



## Metodologia para mapeamento de corpos rochosos em áreas suscetíveis a acidentes geológico-geotécnicos e diretrizes tecnológicas para suas estabilizações

Paula Sayuri Tanabe Nishijima

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, E-mail: [ptanabe@ipt.br](mailto:ptanabe@ipt.br)

Patrícia Del Gaudio Orlando

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, E-mail: [patorlando@ipt.br](mailto:patorlando@ipt.br)

Wilson Shoji Iyomasa

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, E-mail: [wsj@ipt.br](mailto:wsj@ipt.br)

Daniel Seabra Nogueira Alves Albarelli

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, E-mail: [dseabra@ipt.br](mailto:dseabra@ipt.br)

Felipe Schaeffer Santos

BK Consultoria Ltda., Brasil, E-mail: [felipess@ipt.br](mailto:felipess@ipt.br)

Aline Fernandes Heleno

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, E-mail: [aheleno@ipt.br](mailto:aheleno@ipt.br)

**RESUMO:** O presente artigo apresenta uma metodologia inédita de cadastramento de matacões, blocos de rocha e afloramentos presentes em encostas naturais que podem ou não apresentar instabilidade. Essa metodologia, além de identificar, localizar e caracterizar geológico-geotecnicamente os corpos rochosos, objetiva sintetizar e indicar diretrizes de soluções eficazes para estabilização de cada corpo rochoso instável em diferentes cenários, de modo a eliminar ou mitigar os riscos às pessoas e ao patrimônio público e privado, associados a essas movimentações. Nas análises, além de características físicas e geológicas dos corpos rochosos, foram considerados diversos aspectos predisponentes locais, tais como a morfologia das encostas e os fatores geológicos, a fim de se prever a ocorrência de acidentes geológico-geotécnicos relacionados à instabilidade de corpos rochosos (seja por rolamento, tombamento ou deslizamento).

**PALAVRAS-CHAVE:** Queda de Bloco, Metodologia de Mapeamento, Instabilidade de Rochas, Acidentes Geológico-Geotécnicos, Matacão, Geotecnia.

### 1 INTRODUÇÃO

Fenômenos naturais como queda ou rolamento de blocos são, de maneira geral, eventos imprevisíveis quanto às dimensões da área a ser atingida e, principalmente, o momento de sua queda. O que torna os fenômenos naturais de

difícil previsão são os processos a eles associados, as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas da região de ocorrência, bem como os mecanismos de ruptura de rocha em diferentes condições climáticas, as ações antrópicas, entre outros. Tais processos podem expor corpos rochosos



em taludes ou encostas naturais e colocar em risco a população lindeira e o patrimônio público e privado, instalados em cotas inferiores às encostas e vales de drenagens.

Nesse contexto, verifica-se a necessidade de estudar e discutir uma proposta metodológica acerca do processo de mapeamento de zonas suscetíveis a esse tipo de ocorrência, além de diretrizes tecnológicas a serem adotadas para evitar ou mitigar possíveis danos.

A metodologia proposta procurou avaliar e sintetizar informações relativas aos principais condicionantes que podem atuar na deflagração do processo de movimentação dos matacões/blocos de rocha e afloramentos. Dentre os principais aspectos avaliados destacam-se as características geológico-geotécnicas de áreas com matacões e blocos de rocha, características físicas como o formato dos blocos e a direção de alongamento do corpo rochoso em relação ao mergulho do talude sobre o qual o mesmo está apoiado, a morfologia do relevo, os fatores hidrológicos locais, bem como, as características geotécnicas das camadas de suporte (fundação). Também foram avaliados os possíveis fatores condicionantes de uma eventual movimentação dos corpos rochosos, tais como a ação antrópica, a variação térmica do maciço, erosões ou perdas de sustentação decorrentes de ações intempéricas.

Tais levantamentos são pertinentes em encostas naturais de declividades consideráveis, com presenças de drenagens e/ou que tenham predisposição à movimentação de massa. Nesses casos é comum a exposição de matacões e blocos de rocha na superfície do terreno, que geralmente está associada ao processo de decomposição das rochas (Figura 1).

A metodologia preconiza que é possível determinar áreas críticas em zonas potencialmente vulneráveis, que poderiam ser atingidas em caso das movimentações (deslizamentos, rolagens e saltos) dos blocos de rocha e matacões ou afloramentos rochosos com características geotécnicas desfavoráveis. A

identificação dos corpos rochosos e a caracterização realizada durante os levantamentos possibilitam uma melhor compreensão das dinâmicas superficiais de uma determinada área de estudo, no âmbito geotécnico, e a identificação de materiais rochosos que colocam em risco a população e o patrimônio público e privado. Assim, torna-se possível indicar quais diretrizes de soluções tecnológicas são as mais indicadas para estabilização de cada elemento instável.



Figura 1: Blocos de rocha que se destacaram de um talude fraturado e intemperizado, nas imediações de uma via. Fonte: autoria própria.

## 2 OCORRÊNCIAS

Segundo dados do Em-Dat (International Disaster Database, 2019), entre os anos de 1900 e abril de 2019, no Brasil, foram registrados 94 eventos que envolveram movimentos de massa e acidentes com corpos rochosos. Sabe-se que quase 77% desses acidentes ocorreram entre 1970 e 2019. Um exemplo disso foi o evento ocorrido em 13 de dezembro de 2011, em Florianópolis. Após fortes chuvas, uma rocha com cerca de 200 toneladas se deslocou da superfície do Morro da Mariquinha, situado numa região de encosta do complexo suburbano



de Florianópolis, atingindo casas e causando uma morte. Nesse incidente, segundo relato do geólogo Rodrigo Sato, da Defesa Civil de Santa Catarina, as chuvas não foram o fator deflagrador, pois se trata de uma área em permanente estado de risco (Lopes *et al.*, 2013).

No entanto, um dos maiores desastres registrados na região sul ocorreu em novembro de 2008, no Vale do Rio Itajaí, também em Santa Catarina. As chuvas nesse período tiveram o maior registro histórico, segundo os dados do INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Silva Dias, 2009), atingindo entre o período de 20 a 24 de novembro de 2008, a marca de 1000 mm nas cidades de Blumenau e Joinville. O volume expressivo de precipitação, aliado às condições geológicas e geomorfológicas da região deflagraram movimentos de massa com queda, rolamento, deslizamentos de blocos de rocha e inundações desastrosas. Esse desastre, segundo o Banco Mundial (2012), deixou 60 municípios catarinenses em situação de emergência e outros 14 em Estado de Calamidade Pública, deixando 80 mil pessoas desalojadas ou desabrigadas, com 110 casos fatais. Os danos e perdas resultantes deste evento contabilizam R\$4,75 milhões de reais para os cofres do estado catarinense.

Tendo em vista os recorrentes desastres que podem ocorrer em áreas de encostas e serranias, torna-se relevante realizar levantamentos de blocos de rocha e matacões nessas áreas, e caracterizar os riscos que tais corpos rochosos possam oferecer. Através destes levantamentos é possível sugerir medidas técnicas necessárias para eliminar ou reduzir os riscos às pessoas e aos patrimônios, evitando-se a perda de vidas humanas e prejuízos econômicos aos cofres públicos ou às propriedades privadas.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho caracterização de áreas com corpos rochosos foi dividido em dois grupos de

atividades: a etapa de estudos em escritório e o levantamento de campo. A metodologia de trabalho desenvolvida encontra-se descrita a seguir.

A etapa de escritório deve ser desenvolvida previamente às atividades de campo, e deve envolver a realização de levantamentos de dados acerca de zonas predisponentes à queda, rolamento e/ou tombamento de corpos rochosos. Esse estudo deve ser realizado a partir de mapas topográficos e geológicos, estudos sociais da região lindeira às áreas de risco, além da avaliação de outros documentos e informações técnicas, tais como o posicionamento de edificações e passagens de pedestres. A partir desses estudos é possível identificar as áreas críticas dentro das zonas predisponentes, tais como áreas próximas a drenagens ou com corpos rochosos expostos ou parcialmente expostos na superfície do terreno natural.

Para delimitação dessas áreas também deve-se levar em consideração fatores como a facilidade ou dificuldade de acesso, extensão do trecho a ser inspecionado, declividade e cotas altimétricas do relevo, complexidade geológico-geotécnica local, tipologia de vegetação (florestas ou vegetação rasteira) e propensão histórica da área ao rolamento de blocos de rocha/matacões. A

Figura 2 ilustra um exemplo de delimitação de área numa região de encosta. A área foi delimitada considerando-se, principalmente, a declividade do relevo e a propensão histórica de rolamento de blocos de rocha na região, em um trecho próximo a residências.

A delimitação das áreas críticas mencionadas pode ser feita a partir do escritório. Porém, recomenda-se, também, a realização de uma visita técnica preliminar à área de interesse para melhor organizar as etapas de trabalho, bem como fazer o reconhecimento de campo para um adequado planejamento das etapas de mapeamento.

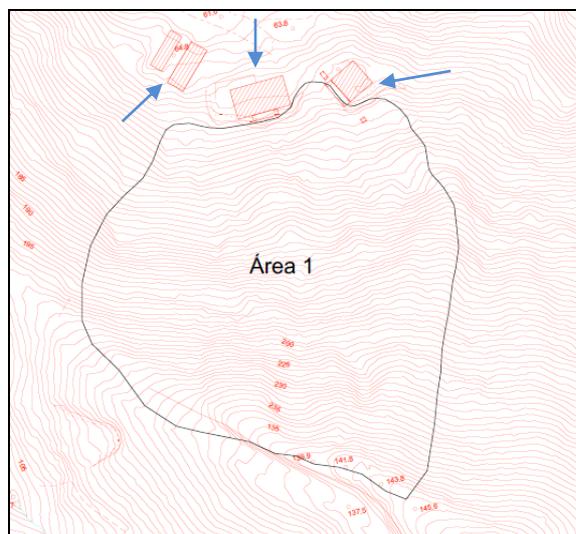


Figura 2: Delimitação da hipotética Área crítica 1.. Demarcado em azul, residências logo abaixo dessa área, em rota de colisão com hipotéticos corpos rochosos a serem mapeados. Fonte: elaborado pelos autores.

Uma vez finalizados os estudos de escritório e a determinação e delimitação das áreas críticas a serem inspecionadas, dar-se-á início a etapa de levantamento e mapeamento das áreas propriamente ditas.

Nessa etapa recomenda-se que sejam avaliados diversos aspectos relacionados aos corpos rochosos encontrados, dentre os quais se destacam: a identificação e localização geográfica do corpo rochoso a ser cadastrado (coordenadas de localização e cota altimétrica), suas características físicas, os aspectos geológico-geotécnicos locais envolvidos, a morfologia do terreno em que o objeto de estudo se localiza, os fatores climáticos, biológicos e hidrológicos, os riscos envolvidos, a influência antrópica e os possíveis fatores condicionantes de movimentação.

No mapeamento dos corpos rochosos, mostrou-se necessário diferenciar os blocos de rocha e matações, dos afloramentos, uma vez que os primeiros podem ser potenciais ameaças, enquanto os afloramentos podem produzir tais ameaças, como ilustrado na

Figura 3.

Para levantamento da posição e cota altimétrica dos corpos rochosos, e posterior produção de mapas de localização com precisões milimétricas a centimétricas - produto do estudo - foram utilizados receptores de sinal de satélite GNSS (Global Navigation Satellite System), que possibilitam a correção do posicionamento em tempo real com alta precisão.



Figura 3: Afloramento com foliações e fraturas. Logo abaixo, um bloco de rocha originário da erosão do afloramento. Fonte: autoria própria.

Quanto às características físicas dos corpos rochosos e afloramentos, recomenda-se que sejam avaliados e registrados os seguintes aspectos:

- ✓ Posição do corpo rochoso em relação à superfície do terreno natural: objetiva caracterizar se o corpo rochoso encontra-se **enterrado**, **parcialmente enterrado** ou **exposto em superfície**;
- ✓ Quantidade: objetiva registrar a quantidade de corpos rochosos existentes num único local. Na presente pesquisa, os corpos rochosos foram classificados em **isolados** (1 unidade) ou em **conjunto** (mais de uma unidade registrada).



Essa diferenciação mostrou-se necessária principalmente em locais onde vários blocos se encontram muito próximos uns dos outros, inclusive sobrepostos ou imbricados;

✓ **Dimensões:** objetiva mensurar, em planta e em relação à cota natural do terreno, o tamanho do corpo rochoso mapeado para, posteriormente, classificá-lo com base nas definições constantes na NBR 6502 (ABNT, 1995). De acordo com a NBR supracitada, fragmentos de rocha com diâmetro compreendido entre 60 e 200 mm são considerados **pedras-de-mão**, enquanto os que possuem dimensões compreendidas entre 200 mm e 1 m são considerados **matacões**. Já fragmentos de rocha com dimensões superiores às dos matacões, ou seja, diâmetro superior a 1 m são classificados como **blocos de rocha**. Para fins de padronização das medidas foi considerado que a maior dimensão em planta seria denominada **X**, a menor dimensão em planta seria **Y** e a altura em relação à cota do terreno natural seria o eixo **Z**;

✓ **Direção do maior alongamento dos matacões/blocos de rocha em relação ao mergulho/caimento do talude:** objetiva indicar a posição dos materiais cadastrados em relação ao declive das encostas ou drenagem. Toma-se por base a direção da dimensão com maior alongamento do bloco (X, Y ou Z) em relação ao mergulho do talude. Essa direção pode ser **paralela, oblíqua** ou **perpendicular** ao mergulho do talude. Em situações em que a maior direção de alongamento está paralela ao mergulho do talude, o matacão/bloco de rocha tenderá a deslizar pela superfície do mesmo. Caso a maior direção de alongamento seja perpendicular, o mesmo tenderá a rolar/quicar sobre a superfície do talude. Já se a direção de maior alongamento for paralela ao eixo Z, admite-se que o início do movimento do matacão/bloco de rocha seja preferencialmente por tombamento;

✓ **Formato dos corpos rochosos:** tem por finalidade permitir que, após o cadastramento,

seja estimada a área e/ou volume aproximado dos corpos rochosos cadastrados, de forma a auxiliar na tomada de decisões acerca das soluções de estabilização a serem adotadas. Podem ser classificados entre **prismáticos triangulares e quadrangulares e elipsoidais**.

Já quanto aos aspectos geológico-geotécnicos recomenda-se que sejam avaliadas e registradas as seguintes características:

✓ **Litologia:** refere-se ao tipo litológico que compõe o corpo rochoso que está sendo cadastrado.

✓ **Grau de alteração:** refere-se à caracterização do estado de alteração dos corpos rochosos cadastrados. Sua classificação pode ser feita por descrição tátil visual, baseando-se nas variações dos minerais (brilho e cor), na tenacidade, friabilidade e resistência da rocha à pancada do martelo petrográfico. Podem ser classificados como: **rocha sã (RS)**, **rocha alterada dura (RAD)** ou **rocha alterada mole (RAM)** (Vaz, 1996);

✓ **Estrutura geológica:** deve-se analisar a presença de discontinuidades no maciço/material, tais como **fraturas, falhas e foliações** e, se possível, registrar a direção e o mergulho dessas estruturas geológicas (especialmente no caso de afloramentos);

✓ **Condição de apoio:** refere-se à condição do material de fundação (apoio) dos matacões e blocos de rocha, podendo ser **tálus** (material transportado de tamanhos variados e sem estrutura (Moreira, Pires Neto, 1998)) ou **solo eluvial** (solo bem desenvolvido e sem preservação das estruturas da rocha matriz). Há também a possibilidade de estarem apoiado em **solo residual** (oriundo da alteração *in loco* e com preservação da estrutura da rocha original), ou em **rocha**;

✓ **Condição em relação à sua origem:** o corpo rochoso pode ter sido originado no local onde foi mapeado - *in situ*, ou pode ter sido **transportado**.

Outro aspecto importante nesse tipo de cadastramento está relacionado à caracterização



das condições morfológicas naturais intrínsecas à área estudada. Neste tópico, recomenda-se a avaliação e registro dos seguintes aspectos:

✓ **Inclinação superficial do talude:** objetiva registrar se o terreno local é íngreme ou plano. Como referência, para este tipo de cadastramento, pode-se considerar que se o ângulo entre a superfície do terreno natural e um plano imaginário horizontal for  $>15^\circ$ , o relevo pode ser considerado **íngreme**. Já se esse ângulo for  $\leq 15^\circ$ , o relevo pode ser considerado **plano**;

✓ **Forma do relevo no entorno do corpo rochoso:** objetiva caracterizar o terreno local quanto a sua regularidade e concavidade. Pode ser caracterizado como **regular** ou **irregular**; **côncavo**, **convexo** ou **plano**. A

✓ **Figura 4** ilustra as características descritas acima;

✓ **Condições da superfície do terreno:** essa caracterização depende da vegetação presente no entorno do material. Em casos em que a vegetação e a superfície do terreno natural ao longo do trajeto de movimento do matacão/bloco de rocha podem facilitar o seu deslizamento pela encosta, permitindo aumentar sua velocidade (exemplo: gramíneas, capim ou mato rasteiro) pode ser classificado como **liso**. Se a movimentação pode ser retardada pela superfície, como por exemplo, pela presença de uma vegetação alta, troncos e árvores, a condição da superfície deve ser considerada **rugosa**.

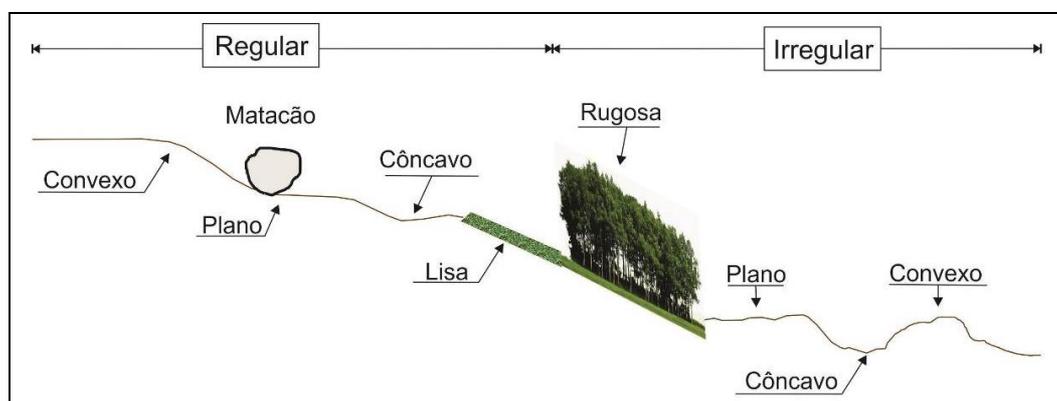


Figura 4: Ilustração das situações descritas na caracterização da morfologia natural do terreno. Fonte: elaborado pelos autores.

Ressalta-se que fatores climáticos, biológicos e hidrológicos também devem ser levados em consideração durante o processo de mapeamento de corpos rochosos em áreas suscetíveis a acidentes geológico-geotécnicos. A **presença de drenagem** na área, por exemplo, deve ser indicada, assim como a proximidade dos corpos rochosos cadastrados aos talwegues identificados. Deve-se também avaliar a possibilidade de **erosão** do solo de fundação ou dos arredores do corpo rochoso, seja por ação do vento ou da água. Outro fator importante refere-se à **variação de**

**temperatura**, que deve indicar se o material rochoso/afloramento cadastrado está suscetível ou não a variações térmicas significativas (exposição ao sol e à sombra por longos períodos cíclicos), que podem gerar, por exemplo, fraturamentos e a formação de novos blocos. A presença de **vegetação densa** ou não no entorno dos corpos rochosos cadastrados é outro fator relevante para a caracterização.

Os riscos envolvidos às pessoas e propriedades públicas/ privadas também devem ser analisados. Nas proximidades das áreas com presença de materiais rochosos instáveis é



necessário observar a **existência de obras públicas** ou **privadas** (como pontes, rodovias ou residências), e avaliar se elas encontram-se em **cotas superiores** ou **inferiores** às dos materiais rochosos (poderão ou não ser atingidas).

Por fim, deve-se atentar para os possíveis fatores condicionantes da movimentação dos corpos rochosos, tais quais:

- ✓ Água: pode ser um meio de transporte direto dos corpos rochosos. Esta situação se aplica em casos onde o matacão/bloco de rocha se encontra, por exemplo, em talvegues de drenagem ou em encostas que sofreram interferência antrópica, não recebendo tratamento adequado por meio de sistemas de drenagem superficial;
- ✓ Perda de sustentação por ação erosiva da água ou do vento: avaliar a possibilidade da água e/ou do vento promover a erosão da base e entorno dos corpos rochosos, fazendo com que ele perca sustentação e se desloque;
- ✓ Vibrações: avaliar se há a possibilidade dos corpos rochosos se deslocarem em virtude de vibrações no terreno ocasionadas **por desmonte a fogo** em áreas próximas (ex: pedreiras, construção das obras) ou **tráfego constante de veículos pesados**;
- ✓ Ação antrópica: avaliar se há a possibilidade de o material rochoso se movimentar devido a **intervenções antrópicas inadequadas** no local de deposição;
- ✓ Variação térmica: avaliar se há a possibilidade de movimentação dos corpos rochosos como consequência do intemperismo físico, através de sua **fragmentação pela forte variação térmica**;
- ✓ Ação biológica: avaliar se há a possibilidade de movimentação resultante da fragmentação do material rochoso pela ação de **raízes de plantas**, perda de apoio e **decomposição química** dos minerais componentes do matacão/bloco de rocha/afloramento;
- ✓ Força da gravidade: avaliar se a ação da gravidade pode facilitar a movimentação do

material rochoso, sobretudo em terrenos e taludes rochosos íngremes, sujeitos à queda de blocos, por exemplo.

Todas essas informações devem ser compiladas, e parte delas deve integrar um mapa que é o produto principal deste levantamento. As demais informações coletadas são utilizadas para estudar e sugerir diretrizes para estabilização ou retirada dos corpos rochosos instáveis, que também são indicadas no mesmo mapa.

#### 4 DIRETRIZES TECNOLÓGICAS PARA A ESTABILIZAÇÃO DE CORPOS ROCHOSOS

Situações de risco são identificadas quando se têm a possibilidade de ocorrer acidentes e danos aos seres humanos, materiais ou às propriedades. Nesse sentido, a partir do levantamento realizado e seus produtos é possível elaborar medidas técnicas necessárias para eliminar ou reduzir tais riscos. Essas medidas técnicas podem se dividir em medidas estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são soluções tecnológicas que demandam construções de obras de engenharia e intervenções diretas no que diz respeito aos riscos oferecidos pelos corpos rochosos instáveis. A complexidade dessas medidas estruturais pode variar desde uma simples execução de baixo custo a outras que demandam projetos executivos e simulações por meio de softwares computacionais, gerando alto custo de execução. As medidas estruturais podem ser divididas em: **medidas de remoção, de reforço e de proteção**.

- ✓ **Remoção**: abrangem ações como **catação manual** para corpos de até 30 kg (PL. 5746/05<sup>1</sup>), ou **desmonte mecânico** seguido por

---

<sup>1</sup> O PL.5746/05 trata-se de um Projeto de Lei que propõe a alteração do art. 198 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, que dispõe sobre o peso máximo que um trabalhador pode mobilizar individualmente. Essa PL



remoção. O **desmonte mecânico** pode ser feito com explosivos, rompedores, darda hidráulica, marteletes, martelos juntamente com talhadeiras, argamassa expansiva ou até mesmo com emprego de plasma;

✓ **Reforço:** incluem medidas estruturais como concreto não armado, soterramento com solo compactado, ancoragens e concreto projetado armado com ancoragens. O **concreto não armado** visa eliminar o desprendimento de fragmentos rochosos por meio da erosão provocada pela água na base dos matacões e blocos de rocha e/ou para diminuir a erosão da rocha devido à ação de processos intempéricos. O **soterramento com solo compactado** propõe mitigar os processos erosivos que ocorrem na fundação do bloco de rocha, enquanto a **ancoragem** evita a queda/tombamento dos corpos rochosos que se destacam do afloramento, ou fixam materiais rochosos isolados e de grandes dimensões e que não podem ser removidos. As ancoragens podem ser do tipo **ativa** (fixação por barra metálica tracionada) ou do tipo **passiva** (chumbadores). (Dobereiner e Vaz, 1998) Já o **concreto projetado armado com instalação de ancoragens** é indicado para taludes que apresentam uma faixa extensa composta por corpos rochosos de menor porte e instáveis ou afloramentos rochosos com descontinuidades. Nesse tipo de solução, indica-se que antes de sua execução seja realizado um “bate-choco” para eliminação de possíveis fragmentos instáveis.

As medidas de **reforço** visam impedir a movimentação dos materiais rochosos instáveis. Procura-se, então, fixar esses materiais antes que ganhem energia cinética e causem acidentes. Ou, no caso da cobertura com concreto, visa-se reduzir a ação de processos intempéricos, sobretudo no solo de apoio, bem como, impedir o desprendimento de novos corpos rochosos;

---

propõe a massa de 30 kg como peso máximo que um trabalhador pode mobilizar.

✓ **Proteção:** abrangem soluções como a instalação de malhas metálicas, barreiras dinâmicas, barreiras híbridas, valas, muro de gabião e aterros. As **malhas metálicas** são empregadas quando há uma grande quantidade de materiais em taludes rochosos com descontinuidades em uma área de alta inclinação, revestindo-se assim a área de interesse do talude. As **barreiras dinâmicas** são usadas de forma a interceptar os corpos rochosos que já adquiriram certa energia cinética ao se desprender do seu local de origem, como os maciços rochosos, ou então transportados nos canais de drenagem após eventos pluviométricos intensos (enxurradas e *debris flow*). Durante o impacto com a barreira, o corpo rochoso dissipa sua energia pelo sistema e não se desloca além da barreira. Essa medida é adequada para áreas relativamente extensas, onde o uso de malhas metálicas torna-se técnica-economicamente inviável devido às dimensões e/ou às dificuldades de acesso ao local de instabilidade. As **barreiras híbridas** são soluções que se utilizam da combinação entre as malhas metálicas e as barreiras dinâmicas (Geobrug, S/D), formando um sistema de proteção passiva. A barreira dinâmica é utilizada para suportar o impacto dos blocos de rocha enquanto que a malha metálica procura direcionar as rochas para uma zona de acumulação (Maccaferri, 2017b). Esse tipo de solução é efetiva em encostas onde há espaço para movimentação dos blocos de rocha abaixo da barreira, para acúmulo ou retirada posterior. Já as **valas** podem ser executadas nos sopés de encostas e montanhas. No entanto, essa medida requer critérios técnicos estabelecidos através de softwares e projeto executivo. Os **muros de gabião**, para Wyllie e Mah (2005) funcionam como proteções em forma de barreira, para deter pedras-de-mão e matacões com diâmetros de até 0,75 m e que possuam baixa energia cinética durante o deslocamento. A solução é indicada em casos em que a execução de valas no sopé das



encostas requer vultosos recursos financeiros devido às dimensões das escavações necessárias para amparar estes materiais, salvo a exceção de casos onde o relevo apresente ressaltos que possam levar o corpo rochoso a quicar e ejetar. Os **aterros** apresentam grande capacidade de absorver impactos dos materiais rochosos e requer simples manutenção, ao contrário das barreiras dinâmicas, que necessitam de trabalhos mais complexos. No entanto, a construção de aterros exige a disponibilidade de área ampla e materiais para sua construção.

As medidas não estruturais não requerem adoção de obras de engenharia e têm como foco a proteção de vidas acima do bem material. Assim, incluem-se nessas medidas ações políticas e sociais direcionadas ao planejamento de uso do solo e a adoção de ações dos planos de defesa civil.

As diretrizes aqui descritas variam para cada corpo ou conjunto de corpos mapeados e cada área crítica tem suas peculiaridades. Na Figura 5 é possível observar os corpos rochosos e afloramentos mapeados na área crítica 1 (

Figura 2), com as respectivas soluções adotadas para estabilização de cada corpo rochoso cadastrados. Em alguns casos, como as barreiras dinâmicas, híbridas ou malhas metálicas, a solução abrange a área por completo. No entanto, não isenta a execução de outras diretrizes para alguns corpos rochosos instáveis e na iminência de causar um acidente, como os materiais rochosos M1, M2, M3, M4, M10, M16 e M23, indicados na

Figura 5. As soluções de proteção podem demandar um maior tempo para execução, já que muitas vezes requerem um projeto executivo. Assim, nesses casos torna-se necessário tomar medidas imediatas ou em médio prazo para evitar acidentes antes da instalação das barreiras/malha metálica.

Ressalta-se que as análises realizadas são para um determinado período de tempo, em uma determinada situação. A dinâmica dos processos naturais nas encostas e drenagens e ações antrópicas podem modificar e gerar novas situações de risco além das observadas em campo.

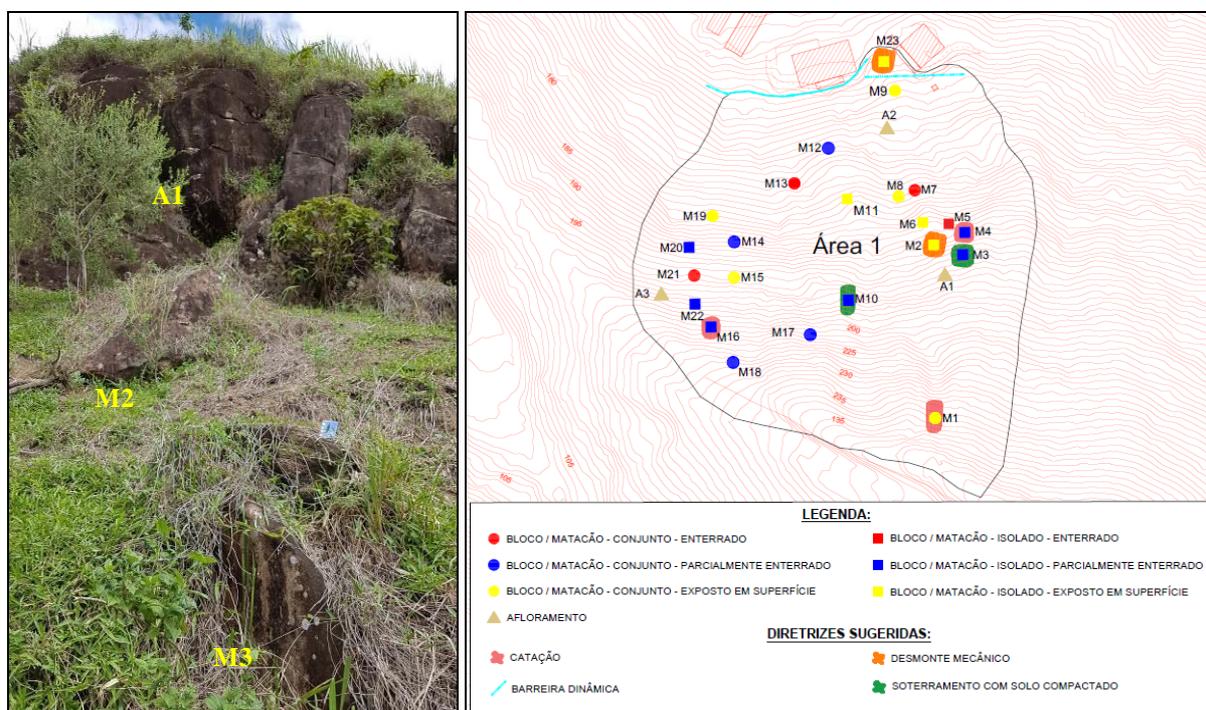




Figura 5: À esquerda, foto do trecho da hipotética área crítica 1 com o Afloramento A1 e os blocos de rocha M2 e M3 em foco. À direita, o mapa produto final da área crítica 1, com a localização dos corpos rochosos e as respectivas diretrizes sugeridas. Fonte: elaborado pelos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de levantamento proposta para a avaliação de regiões com exposição (parcial ou total) de matacões e/ou blocos de rocha em áreas críticas e que podem colocar em risco a população que reside e/ou circula nas vizinhanças das encostas rochosas pode ser considerada inédita no Brasil.

As diretrizes tecnológicas propostas para a estabilização dos corpos rochosos variam desde uma simples catação manual, no caso de pequenos fragmentos de rocha (pedra-de-mão), até estruturas de barreiras híbridas, cuja construção demanda tempo e elevado recurso financeiro.

A metodologia para mapeamento de corpos rochosos em áreas suscetíveis a acidentes geológico-geotécnicos apresentada neste artigo, permite identificar cada corpo rochoso/afloramento ou conjunto de corpos rochosos que encontram-se em uma situação instável, ou indicar quais podem ser mantidos em seu local sem nenhum tipo de tratamento. Além disso, objetiva facilitar a tomada de decisão na determinação de qual diretriz técnica de solução é a mais adequada para estabilizar cada elemento instável. Ainda cabe destacar que, por se tratarem de eventos naturais, deve-se levar em conta que os levantamentos são realizados para um determinado período de tempo, em uma determinada situação. A dinâmica da natureza pode gerar novas situações e inclusive instabilizar corpos rochosos que antes haviam sido caracterizados como estáveis.

## AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos a todos os envolvidos no desenvolvimento desta metodologia. Agradeço ao Instituto de Pesquisas

Tecnológicas pela oportunidade fornecida e em especial à Seção de Geotecnia deste Instituto.

## REFERÊNCIAS

- BANCO MUNDIAL (2012). Inundações Bruscas em Santa Catarina Novembro de 2008. In: *Avaliação de Perdas e Danos*, Brasília, p.1-65, nov. 2012.
- DOBEREINER, L.; VAZ, L.F. (1998) Tratamento de maciços naturais. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.(Eds.). *Geologia de engenharia*. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE).
- GEOBRUGG. Rockfall impact attenuators: intercept and guide rockfall safely. Suíça: BRUGG GROUP. S/D.
- LOPES, A.R.S; ESPÍNDOLA, M.A.; NODARI, E.S.. Uma análise histórica e ambiental do deslocamento da “pedra” do Morro da Mariquinha - Florianópolis (SC). *Revista Latino - Americana de História*, São Leopoldo, v. 2, n. 8, p.115-125, out. 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262525074\\_Uma\\_analise\\_historica\\_e\\_ambiental\\_do\\_desplacamento\\_da\\_pedra\\_do\\_Morro\\_da\\_Mariquinha-Florianopolis\\_SC](https://www.researchgate.net/publication/262525074_Uma_analise_historica_e_ambiental_do_desplacamento_da_pedra_do_Morro_da_Mariquinha-Florianopolis_SC)>. Acesso em: 27 de maio de 2019.
- MACCAFERRI. Barreiras híbridas e atenuadoras. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20171107182517/https://www.maccafferri.com/br/produtos/barreiras-contraqueada-de-rochas-e-fluxo-detritos/barreiras-hibridas-e-atenuadoras/>>. Acesso em: 07 nov. 2017b.
- MOREIRA, C. V. R. e PIRES NETO, A. G. Clima e Relevância. OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A.(Eds.). *Geologia de engenharia*. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE).
- SILVA DIAS, A. F. (2009) As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. In: *Nota Técnica do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, sobre os acontecimentos catastróficos de 2008 no estado de Santa Catarina*. São José dos Campos, SP.
- THE INTERNATIONAL DISASTER DATABASE. Disponível em: <[https://www.emdat.be/emdat\\_db/](https://www.emdat.be/emdat_db/)>. Acesso em: 27 de maio de 2019.
- VAZ, L. F. (1996) Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. In: *Rev. Solos e Rochas*, v.19, n. 2, p. 117-136,

*XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul*  
*GEOSUL 2019 – 17 a 19 de Outubro, Joinville, Santa Catarina, Brasil*  
©ABMS, 2019



ABMS/ABGE, São Paulo, SP.

WYLLIE, C.D.; MAH, C.W. (2005) Rock slope engineering: civil and mining. London e New York.