturas em colapso.

Figura 49 – Processo de ras-
tejo no Bairro Taquaral em
Ouro Preto/MG.

Fotos: Leonardo A. Souza, 2022.

Elaboração: Secretaria Nacional de
Periferias.



Dessa forma, a compreensão da dinâmica de rastejo é essencial para o planejamento urbano, o dimensionamento de obras de engenharia civil e a gestão de riscos geológicos em áreas com ocorrência do processo. Especialmente em regiões com ocupação desordenada ou características geotécnicas desfavoráveis, a identificação precoce de seus indícios permite antecipar intervenções e mitigar os danos cumulativos descritos anteriormente, antes que a deformação progressiva comprometa definitivamente a segurança das estruturas e a integridade física das populações expostas.

DESLIZAMENTOS

Os deslizamentos são movimentos gravitacionais de massa caracterizados pelo deslocamento rápido de solo, rocha, materiais orgânicos e/ou inertes ao longo de planos inclinados, sob a ação da gravidade. Esses processos envolvem volumes bem delimitados de material e ocorrem, em geral, por ruptura ao longo de superfícies cisalhantes, com limites laterais e profundidades identificáveis (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Fornasari Filho & Faria, 2018). O centro de gravidade da massa tende a se deslocar para baixo e para fora do talude, seja este natural, de corte ou de aterro.

Diferentemente dos rastejos, os deslizamentos ocorrem em intervalos de tempo relativamente curtos, como resultado do aumento das tensões atuantes, da redução da resistência dos materiais ou da combinação desses fatores. A ocorrência está associada a um conjunto de condicionantes geológicos, geotécnicos, climatológicos e antrópicos. Entre os fatores naturais, destacam-se a elevada inclinação dos taludes e a infiltração de água, especialmente durante períodos de chuvas, que reduzem a coesão dos solos e elevam a pressão intersticial. Essa condição justifica a predominância dos deslizamentos em épocas chuvosas e a existência de limiares pluviométricos críticos, os quais variam conforme as características geológicas e climáticas da região.

Sob a perspectiva antrópica, a instabilidade de taludes é frequentemente intensificada por intervenções inadequadas que comprometem o equilíbrio geomecânico dos maciços. Entre as principais práticas que contribuem para esse agravamento, destacam-se:

- **Execução de cortes com geometria desfavorável**, que modificam o estado de tensões no talude e reduzem o fator de segurança global;
- **Implantação de aterros mal compactados**, caracterizados por baixa densidade relativa e ausência de controle tecnológico, favorecendo recalques diferenciais e deslizamentos;
- **Aplicação de carregamentos localizados**, provenientes de fundações, estruturas ou depósitos, que elevam as tensões atuantes e podem induzir deformações excessivas;
- **Disposição irregular de resíduos sólidos urbanos e resíduos da construção civil**, que sobrecarregam o terreno e alteram suas propriedades físicas e hidráulicas;
- **Remoção da cobertura vegetal**, reduzindo a coesão superficial, a interceptação hídrica e a proteção contra processos erosivos, o que facilita a saturação do solo;
- **Lançamento desordenado de águas pluviais ou servidas diretamente sobre o terreno**, promovendo aumento da pressão intersticial e consequente redução da resistência ao cisalhamento; e
- **Vazamentos em redes de abastecimento e esgotamento sanitário**, que geram infiltrações contínuas e modificam o regime de umidade natural do solo, contribuindo para a perda de resistência e a instabilidade.

Essas ações, isoladas ou combinadas, podem atuar como gatilhos para movimentos de massa, sobretudo em áreas com predisposição geotécnica e geomorfológica. A iminência de deslizamentos costuma manifestar-se por sinais precoces, como trincas no terreno, em edificações e infraestruturas; formação de degraus topográficos; pequenas deformações no terreno; inclinação de muros, árvores e postes; além da ocorrência de ruídos, a exemplo de estalos provenientes de rochas fraturadas ou estruturas em processo de deformação, movimentação interna do solo, queda ou deslocamento de árvores e raízes, deslocamento de blocos de solo ou rochas. A presença desses indícios reforça a necessidade de monitoramento contínuo e da implementação de medidas preventivas em áreas suscetíveis à instabilidade.

Os deslizamentos são popularmente conhecidos por diversas denominações, como queda de barreiras, es-

corregamentos, desmoronamentos, queda de barranco, desbarrancamentos ou deslizamento de terra. Do ponto de vista técnico, esses movimentos podem ser classificados em três tipos principais, **deslizamentos planares, rotacionais e em cunha**, definidos pela geometria da superfície de ruptura e pelo comportamento da massa deslocada. A compreensão da dinâmica desses processos, bem como dos fatores condicionan-

tes que os influenciam, é essencial para o planejamento territorial, a prevenção de riscos e desastres e a implementação de medidas eficazes de mitigação de instabilidades geológicas.

Para orientar o diagnóstico técnico e a distinção entre essas modalidades, o quadro 26 sistematiza as principais características desses processos.

Quadro 26 – Principais características do processo de deslizamento.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Poucos planos de deslocamento. • Velocidade média (m/h) a alta (m/s). • Inclinação do terreno: moderada a elevada. • Superfície de ruptura definida, com geometria, volume e materiais variáveis. • Translacional: superfície plana ou levemente inclinada, solos pouco espessos; solos e rochas com planos de fraqueza. • Rotacional: superfície curva ou côncava, provocando rotação do corpo de solo, mais frequente em solos espessos e argilosos. • Em cunha: deslizamento ao longo de duas superfícies de descontinuidade que se interceptam, comum em maciços rochosos com fraturas bem definidas. • Complexo: combina dois ou mais tipos de movimentos. Principalmente em terrenos com variação de litologia e estrutura geológica.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

Deslizamentos Planares ou Translacionais

Os deslizamentos planares, também denominados translacionais, constituem um dos tipos mais recorrentes de movimentos gravitacionais de massa em encostas no Brasil. Caracterizam-se pelo deslocamento rápido de solos e/ou rochas ao longo de planos de fraqueza preexistentes, os quais funcionam como superfícies preferenciais de ruptura. Tais planos estão frequentemente associados ao contato solo-rocha ou entre solos com características geotécnicas distintas (solo residual jovem – solo residual maduro, por exemplo), presença de estruturas geológicas como foliações, fraturas, falhas ou zonas de contato entre litologias distintas.

Esses eventos ocorrem predominantemente em solos pouco desenvolvidos, situados em vertentes de alta declividade. A geometria típica do processo apresenta

forma retangular estreita, com comprimento significativamente superior à largura e espessura reduzida, o que favorece a propagação rápida da massa instável.

Em maciços rochosos, a presença de estruturas geológicas com geometria desfavorável é o principal condicionante. De especial interesse ao contexto brasileiro é a ocorrência de juntas de alívio de pressão, subparalelas ou paralelas à superfície do terreno, que compõem um condicionante bastante comum em deslizamentos planares envolvendo rochas.

A principal causa dos deslizamentos translacionais é a percolação de água, geralmente associada a episódios de chuvas intensas, que elevam a pressão intersticial e reduzem a resistência ao cisalhamento dos materiais. Esse mecanismo favorece a ruptura ao longo de planos estruturais preexistentes, como descontinuidades, con-

tatos litológicos ou superfícies de fraqueza. Entretanto, fatores antrópicos também exercem influência significativa na deflagração desses movimentos, especialmente por meio da execução de cortes em encostas para fins construtivos, da implantação de aterros sem controle geotécnico, da inexistência ou insuficiência de sistemas de microdrenagem resultando no redirecionamento do escoamento de águas pluviais, do lançamento de águas servidas diretamente nas encostas, da abertura de vias e de outras intervenções que alteram o equilíbrio natural dos taludes e comprometem sua estabilidade.

Figura 50 – Deslizamentos translacionais rasos, no município de Barra Longa/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2022.

Para um entendimento dos fatores condicionantes, a figura 51 detalha os elementos diagnósticos típicos a serem observados neste processo, em um cenário real.

Figura 51 – Deslizamentos translacionais rasos. Juiz de Fora/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2026. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Outros exemplos de deslizamentos translacionais em contextos urbanos e periurbanos podem ser verificados na figura 52, abrangendo registros em Colatina/ES, Vitória/ES, Mariana/ MG e Ouro Preto/MG.

Figura 52 – Deslizamentos translacionais rasos. (A) Município de Colatina/ES; (B) Município de Vitoria/ ES; (C) Distrito de Cachoeira do Brumado, Mariana/ MG e (D) Município de Ouro Preto/MG.



Fotos: (A-C) Leonardo A. Souza, 2014; (B) Leonardo A. Souza, 2020; (D) Fernando Costa, 2022.

Deslizamentos Rotacionais

Os deslizamentos rotacionais, também denominados circulares, são movimentos gravitacionais de massa que ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, geralmente com concavidade voltada para cima (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Fornasari Filho & Faria, 2018). Esse tipo de deslizamento apresenta dinâmica distinta dos deslizamentos planares, caracterizando-se por deslocamento mais lento e contínuo, com mobilização de grandes volumes de material que se movimentam de forma rotacional. Essa rotação afeta as camadas internas da massa instável, gerando deformações significativas ao longo do corpo do talude.

Esses processos são comuns em regiões onde predominam solos de espessura significativa, alta plasticidade e baixa permeabilidade, abrangendo desde solos argilosos (compactos ou moles) e solos residuais maduros de rochas cristalinas até depósitos coluvionares e aterros mal compactados.

Durante a evolução do processo, é frequente a ocorrência de múltiplas rupturas combinadas e sucessivas, resultando em sistemas de instabilização complexos. Embora o raio de alcance horizontal dos deslizamentos rotacionais tenda a ser inferior ao dos deslizamentos planares, seu impacto pode ser expressivo, especialmente em áreas urbanizadas ou com presença de infraestrutura crítica, como vias de transporte, redes de abastecimento e edificações.

A aplicação desses conceitos pode ser observada nas figuras 53 e 54, que registram deslizamentos rotacionais ocorridos em um talude no distrito de São Sebastião do Soberbo, município de Santa Cruz do Escalvado/MG e no Bairro Progresso, município de Ponte Nova – MG. No registro da figura 53 é possível identificar a mobilização de grandes volumes de material em superfícies de curvas, que se deslocam de forma lenta e contínua, evidenciando a curvatura da superfície de ruptura típica desse processo em solos com espessura e plasticidade elevadas. Nesta imagem também são detalhados os elementos diagnósticos típicos a serem observados neste processo, em um cenário real.



Figura 53 – Registro de deslizamento rotacional em talude no distrito de São Sebastião do Soberbo, Santa Cruz do Escalvado/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2024. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 54 – Superfície de ruptura de deslizamento rotacional de grande porte. Bairro Progresso, município de Ponte Nova/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2022.

Deslizamentos em Cunha

Os deslizamentos em cunha são movimentos de massa que ocorrem predominantemente em saprólitos e maciços rochosos, sendo condicionados pela presença e deslizamento de dois ou mais planos de fraqueza com orientação desfavorável à estabilidade do talude. A interseção desses planos, geralmente fraturas, diáclases ou foliações, define uma linha de ruptura ao longo da qual a massa instável se desloca, seguindo a direção do eixo de intersecção (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Fornasari Filho & Faria, 2018).

Esse tipo de processo é mais frequente em taludes de corte, especialmente em obras viárias ou de mineração, bem como em encostas que passaram por processos de desconfinamento, como erosão regressiva ou movimentos gravitacionais de massa anteriores. A geometria da ruptura em cunha favorece deslocamentos rápidos e concentrados, com potencial de impacto significativo sobre estruturas localizadas na base do talude.

A caracterização geológico-geotécnica detalhada e o reconhecimento prévio da configuração estrutural do maciço são indispensáveis para a definição de ângulos

de corte compatíveis com a orientação das descontinuidades e o dimensionamento adequado de medidas de estabilização.

Na figura 55 é possível identificar a formação de um bloco instável delimitado por duas superfícies planares de fraqueza que se interceptam. O registro, feito

em Ouro Preto/MG, evidencia que o bloco se desloca como um corpo rígido, apresentando uma direção de movimento definida segundo a linha de interseção dos planos de ruptura. Este exemplo, ocorrido em um talude de corte em maciço fraturado, demonstra como a instabilidade pode ameaçar diretamente edificações situadas no sopé da encosta.

Figura 55 – Deslizamento em cunha ou estruturado na cidade de Ouro Preto/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2024. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Outros exemplos de deslizamentos em cunha podem ser verificados nas figuras 56A e 56B, abrangendo registros em Nova Lima/MG e Serra da Mesa/GO.

Figura 56 – Deslizamento em cunha na Serra da Mesa /GO (A), e em Nova Lima/MG (B).



Fotos: (A) Eduardo Marques, 1999 e (B) Maria Giovana Parizzi, 2026.

QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS

Os movimentos de blocos rochosos são processos de deslocamento rápido de fragmentos de rocha ao longo de encostas ou queda livre de blocos a partir de uma face de rocha, ocorrendo principalmente sob a ação da gravidade. Esses movimentos são fortemente condicionados pelas estruturas geológicas, como fraturas, juntas, acamamentos ou xistosidades.

O processo de queda de blocos rochosos ocorre quando as tensões atuantes superam a resistência à tração e/ou de cisalhamento nas superfícies de contato entre o bloco e o maciço. Esse tipo de instabilidade caracteriza-se por deslocamentos rápidos e descontínuos, frequentemente envolvendo queda livre, com trajetória predominantemente vertical ou parabólica.

A deflagração desse fenômeno pode estar associada a diversos fatores naturais e antrópicos, nem sempre diretamente relacionados às chuvas, entre os quais se destacam:

- **Intemperismo físico e químico**, que promove a degradação das ligações entre os blocos e o maciço rochoso, ampliando fraturas, especialmente por tração, e reduzindo a coesão;
- **Processos erosivos**, causados pela ação da água ou do vento, que removem o suporte basal ou lateral dos blocos, favorecendo o desprendimento;

Quadro 27 – Principais características do processo de queda e rolamento de blocos rochosos.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Geralmente ocorre ao longo de fraturas, juntas ou planos de foliação em rochas expostas com movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. • Velocidades muito altas (vários m/s). • Material rochoso. • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. • Blocos de rocha de diversos tamanhos, desde pequenas lascas até grandes volumes.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

A identificação de setores de risco exige uma análise criteriosa das discontinuidades do maciço e dos si-

- **Alívio de tensões**, decorrente da denudação do relevo ou do soerguimento tectônico, que pode gerar abertura de fraturas, por tração, e instabilização de blocos;
- **Vibrações induzidas por atividades humanas**, como detonações, tráfego intenso ou operação de máquinas pesadas, que podem mobilizar blocos já em condição limite de estabilidade;
- **Variações térmicas**, responsáveis por ciclos de expansão e contração diferencial, que favorecem a propagação de fraturas e o destacamento de blocos;
- **Ciclos de umedecimento e secagem**, que induzem expansão e contração de argilominerais e minerais sulfetados, especialmente em rochas argilosas e siltosas, contribuindo para o surgimento de fraturas;
- **Intervenções antrópicas**, como cortes em taludes, escavações mal planejadas ou remoção da vegetação estabilizadora, alterando o equilíbrio natural do maciço e reduzindo o suporte estrutural dos blocos.

A ocorrência de queda de blocos representa risco elevado para infraestruturas e populações situadas na base de encostas, exigindo medidas preventivas como mapeamento de blocos instáveis, o monitoramento geológico-geotécnico contínuo e a execução de medidas estruturais. Para orientar o diagnóstico, o quadro 27 sistematiza os parâmetros fundamentais para o reconhecimento deste processo.

nais de instabilidade. A figura 57 ilustra os principais elementos diagnósticos a serem identificados na aná-

lise do processo. Observa-se a trajetória potencial de queda livre (vertical ou parabólica) e a presença de depósitos de tálus, compostos por blocos que já se deslocaram e se fragmentaram por impactos sucessi-

vos. Este cenário evidencia o perigo iminente para as edificações situadas no sopé do talude. Já a figura 58 mostra a presença de blocos instáveis em um talude rochoso no Bairro Cabanas, em Mariana/MG.

Figura 57 – Blocos instáveis em talude rochoso a montante do Bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade/MG.



Foto: Acervo PMRR de João Monlevade/MG, 2025.. | Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 58 – Blocos instáveis em talude rochoso no Bairro Cabanas, município de Mariana/MG.



Fotos: Leonardo A. Souza, 2023.

O **processo de rolamento** é um tipo de movimento de massa classificado como discreto e dinâmico, no qual fragmentos de rocha se deslocam encosta abaixo girando em torno de seus próprios eixos. Ocorre quando as forças atuantes (intemperismo, peso, vibração) superam a resistência de coesão e atrito entre o bloco e o maciço rochoso e/ou o material sobre o qual ele está apoiado. Diferentemente da queda livre, o rolamento ocorre com **contato contínuo ou intermitente com a superfície do talude/encosta**, sendo influenciado pela geometria e rugosidade do terreno e pelas características geométricas do bloco em movimento.

O bloco perde estabilidade e começa a se mover, geralmente por tombamento ou deslizamento inicial sendo o movimento gradualmente dissipado por atrito, impactos e irregularidades do terreno, até cessar completamente. Blocos arredondados ou subangulosos tendem a rolar com mais facilidade, enquanto blocos angulosos podem alternar entre rolamento e saltos. Blocos em rolamento podem atingir grandes distâncias e causar danos severos a estruturas, vias e pessoas. Para orientar o diagnóstico, o quadro 28 sistematiza as principais características para o reconhecimento deste processo.

Quadro 28 – Principais características do processo de rolamento de blocos rochosos.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Ocorre em encostas muito inclinadas, com blocos instáveis apoiados sobre bases estreitas ou inclinadas. • O bloco gira ou tomba em torno de um ponto ou eixo, podendo depois rolar encosta abaixo. • Velocidades variáveis, mas geralmente muito altas (vários m/s). • Blocos de rocha com formas irregulares, que favorecem o rolamento. • Blocos de rocha de diversos tamanhos, desde pequenos blocos até grandes volumes. • Extenso raio de alcance podendo chegar a centenas de metros.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).



Na figura 59 observa-se modelo diagnóstico dos principais fatores condicionantes ao rolamento de blocos rochosos. O esquema destaca a interação entre a geometria dos blocos, o estado de apoio (descalçamento) e a vulnerabilidade da ocupação na base e no corpo da encosta, no bairro Sagrada Família, Vila Velha/ES. Outros exemplos de blocos instáveis situados em encostas densamente ocupadas em Vitória - ES e Vargem Alegre - MG são apresentados na figura 60.

Figura 59 – Modelo diagnostico dos principais fatores condicionantes ao rolamento de blocos rochoso, bairro Sagrada Família, Vila Velha/ES.



Foto: Leonardo A. Souza, 2019. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 60 – Bloco rochoso instável. Morro do Jaburu, Vitória/ES (A); Bloco rochoso de grande porte estabilizado no Bairro Jaburu, Vitória/ES (B) e Bloco rochoso a montante de edificação de baixo padrão construtivo no Município de Vargem Alegre/MG (C).



Fotos: Leonardo A. Souza, 2026.

O **tombamento** é um tipo de movimento de massa classificado como discreto e rotacional, geralmente de baixa velocidade e evolução progressiva, no qual um bloco rochoso gira em torno de um ponto ou eixo localizado na sua base, sem necessariamente perder o contato com o maciço. A instabilidade se manifesta quando o momento gerado pelo peso do bloco supera o momento resistente proporcionado pela geometria da base, pelo atrito e pelas condições de apoio. Esse

tipo de movimento é típico de taludes rochosos em que planos de fratura, diáclases ou superfícies de foliação apresentam orientação subvertical e mergulho para dentro do talude, impedindo o desenvolvimento de deslizamentos planares, mas favorecendo a rotação do bloco. Para orientar o diagnóstico técnico e o monitoramento dessas feições, o quadro 29 sistematiza os parâmetros fundamentais para o reconhecimento do processo de tombamento.

Quadro 29 – Principais características do processo de tombamento.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• As juntas/camadas são quase paralelas à crista do talude e mergulham para dentro do maciço (contra a face do talude). • Blocos relativamente delgados e altos (colunas) formados por planos de fraqueza regularmente espaçados favorecem o tombamento. • Erosão na base, vibrações, aumento de poropressão, intemperismo ou remoção de suporte reduzem o momento resistente influenciando na dinâmica do movimento. • Velocidade variável, mas geralmente baixa e evolução progressiva.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

As figuras 61 e 62 constituem um registro do processo de **tombamento** em um maciço rochoso no município de **Capitório/MG**, exemplificando como a herança estrutural da rocha dita a tipologia da instabilidade.

Figura 61 – Queda e tombamento de rochas no município de Capitório/MG.

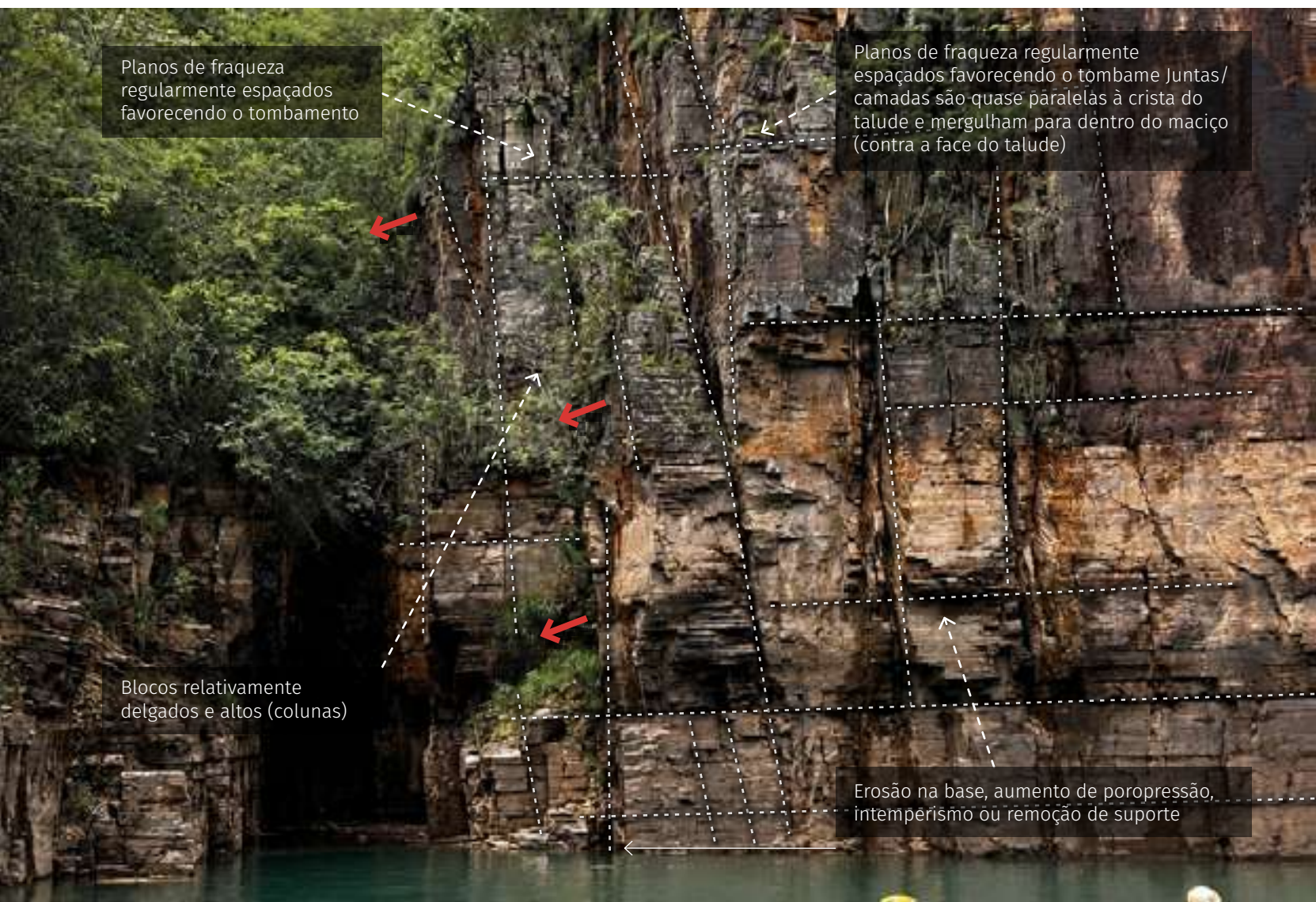


Foto: Eduardo Marques, 2026. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 62 – Suscetibilidade a ocorrência de queda e tombamento de rochas no município de Capitório/MG.

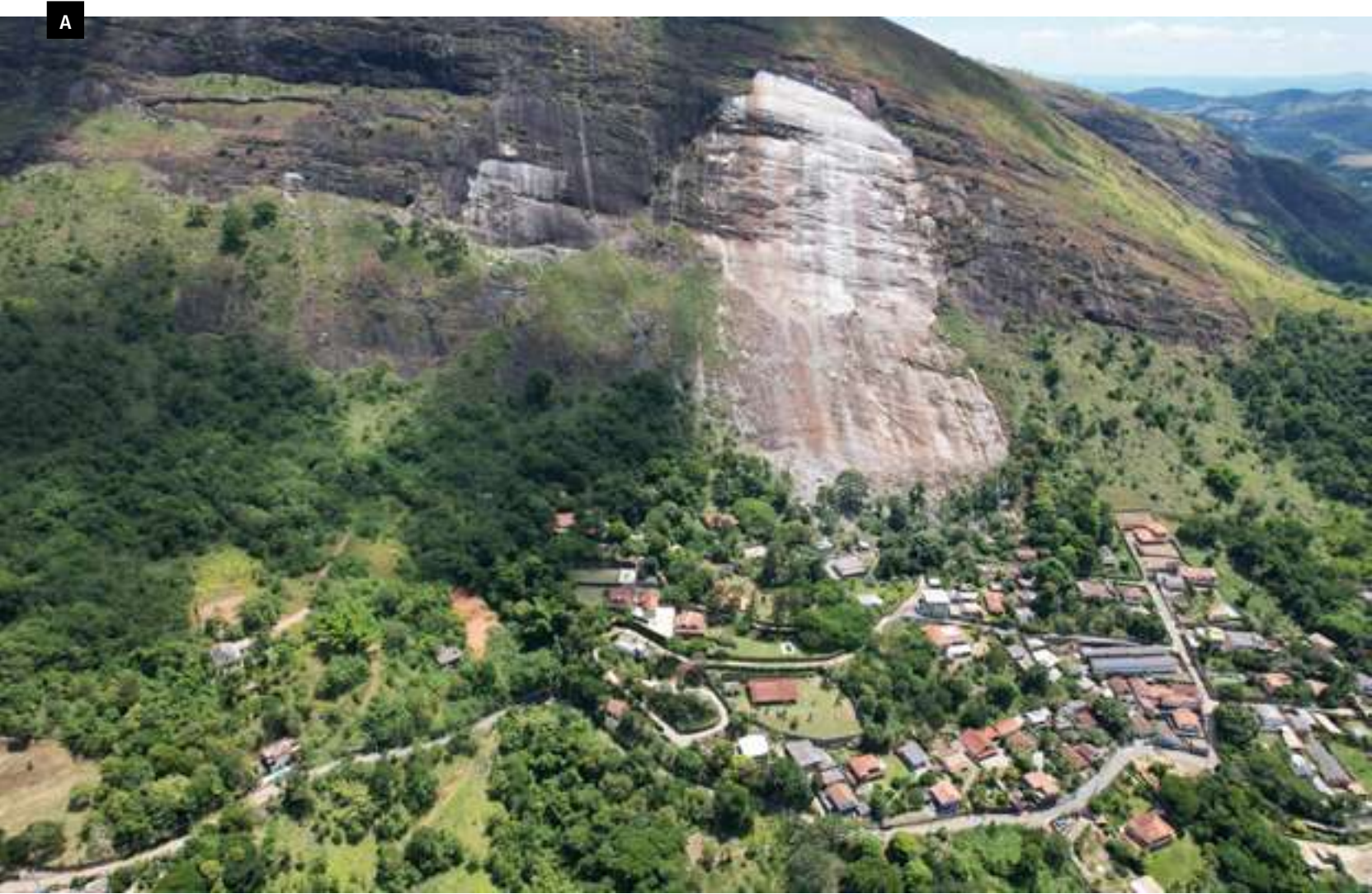


Foto: Eduardo Marques, 2026.

O **desplacamento** caracteriza-se pelo desprendimento de placas ou lajes de rocha ao longo de estruturas geológicas planas e de baixo atrito, como xistosidades, acamamentos ou fraturas (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Fornasari Filho & Faria, 2018) (figuras 63A e 63B). Esse processo pode ser desencadeado por variações térmicas, alívio de tensões internas do maciço, intem-

perismo ou infiltração de água, e pode ocorrer tanto por queda livre quanto por deslizamento ao longo de planos inclinados. Carregamentos adicionais ou vibrações podem atuar como gatilhos, enquanto escavações ou processos erosivos podem remover o suporte basal das placas e lajes, facilitando o desprendimento e o movimento ao longo das superfícies de fraqueza.

Figura 63 – Desplacamento em encosta na localidade do Ingá, Distrito da Posse, Petropolis/RJ (A) e Visão aproximada do mesmo deslocamento (B).



Fotos: Thalweg Tecnologia e serviços de Geotecnia, 2025.

FLUXO DE DETRITOS

Os **fluxos de detritos**, também conhecidos como corridas de massa, são movimentos gravitacionais **fluido-viscoplásticos**, com comportamento entre sólido e líquido, de elevada energia e altamente destrutivo. Envolvem o escoamento rápido de uma mistura não coesa de solo, fragmentos rochosos, matéria orgânica e água, que se desloca encosta abaixo por canais de drenagem naturais ou artificiais, podendo também escoar por outros caminhos. Esses processos possuem comportamento híbrido, regido tanto pela mecânica dos sólidos quanto pela dos fluidos. Se distinguem pelo comportamento viscoso do material transportado, que pode incluir solo, fragmentos rochosos, vegetação, água e até detritos de origem antrópica (Gramani, 2001; Carvalho Cabral, *et al.*,2022; Cunha *et al.*,2022). A água atua como agente lubrificante e de transporte, reduzindo a resistência ao cisalhamento e aumentando a mobilidade da massa.

Os fluxos ou corridas podem ser classificados de acordo com a quantidade de água e o tipo predominante dos materiais transportados:

- As corridas de lama (*mud flow*) são formadas por solos com alto teor de água, com comportamento mais fluido.
- As corridas de terra (*earth flow*) envolvem solos menos saturados, apresentando maior coesão.
- As corridas de detritos (*debris flow*) são caracterizadas pelo predomínio de materiais grosseiros, como blocos rochosos e detritos de variados tamanhos. São as que apresentam maior potencial destrutivo. Esses fluxos podem transportar desde matéria orgânica até grandes blocos de rocha, sendo frequentemente fronteados por uma “cabeça” com concentração de blocos maiores, que abre caminho pelo canal (forte erosão das margens e do leito dos canais).

Figura 64 – Perfis deposicionais em diferentes trechos do canal, com destaque para o arranjo granulométrico. A descrição dos depósitos pode auxiliar na classificação das corridas de massa.



Fonte: Modificado de Eisbacher e Clague (1984) em Gramani e Massad (2022).

Estes fluxos estão associados a compartimentos geomorfológicos caracterizados por relevos de escarpas serranas ou morros, nos quais predominam fatores importantes que condicionam a possibilidade de deflagração dos movimentos: **encostas e rios com altas declividades e disponibilidade de materiais para serem transportados**. Geralmente são locais sujeitos a **altos índices pluviométricos**. Os movimentos de massa do tipo corridas são, portanto, processos atuantes na dinâmica de evolução do relevo em regiões acidentadas.

Três modelos principais de geração de corridas têm sido observados nas regiões serranas brasileiras (Gramani, 2001; Carvalho Cabral, *et al.*, 2022):

- O primeiro ocorre quando deslizamentos despejam grandes volumes de sedimento diretamente nos canais de drenagem, iniciando o escoamento por ação da gravidade;
- O segundo envolve a formação de barramentos naturais por acúmulo de material, que se rompem com o aumento da pressão da água, deflagrando o fluxo; e
- O terceiro ocorre quando o acúmulo de água nas calhas, devido a vazões elevadas, mobiliza o material do leito dos canais.

Conforme descrito por Cruz *et al.*, (1997), Kanji *et al.*, (2016) e Gramani e Massad (2022), os **debris flows** são fenômenos recorrentes, analogamente às precipitações pluviométricas, às cheias de rios e aos sismos,

e obedecem aos mesmos princípios físicos que regem esses processos. Os autores destacam algumas características típicas dos fluxos:

- A sua chegada em alta velocidade é repentina, trazendo na frente uma concentração quase seca dos maiores blocos de rocha;
- Os blocos de rocha boiam ou “surfam” na massa em movimento, devido às forças de dispersão, associadas a efeitos viscosos e de submersão;
- Nos seus depósitos ocorre uma granulometria invertida, onde os blocos maiores estão no topo dos sedimentos e a frente apresenta maior concentração de blocos de rocha, permitindo distinguir corridas sucessivas; e
- Além de lama e grandes blocos a massa transporta troncos e galhos de árvores, e outros detritos, que podem aglomerar-se em passagens estreitas, naturais ou artificiais, como vertedores ou tubos, causando barramentos, galgamentos e extravasamentos.

Contudo, a ocorrência de grandes eventos não significa que o processo vai se repetir com frequência, na mesma localização ou com igual magnitude; como a deflagração depende, entre outros fatores, da disponibilidade de material suscetível ao transporte, a ativação de um fluxo de detritos tende a reduzir o **estoque de sedimentos** e fragmentos depositados ao longo de canais em encostas e rios de alta declividade, por um período.

Para orientar o diagnóstico técnico e a identificação desses eventos, o quadro 30 sistematiza as propriedades fundamentais do processo, abrangendo sua geometria, velocidade e raio de alcance.

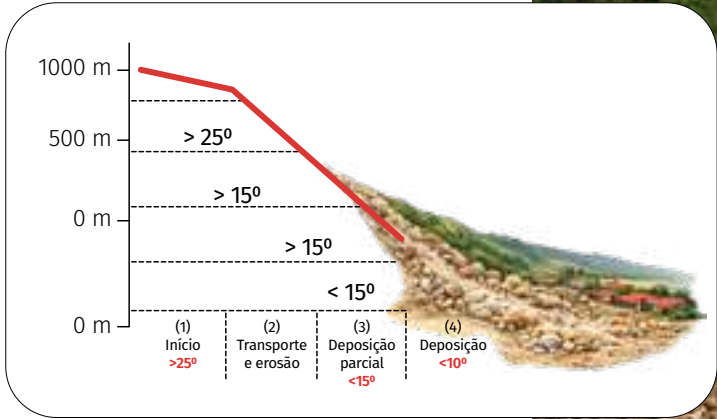
Quadro 30 – Principais características do processo de fluxo de detritos.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Ocorre geralmente em canais encaixados, com declividades acentuadas, que favorecem a aceleração do fluxo. • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso. • Velocidades médias a altas (até dezenas de km/h), com grande força de impacto e capacidade erosiva. • Mobilização de solo, rocha, detritos e água. • Grandes volumes podem ser mobilizados em eventos extremos, com alta capacidade de transporte e deposição. • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas mais planas.

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

A figura 65 é uma representação esquemática da dinâmica de fluxo de detritos, onde os fluxos, que transportam solo, rochas e matérias vegetais em diferentes quantidades, escoam predominantemente ao longo dos canais de drenagem. Nesse percurso há desde a incorporação de materiais presentes no leito e margem dos cursos d'água até a deposição dos sedimentos. Nesta mesma figura são mostrados, a partir do trabalho de Vandine (1985), quatro diferentes trechos ao longo do canal e respectivas inclinações evidenciando situações distintas para: (1) início, (2) transporte e deposição de sedimentos, (3) deposição parcial e (4) deposição.

Figura 65 – Representação esquemática da dinâmica de fluxo de detritos.



Fonte: Modificada de Gramani e Massad (2022)

A figura 66 mostra algumas ocorrências de fluxo de detritos no Brasil com destaque para os cenários sujeitos à *debris flows*, bem como a dinâmica destas corridas.

Figura 66 – Fluxo de detritos ocorrido em Nova Friburgo/RJ (A) e no córrego da Posse, em Teresópolis/RJ (B e C).



Fotos: (A): Leonardo A. Souza, 2011; (B e C) Marcelo Fischer Gramani, 2011.

A vista geral do ribeirão Guarda-Mão, em Itaoca/SP, apresentado na figura 67 ilustra a ocorrência do processo *debris flow* (A); e vista geral de depósito do de-

bris flow ocorrido no córrego Guarda-Mão, em Itaoca/SP (B). Importante notar as dimensões e arranjo dos materiais.

Figura 67 – Trecho intensamente afetado pela passagem do debris flow no ribeirão Guarda-Mão, município de Itaoca/SP.



Fotos: Marcelo Fischer Gramani, 2013.

Popularmente, os fluxos de detritos são conhecidos como “enchentes de lama” ou “avalanche de terra”. Devido à sua elevada velocidade, capacidade de transporte de grandes blocos rochosos e força destrutiva, os fluxos de detritos são um dos fenômenos mais perigosos nas regiões serranas brasileiras. O monitoramento e a prevenção desses eventos demandam atenção técnica especializada, sobretudo diante da crescente ocupação de encostas e da intensificação dos episódios pluviométricos extremos, associados às mudanças climáticas e à urbanização desordenada. A identificação de áreas suscetíveis, o mapeamento geotécnico detalhado e a implantação de sistemas de instrumentação para alerta precoce constituem medidas fundamentais para a mitigação de riscos.

SUBSIDÊNCIAS E COLAPSOS

A subsidência é definida como o rebaixamento progressivo ou abrupto da superfície do terreno, resultante de processos naturais e/ou de atividades antrópicas. Esse fenômeno pode ocorrer de forma contínua e lenta, ou manifesta-se de maneira súbita, dependendo das condições geológicas e das ações envolvidas. Distingue-se dos colapsos principalmente pela velocidade de desenvolvimento: enquanto a subsidência tende a ocorrer de forma gradual, os colapsos se caracterizam por rupturas repentinas e localizadas, conforme ilustrado no perfil esquemático da figura 68.

Ambos os processos representam riscos geotécnicos relevantes, sobretudo em áreas urbanizadas, onde podem comprometer a integridade de edificações, redes de infraestrutura e sistemas viários. Para orientar, o quadro 31 sistematiza as principais propriedades desses fenômenos, detalhando os materiais associados e as variações de velocidade, que podem ir de milímetros por ano em processos naturais até dezenas de centímetros por ano em subsidências induzidas

A suscetibilidade é particularmente elevada em regiões com presença de rochas solúveis, como calcários, dolomitos e evaporitos, que favorecem a formação de cavidades subterrâneas por dissolução (carstificação). À medida que a dissolução avança, o terreno pode apresentar em superfície feições de colapso ou afundamento, entre as quais as dolinas são as mais

comuns. Exemplos dessa dinâmica podem ser observados na cratera de colapso ocorrida em Cajamar/SP, em 1986, (Figura 69) e na ocupação de feição cárstica em Matozinhos/MG (Figura 69). As feições podem surgir por diferentes mecanismos: dissolução progressiva do topo da rocha, subsidência gradual do solo para dentro de condutos subterrâneos, ou abatimento brusco de camadas superiores quando as cavidades não suportam mais o peso das camadas acima. Em solos granulares e depósitos aluviais, o fluxo subterrâneo pode remover partículas finas (piping), formando canais ou túneis que, ao se alargarem, provocam colapso localizado por perda de suporte da cobertura superficial. Esse mecanismo é comum em margens de canais, áreas com lençol freático raso e em trechos onde há concentração de fluxo subterrâneo. Em depósitos heterogêneos, a remoção seletiva de finos pela água reduz a coesão entre os grãos e a sustentação, favorecendo assentamentos repentinos e colapsos localizados. Solos colapsíveis (por exemplo, depósitos eólicos silto-arenosos) podem sofrer perda de volume e resistência quando saturados, resultando em abatimentos bruscos.

As atividades humanas frequentemente intensificam ou aceleram esses processos, seja por meio da extração excessiva de águas subterrâneas, que reduz o suporte hidráulico dos estratos superiores, seja pela sobrecarga imposta por edificações e obras de infraestrutura; ou pela mineração subterrânea, que gera vazios estruturais e desestabiliza o maciço rochoso. A compreensão dos mecanismos de subsidência e colapso é essencial para o planejamento urbano, a avaliação de riscos geotécnicos e a definição de medidas preventivas e corretivas.

Quadro 31 – Principais características do processo de fluxo de detritos.

GEOMETRIA, MATERIAL E DINÂMICA
• Ocorre como depressões localizadas (dolinas, feições de colapso) ou como afundamentos amplos em bacias sedimentares. • Ocorre geralmente associado a rochas sedimentares como calcário, dolomito e evaporitos (suscetíveis à dissolução e colapso) e a sedimentos inconsolidados em áreas urbanas como solos arenosos ou argilosos (variação no nível de água e/ou à exploração de água subterrânea). • Velocidades variáveis: de milímetros a centímetros por ano (subsidência por dissolução de rochas – cársticas) até dezenas de centímetros por ano (subsidência antrópica – extração de água, petróleo ou mineração). • Pode variar de poucos metros a centenas de metros, dependendo do mecanismo (tectônico, termal, flexural ou por dissolução).

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

Figura 68 – Perfil esquemático dos processos de subsidência e colapso.



Fonte: Adaptado de Prandini et al.,1990 (Apud Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998).

Figura 69 – Cratera de colapso no município de Cajamar/SP.



Fonte: Câmara Municipal de Cajamar,1986.

Figura 70 – Ocupação de feição cárstica (dolina) no município de Matozinhos/MG.



Foto: Leonardo A. Souza, 2004.

No Brasil os registros de subsidência ocorrem nas regiões Sul e Sudeste, onde é mais comum a presença de rochas carbonáticas, além da concentração de atividades mineradoras e da expansão urbana em áreas geologicamente sensíveis (Lima e Simões, 2024). Ocor-

rem também na região Norte e Nordeste tendo como caso mais emblemático e catastrófico a extração industrial de sal-gema em Maceió que levou à necessidade de desocupação de 14 mil imóveis, afetando aproximadamente 60 mil pessoas (Figura 71).

Figura 71 – Registros do processo de subsidência induzida em Maceió/AL: evidências de instabilidade no terreno e estruturas nos bairros de Pinheiro e Mutange, que afetaram cerca de 60 mil pessoas (A e B); edificações abandonadas devido ao risco muito alto de colapso estrutural (C).



Fotos: Defesa Civil do Município de Maceió (2019).

MOVIMENTOS COMPLEXOS

Falésias

No contexto geomorfológico, falésias são escarpas naturais íngremes (inclinação de 45° a 90° com a horizontal) localizadas na interface entre o continente e o oceano, formadas e continuamente retrabalhadas pela ação marinha e por processos subaéreos. Caracterizam-se por apresentar recuo progressivo ao longo do tempo, resultante da erosão na base pela ação das ondas, associada ao intemperismo e à instabilidade dos materiais ao longo da encosta.

Os movimentos de massa em falésias constituem um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução de encostas costeiras e representam importante fator de risco em áreas urbanizadas do litoral. Esses fenômenos resultam da combinação entre condicionantes geológicos, climáticos, hidrogeológicos e antrópicos, que atuam na redução da resistência dos materiais e no aumento das tensões atuantes no maciço.

De modo geral, as falésias são formadas por materiais sedimentares pouco consolidados, solos residuais ou depósitos coluvionares, frequentemente estratificados e com elevada suscetibilidade à erosão. A ação marinha na base da encosta promove o solapamento do pé da falésia, removendo material de suporte e induzindo instabilidade progressiva. Esse processo gera aumento das tensões cisalhantes e favorece o desencadeamento de mecanismos de ruptura.

Os principais tipos de movimentos de massa observados em falésias incluem quedas de blocos e tombamentos nas porções mais íngremes, além de deslizamentos planares, rotacionais e fluxos de detritos, especialmente durante períodos de chuva intensa. No caso dos deslizamentos, a infiltração de água é um dos fatores mais relevantes, pois eleva as poropressões, reduz a sucção matricial em solos não saturados e diminui a resistência ao cisalhamento dos materiais. Em regiões tropicais, eventos pluviométricos concentrados frequentemente atuam como gatilhos imediatos para rupturas.

A heterogeneidade litológica também exerce papel fundamental. Camadas mais permeáveis intercaladas com níveis argilosos podem originar superfícies preferenciais de ruptura, favorecendo deslizamentos rasos e progressivos. Em alguns casos, o intemperismo avançado contribui para a formação de perfis espessos e mecanicamente frágeis, aumentando a suscetibilidade das encostas à instabilidade.

A ocupação urbana no topo das falésias intensifica esse cenário. Sobrecargas provenientes de edificações, alterações na drenagem natural, lançamento de águas servidas e cortes no terreno modificam o equilíbrio original do maciço, acelerando processos erosivos e mecanismos de ruptura. A remoção da cobertura vegetal reduz a proteção superficial e contribui para o aumento da infiltração, ampliando o potencial de instabilidade em setores onde as edificações estão em exposição direta, como exemplificado nos registros de Aracati (Figura 72) e Icapuí (Figura 73), no Ceará.

Figura 72 – Dinâmica multitemporal de processos em falésias na Praia de Canoa Quebrada, Aracati/CE: evidências de queda de blocos e deslizamentos (A); evidências de processos erosivos e deslizamentos (B e C).



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Figura 73 – Processos erosivos lineares, queda e rolamento de blocos e deslizamentos em trecho da Praia de Peroba, Icapui/CE (A); queda e rolamento de blocos e deslizamentos provocados pela erosão costeira na base da falésia, na mesma praia (B).



Fotos: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Dunas

As dunas costeiras constituem feições sedimentares de origem predominantemente eólica, formadas pela acumulação de areias quartzosas transportadas pelo vento, geralmente associadas a ambientes litorâneos com ampla disponibilidade de sedimentos arenosos. Do ponto de vista da geologia de engenharia, as dunas representam taludes naturais compostos por materiais pouco consolidados, de elevada porosidade e praticamente desprovidos de coesão, cujas propriedades mecânicas são fortemente influenciadas pela compacidade, pelo teor de umidade e pelo estado de tensões atuante no maciço.

Os materiais constituintes das dunas caracterizam-se, em geral, por areias finas a médias, bem selecionadas, com baixo teor de finos e estrutura fofa a medianamente compacta. Essas características conferem elevada permeabilidade e comportamento predominantemente friccional, no qual a resistência ao cisalhamento depende, sobretudo, do ângulo de atrito interno e da sucção matricial quando o solo se encontra em condição não saturada. A perda dessa sucção,

associada ao aumento do grau de saturação, pode provocar reduções significativas na resistência, favorecendo a ocorrência de instabilidades superficiais.

Os movimentos de massa em encostas dunares manifestam-se, principalmente, na forma de deslizamentos rasos, fluxos arenosos e instabilidades localizadas em taludes naturais ou artificiais. Diferentemente das falésias, onde a ação marinha na base desempenha papel determinante, nas dunas **os mecanismos de instabilização estão fortemente associados às variações do regime de umidade**. Chuvas intensas e concentradas podem atuar como gatilho imediato, promovendo a rápida saturação das camadas superficiais e a consequente redução da resistência ao cisalhamento.

A figura 74 evidencia corrida de areia em duna, durante um episódio de precipitação intensa, onde houve ruptura de uma tubulação de drenagem por sobrecarga de vazão na parte superior da encosta, no bairro de Mãe Luiza / RN. A pressão exercida pela água provocou a liquefação da areia de duna, que escoou em direção à praia na porção inferior do talude.

Figura 74 – Corrida de areia em duna no bairro de Mãe Luiza, em Natal/RN.



Fonte: Reprodução/InterTV Cabugi, 2014.

A presença de camadas com diferentes graus de compactidade, resultantes de episódios deposicionais distintos ou de intervenções antrópicas, pode originar superfícies potenciais de ruptura. Além disso, em dunas parcialmente estabilizadas por vegetação, a remoção da cobertura vegetal tende a reativar processos erosivos e movimentos de massa, uma vez que o sistema radicular contribui para a manutenção da sucção matricial e para a estabilidade superficial dos taludes.

Sob a ótica da geologia de engenharia, a ocupação de dunas costeiras impõe desafios significativos. Cortes para implantação de vias e edificações, sobrecargas no topo das encostas, rebaixamento ou concentração de fluxos de água e intervenções que alteram a

drenagem natural modificam de forma expressiva o equilíbrio mecânico desses sistemas. Em particular, taludes escavados em areias dunares frequentemente apresentam instabilidade progressiva, com ocorrência de deslizamentos sucessivos de pequena magnitude, porém de elevada recorrência.

Outro aspecto relevante refere-se à dificuldade de identificação prévia de condições críticas de instabilidade em dunas. Em muitos casos, os movimentos de massa são rápidos e pouco precedidos por sinais evidentes (Figura 75). A elevada permeabilidade dos materiais pode mascarar a presença de níveis temporariamente saturados, sobretudo após eventos pluviométricos intensos, contribuindo para rupturas inesperadas.

Figura 75 – Alcance do escoamento da corrida de areia em duna no bairro de Mãe Luiza, em Natal/RN.



Fonte: Severo, R.N.F et al.,2016.

MÉTODOS DE MAPEAMENTO DE RISCO: PROCESSOS GEOLÓGICOS

O mapeamento de risco associado a movimentos gravitacionais de massa possui caráter preditivo e fundamenta-se na identificação e na análise integrada de dois componentes essenciais: a suscetibilidade (ou perigo) intrínseca da área estudada e a consequência, expressa pela combinação entre vulnerabilidade e exposição dos elementos potencialmente afetados. A forma de incorporar e mensurar esses fatores varia conforme a abordagem metodológica adotada, que depende dos objetivos do estudo, da escala de análise e, principalmente, da disponibilidade e qualidade dos dados.

De modo geral, distinguem-se três grandes categorias de abordagem: qualitativa, semiquantitativa e quantitativa.

As abordagens qualitativas baseiam-se no entendimento dos processos locais, em observações de indicadores e evidências de potenciais rupturas em campo, no conhecimento comunitário local e no julgamento técnico. Apesar da simplicidade aparente, são muito úteis para identificar áreas prioritárias para ações preventivas. Os resultados costumam ser apresentados em **quatro classes de risco**: risco baixo, médio, alto e muito alto.

As abordagens semiquantitativas constituem uma solução intermediária entre os métodos qualitativos e os quantitativos. Elas empregam índices ponderados para estimar a contribuição relativa de diferentes fatores na determinação do risco, permitindo integrar múltiplas variáveis de forma sistemática. Embora ainda dependam do julgamento técnico para a definição de pesos e critérios, conferem maior objetividade e repro-

utibilidade ao processo de avaliação. Essa estrutura metodológica facilita a comparação entre áreas, a priorização de setores críticos e a padronização dos resultados em diferentes contextos de análise. Entretanto, para que os produtos gerados reflitam adequadamente as condições reais do território, essas abordagens são dependentes de dados de entrada obtidos em escalas compatíveis com o nível de detalhe pretendido.

As abordagens quantitativas representam o nível mais avançado e detalhado de avaliação de risco. Elas se fundamentam em dados numéricos robustos sobre os componentes do risco e utilizam modelos matemáticos, estatísticos ou probabilísticos para estimar a magnitude e a probabilidade de ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa. Esse tipo de abordagem permite análises mais precisas, reproduzíveis e sensíveis às variações dos parâmetros envolvidos. No entanto, sua aplicação exige grande volume de informações confiáveis, incluindo séries históricas, parâmetros geotécnicos, dados hidrológicos e modelos digitais de terreno de alta resolução. Essa demanda por dados pode limitar sua viabilidade em áreas extensas, regiões com baixa disponibilidade de informações ou contextos em que o levantamento detalhado seja inviável em termos de custo e tempo.

Cada abordagem apresenta vantagens e limitações. A escolha deve, portanto, considerar a finalidade do estudo, o nível de detalhe necessário, os recursos disponíveis e a realidade da área de estudo.

Em muitos casos, a combinação de abordagens, unindo dados físicos, sociais e percepção comunitária, pode oferecer uma análise mais completa e realista do risco. A avaliação e o mapeamento de risco de movimentos gravitacionais de massa, portanto, não devem ser vistos como processos puramente técnicos, mas como instrumentos integradores, que consideram o território em suas múltiplas dimensões.

No Brasil, a principal metodologia de mapeamento de risco relacionada a movimentos gravitacionais de massa foi desenvolvida a partir de 1984 e teve sua consolidação e publicação em 2007, no manual técnico elaborado pelo Governo Federal em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Brasil, 2007).

Essa metodologia, amplamente utilizada em Planos Municipais de Redução de Riscos, laudos e pareceres técnicos, tem caráter **qualitativo** e é direcionada à avaliação do risco principalmente em **áreas urbanas**. Aqui será exposta uma atualização revisada dessa metodologia, incorporando as inovações conceituais, tecnológicas e demandadas pela crise climática que justificam a presente publicação, além de adaptações para um alinhamento conceitual e cartográfico em relação às terminologias nacionais e internacionais.

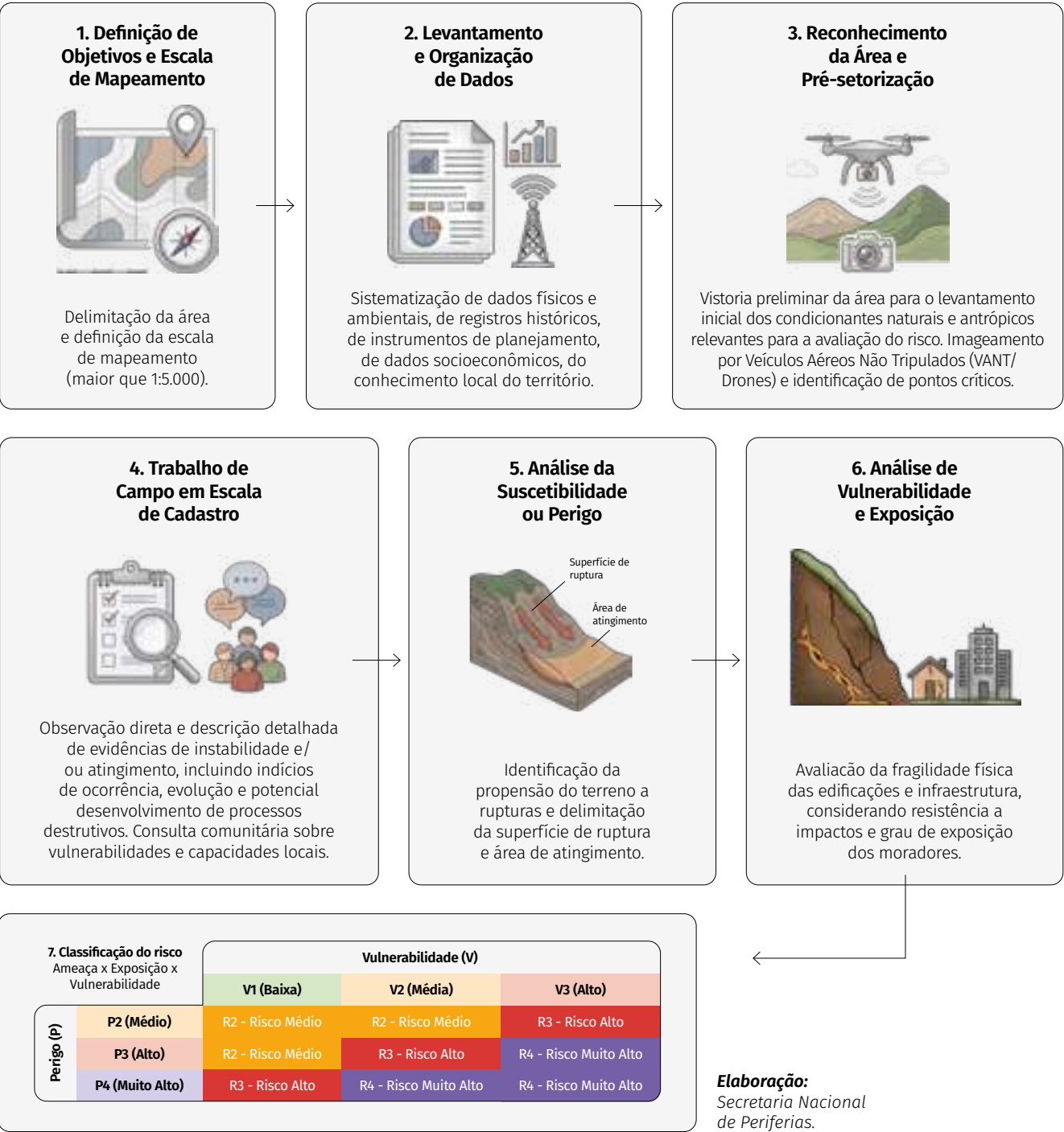
DESLIZAMENTOS E RASTEJOS

Os deslizamentos representam um dos principais processos geológicos responsáveis pela instabilidade de encostas e taludes e pela geração de danos socioeconômicos em áreas ocupadas, afetando de forma desigual as áreas periféricas.

A identificação e o mapeamento das zonas suscetíveis a esses fenômenos e a delimitação dos setores com a classificação do risco propriamente dita constituem etapas fundamentais para o planejamento urbano e territorial, a gestão de riscos e a implementação de medidas preventivas. Esse tipo de mapeamento envolve a análise integrada de fatores relacionados ao meio físico como geologia, geomorfologia, solo, declividade, regime hidrogeológico, vegetação, feições e indicadores de instabilidade, e de fatores antrópicos, relacionados ao uso e ocupação do solo. A partir dessa integração, é possível avaliar a probabilidade, mesmo que subjetiva, de ocorrência dos movimentos e os potenciais impactos sobre a população e a infraestrutura, subsidiando ações de prevenção, mitigação, monitoramento e tomada de decisão. As etapas a seguir ilustradas na figura 76, sintetizam o nível de informação que as metodologias de análise devem gerar para a avaliação desses processos, e o texto em seguida, o seu detalhamento:

- 1. Definição de objetivos e escala de mapeamento.
- 2. Levantamento e organização de dados.
- 3. Reconhecimento da área e pré-setorização.
- 4. Trabalho de campo em escala de cadastro.
- 5. Análise da suscetibilidade ou perigo.
- 6. Análise de vulnerabilidade e exposição.
- 7. Análise e classificação de risco.

Figura 76 – Etapas para o Mapeamento de Riscos de Deslizamentos e Rastejos.



1 – Definição de objetivos e escala de mapeamento

Esta etapa inicial compreende a delimitação da área de avaliação e a definição da escala cartográfica, cujos parâmetros devem estar estritamente alinhados aos objetivos pretendidos com o mapeamento. A precisão técnica e o nível de detalhe gerados são fundamentais para subsidiar uma ampla gama de intervenções, desde ações emergenciais, laudos e perícias até o desenvolvimento de projetos básicos e executivos, planos de contingência e planos preventivos de Defesa Civil.

Além disso, o mapeamento constitui o alicerce para instrumentos estratégicos de planejamento urbano, habitação e gestão fundiária, tais como o **Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR)**, os mapas de setorização de riscos do **Serviço Geológico do Brasil (SGB)**, o **Plano Local de Habitação de Interesse Social (PLHIS)**, os planos municipais e locais de regularização fundiária (**PMRF**) e os **Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA)**.

Escalas de análise:

Escala de cadastro/detalhe para avaliação de risco em áreas ocupadas (1:2.000 a 1:5.000), com base em visitas de campo.

Um elemento estruturante deste processo é a adoção da escala de cadastro ou detalhe (entre 1:2.000 e 1:5.000). Sua operacionalização ocorre obrigatoriamente por meio de vistorias técnicas, atividade que permanece como o meio mais eficaz para a avaliação direta das condições de risco e para a obtenção de informações fidedignas sobre o estágio evolutivo dos processos no território.

2 – Levantamento e organização de dados

Esta etapa dedica-se à coleta e sistematização de análises socio-geoambientais previamente elaboradas, que contribuem decisivamente para a compreensão das características do meio físico e da dinâmica de ocupação do território. A integração desses insumos secundários é fundamental para subsidiar o diagnóstico técnico, destacando-se as seguintes categorias de informação:

→ **Dados Físicos e Ambientais:** Compreendem mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos; Mode-

los Digitais de Terreno (MDT) para análise de declividade, curvatura e altimetria; e cartas geotécnicas de suscetibilidade ou de aptidão à urbanização.

- **Registros Históricos e Institucionais:** Incluem o levantamento de ocorrências de deslizamentos e outros processos geodinâmicos (provenientes da Defesa Civil, prefeituras e imprensa), além de estudos, laudos técnicos e perícias anteriores.
- **Instrumentos de Planejamento e Legislação:** Análise de Planos Diretores, leis de uso e ocupação do solo e normativas urbanísticas vigentes.
- **Dados Socioeconômicos e de Infraestrutura:** Abrangem informações censitárias, cadastros de edificações e redes de infraestrutura, bem como indicadores de densidade populacional e vulnerabilidade social.
- **Conhecimento Local e Atores de Referência:** Identificação e articulação com técnicos municipais, agentes da Defesa Civil, lideranças comunitárias e demais instituições que possuam conhecimento acumulado sobre o histórico e as particularidades do território

3 – Reconhecimento da área e pré-setorização

A visita técnica de reconhecimento inicial da área, realizada com o acompanhamento de técnicos da Defesa Civil e de outras secretarias municipais, constitui uma importante etapa do processo de mapeamento. Esta atividade permite a identificação preliminar dos locais que serão objeto de análise detalhada, bem como o levantamento inicial dos condicionantes naturais e antrópicos (humanos) relevantes para a avaliação do risco (Figura 77).

A avaliação do território municipal requer uma análise minuciosa do meio físico para identificar os fatores que podem contribuir para a deflagração de deslizamentos e processos de rastejo. Nesse contexto, o imageamento aéreo por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT/Drones) é uma ferramenta fundamental, pois possibilita a aquisição de dados atualizados em formato matricial e com elevada resolução espacial

O uso combinado de fotografias oblíquas e fotografias verticais (zenitais) desempenha papel estratégico no diagnóstico. Enquanto as imagens oblíquas favorecem a identificação de feições do relevo e indícios de instabilidade, as imagens zenitais permitem a geração de ortofotos de alta precisão, utilizadas para a delimitação dos

setores de análise e para a extração sistemática de elementos que devem ser verificados em campo (Figura 78).

Além de fornecer um retrato atualizado do território, a interpretação dessas imagens contribui decisivamente para a pré-delimitação de setores de ris-

co e para a identificação de pontos críticos (Figura 79). Esse procedimento permite organizar de forma otimizada o roteiro de inspeções, aumentando a eficiência das investigações em escala de detalhe e garantindo maior robustez técnica ao processo de avaliação do risco.

Figura 77 – Exemplo de elementos observáveis em campo para a avaliação e caracterização de um setor de risco.



Foto: LabGRis,2020. | Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 78 – Exemplo de interpretação da imagem para extração de elementos que devem ser observados em campo para a avaliação e caracterização de um setor de risco.



Foto: Acervo PMRR Ibirité, 2024. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 79 – Exemplo de interpretação de foto oblíqua com delimitação preliminar de áreas críticas para o mapeamento do risco em campo, na escala de detalhe.



Foto: Acervo PMRR Ibirité, 2024. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

4 – Trabalho de campo em escala de cadastro

O trabalho de campo é uma das etapas mais relevantes do processo de avaliação de risco, pois permite a observação direta e a descrição detalhada de evidências de instabilidade e/ou atingimento, incluindo indícios de ocorrência, evolução e potencial desenvolvimento de processos destrutivos. Nessa etapa, são analisados

os condicionantes geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e ocupacionais que influenciam a dinâmica das encostas, bem como avaliada a probabilidade de ocorrência de processos geológicos, considerando sua relação com os elementos expostos e com o entorno imediato. Também permite a observação direta e a consulta comunitária sobre vulnerabilidades e capacidades locais.

A atividade de campo permanece como o método mais eficaz para a obtenção direta das informações mínimas necessárias à caracterização e classificação dos riscos, além de constituir um espaço para a co-construção de conhecimento entre os técnicos responsáveis pelo mapeamento, as equipes municipais e os moradores das áreas avaliadas.

A identificação prévia dos atores de referência do município e do território é essencial para o acesso a informações já existentes sobre áreas suscetíveis, análises de risco, registros de ocorrências e estudos anteriormente desenvolvidos e disponíveis na Prefeitura Municipal. Esse momento é particularmente importante porque envolve diretamente os usuários finais das cartas de risco que serão produzidas, garantindo maior aderência entre o diagnóstico técnico e as necessidades reais da gestão municipal.

Somam-se a isso as visitas de campo acompanhadas pela Defesa Civil e por técnicos municipais, que possibilitam um reconhecimento inicial do território e de seus problemas sob a perspectiva desses profissionais, enriquecendo a análise técnica com o conhecimento acumulado pelas equipes locais. Complementarmente, o **envolvimento da sociedade** auxilia no reconhecimento da área, pois os relatos dos moradores enriquecem o diagnóstico dos processos por meio de experiências pretéritas e da vivência cotidiana no território. Esse é um componente indispensável, já que a implementação de ações de prevenção depende da participação ativa e da adesão às medidas propostas, sobretudo quando a convivência com o risco é inevitável. Tal diálogo favorece tanto o aprimoramento do diagnóstico quanto a construção de soluções mais eficazes, sustentáveis e socialmente legitimadas.

As atividades de campo, fundamentadas na observação detalhada de indicadores e evidências de instabilidade e no estímulo a diagnósticos participativos que incorporem o conhecimento da comunidade local, devem buscar identificar e diagnosticar tanto os fatores que contribuíram para a construção do perigo no meio físico quanto os elementos relacionados à exposição e fragilidades (vulnerabilidade física e social) e às capacidades de enfrentamento (gestão, preparação e resiliência). Esses componentes interferem diretamente na configuração e na própria existência do risco.

Durante as vistorias, as informações devem ser registradas de forma sistemática em fichas de campo e diretamente nas imagens coletadas, garantindo precisão e padronização dos dados. Esse procedimento fortalece a análise posterior e contribui para a integração entre as diferentes etapas do processo de mapeamento.

5 – Análise da suscetibilidade ou perigo

A etapa de análise da suscetibilidade ou perigo tem como objetivo identificar as áreas com maior propensão à deflagração de deslizamentos, isto é, onde os eventos podem ocorrer (suscetibilidade), e, quando possível, avaliar o estágio de evolução do processo de ruptura e impacto, bem como estimar a frequência ou probabilidade de ocorrência desses processos (perigo).

Na ausência de informações prévias sobre o território, a elaboração de um mapa de suscetibilidade antes do início das atividades de mapeamento de risco pode aprimorar significativamente a compreensão do meio físico, ainda que essa etapa não seja estritamente indispensável para o desenvolvimento das análises de risco.

Quando mapas de suscetibilidade já existirem ou forem produzidos previamente, as áreas classificadas como de suscetibilidade média ou alta, quando sobrepostas a setores ocupados, devem ser obrigatoriamente avaliadas em escala de detalhe, conforme recomendado por Sobreira e Souza (2012). Essa exigência metodológica assegura maior precisão diagnóstica e contribui para a adequada identificação de situações de risco em ambientes urbanizados, onde a interação entre processos naturais e ocupação humana tende a intensificar a complexidade dos cenários de instabilidade.

Para adequada qualidade do diagnóstico de risco, é necessário entender a causalidade do perigo, que envolve condicionantes do ambiente físico (relevo e perfil do terreno e do solo; feições e evidências de instabilidade; potencializadores naturais e condições da vegetação) e aspectos do uso e ocupação do solo (modificações produzidas no ambiente pela ocupação humana e como ela contribuiu na construção do processo perigoso) (Quadro 32).

Quadro 32 – Indicadores e condicionantes para avaliação do risco a deslizamentos e rastejos.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Relevo e perfil do terreno e do solo	Forma e extensão das encostas (inclinação, amplitude, geometria), altura dos taludes de corte em encostas, litotipo presente, composição, textura, perfil de alteração, espessura e estrutura e famílias de descontinuidade, presença de formações superficiais, permeabilidade e grau de saturação e relação de contato entre os horizontes que compõem o talude/encosta.
Feições e evidências de instabilidade	Trincas no terreno, nas edificações e infraestrutura do entorno; degraus de abatimento; árvores e estruturas inclinadas (ou deformadas); cicatrizes de deslizamento e feições erosivas.
Potencializadores naturais ou antropogênicos	Redes de drenagem naturais e artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação (cursos d’água afluentes próximos e a montante da área avaliada, valetas, tubulações, galerias, redes de esgoto e lançamentos de água ou efluentes diretamente no terreno); sistemas de esgotamento sanitário que possam gerar interferências no trecho em avaliação (fossas sépticas, sumidouros ou valas de infiltração, redes coletoras, interceptores); escavações e corte verticalizados; presença, extensão e espessura de aterros em encostas; presença, extensão e espessura de depósitos de resíduos de construção e demolição em encostas; presença, extensão e espessura de depósitos de lixo em encostas; sobrecargas no topo da encosta/talude; distâncias das edificações da base e da crista das encostas e taludes e das feições de instabilidade existentes; distância das edificações em relação a crista dos taludes das linhas de costa e das feições de instabilidade existentes.
Condições da vegetação	Presença e interferência da vegetação no escoamento e infiltração e sua interferência mecânica e/ou hidrológica (bem desenvolvida, efêmera ou inexistência de vegetação, porte, raízes como reforço natural, raízes curtas ou superficiais, papel na interceptação da chuva e controle da infiltração).
Características da ocupação e uso dos terrenos	Padrão construtivo das edificações; distância das edificações em relação à crista e base dos taludes e, principalmente, às feições de instabilidade existentes; edificações em linhas de drenagem em talvegues e em trecho com concentração do escoamento superficial; presença de estruturas de contenção, de drenagem e/ou outras intervenções executadas pelos moradores, adensamento excessivo das edificações alterando o percurso original dos fluxos d’água.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A compreensão do perigo associado aos deslizamentos e rastejos exige a definição do estágio de evolução do processo, fundamentada nos indícios de desenvolvimento e nas evidências de instabilidade observadas em campo. A presença de feições como trincas no terreno ou nas edificações, degraus de abatimento, deformações plásticas, inclinação de árvores ou postes, entre outros sinais característicos, indica que o processo já se encontra ativo ou em evolução.

Nessas condições, considera-se que o perigo está instalado, uma vez que há manifestação concreta de instabilidade, com potencial de progressão e agravamento. A caracterização adequada desse estágio é es-

sencial para orientar a classificação do risco, subsidiar a definição de medidas de intervenção e estabelecer prioridades de atuação em áreas urbanizadas.

A figura 80 constitui uma composição de imagens que retrata de forma sistemática os indícios de desenvolvimento e as evidências de instabilidade observadas durante as vistorias de campo. Este conjunto fotográfico apresenta evidências para o diagnóstico de risco, abrangendo desde a identificação de cicatrizes de movimentos de massa e trincas no terreno, pavimentos e edificações, até sinais claros de movimentação como degraus de abatimento, postes inclinados e situações de colapso parcial ou total de estruturas.

Figura 80 – Indícios de desenvolvimento e evidências de instabilidade observadas em campo.

A Cicatrizes: Cachoeira de Brumado – Mariana/MG, 2023.



B Trincas no terreno e degraus de abatimento – Ponte Nova/MG, 2024.



C Trincas no pavimento – Ouro Preto/MG, 2022.



D Degráus de abatimento e postes inclinados – Ouro Preto/MG, 2022.



E Colapso de estruturas – Ouro Preto/MG, 2022.



F Colapso de estruturas e postes inclinados – Ouro Preto, 2022.



G Cicatrizes – Afonso Cláudio/ES, 2014.



H Colapso de estruturas e trincas no terreno – Ouro Preto/MG, 2022.



Fotos: Leonardo A. Souza.

A análise da suscetibilidade ou do perigo de deslizamentos também pode ser realizada por meio de métodos quantitativos, os quais empregam modelagem matemática, estatística ou física para estimar a probabilidade espacial de ocorrência desses processos. Essas abordagens utilizam variáveis mensuráveis e permitem análises reproduzíveis, comparáveis e calibráveis. Entre os principais grupos destacam-se:

- I. métodos estatísticos bivariados;
- II. métodos estatísticos multivariados;
- III. técnicas de aprendizado de máquina (Machine Learning);
- IV. modelos determinísticos ou físicos de estabilidade;
- V. métodos híbridos que integram modelos físicos e estatísticos; e
- VI. métodos multicritério quantitativos, frequentemente classificados como semi-quantitativos.

Apesar de seu potencial analítico, a aplicação desses métodos em áreas extensas enfrenta limitações importantes. A primeira delas é a escassez, inconsistência ou baixa qualidade dos inventários de deslizamentos, fundamentais para calibração e validação, especialmente nos métodos estatísticos e de aprendizado de máquina, que dependem de registros completos, precisos e espacialmente representativos. Soma-se a isso a heterogeneidade geológica, geomorfológica e climática, agravada no contexto brasileiro pela escala generalizada dos levantamentos geológicos e, sobretudo, pela lacuna de informações sobre depósitos superficiais, essenciais para compreender a dinâmica de instabilidade.

Outro desafio relevante é a generalização excessiva dos fatores condicionantes, que pode tornar a modelagem tão subjetiva quanto métodos qualitativos, especialmente quando se utilizam dados de baixa resolução espacial. Além disso, há a dificuldade de representar diferentes tipos de processos em um único modelo, já que cada mecanismo de instabilidade responde a condicionantes específicos, enquanto muitos métodos quantitativos tratam todos os eventos como um fenômeno homogêneo.

Os modelos determinísticos, por sua vez, enfrentam a escassez de parâmetros geotécnicos em escala

regional, o que exige simplificações que aumentam a incerteza. As incertezas hidrológicas também são significativas: a distribuição espacial da chuva é altamente variável, a interpolação pode introduzir erros relevantes e as mudanças climáticas recentes ampliam a imprevisibilidade dos padrões de precipitação. Por fim, destaca-se a baixa capacidade dos modelos de incorporar adequadamente o tecido urbano e sua infraestrutura, que alteram de forma significativa o escoamento superficial, a infiltração, a permeabilidade e, consequentemente, a formação de frentes de saturação, fatores críticos para a deflagração de deslizamentos.

Independente do modelo adotado, a determinação e classificação da suscetibilidade ou do perigo, na escala de detalhe, deve ocorrer por meio da delimitação, sobre a base cartográfica, da área correspondente à provável superfície de ruptura e da área de atingimento em caso de deflagração do processo, ou seja, a abrangência espacial do processo geodinâmico. Essa delimitação permite compreender tanto a zona de instabilidade potencial quanto o alcance dos efeitos associados ao movimento de deslizamento ou rastejo.

Também é importante definir os limites do processo perigoso: se há potencialidade de um deslizamento, onde é o ponto de ruptura (início) e qual sua área de alcance ou de atingimento? Este é o meio exposto ao processo. Um setor de perigo indica um espaço definido dentro do assentamento sujeito a um determinado processo destrutivo potencial, cujas evidências ou indicadores predisponentes foram identificados em campo. Assim, os critérios para determinação dos graus de perigo estão elencados no quadro 33.

Quadro 33 – Grau de probabilidade para classificação do perigo.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
P2 Médio	Há evidências incipientes de instabilidade na encosta, no talude ou no terreno adjacente, indicando um estágio inicial de desenvolvimento do processo. Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes como declividade, tipo de substrato, características do terreno e condições de drenagem favorecem a formação de superfícies de ruptura potenciais de pequeno porte. A energia cinética estimada é baixa a moderada, geralmente insuficiente para comprometer a integridade estrutural de edificações com resistência adequada.
P3 Alto	Há indícios claros e consistentes de instabilidade na encosta, no talude, no terreno adjacente ou mesmo nas edificações, indicando que o processo se encontra em estágio avançado de desenvolvimento. Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes como declividade acentuada, características do substrato, tipo de material e condições de drenagem favorecem a formação de superfícies de ruptura potenciais de médio a grande porte. A caracterização geométrica e cinemática do processo aponta para a possibilidade de rupturas com alcance suficiente para atingir edificações, ampliando significativamente o potencial de danos. A energia cinética estimada é elevada, com capacidade de provocar danos estruturais severos, independentemente da resistência ou do padrão construtivo da edificação atingida. Embora o histórico de eventos possa estar presente, sua existência não é determinante para a classificação, uma vez que a caracterização do perigo elevado está respaldada na identificação de indícios claros e consistentes de instabilidade.
P4 Muito Alto	Há indícios claros, intensos e ativos de instabilidade, tais como movimento detectado, deformações progressivas, surgência de água, trincas em progressão e cicatrizes recentes de ruptura. Esses sinais evidenciam que o processo se encontra em evolução acelerada, com possibilidade de deflagração iminente. Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes, incluindo declividade acentuada, características do substrato, tipo de material e condições de drenagem, favorecem a formação de superfícies de ruptura de grande porte, com potencial para mobilizar volumes significativos de material. A caracterização geométrica e cinemática indica que as rupturas podem apresentar alcance expressivo, ultrapassando a base do talude e atingindo áreas ocupadas mais amplas, ampliando o raio de impacto e a severidade dos danos potenciais. A energia cinética estimada é muito alta, com capacidade de provocar destruição total de edificações, independentemente do padrão construtivo ou da resistência estrutural. O setor apresenta histórico recente e recorrente de deslizamentos, reforçando a alta frequência e o comportamento ativo do processo.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Nos mapeamentos para **deslizamentos e rastejos**, quando a área possui infraestrutura instalada e as construções apresentam elevada capacidade de resistência, não há evidências de instabilidade na encosta, no talude, no terreno adjacente ou nas edificações, tampouco indícios de processos em evolução, os con-

dicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes como declividade, tipo de substrato, características do terreno e condições de drenagem não favorecem a formação de superfícies de ruptura potenciais considera-se que a área não apresenta perigo.

Figura 81 – Exemplo de encosta para avaliação da suscetibilidade/perigo/risco a ocorrência de deslizamentos em Muriaé/MG.



Foto: Acervo PMRR de Muriaé, 2025.

No exemplo da figura 82, a delimitação do setor de perigo engloba os elementos expostos e a área de abrangência do processo geológico. Conforme a le-

genda deste mapeamento, os setores são classificados em graus de perigo P3 (Alto) - vermelho e P4 (Muito Alto) - roxo.

Figura 82 – Mapeamento de perigo no município de Muriaé/MG.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

6 – Análise de vulnerabilidade e exposição

A avaliação das condições de vulnerabilidade envolve a análise integrada de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a predisposição de uma comunidade ou sistema aos impactos associados a um perigo.

Esse conceito abrange tanto as fragilidades intrínsecas, como a precariedade e localização das edificações, a falta de infraestrutura adequada, quanto a exposição, entendida como a presença de pessoas, bens, serviços, sistemas e meios de subsistência em áreas potencialmente afetadas por um processo perigoso.

O perigo somente se converte em dano quando há insuficiência de capacidade de enfrentamento, seja por parte do Poder Público, seja da comunidade local, para prevenir, mitigar ou responder adequadamente ao problema.

Mesmo em análises expeditas de risco é possível identificar visualmente elementos da vulnerabilidade. Este parâmetro tem características marcadamente associadas aos ambientes urbanos periféricos de cada local ou região. Recomenda-se que sejam definidos com antecedência uma série de indicadores observáveis ou que possam ser rapidamente coletados junto à comunidade das áreas em mapeamento abrangendo informações sobre:

1. Moradores com maior fragilidade frente aos riscos e situações de desastres (idosos, deficientes, dependentes químicos ou alcoólicos);
2. Edificações com destacada fragilidade construtiva, com instabilidade estrutural ou degradação significativa;
3. Acúmulo significativo de lixo, aterros lançados e entulhos no entorno da moradia;
4. Evidência clara de perigo ou impacto ou dano à moradia por ocorrência pretérita, sem que haja providência observável de reparo ou mitigação por parte do morador;
5. Lançamento desorganizado de águas servidas sobre taludes.

Esses indicadores devem ser adequados à realidade local e expressar condições efetivas de contribuição dos moradores na produção do deslizamento ou sua incapacidade de responder ao risco com intervenções e de se proteger em situação de desastre. A materialização dessas condições e a diversidade de cenários de fragilidade no território são exemplificadas na composição de imagens mostradas na figura 83, que sintetiza casos em que a vulnerabilidade física e social e a exposição se sobrepõem aos condicionantes de perigo.

Figura 83 – Vulnerabilidade e exposição integradas às análises de perigo e risco.

A Edificações de bom padrão construtivo – Colatina/ES.



B Edificações de médio padrão construtivo – Colatina/ES.



C Edificações de baixo padrão construtivo – Colatina/ES.



D Edificações de baixo padrão construtivo – Colatina/ES.



E Acúmulo de lixo – Contagem/MG.



F Edificações com destacada fragilidade construtiva – Afonso Cláudio/ES.





Fotos: Leonardo Souza 2014 (A, B, C, D, F, H, I, J), 2010 (G), 2022 (L), 2025 (K) e Acervo PMRR Contagem, 2025 (E).

Contudo, em análises expeditas, as características relacionadas à vulnerabilidade física das edificações são de fácil observação, inclusive para o cruzamento com o perigo na identificação das classes. Ainda assim, é importante destacar que a classe de vulnera-

bilidade, conforme apresentado no quadro 34, pode ser alterada por outros fatores, como os supracitados, desde que estes contribuam de forma significativa para o aumento do impacto do processo e/ou da complexidade da situação de risco.

Quadro 34 – Classes de Vulnerabilidade física.

Nível de Vulnerabilidade	Consequência / Danos esperados
V1 – Baixa	A área possui infraestrutura instalada. Edificações com padrão construtivo regular, materiais de qualidade moderada e manutenção razoável. Implantação próxima, mas não diretamente sobre as zonas de impacto. As construções tendem a suportar os esforços gerados por eventos de pequena magnitude, apresentando apenas danos leves ou localizados.
V2 – Média	A área possui infraestrutura parcialmente instalada. Edificações com padrão construtivo precário, fundações superficiais, materiais frágeis ou deteriorados. Implantação em área de influência direta do processo (base, meia encosta ou topo instável). A estrutura apresenta baixa capacidade de resistir a esforços, sendo provável a ocorrência de danos elevados, com possibilidade de perda parcial ou total de edificações, independentemente da resistência, e risco à vida humana, especialmente durante episódios de chuvas intensas ou prolongadas.
V3 – Alta	A área não possui infraestrutura instalada. Edificações extremamente frágeis, sem padrão técnico, com fundações inexistentes ou improvisadas. Implantação dentro da zona de impacto direto (zona de ruptura ou deposição). O colapso total é altamente provável com risco elevado à vida humana, mesmo em eventos de pequena magnitude.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

7 - Análise e classificação do risco

Em uma análise de risco na escala de cadastro / vistoria, as principais informações perseguidas pelo vistoriador são a tipologia do processo e sua magnitude, pois a partir destas análises tornar-se-á possível o entendimento das rupturas prováveis, os volumes de material passíveis de mobilização e, consequentemente, a abrangência da área de atingimento e a vulnerabilidade dos elementos expostos.

A partir dessa avaliação, torna-se possível estimar o comportamento esperado do movimento, caracterizar a intensidade potencial do processo e definir o grau de exposição das edificações e infraestruturas

presentes no setor analisado. Essa etapa é decisiva para a classificação do risco.

Um setor de risco indica um espaço definido dentro da área ocupada sujeito a um determinado processo destrutivo potencial, cujas evidências ou indicadores predisponentes foram identificados e validados em campo.

Com base na identificação e análise desses elementos é possível indicar o grau de risco (Quadro 35) e avaliar a necessidade de proposição de medidas estruturais e não estruturais, especialmente em situações em que o processo destrutivo já se encontra instalado.

Quadro 35 – Critérios utilizados para estimativa do risco.

		VULNERABILIDADE			RISCO
		V1 – Baixa	V2 – Média	V3 – Alta	
PERIGO	P2 Médio	R2 – Risco médio	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	
	P3 Alto	R2 – Risco médio	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	
	P4 Muito Alto	R3 – Risco alto	R4 – Risco muito alto	R4 – Risco muito alto	
		RISCO			

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Cada classe de risco resultante deste cruzamento reflete um cenário específico de instabilidade e potencial de dano, apresentados no quadro 36, para orientar o diagnóstico técnico.

Quadro 36 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para deslizamentos.

GRAU DE RISCO	DESCRIÇÃO	VULNERABILIDADE
R2 – Médio	O processo apresenta indícios moderados de instabilidade, com possibilidade de evolução, mas sem sinais de ruptura iminente. A energia potencial e o volume mobilizável tendem a ser reduzidos, resultando em danos limitados caso o evento ocorra. A probabilidade de atingir edificações ou causar perdas significativas é moderada, embora não desprezível.	Áreas classificadas como V1 ou V2, onde as edificações possuem algum nível de resistência, infraestrutura está parcialmente ou totalmente instalada e a implantação não se encontra diretamente na zona de impacto. Os danos esperados variam de leves a moderados, com baixa probabilidade de colapso estrutural total.
R3 – Alto	O processo apresenta indícios claros e consistentes de instabilidade, com possibilidade real de deflagração. A energia potencial e o volume mobilizável são suficientes para causar danos significativos a edificações, vias e infraestrutura. Há risco elevado à integridade física de moradores, especialmente durante períodos de chuva intensa ou prolongada.	Áreas V2 ou V3, onde edificações possuem baixa capacidade de resistir aos esforços gerados por movimentos de massa. A implantação ocorre em áreas de influência direta do processo (base, meia encosta ou topo instável). Os danos esperados incluem perda parcial ou total de edificações e risco à vida humana.
R4 – Muito Alto	O processo apresenta indícios ativos e progressivos de instabilidade, com possibilidade de ruptura independente do volume de chuva. A energia potencial é muito elevada, com capacidade de mobilizar grandes volumes de material e causar destruição generalizada. O alcance do movimento pode atingir áreas amplas, com alto potencial de perdas humanas e materiais.	Áreas V3, onde edificações são extremamente frágeis, sem padrão técnico e implantadas diretamente na zona de impacto (ruptura ou deposição). O colapso total é altamente provável, mesmo em eventos de pequena magnitude, representando risco extremo à vida humana.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Por fim, a classificação dos setores subsidia diretamente a definição de diretrizes para a gestão municipal, indicando a urgência e a tipologia das medidas estruturais e não estruturais recomendadas para a salvaguarda da vida estão sintetizadas no quadro 37.

Quadro 37 – Propostas de medidas estruturais e não estruturais em relação à classificação de risco.

Classe	Medidas Estruturais e Não Estruturais
R2 – Médio	Possibilidade limitada de danos; recomenda-se monitoramento periódico e pequenas intervenções preventivas que possam ser executadas pelo próprio morador.
R3 – Alto	Danos significativos possíveis; necessidade de ações mitigadoras; ações preparatórias para o enfrentamento de períodos chuvosos com ou sem remoções preventivas.
R4 – Muito Alto	Alta probabilidade de danos severos ou colapso; necessidade de intervenção a curto prazo; pode requerer remoção preventiva mesmo fora do período chuvoso e ações preparatórias para o enfrentamento de períodos chuvosos com ou sem remoções preventivas.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

Para exemplificar a aplicação desses conceitos em contextos geográficos e urbanos distintos, as figuras 84 A e 84B a seguir apresentam exemplos de setorização em escalas de detalhe. A figura 84 A detalha setores de risco a deslizamentos no município de **Muriaé/**

MG, classificando áreas em **Risco Médio (R2)** e **Risco Alto (R3)**. Na figura 84 A a delimitação do setor se limita aos elementos expostos e Figura 84 B, a delimitação do setor engloba os elementos expostos e a delimitação da área de abrangência do processo projetada.

Figura 84a – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em um trecho do município de Muriaé/MG. Classificação do Risco (A) e Classificação do Risco com a indicação da área de abrangência projetada (B).



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Figura 84b – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em um trecho do município de Muriaé/MG. Clas-sificação do Risco (A) e Classificação do Risco com a indicação da área de abrangência projetada (B).



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

A aplicação da metodologia de setorização deve ser adaptada às especificidades de cada território, considerando desde assentamentos urbanos densa-mente ocupados até áreas com dinâmicas naturais complexas. Os exemplos a seguir ilustram essa di-versidade de cenários.

A figura 85 apresenta a classificação do risco de des-lizamento em uma comunidade no município de Dia-dema/SP. Neste mapa, observa-se a espacialização dos setores sobre uma malha urbana consolidada, onde a integração entre os condicionantes do meio físico e a vulnerabilidade das moradias resulta em uma gradação que abrange desde o **Risco Médio (R2)** até o **Risco Muito Alto (R4)**.

Figura 85 – Exemplo de classificação do risco de deslizamento em uma comunidade do município de Diadema/SP.

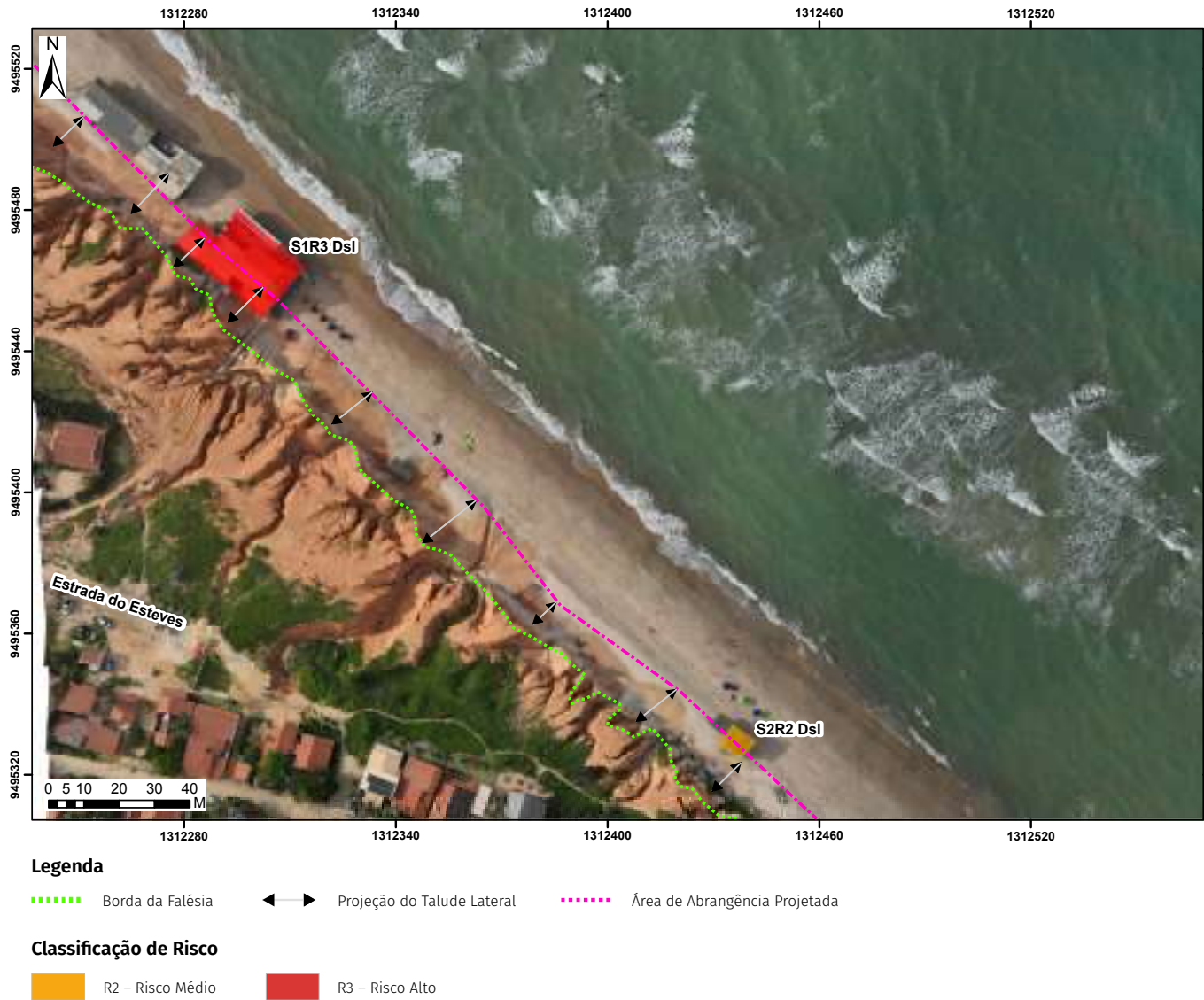


Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

Diferente do contexto de encostas urbanas, a figura 86 exemplifica o mapeamento de risco relacionado a movimentos complexos em falésias no município de Aracati/CE. Neste cenário de dinâmica costeira, a cartografia técnica delimita elementos específicos, como a borda da falésia e a área de abrangência projetada

do processo geológico. A classificação em graus de Risco Médio (R2) e Alto (R3) baseia-se na análise da taxa de recuo da escarpa e na proximidade das edificações em relação à linha de instabilidade, orientando o monitoramento e as restrições de uso do solo na orla marítima.

Figura 86 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para movimentos gravitacionais de massa em falésias trecho da praia de Canoa Quebrada no município de Aracati/CE.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS

A compreensão do comportamento de taludes e blocos rochosos depende do conhecimento dos parâmetros mecânicos das rochas. Cada tipo de solo ou rocha apresenta propriedades físicas e mecânicas específicas que, quando analisadas em conjunto com as condições ambientais e estruturais do entorno, permitem avaliar a estabilidade do local que está sendo avaliado.

Os principais parâmetros relacionados à estabilidade de taludes rochosos, como ângulo de atrito, grau de fraturamento, estado de alteração, coesão e orientação das discontinuidades, constituem fatores que podem atuar de forma favorável ou desfavorável à manutenção do equilíbrio de um bloco ou de um talude rochoso. A identificação do processo geológico, incluindo seus condicionantes antrópicos, físicos e químicos (Quadro 38), é fundamental para a definição correta do risco e de possíveis soluções de engenharia para sua mitigação.

Quadro 38 – Critérios utilizados para determinação da classificação do risco para queda e rolamento de blocos.

INDICADORES	CONDICIONANTES
Perfil do terreno	Inclinação, forma e amplitude da encosta (maciço rochoso e/ou taludes e/ou da área de captação (formações superficiais).
Parâmetros geológicos do maciço rochoso	Gênese; estratigrafia e relações de contato; litotipo; geologia estrutural (dobras, foliação, lineação, fraturas, falhas, diaclases, juntas); composição mineralógica; textura; grau de intemperismo do maciço rochoso (ISRM, 2007); resistência das rochas (ISRM, 1981); grau de fraturamento segundo ISRM (1981/2007), alterabilidade e permeabilidade.
Parâmetros de formações superficiais (tálus, colúvios e solos residuais)	Composição, espessura, arranjo e dimensões dos fragmentos rochosos envoltos em massas de solo, saturação.
Características das discontinuidades e dos blocos rochosos	Espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, alteração das paredes (resistência), presença e tipos de preenchimento, condições de água e atitudes das discontinuidades, forma geométrica dos blocos rochosos, classificação geomecânica dos maciços rochosos.
Feições e evidências de instabilidade	Fraturas e juntas abertas, presença de fendas de tração, sinais de deslocamentos (cicatrizes de deslizamento, blocos deslocados, embarrigamentos do pé ou de porções do talude, vegetação inclinada), presença e intensidade de fluxo de água em discontinuidades, blocos em posição instável.
Potencializadores naturais ou antropogênicos	Redes de drenagem naturais e artificiais que possam gerar interferências no trecho em avaliação (cursos d'água afluentes próximos e a montante da área avaliada, valetas, tubulações, galerias, redes de esgoto e lançamentos de água ou efluentes diretamente no terreno); sistemas de esgotamento sanitário que possam gerar interferências no trecho em avaliação (fossas sépticas, sumidouros ou valas de infiltração, redes coletoras, interceptores); escavações, desmontes e cortes verticalizados; aterros não controlados; depósitos de lixo e entulho; vibrações induzidas; sobrecargas no topo da encosta/talude.
Condições da vegetação	Avaliação da vegetação e sua interferência mecânica e/ou hidrológica (bem desenvolvida, efêmera ou inexistência de vegetação, porte, raízes como reforço natural, raízes curtas ou superficiais, papel na interceptação da chuva e controle da infiltração).
Condições da área de captação	Determinação da trajetória e alcance da massa de rocha.
Características da ocupação e uso dos terrenos	Padrão construtivo das edificações; distância das edificações em relação à crista e base dos taludes dos maciços rochosos e formações superficiais e, principalmente, às feições de instabilidade existentes; presença de estruturas de contenção, de proteção, de drenagem e/ou outras intervenções executadas pelos moradores ou pelo poder público.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

As atividades de mapeamento geológico-geotécnico consistem essencialmente em inspeções visuais sistemáticas, nas quais se busca identificar e caracterizar as discontinuidades, suas condições e possíveis mecanismos de ruptura. O objetivo central desses estudos é distinguir, de maneira fundamentada, se o maciço e os blocos depositados sobre ele ou sobre depósitos de cobertura a jusante (tálus e colúvios) en-

contram-se **em condição estável ou instável**, subsidiando análises de perigo e risco e a proposição de intervenções de engenharia. A figura 87 exemplifica esse cenário de interação entre o meio físico e a ocupação urbana, retratando uma área onde o crescimento da cidade avançou sobre esses depósitos naturais. urbana, retratando uma área onde o crescimento da cidade avançou sobre esses depósitos naturais.

Figura 87 – Expansão urbana sobre depósito de talus no bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade/MG.



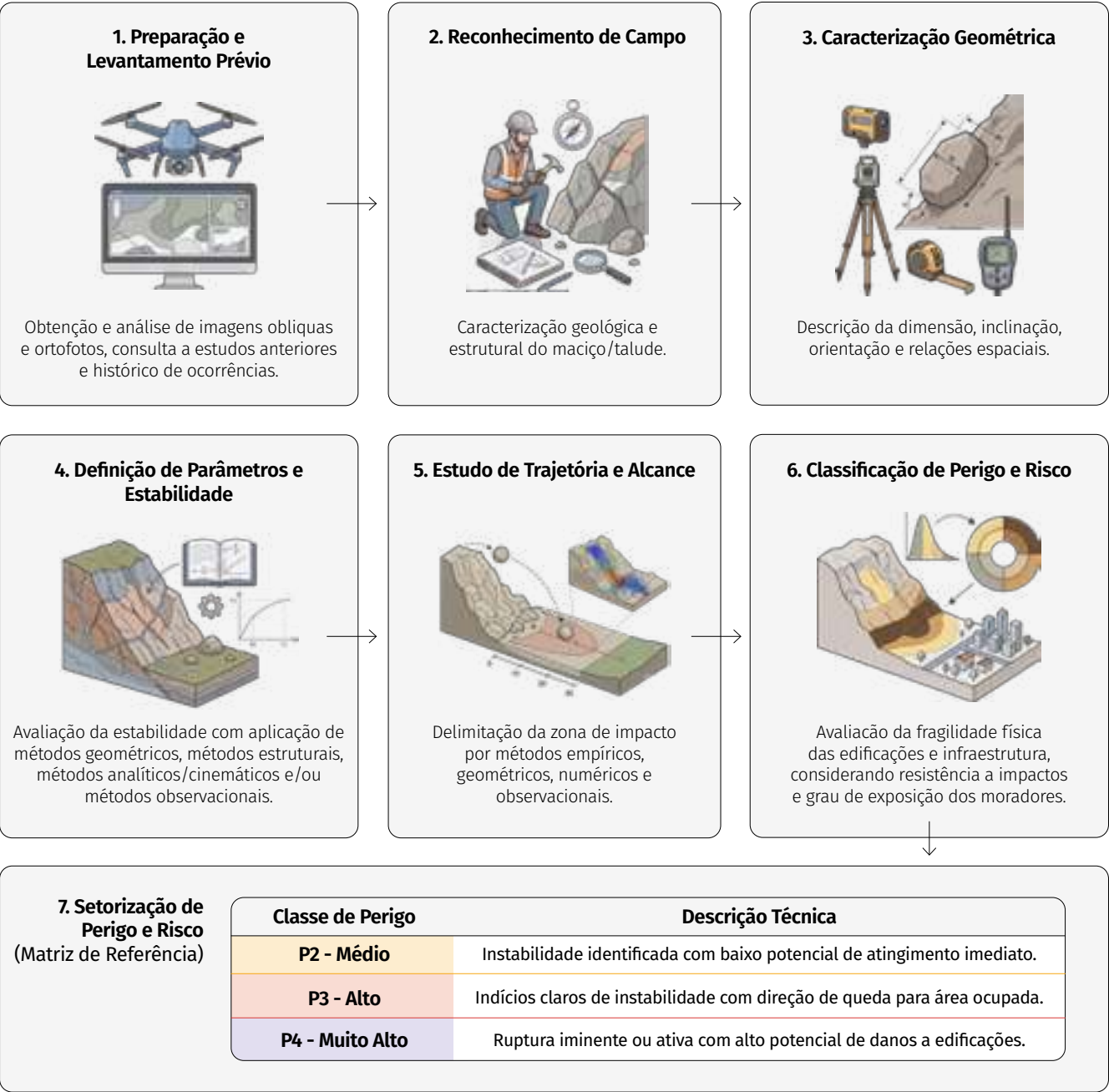
Foto: Acervo PMRR João Monlevade, 2025.

A adoção de uma postura conservadora implica considerar todas as situações classificadas como **instáveis** como potenciais cenários de perigo e risco, sobretudo quando houver possibilidade de danos a pessoas e estruturas. Essa abordagem preventiva é fundamental em avaliações de taludes e blocos rochosos, dado o caráter muitas vezes súbito dos mecanismos de ruptura, que pode ocorrer mesmo na ausência de chuva já que a instabilidade de taludes rochosos não depende exclusivamente da presença de água, mas de um conjunto de fatores geológicos, geométricos e mecânicos que podem evoluir de forma independente das condições climáticas. O mapeamento de risco para o processo de queda e rolamento de blocos rochosos deve seguir uma sequência técnica combinando:

O mapeamento de risco para o processo de queda e rolamento de blocos rochosos deve seguir uma sequência técnica combinando:

1. Preparação e levantamento prévio dos dados.
2. Reconhecimento de campo para a caracterização geológica e estrutural e a identificação de feições e condicionantes que indiquem potencial de instabilidade.
3. Caracterização geométrica do talude e dos blocos.
4. Definição de parâmetros da discontinuidade mais desfavorável ou do maciço rochoso, nos casos de maciços extremamente fraturados.
5. Avaliação da estabilidade.
6. Determinação e delimitação da trajetória e do alcance dos blocos.
7. Classificação do perigo e risco.

Figura 88 – Sequência técnica de mapeamento de risco para o processo de queda e rolamento de blocos.



Os métodos estruturais analisam as discontinuidades que controlam a formação e o movimento dos blocos destacando-se como principais abordagens o levantamento e a identificação de famílias de descontinuidades, a classificação de maciços rochosos (RMR, SMR, GSI), a avaliação do grau de alteração e do preenchimento das fraturas.

Os métodos analíticos e científicos têm por pressuposto a determinação se a geometria e a estrutura permitem uma ruptura, qual o tipo de mecanismo pode ocorrer (análise cinemática, modelos de equilíbrio limite) e qual o alcance resultante da movimentação dos blocos (simulações numéricas).

Já os métodos observacionais e de inspeções são subjetivos e diretamente dependentes da expertise do avaliador, já que se baseiam na avaliação do estado atual do talude e dos blocos, a partir da identificação de sinais de instabilidade.

A determinação e delimitação da trajetória e do alcance dos blocos é a principal e mais complexa etapa para a definição de setores de risco na avaliação de taludes e blocos rochosos. Combina métodos empíricos, geométricos, numéricos e observacionais onde cada método responde a uma parte diferente do problema. Na prática, não necessariamente todos os métodos serão sempre executados de forma combinada.

Os métodos observacionais e históricos ainda hoje são os mais empregados e os mais subjetivos e imprecisos. Entretanto, esses métodos ainda são valiosos porque com um número reduzido de informações podem fornecer dados reais do comportamento local, a partir de um inventário de blocos depositados (medição de distâncias reais de eventos anteriores), do mapeamento de cicatrizes de queda (identificando setores ativos e padrões de deposição) e da análise de fotos aéreas históricas (permitindo a reconstrução

de eventos passados). Os blocos que se desprendem de taludes comumente se depositam na base dele. Quando presentes, registra-se a dimensão dos blocos e a distância até a base do talude. A dimensão do bloco depositado é sempre igual ou menor do que a dimensão do bloco quando ele se desprendeu do talude. Isto porque se houve a fragmentação do bloco no impacto com terreno, ele irá se fragmentar em pedaços menores. Se não houver fragmentação, a dimensão do bloco será a mesma de quando se desprendeu do talude.

Em síntese, a dimensão do bloco depositado indicará, em uma primeira análise, a dimensão esperada de novos blocos que possam se desprender do talude e a distância indica o potencial de alcance dos blocos, sendo a maior dificuldade a definição da trajetória. As cicatrizes de desprendimento no talude são feições no talude que surgem quando da queda de blocos. Geralmente são identificadas pela coloração mais clara da rocha sã em comparação ao restante do talude, que apresenta tons mais escuros da rocha alterada. Em alguns casos, as cicatrizes também são reconhecidas pelo formato do tipo de ruptura (cunha, planar ou tombamento).

A figura 89 apresenta uma composição de registros fotográficos detalhando indicadores para análise observacional de movimentos de blocos rochosos, fundamentais para a determinação da trajetória e do alcance (runout) em maciços rochosos. O conjunto ilustra variações na forma, dimensão e estruturação de blocos em taludes e depósitos de tálus, além de destacar as cicatrizes de desprendimento (reconhecidas pela coloração mais clara da rocha sã em contraste com a rocha intemperizada). Os exemplos abrangem contextos como o Bairro Corumbiara de Vanessa, em João Monlevade/MG e áreas de encosta em Petrópolis/RJ.

Figura 89 – Composição de Fotos de campo, mostrando forma, dimensão, estruturação e cicatrizes de desprendimento de blocos rochosos.

A Dimensão e forma dos blocos rochosos.



B Cicatrizes de desprendimento.



C Forma dos blocos rochosos.



D Forma dos blocos rochosos e ocupação no entorno.



C Dimensão e forma dos blocos rochosos.



D Dimensão, forma e inclinação do bloco rochoso.



G Estruturação do macico rochoso.



H Dimensão, forma, inclinação e relações de contato do bloco rochoso.



I Estruturação do macico rochoso, forma, dimensão e cicatrizes de desprendimento dos blocos rochosos.



J Estruturação do macico rochoso, forma, dimensão e cicatrizes de desprendimento dos blocos rochosos.



A figura 90 apresenta a avaliação do alcance a partir da análise observacional no município de João Monlevade/MG, demonstrando como a posição dos blocos no terreno serve de parâmetro real para projetar a zona de impacto sobre a ocupação urbana.

Figura 90 – Avaliação do alcance a partir de análise observacional, Bairro Corumbiara de Vanessa, município de João Monlevade /MG.



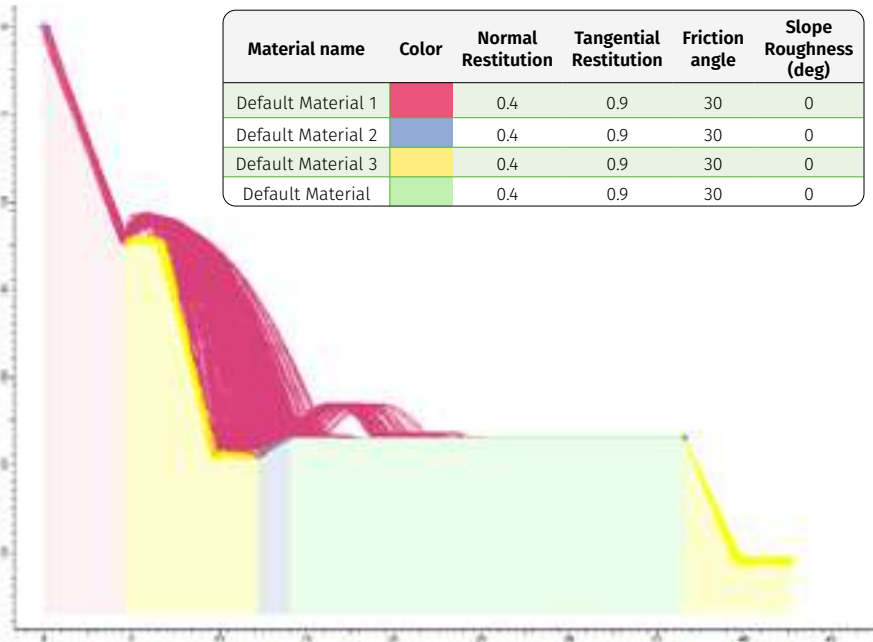
Foto: PMRR João Monlevade, 2025.

Fotos: Acervo PMRR João Monlevade, 2025 (A); Thalweg Tecnologia e serviços de Geotecnia, 2025 (B); Leonardo A. Souza, 2025 (C – J).

Os métodos empíricos de alcance (runout) usam relações observadas em eventos reais para estimar a distância provável de deslocamento dos blocos. Entre os métodos mais conhecidos destaca-se a Razão H/L (Heim, 1932) que relaciona altura de queda (H) e distância horizontal (L), permitindo estimativas rápidas de alcance (valores menores (0,2–0,4) indicam alcance maior, valores maiores (0,6–1,0) indicam alcance menor). O ângulo de alcance (Fahrböschung) é utilizado para estimar a distância horizontal que um bloco rochoso pode percorrer a partir da equação $\theta = \arctan(H/L)$ onde H é a altura vertical entre o ponto de desprendimento e o ponto de deposição, e L é a distância horizontal percorrida pelo bloco, em que valores menores (27°–30°) indicam alcance maior, e valores maiores (35°–40°) indicam alcance menor. Outro método aplicado refere-se aos modelos alpinos de alcance (runout) desenvolvidos na Suíça e Áustria que são alguns dos sistemas mais completos e consolidados para prever a distância de queda, salto e rolamento de blocos rochosos combinando observações empíricas, classificação do terreno e princípios de dinâmica para estimar zonas de impacto com maior precisão do que métodos simples como Heim ou Fahrböschung (OFEV, 2016).

As simulações numéricas de trajetória são os métodos mais completos para prever o comportamento dinâmico dos blocos em que a ideia central é representar o bloco como um corpo rígido que se move sobre um terreno real em que a cada impacto o corpo perde energia, altera sua velocidade e adquire nova direção, resultando em um conjunto de trajetórias possíveis. Entre os principais modelos disponíveis destaca-se os modelos 2D (RocFall, Colorado Rockfall Simulation Program) com simulações ao longo de perfis, modelos 3D (RAMMS Rockfall, RAN3D, RockyFor3D) que consideram a topografia real, rugosidade, vegetação e forma do bloco e modelos baseados em energia que avaliam energia cinética, altura de salto e velocidade para dimensionamento de barreiras. As simulações permitem prever trajetórias prováveis, energia de impacto que são fundamentais para dimensionar barreiras dinâmicas, a altura de saltos contribuindo na definição da altura de telas e estruturas e, principalmente, as zonas de deposição que são a informação chave para a delimitação dos setores de risco. A figura 91 ilustra um modelo 2D, enquanto a figura 92 exemplifica uma análise 3D, em João Monlevade/MG.

Figura 91 – Exemplo road. fal8. Rocscience.

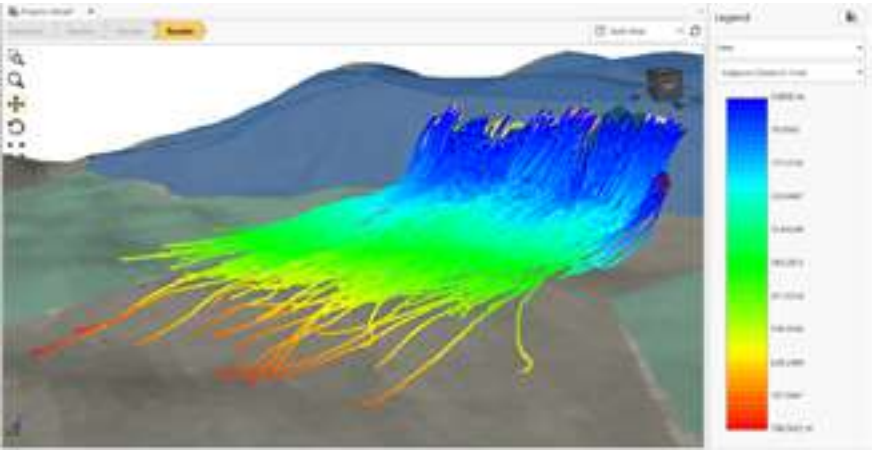


Elaboração: Eduardo Marques, 2026.

SETORIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO GRAU DE PERIGO E RISCO

A setorização do perigo é diretamente dependente da determinação da trajetória e alcance dos blocos (área de abrangência do processo). A classificação do risco deve combinar a probabilidade de ruptura, mesmo que subjetiva, e o potencial de dano considerando a identificação e caracterização dos processos, o volume e massa do bloco instável, a trajetória e o alcance análises de frequência e quando possível a correlação entre a energia de impacto com o padrão construtivo do elemento exposto. A matriz de perigo aqui proposta estabelece três classes: P2 – Médio, P3 – Alto e P4 – Muito Alto, onde sua caracterização pode ser observada no quadro 39, enquanto o quadro 40 mostra o perfil de vulnerabilidade para cada classe.

Figura 92 – Exemplo de análise da distância do ponto de chegadas de blocos rochosos com uso do programa RocFall 3D.



Elaboração: Silva, 2024.

Quadro 39 – Descrição das classes de Perigo / Suscetibilidade.

Perigo/ suscetibilidade	Descrição
Baixo a Inexistente (P1)	Não há indícios de instabilidade nos taludes ou no terreno adjacente. A caracterização geométrica não identifica blocos destacados, fraturas críticas ou superfícies de ruptura potenciais. O alcance estimado (<i>runout</i>) limita-se à base imediata do talude, sem interação com edificações. As construções apresentam elevada capacidade de resistência e não se encontram na zona de impacto.
Médio (P2)	Existem indícios pouco claros de instabilidade (fraturas abertas, blocos discretamente destacados, pequenas cicatrizes). A caracterização geométrica indica blocos pequenos a médios, com alcance limitado à base do talude ou a curtas distâncias. A energia cinética estimada é baixa a moderada, insuficiente para comprometer a integridade estrutural de edificações com resistência adequada. As construções, quando presentes, possuem boa resistência e estão parcialmente expostas, mas sem risco de colapso.
Alto (P3)	Há indícios claros de instabilidade (blocos destacados, fraturas persistentes, superfícies de ruptura bem definidas, tombamento iminente). A caracterização geométrica e cinemática indica possibilidade de ruptura de blocos médios a grandes, com alcance suficiente para atingir edificações. A energia cinética estimada é alta, com potencial para causar danos estruturais severos, independentemente da resistência da construção. O histórico de eventos pode existir, mas não é determinante para a classificação.
Muito Alto (P4)	Indícios claros e ativos de instabilidade (movimento detectado, deformações progressivas, blocos em balanço crítico, cicatrizes recentes). A caracterização geométrica indica blocos grandes ou conjuntos de blocos, com alcance significativo, podendo ultrapassar a base do talude e atingir áreas ocupadas. Energia cinética muito alta, com capacidade de causar destruição total de edificações. Histórico recente e recorrente de quedas ou rolamentos no setor, indicando alta frequência e comportamento ativo do processo. Presença de pessoas, edificações ou infraestrutura dentro da zona de impacto provável.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Quadro 40 – Classes de Vulnerabilidade.

Nível de Vulnerabilidade	Consequência / Danos esperados
V1 – Baixa a Inexistente	Danos inexistentes ou desprezíveis; edificações fora da zona de impacto.
V2 – Média	Danos pequenos e localizados; sem potencial de colapso estrutural em edificações com boa resistência.
V2 – Alta	Danos elevados, com possibilidade de perda parcial ou total de edificações, independentemente da resistência, risco à vida.
V3 – Muito Alta	Danos severos, com risco elevado à vida humana e destruição de estruturas em áreas ocupadas na zona de impacto.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

Para a determinação do risco propõe-se uma composição baseada em uma matriz de pontuação dos indicadores presença de sinais de instabilidade, abrangência do movimento e consequência do movimento:

Presença de sinais de instabilidade

Indica sinais de movimentação prévia do terreno:

- Indícios Pouco Claros de Instabilidade
- Indícios Claros de Instabilidade
- Indícios Claros e Ativos de Instabilidade

Abrangência do movimento

Esse indicador busca analisar a manifestação espacial do movimento:

- Pontual – correspondente à distância do pé do talude;
- Local – área que extrapola o pé do talude até uma distância em que ocorrem poucos imóveis e ou infraestruturas;
- Abrangente – área que extrapola o pé do talude até uma distância em que ocorrem vários imóveis e ou infraestruturas.

Consequência do movimento

Por meio desse indicador, avalia-se a percepção da alteração ocorrida:

- Irrelevante – Danos inexistentes ou desprezíveis.
- Baixa relevância – Danos pequenos e localizados; sem potencial de colapso estrutural em edificações com boa resistência;
- Relevante – Danos elevados, com possibilidade de perda parcial ou total de edificações, independentemente da resistência, risco à vida;
- Alta relevância – Danos severos, com risco elevado à vida humana e destruição de estruturas em áreas ocupadas na zona de impacto.

Baseado nesses indicadores de valoração, é avaliado, então, o risco:

Quadro 41 – Matriz de pontuação dos indicadores.

Indicador	Classe / Categoria	Descrição	Pontos
Presença de sinais de instabilidade	Indícios pouco claros de instabilidade	Sinais discretos, pouco evidentes de movimentação prévia do terreno.	1
	Indícios claros de instabilidade	Sinais nítidos de movimentação prévia do terreno.	2
	Indícios claros e ativos de instabilidade	Sinais nítidos e em evolução (movimento ativo).	3
Abrangência do movimento	Pontual	Restrito à proximidade imediata do pé do talude.	1
	Local	Extrapolava o pé do talude, atingindo poucos imóveis e/ou infraestruturas.	2
	Abrangente	Extrapolava o pé do talude, atingindo vários imóveis e/ou infraestruturas.	3
Consequência do movimento	Irrelevante	Danos inexistentes ou desprezíveis.	0
	Baixa relevância	Danos pequenos e localizados; sem potencial de colapso estrutural em edificações com boa resistência.	1
	Relevante	Danos elevados, com possibilidade de perda parcial ou total de edificações; risco à vida.	4
	Alta relevância	Danos severos, com elevado risco à vida e destruição de estruturas em áreas ocupadas na zona de impacto.	9

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

CÁLCULO DO ÍNDICE DE RISCO

A combinação dos indicadores ocorre a partir de um somatório conforme segue:

$$\text{Índice de Risco (IR)} = P_{\text{sinais}} + P_{\text{abrangência}} + P_{\text{consequências}}$$

onde:

P_{sinais} = pontuação da presença de sinais de instabilidade

P_{ab} = pontuação da abrangência do movimento

P_{consequências} = pontuação da consequência do movimento

A Classificação do risco ocorre por faixas de pontuação conforme mostrado no quadro 42.

Quadro 42 – Matriz de classificação de risco.

Índice de Risco (IR)	Classe de risco	Interpretação básica
2 – 4	R1 – Baixo a inexistente	Movimentos pouco significativos e/ou com baixa consequência.
5 – 8	R2 – Médio	Situações com sinais e/ou abrangência moderada, com algum potencial de dano.
9 – 12	R3 – Alto	Movimentos relevantes, com possibilidade de danos significativos e risco à vida.
13 – 15	R4 – Muito alto	Movimentos com grande abrangência e alta consequência, com elevado risco à vida.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias, 2026.

A figura 93 apresenta exemplo de classificação do risco de queda e rolamento de blocos rochosos em um trecho do município de João Monlevade/MG.

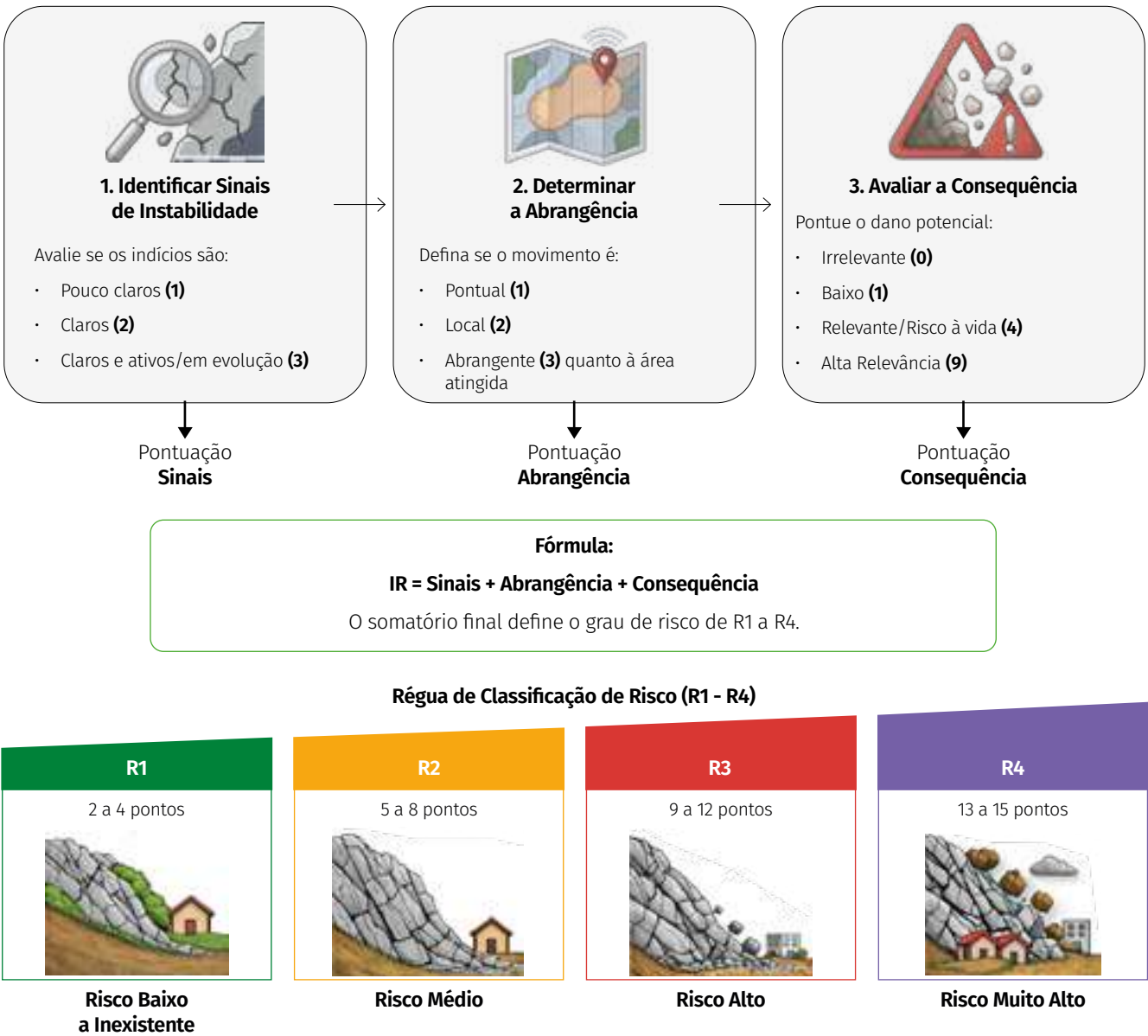
Figura 93 – Exemplo do resultado de mapeamento e setorização de risco para queda e rolamento de blocos rochosos no município de João Monlevade/MG.



Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

A figura 94 retrata esquema ilustrativo de cálculo do índice de risco de queda de blocos e os principais indicadores que devem ser observados.

Figura 94 – Cálculo do índice de risco de queda de blocos e seus principais indicadores.



Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

FLUXO DE DETRITOS

O mapeamento de processos de fluxo, os quais incluem: fluxos de água, fluxos de lama e fluxos de detritos, apresenta desafios significativos, sobretudo pela dificuldade de estimar a probabilidade de ocorrência e a recorrência desses eventos. Por esse motivo, as metodologias correntes concentram-se na identificação de bacias com potencial para desenvolvimento de fluxos, a partir da análise integrada de parâmetros geológicos, geomorfológicos e hidrológicos que condicionam esses processos.

Parâmetros como recorrência, volume e tipo de material mobilizado, distância percorrida, dinâmica do processo (como formação de barragens temporárias) e até a influência da ocupação humana são difíceis de quantificar e, por isso, ainda não podem ser plenamente inseridos na avaliação de risco.

Os métodos de mapeamento disponíveis permitem a elaboração de cartas de suscetibilidade ou cartas de perigo, seja por meio de modelagem ou por análises morfométricas integradas a vistorias de campo. Contudo, tais abordagens não delimitam de forma precisa os setores de risco específicos para fluxos de detritos; em vez disso, identificam áreas com potencial para a deflagração desses processos. Apesar dessas limitações, a utilidade desses métodos permanece significativa.

Por se tratar de um fenômeno complexo, o mapeamento de processos de fluxo exige uma abordagem multidisciplinar e integrada, tanto na modelagem de cenários quanto nas análises de campo, devido à diversidade de fatores envolvidos. As etapas a seguir

sintetizam o nível de informação que as metodologias de análise devem gerar para a avaliação desses processos:

- 1. Elaboração de cartas de suscetibilidade:** Identificação das bacias hidrográficas com maior propensão à deflagração de corridas de massa (onde podem ocorrer os eventos).
- 2. Análise do perigo:** Determinação da frequência ou probabilidade de ocorrência de eventos nas bacias (quando podem ocorrer).
- 3. Análise do risco:** Estimativa dos volumes de material potencialmente mobilizáveis, das trajetórias e alcances prováveis, e dos danos esperados (magnitude); inclui a **importância das avaliações de campo** para validar e refinar as estimativas.

No Brasil, entre as principais metodologias empregadas e os estudos desenvolvidos para estimar o potencial de geração de fluxos de detritos em bacias hidrográficas, destacam-se os trabalhos de Kanji et al.,(1997), Massad et al.,(1998), Massad et al.,(2000), Kanji et al.,(2000), Kanji et al.,(2001), Gramani e Kanji (2001), Massad (2002) e Kanji et al.,(2003), IPT e CPRM (2014) e Gides (2018).

A metodologia apresentada por Kanji et al.,(2003), que desenvolveram estudos para avaliar a suscetibilidade de ocorrência de fluxo de detritos (debris flow), considera um conjunto de fatores relacionados às condições pluviométricas, morfologia dos terrenos, condições geológicas e formas de uso e ocupação da área. A avaliação da suscetibilidade, proposta por estes autores, é resultante da ponderação dos fatores apresentados no quadro 43, definidos pelos respectivos pesos, classes, intervalos de valores e notas parciais.

Quadro 43 – Parâmetros para a avaliação da suscetibilidade da ocorrência de *debris flow*

FATOR	CLASSE	PESO	INTERVALOS DE VALORES PARA O FATOR	NOTA PARCIAL
Chuva (mm/h)	C1	3	> 80	10
	C2		60 – 80	6,6
	C3		30 –60	3,3
	C4		< 30	0
Talude/ encosta (graus)	T1	2,5	> 45	10
	T2		30 – 45	6,6
	T3		15 – 30	3,3
	T4		< 15	0
Declividade dos Canais (graus)	D1	0.5	> 25	10
	D2		15 – 25	6,6
	D3		10 – 15	3,3
	D4		< 10	0
Área da bacia (km²)	A1	1	< 5	10
	A2		5 – 10	6,6
	A3		10 – 20	3,3
	A4		>20	0
Altura dos taludes/ encostas (m)	H1	1	> 750	10
	H2		500 – 750	6,6
	H3		200 – 500	3,3
	H4		< 200	0
Uso da terra e cobertura vegetal*	V1	0,5	90 – 100	10
	V2		50 – 90	6,6
	V3		30 – 90	3,3
	V4		<30	0
Condições geológicas**	G1	1,5	G1	10
	G2		G2	6,6
	G3		G3	3,3
	G4		G4	0

* Área ocupada ou sem vegetação
** Inclui tipo de solo e rocha, propriedades geotécnicas, estrutura e recorrência

Fonte: adaptado de Kanji et al.,2003

A determinação dos pesos (P) atribuídos a cada fator foi feita por ordem de importância, com base na análise comparativa de diversos casos. A nota parcial (NP) de cada atributo foi dividida em intervalos regulares, atribuindo-se 10 ao cenário mais crítico e 0 ao menos crítico. Entre os fatores considerados, a chuva (C) é tratada como o principal agente do processo e, por isso, recebe maior peso na análise. No caso de corridas de detritos, deflagradas por picos de chuvas dentro de um evento pluviométrico, as medidas são expressas em mm/h. A inclinação das encostas (T) corresponde a outro fator de grande importância, pois propicia deslizamentos (por vezes generalizados), contribuindo assim com o aporte de material para os canais, alimentando as corridas de detritos durante sua trajetória. A declividade dos canais (D) também é considerada outro importante fator por ser a superfície na qual as corridas de massa traçam a sua trajetória. A área da bacia (A) é responsável pela captação, distribuição, amortecimento e concentração das águas pluviais, interferindo diretamente na geração e na dinâmica das corridas de massa. A altura das encostas (H), além de influir na geração de deslizamentos, também é considerada como fonte de energia para o desenvolvimento do fluxo. Estes quatro fatores acima apresentados (T, D, A, e H) são considerados como condicionantes geomorfológicas intervenientes na vulnerabilidade das áreas.

Os aspectos geológicos (G), incluem a determinação do tipo de rocha e solo, suas propriedades geotécnicas e estruturais, e o mapeamento de depósitos que indiquem a recorrência do fenômeno na respectiva área. A vegetação e o uso e ocupação do solo (V) correspondem à porcentagem da área ocupada por moradias ou outras formas de ocupação, ou por outra forma de exploração das áreas, expondo o solo aos processos da dinâmica externa. A nota final (NF), variando de 0 a 100, é obtida por meio da somatória das notas parciais (NP) de cada classe multiplicadas pelo seu respectivo peso (P), segundo a Equação a seguir:

NF = Σ NP x P

O Índice de Suscetibilidade (IS) é calculado pela somatória dos graus parciais e respectivo peso de cada um dos fatores, ou seja, $IS = \sum (Peso \times Grau \text{ parcial})$, e comparado com o quadro 44 para classificação da suscetibilidade à ocorrência de fluxos de detritos.

Quadro 44 – Índice de suscetibilidade.

Intervalo	Índice de suscetibilidade
80 – 100	Muito alto
60 – 80	Alto
40 – 60	Médio
20 – 40	Baixo
0 – 20	Muito baixo

Fonte: Kanji et al.,2003

A segunda forma de avaliar a suscetibilidade de uma bacia é por meio da aplicação do Índice de Melton (M), que é um parâmetro morfométrico usado para avaliar a tendência de uma bacia de drenagem gerar corridas de massa (*debris flows*) ou enxurradas (*debris floods*), relacionando a amplitude altimétrica da bacia com sua área. Nesse caso o cálculo se dá a partir da diferença de cota (H – amplitude de relevo na bacia, em metros) dividido pela raiz quadrada da Área da bacia (A - em m2). O limiar de $M > 0,3$ é utilizado para indicar bacias com potencial para gerar fluxos de detritos. O limiar de $M < 0,3$ é utilizado para indicar bacias com potencial de enxurradas. Não fornece diretamente frequência temporal, sendo necessário ser combinado com dados pluviométricos e inventários de eventos.

Assim, a aplicação do Índice de Melton (M) permite uma triagem técnica para a priorização de bacias hidrográficas em estudos de perigo. Os critérios para a

interpretação dos valores obtidos e os limiares que definem a energia de transporte esperada para cada cenário são detalhados no quadro 45.

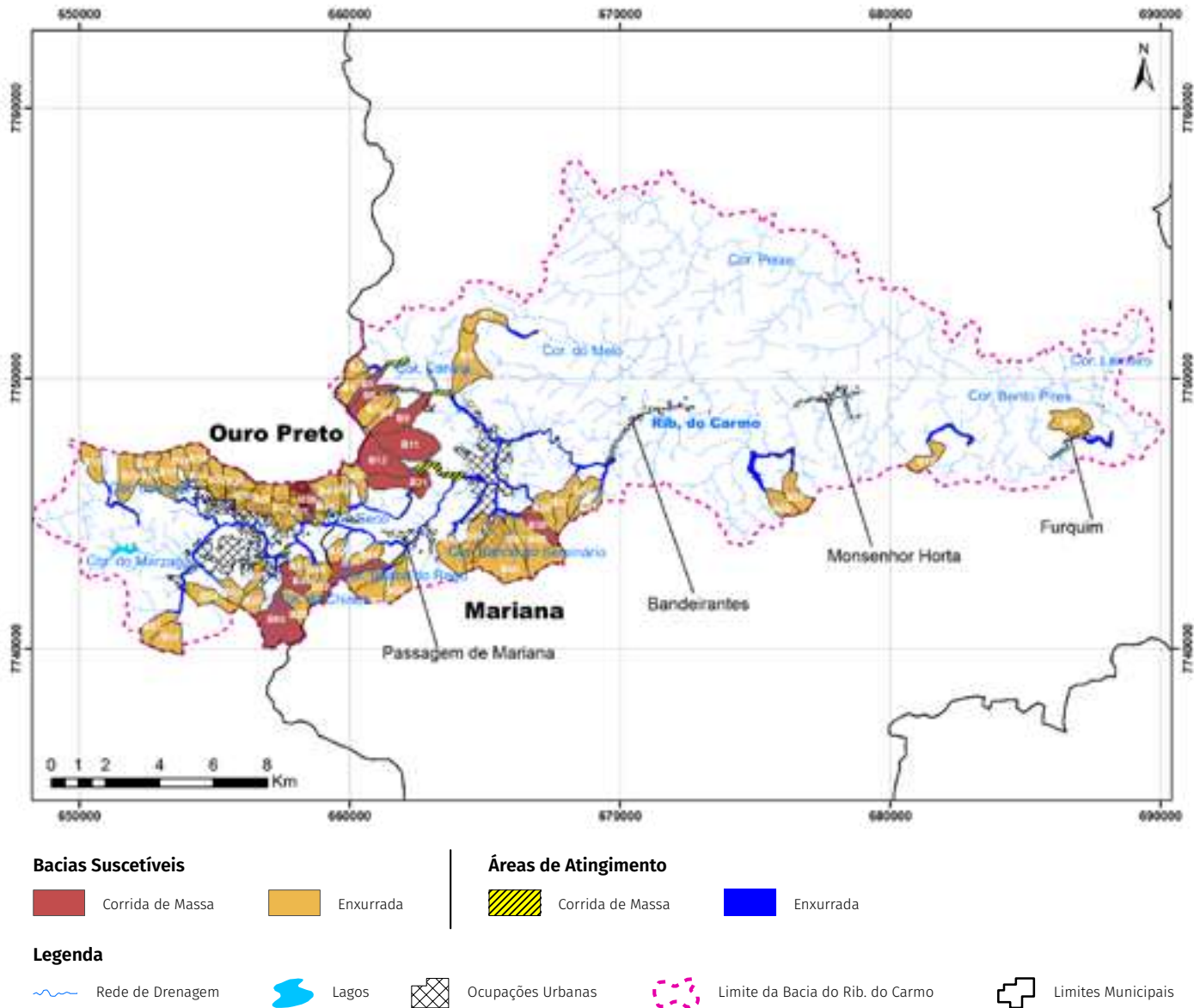
Quadro 45 – Interpretação e limiares práticos da aplicação do Índice de Melton (M).

Intervalo de M	Interpretação	Observação / Exemplo
M > 0,6	Alta probabilidade de fluxo de detritos.	Bacias pequenas, muito íngremes; valores observados em estudos de campo ~0,58–0,60.
0,3 < M ≤ 0,6	Suscetibilidade de a corridas de massa / mistura de processos.	Critério usado em metodologias nacionais; muitas vezes classificado como potencial de corrida de massa se $M > 0,3$ dependendo do contexto.
M ≤ 0,3	Tendência a fluxo de detritos ou menor energia de transporte.	Bacias menos íngremes ou com área relativamente grande.

Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A figura 95 apresenta a cartografia de suscetibilidade em bacias hidrográficas baseada no Índice de Melton. O mapeamento identifica as unidades territoriais com maior aptidão para a deflagração de fluxos de detritos, orientando a priorização de vistorias de campo e a instalação de sistemas de monitoramento.

Figura 95 – Exemplo de cartografia de suscetibilidade a ocorrência de fluxos de detritos em bacias hidrográficas baseada no Índice de Melton.

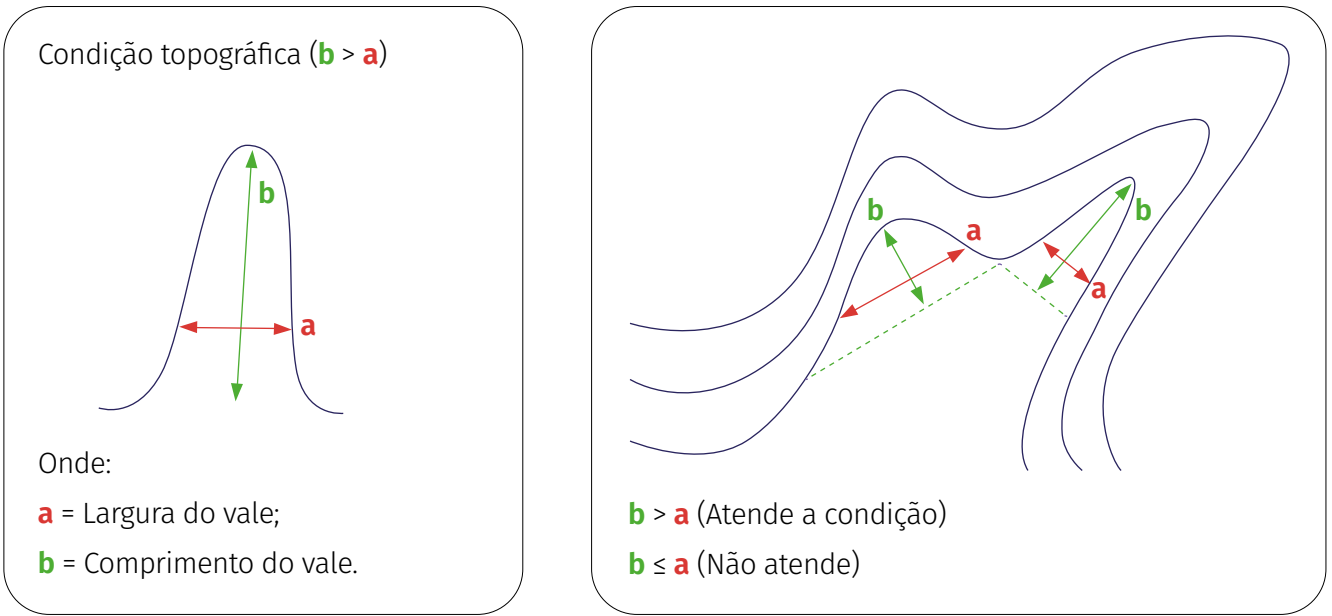


Elaboração: Leonardo A. Souza, 2026.

A avaliação da suscetibilidade de bacias à ocorrência de fluxos de detritos também pode ser realizada segundo a metodologia desenvolvida no âmbito do Projeto GIDES (Brasil–Japão, 2018), que adota critérios objetivos baseados na topografia e no confinamento das drenagens. Para identificar bacias com potencial de geração de fluxos são necessárias informações sobre a área da bacia de contribuição, condição de confinamento do vale e inclinação média do talvegue. Os critérios aplicados são:

- Área mínima da bacia de contribuição: bacias com área ≥ 1 ha. Bacias menores são descartadas salvo existência de registros históricos de fluxos de detritos.
- Confinamento do vale: condição expressa por meio da relação $b > a$, em que a é a largura do vale e b é o comprimento do trecho confinado. O início e o fim do trecho de confinamento do vale devem ser identificados desconsiderando as drenagens que não apresentem confinamento, desde que não haja registros de fluxo de detritos (Figura 96).

Figura 96 – Condição topográfica para identificar bacias com potencial de geração de fluxos.



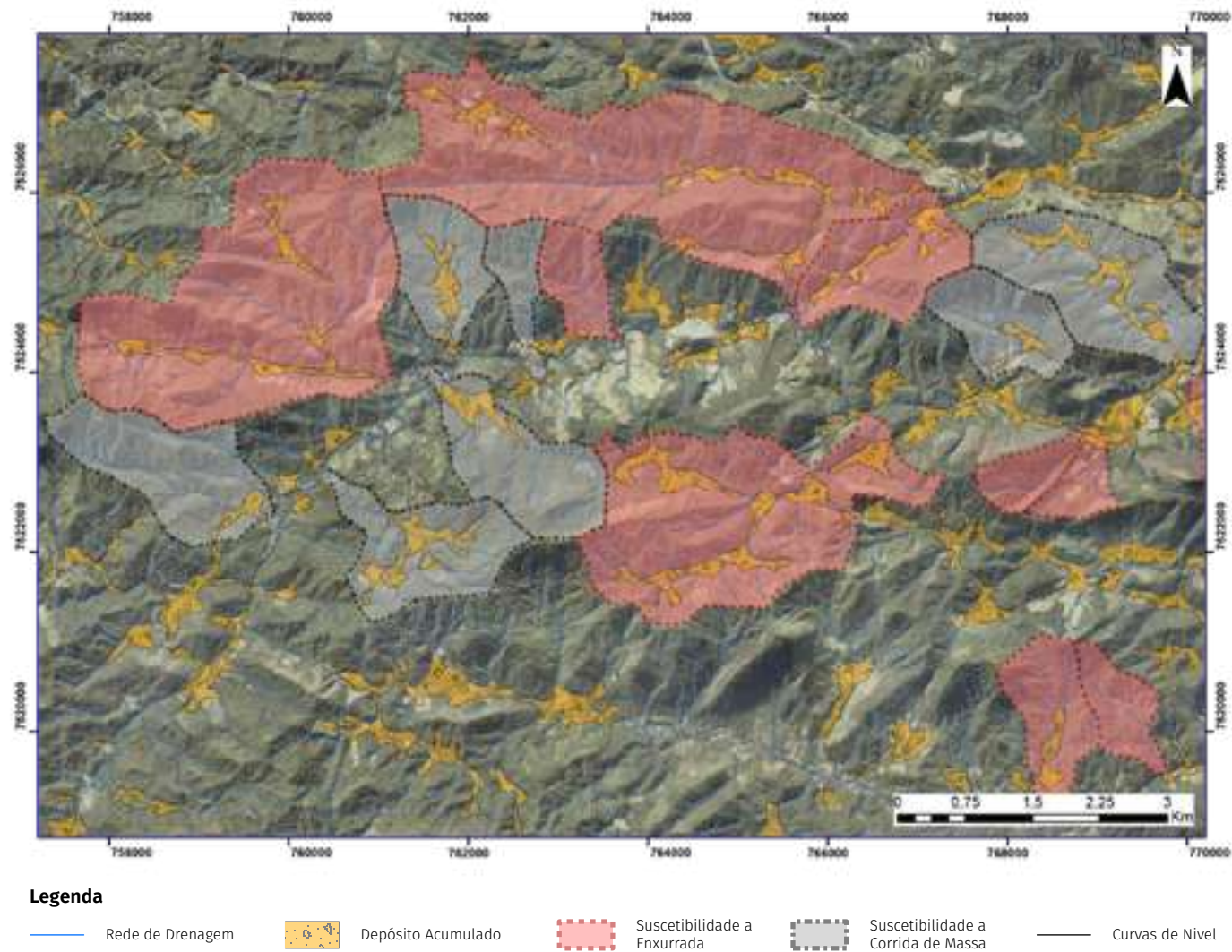
Fonte: adaptada de Thiago Dutra, 2017.

→ Ter linha de talvegue com inclinação média de no mínimo 10°: A partir da média de inclinação dos trechos confinados devem ser selecionadas apenas as bacias com inclinação média maior que 10°, com a delimitação da bacia de contribuição referente às drenagens de primeira ordem, utilizando como limite os divisores de água, com o descarte das bacias com áreas inferiores a 1 ha.

→ Determinação do ponto de espraiamento: Posição inicial no vale onde o material transportado durante o processo de fluxo de detritos encontra condições de desconfinamento e tende a se depositar, dispersamente, em forma de leque, coincidente com o final do confinamento do vale projetando-se um ângulo de dispersão de 30° para jusante.

A figura 97 exemplifica esse processo de mapeamento, retratando a cartografia de suscetibilidade em bacias hidrográficas. O mapa espacializa unidades territoriais com base em parâmetros morfométricos, destacando em hachuras vermelhas as bacias suscetíveis a **enxurradas** e em hachuras cinzas aquelas com aptidão para a deflagração de **corridas de massa** (fluxos de detritos).

Figura 97 – Exemplo de cartografia de suscetibilidade em bacias hidrográficas no município de Petrópolis/RJ.



Fonte: adaptado de SGB, 2026.

A maioria dos trabalhos associados às análises de fluxos de detritos se limita à avaliação da suscetibilidade sem validações em campo. Além disso, a análise do perigo e estimativa de frequência/probabilidade de corridas de detritos não é realizada, ou, quando é, as probabilidades são subjetivas. Contudo, com o avanço na geração de bases e bancos de dados alguns estudos têm sido elaborados tomando-se como base análises de limiares de chuva (intensidade – duração), modelagem hidrológica-hidrodinâmica acoplada, e análises estatísticas de eventos.

- Nas análises de limiares de chuvas o que se busca é definir curvas limiares de intensidade versus duração de chuva acima das quais a ocorrência de fluxo de detritos é provável, a partir de dados de séries pluviométricas de alta resolução (minuto/hora), e de inventário de eventos desencadeadores para calibração do modelo. Embora seja de simples aplicação e útil para sistemas de alerta precoce é um modelo empírico e dependente da calibração local, não incorporando diretamente a morfologia da bacia nem a dinâmica do fluxo.
- As modelagens hidrológicas-hidrodinâmicas acopladas simulam a geração de escoamento na bacia e a resposta hidráulica nos canais, podendo estimar descargas críticas que levam à mobilização de sedimentos e ao desencadeamento de fluxos. Para serem executadas adequadamente dependem de dados em escalas de detalhe (1:10.000 ou maior) destacando-se entre outros dados de entrada os modelos digitais de terreno, as análises de uso do solo, parâmetros de infiltração, séries de chuva, e calibração com eventos históricos. Podem fornecer limiares de chuva traduzidos em descargas críticas, mapas de probabilidade espacial e cenários de magnitude e alcance. A incerteza de parâmetros hidrológicos e sedimentares são os principais fatores limitantes.
- Os inventários históricos e análises estatísticas de eventos trabalham a compilação de ocorrências passadas (datas, intensidade da chuva, magnitude) aplicando análises estatísticas (distribuições de Poisson, Gumbel, análise de séries temporais) para estimar a frequência e recorrência. Entretanto, são diretamente dependentes de inventários consistentes no tempo e espaço, de registros pluviométricos e relatos de campo.

Não obstante, deve-se ter atenção, também, para movimentos complexos condicionados por linhas de descontinuidade (fraturas, planos de clivagem e outras estruturas) que podem ser desencadeados em trechos de encostas rochosas, e que exigem avaliação especializada para determinar, sobretudo, a área de abrangência do processo (suscetibilidade) e do grau de perigo e risco em relação a eventuais trechos ocupados ao longo da base dos maciços rochosos. Alguns movimentos iniciam-se no topo como deslizamentos e, quando associados a estruturas lineares, declividades acentuadas e concentração do escoamento superficial, se transformam em fluxos, geralmente de lama, que incorporam o material depositado ao longo da descontinuidade (sedimentos, fragmentos rochosos e cobertura vegetal).

Em eventos pluviométricos intensos, o escoamento superficial também pode se concentrar a partir de topos aplainados em direção às descontinuidades ou incidir diretamente sobre as encostas rochosas, gerando fluxos concentrados em trechos relativamente curtos. Além disso, quando se tem uma transição entre encostas rochosas com alta declividade e topo ocupado urbanizado ou parcialmente urbanizado, os volumes precipitados que excedem a capacidade da microdrenagem existente geram um incremento adicional em relação à concentração dos volumes escoados superficialmente. Ao se concentrarem em direção às linhas de descontinuidade do maciço, esses fluxos incorporam sedimentos, fragmentos rochosos e vegetação, transformando deslizamentos iniciados no topo em corridas de lama e detritos de elevado potencial destrutivo.

A figura 98 exemplifica essa dinâmica no Morro do Cristo, em Juiz de Fora/MG, apresentando: (a) visão geral da encosta, evidenciando como a concentração do escoamento superficial a partir do topo urbanizado acelera a mobilização de materiais ao longo do maciço; e (b) Detalhe do início do processo, caracterizado por um deslizamento na crista que fornece a carga sólida para a evolução do fluxo de lama e detritos encosta abaixo.

Figura 98 – Dinâmica de movimentos complexos condicionados por linhas de descontinuidade no Morro do Cristo, Juiz de Fora/MG.



Fotos: Leonardo A. Souza, 2026.

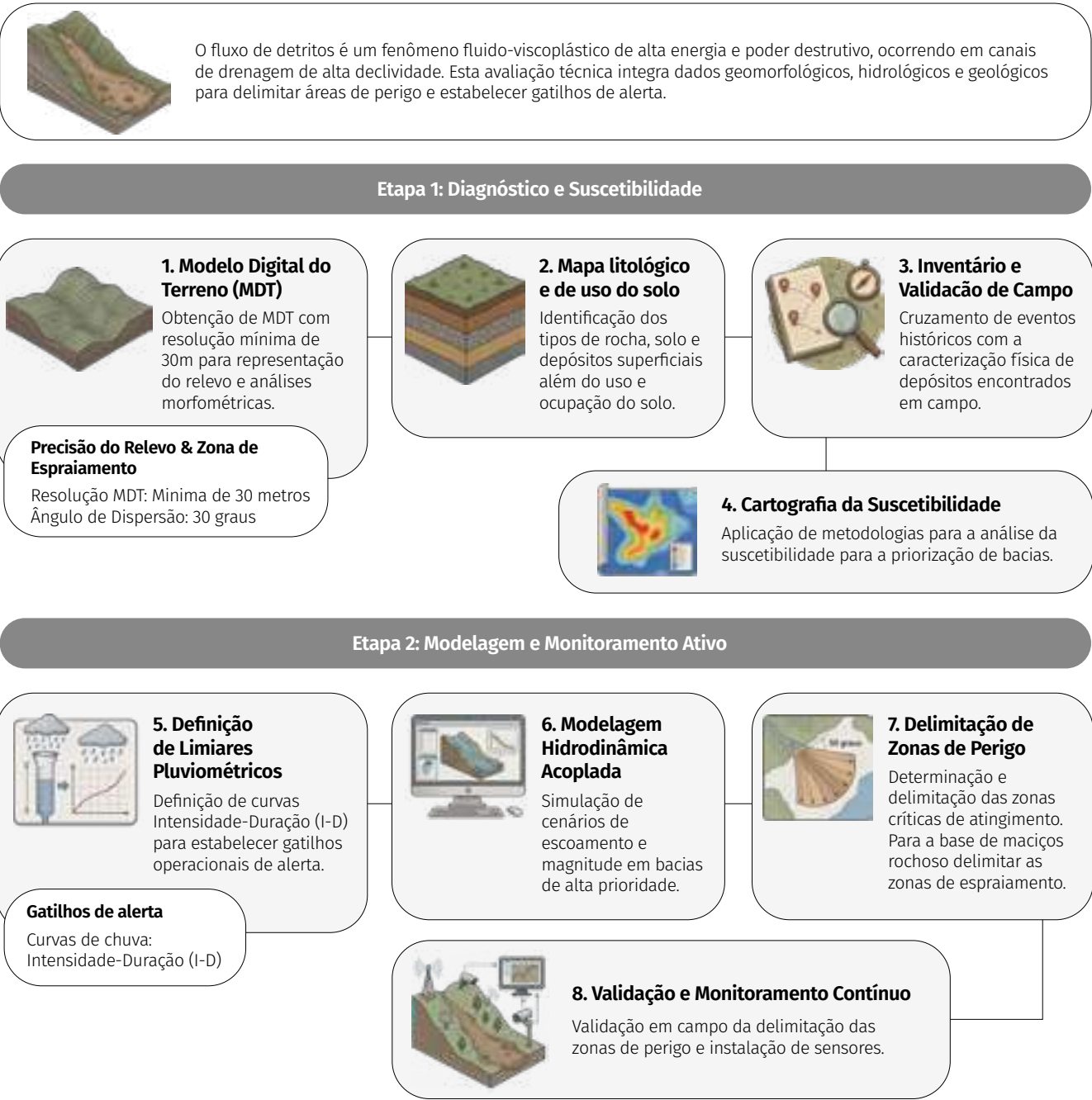
As análises de risco para corridas de detritos dependem da estimativa dos volumes de material potencialmente mobilizáveis, das trajetórias e alcances prováveis e da avaliação dos danos esperados (magnitude). É importante ressaltar que esses fenômenos são desencadeados por valores de chuva relativamente elevados, razão pela qual a caracterização pluviométrica é fundamental para a definição de gatilhos. As investigações de campo têm papel central na validação e no refinamento das estimativas, sendo preferíveis em comparação às análises realizadas exclusivamente em escritório, pois permitem identificar depósitos, fontes de material, evidências de eventos passados e parâmetros locais que reduzem incertezas nos modelos.

Ressalta-se que esta publicação não tem como objetivo impor uma metodologia única e rígida para a avaliação do risco de fluxos de detritos. O intuito é oferecer recomendações técnicas para uma sequência operativa de trabalho que deve ser adaptada à disponibilidade e qualidade dos dados existentes sobre o território. Desse modo, as etapas propostas não são obrigatoriamente cumulativas, servindo como um roteiro orientativo para que o corpo técnico atinja o diagnóstico final de suscetibilidade, perigo e risco. Sua síntese está apresentada na figura 99.

- 1. Obtenção de Modelos digitais do terreno (MDT) com resolução mínima de 30 m:** quanto mais detalhados os modelos, mais confiáveis os dados, permitindo a delimitação mais precisa de bacias hidrográficas, talvegues, redes de drenagem. As análises de fluxo de detritos são dependentes de dados morfométricos, requerendo que o modelo represente o relevo real (sem elevações causadas por vegetação e/ou construções), tornando o MDT e não o MDE (modelo digital de elevação) ou MDS (modelo digital de superfície) a opção preferencial sempre que disponível.
- 2. Obtenção do uso do solo e do mapa litológico:** determinação do tipo de rocha e solo e o mapeamento de depósitos superficiais, bem como da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo na mesma escala do modelo digital do terreno ou melhor.
- 3. Inventário e validação:** montagem de uma base de eventos históricos e caracterização de depósitos superficiais em campo.

- 4. Cartografia da suscetibilidade:** aplicação de metodologias para a análise da suscetibilidade à ocorrência de processos de fluxo de detritos para a priorização de bacias. Kanji et al., 2003, Gides, 2018, índices morfométricos (Melton, declividade, rugosidade), entre outros.
- 5. Definição de limiares pluviométricos:** calibração de curvas I-D (intensidade - duração) usando eventos históricos para o estabelecimento de gatilhos operacionais.
- 6. Modelagem acoplada para bacias prioritárias:** simulação da geração de escoamento, descargas críticas e cenários de magnitude/alcance (perigo).
- 7. Cenários de perigo e classificação do risco:** para as bacias classificadas como suscetíveis à ocorrência do processo de fluxo de detritos, determinar os cenários de alcance (área de abrangência do processo) e magnitude (modelado ou inferido a partir de mapas de concentração de fluxo) para a determinação e delimitação das zonas críticas de atingimento acompanhando as discontinuidades ao longo de maciços rochosos, as linhas de drenagem e as, planícies aluvionares. Em relação à base de maciços rochosos, faz-se necessário determinar a zona de espraio, onde o material transportado durante o processo de fluxo de lama ou detritos encontra condições de desconfinamento e tende a se depositar, dispersamente, em forma de leque, projetando-se um ângulo de dispersão de aproximadamente 30°.
- 8. Validação em campo e monitoramento:** validação em campo da delimitação proposta para as zonas críticas e de espraio. Instalação de pluviômetros e sensores de chuva e realização de inspeções pós-eventos de chuvas intensas e de ocorrência de fluxo de detritos para atualização de modelos e limiares.

Figura 99 – Sequência técnica recomendada para a avaliação de perigo e risco de fluxos de detritos em bacias hidrográficas.



Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

A delimitação das zonas críticas e de espraioamento constitui a etapa decisiva para a setorização de risco em bacias suscetíveis, permitindo a projeção técnica do processo de fluxo de detritos sobre o território ocupado. As figuras 100-102 exemplificam a materialização desse diagnóstico, demonstrando como a análise geológica e geomorfológica traduz o comportamento dinâmico do fluxo em polígonos de perigo real.

Enquanto a figura 100 ilustra o conceito teórico da zona de espraioamento na base de um maciço rochoso — ponto

onde o material encontra condições de desconfinamento e se deposita em forma de leque com um ângulo de aproximadamente 30° —, as figuras 101 e 102 apresentam a aplicação prática dessa delimitação em casos históricos emblemáticos. Os registros de Nova Friburgo/RJ e da bacia do córrego Guarda-Mão em Itaoca/SP evidenciam trechos de intensa erosão e áreas de atingimento que, devido ao elevado poder destrutivo e à magnitude do processo, fundamentam tecnicamente a classificação desses setores como de Risco Alto.

Figura 100 – Exemplo de delimitação da zona crítica e da zona de espraioamento (atingimento do fluxo de detritos) na base de um maciço rochoso.



Foto: Leonardo A. Souza, 2026. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.

Figura 101 – Delimitação de Zona crítica de fluxo de detritos ocorrido em Nova Friburgo/RJ.



Foto: Leonardo A. Souza, 2011. | **Elaboração:** Secretaria Nacional de Periferias.



A classificação de risco ocorre por meio da correlação entre o cenário de perigo modelado ou inferido com a ocupação. Considerando o poder destrutivo desse processo, entende-se que os setores delimitados como zonas críticas e de espraçamento devem ser classificados como **de risco alto**, mas sempre associados a eventos de chuva de maior intensidade. Atualmente, a gestão dessas áreas enfrenta desafios operacionais complexos, que compreendem desde a previsão meteorológica antecipada de chuvas intensas e prolongadas — com ênfase nos eventos severos de curta duração — até a necessidade de monitoramento em tempo real dos volumes acumulados para a ativação oportuna de protocolos de segurança.

Figura 102 – Delimitação de Zona crítica de parte da bacia do córrego Guarda-Mão (Itaoca/SP).

Foto: Marcelo Fischer Gramani, 2014.
Elaboração: Secretaria Nacional de Periferias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica de áreas suscetíveis a escorregamentos: uma proposta de metodologia. 1992. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Periferia sem risco: guia para planos municipais de redução de riscos (PMRR). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Periferias. Guia para Planos Comunitários de Redução de Riscos e Adaptação Climática (PCRA). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.

BRASIL-JAPÃO. Manual de diretrizes técnicas para elaboração de cartas de perigo a movimentos de massa e inundações: Projeto GIDES. Brasília: Ministério das Cidades, 2018.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; São Paulo: IPT, 2007.

KANJL, M. A. et al., Debris flows: ocorrência, mecanismos, modelagem e medidas preventivas. São Paulo: ABGE, 2003.

MELTON, M. A. The geomorphic meaning of the humped-back shape of relief-ratio-area curves. Tucson: University of Arizona, 1965.

SGB/CPRM. Manual de mapeamento de perigo e risco geológico. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2015.

UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2025). Geneva: UNDRR, 2025.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; EMBRY, R. J. (Ed.). Landslides: analysis and control. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1978.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Daniela Buosi Rohlfs;
Jackeline Leite Pereira Pavin;
Rodolfo Baêso Moura;
Leonardo Santos Salles Varallo*

Evidências técnicas contemporâneas demonstram que o agravamento da crise climática, manifestado pela maior recorrência e severidade de eventos extremos, tem gerado impactos disruptivos que frequentemente superam os limites de resiliência das infraestruturas urbanas e estruturas sociais. Conforme detalhado no Plano wClima Adaptação (Brasil, 2025), as projeções indicam cenários críticos de elevação do nível médio do mar, períodos de estiagem prolongada e picos de precipitação que intensificam a deflagração de inundações bruscas e movimentos gravitacionais de massa em uma dinâmica de multirrisco.

O mapeamento de riscos representa muito mais do que uma etapa técnica de cartografia geotécnica. Ele constitui um instrumento estratégico para orientar decisões públicas, priorizar investimentos, reduzir desigualdades territoriais orientando o planejamento urbano à proteção de vidas frente aos riscos e desastres.

Historicamente, a Gestão de Riscos e Desastres (GRD) no Brasil ancorou-se em uma perspectiva positivista de ‘controle da natureza’ por meio de intervenções exclusivamente de engenharia; contudo, o campo evoluiu para uma compreensão da natureza sistêmica e socialmente construída do risco, reconhecendo que os desastres resultam da interação entre ameaças físicas e vulnerabilidades socioespaciais preexistentes. Diante dessa evolução paradigmática e dos desafios impostos pela nova conjuntura climática, tornou-se imperativa uma profunda inflexão técnica e conceitual sobre o mapeamento de riscos, consolidando métodos que integrem a precisão das geociências ao vigor do diagnóstico participativo.

Ao longo desta publicação, buscou-se reunir conceitos, métodos e procedimentos capazes de apoiar a elaboração de diagnósticos consistentes para os diferentes processos geológicos e hidrológicos presentes no território brasileiro. Ao mesmo tempo, procurou-se incorporar os avanços científicos produzidos nas últimas décadas e aproximá-los das necessidades concretas enfrentadas pelos municípios e pelas comunidades.

Diante do horizonte imposto pela crise climática, caracterizado pela intensificação e maior frequência de eventos pluviométricos extremos, ressacas

marítimas e oscilações hidrodinâmicas, os modelos tradicionais de planejamento urbano tornam-se obsoletos. A antecipação de cenários de ruptura e a mitigação de danos cumulativos em solos colapsíveis, taludes instáveis, dunas e falésias exigem o abandono definitivo de ações reativas após as tragédias. A engenharia preventiva, amparada pela geologia de engenharia e pelas geociências, deve se consolidar como o pilar estruturante de instrumentos governamentais contínuos.

Entretanto, nenhum método, por mais sofisticado que seja, é capaz de reduzir riscos isoladamente. A efetividade dos mapeamentos depende de sua incorporação aos instrumentos de planejamento territorial, aos planos municipais de redução de riscos (PMRR), aos planos comunitários de redução de riscos e adaptação climática (PCRA), aos processos de regularização fundiária, à urbanização de assentamentos precários, às políticas habitacionais, aos sistemas de defesa civil e às estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

Da mesma forma, os avanços tecnológicos — como VANTS, sensores remotos, modelagens computacionais, inteligência artificial e sistemas de monitoramento — ampliam significativamente a capacidade de compreender os territórios e conferem uma precisão sem precedentes às cartas de suscetibilidade e perigo, mas não substituem o conhecimento produzido pelas comunidades. O trabalho de campo minucioso em escala de detalhe, amparado por fichas de cadastro sistemáticas e enriquecido pelo diagnóstico participativo com as comunidades expostas, permanece como a metodologia mais legítima e robusta para subsidiar a tomada de decisão governamental. A experiência cotidiana dos moradores, sua memória sobre eventos passados e sua capacidade de organização permanecem elementos fundamentais para a construção de cidades mais resilientes.

Os desafios futuros exigirão uma atuação cada vez mais integrada entre União, estados, municípios, universidades, instituições de pesquisa, defesa civil, movimentos sociais e comunidades locais. A redução dos riscos dependerá não apenas da melhoria contínua das metodologias de mapeamento, mas também da capacidade de transformar diagnósticos em ações

concretas de prevenção, mitigação e adaptação. As soluções técnicas de engenharia, como obras de drenagem macromunicipal, muros de contenção estruturados, estabilização de encostas e contenções costeiras, devem caminhar em estreito alinhamento com as políticas de habitação de interesse social, soluções baseadas na natureza, regularização fundiária e reassentamento seguro de populações quando a desocupação for o único caminho para a salvaguarda da integridade humana.

Nesse cenário, a Secretaria Nacional de Periferias reafirma seu compromisso com uma política pública orientada pela justiça socioambiental, pela adaptação climática e pela promoção do direito à cidade. Reconhecer que os riscos são socialmente produzidos significa também reconhecer que eles podem ser reduzidos por meio de planejamento, investimentos públicos e fortalecimento das capacidades locais.

Que esta obra contribua para consolidar uma nova geração de políticas públicas de gestão de riscos no Brasil, capaz de integrar ciência, inovação, participação social e compromisso com a vida. Mais do que mapear territórios, o desafio que se coloca é construir cidades onde todas as pessoas possam viver com segurança, dignidade e oportunidades. Espera-se que as diretrizes, mapas e parâmetros técnicos aqui sistematizados sirvam de guia para que gestores, técnicos e a sociedade civil unam esforços na construção de cidades mais seguras, justas e climaticamente resilientes.

ORGANIZADORES
E REVISORES
DA OBRA



DANIELA BUOSI ROHLFS

Daniela Buosi Rohlfs é Doutora em Saúde Coletiva (UFRJ), Mestre em Ciências Ambientais (UnB), com especializações em Epidemiologia (Johns Hopkins), Poluição Atmosférica e Saúde Pública (USP) e Águas e Resíduos nas Cidades. Servidora Pública Federal com mais de 25 anos de experiência em políticas públicas, gestão de riscos e desastres, avaliação de risco à saúde humana, epidemiologia, toxicologia, vigilância ambiental e em saúde do trabalhador. Atualmente é Assessora da Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades. Mãe de Pedro e Thiago.



FERNANDO ROCHA NOGUEIRA

Fernando Rocha Nogueira é geólogo, doutor em geociências e meio ambiente. Professor associado da UFABC, é pesquisador associado do CEFANELA- Cepid FAPESP e, desde maio de 2023, cedido como assessor técnico à Secretaria Nacional de Periferias.



JACKELINE LEITE PEREIRA PAVIN

Jackeline Pavin é Doutora em Biologia (UNB), Mestre em Ciências Genômicas (UCB) e Especialista em Biociências (PUC Goiás). Possui ampla experiência em Políticas Públicas na área de Vigilância em Saúde, Emergências em Saúde Pública e Gestão de Riscos e Desastres. Atualmente, é consultora técnica no Ministério das Cidades, responsável pela concepção e estruturação do Programa de Formação Periferia sem Risco.



LEONARDO SANTOS SALLES VARALLO

Leonardo Varallo é mestre em Planejamento e Gestão do Território, Bacharel em Engenharia Ambiental e Urbana e em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do ABC. Atualmente é Coordenador Geral de Planos de Riscos e Soluções Baseadas na Natureza da Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades.



Leonardo Andrade de Souza

Leonardo Andrade de Souza é Engenheiro Geólogo, mestre em Engenharia Civil, doutor em Geotecnia e pós-doutor em Planejamento e Gestão do Território. Sócio-diretor da Zemlya Consultoria e Serviços, desde 2006. Consultor da Secretaria Nacional de Periferias (SNP), do Ministério das Cidades. Recebeu em 2008 o prêmio Lorenz Dobereiner e em 2025, o prêmio Fernando Luiz Prandini da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE).



Rodolfo Baêso Moura

Doutor e Mestre em Planejamento e Gestão do Território e Engenheiro Ambiental e Urbano pela Universidade Federal do ABC - UFABC. Diretor do Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco da Secretaria Nacional de Periferias.





A obra consolida a metodologia oficial da Secretaria Nacional de Periferias, do Ministério das Cidades, para o mapeamento, a classificação e a gestão de riscos geológicos e hidrológicos em territórios urbanos municipais. Estruturada em quatro capítulos, a publicação avança da fundamentação conceitual — ancorada na tríade Ameaça, Exposição e Vulnerabilidade e em marcos internacionais como o Marco de Sendai e os relatórios do IPCC — à aplicação prática em campo, detalhando os principais processos associados à dinâmica de riscos: processos hidrológicos (inundações, enxurradas e alagamentos), processos erosivos (solapamento de margens, erosão continental, costeira e fluviomarinha) e movimentos gravitacionais de massa (rastejos; deslizamentos; queda, tombamento e rolamento de blocos; fluxos de detritos; subsidências e colapsos).

Nos capítulos 2, 3 e 4, são apresentados critérios objetivos para a classificação de perigo e risco, acompanhados de quadros de indicadores e condicionantes dos processos geológicos e hidrológicos, permitindo maior padronização e reprodutibilidade das análises. O diferencial da obra se expressa em três dimensões centrais:

Padronização metodológica inédita para a setorização de risco em escala de cadastro, suprimindo a lacuna existente entre instrumentos amplamente utilizados e o nível de detalhamento necessário para compreender as especificidades das periferias urbanas.

Integração entre geociências, engenharia e participação social, reconhecendo o trabalho de campo e a memória das comunidades como componentes legítimos e indispensáveis ao processo de tomada de decisão.

Adoção de critérios técnicos uniformes, que fortalecem a governança local e ampliam a capacidade municipal de prevenção e mitigação de riscos, e resposta a desastres.