



REVISTA
Casa da
GEOGRAFIA
de Sobral
ISSN 2316-8056



FATORES CONDICIONANTES E DESENCADEANTES DE QUEDAS DE BLOCOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO TRAPIÁ, SOBRAL, CEARÁ, BRASIL

Conditioning and triggering factors of rockfalls in the Trapiá's Stream watershed, Sobral, Ceará, Brazil

Factores condicionantes y desencadenantes de caídas de rocas en la cuenca del Arroyo Trapiá, Sobral, Ceará, Brasil

Adisson Souza Tavares¹

Frederico de Holanda Bastos²

Yuri da Silva Belarmino³

RESUMO

As quedas de blocos são processos naturais, classificadas como eventos geomorfológicos perigosos ao homem a partir dos impactos que podem causar sobre as populações que vivem em encostas susceptíveis. O seu deflagro está submetido à influência de diversos fatores que possuem diferentes funções e dinâmicas. Os agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitogeográficos, hidroclimáticos e antrópicos desencadeiam e condicionam os fenômenos, implicando na mudança de sua estrutura, velocidade e duração. De acordo com a classificação de Garcia (2012), este trabalho objetiva identificar os agentes condicionantes e desencadeantes de quedas de blocos, na bacia hidrográfica do Riacho Trapiá, localizada na vertente sul da Serra da Meruoca, noroeste do Ceará. Os passos metodológicos foram: levantamento bibliográfico e cartográfico, técnicas de geoprocessamento, pesquisa de campo e integralização dos dados. Entende-se que os diferentes fatores que levam à ocorrência de quedas de blocos podem ser agrupados em dois conjuntos, sendo eles condicionantes, que levam a predisposição ao início das quedas, e os desencadeantes, que são dinâmicos e iniciam diretamente os processos morfodinâmicos. Logo, a presente análise pode servir de base para diversos tipos de estudos sobre temáticas geomorfológicas, a exemplo das análises de dinâmicas de vertentes, cartografia de risco, planejamento ambiental, ou gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Morfodinâmica; Susceptibilidade Geomorfológica; Quedas de Blocos.

ABSTRACT

Rockfalls are natural processes, classified as geomorphological events dangerous to man from the impacts they can cause on populations living on susceptible slopes. Its origin is subject to the influence of several factors that have different functions and dynamics. Geological, geomorphological, pedological, phytogeographic, hydroclimatic and anthropogenic agents trigger and condition phenomena, implying a change in structure, speed and duration. According to Garcia's classification (2012), this work aims to identify the conditioning and triggering agents of rockfalls, in the Riacho Trapiá

¹Aluno de mestrado acadêmico em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, e-mail: adisson.souza@aluno.uece.br

²Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, e-mail: fred_holanda@yahoo.com.br

³Aluno de mestrado acadêmico em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, e-mail: yuri.belarmino@aluno.uece.br



watershed, located on the southern of Serra da Meruoca, northwestern Ceará. The methodological steps were: bibliographical and cartographic survey, geoprocessing techniques, field research and data collection. It is understood that the different factors that lead to the occurrence of rockfalls can be grouped in two sets, being they conditioners, which lead to the predisposition to the beginning of falls, and the triggers, which are dynamic and directly start the morphodynamic processes. Therefore, the present analysis can serve as the basis for several types of studies on geomorphological topics, such as slope dynamics analysis, risk mapping, environmental planning, or watershed management.

Keywords: Morphodynamic; Geomorphological Susceptibility; Rockfalls.

RESUMEN

Las caídas de rocas son procesos naturales, clasificados como eventos geomorfológicos peligrosos para el hombre por los impactos que pueden tener en las poblaciones que viven en laderas susceptibles. Su brote está sujeto a la influencia de varios factores que tienen diferentes funciones y dinámicas. Los agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitogeográficos, hidroclimáticos y antrópicos desencadenan y condicionan los fenómenos, lo que implica un cambio en su estructura, velocidad y duración. De acuerdo con la clasificación de García (2012), este artículo objetiva identificar el acondicionamiento y los agentes desencadenantes de las caídas en la cuenca del Riacho Trapiá, ubicada en la ladera sur de la Serra da Meruoca, al noroeste de Ceará. Los pasos metodológicos fueron: levantamiento bibliográfico y cartográfico, técnicas de geoprociamiento, investigación de campo e integración de datos. Se entiende que los diferentes factores que conducen a la aparición de caídas se pueden agrupar en dos conjuntos, que son factores condicionantes, guiando la predisposición a la aparición de caídas, y los factores desencadenantes, que son dinámicos e inician directamente procesos morfodinámicos. Este análisis puede servir como base para estudios sobre temas geomorfológicos, tales como análisis de dinámica de taludes, mapeo de riesgos, planificación ambiental o gestión de cuencas hidrográficas.

Palavras chave: Morfodinâmica; Susceptibilidad Geomorfológica; Caídas de Rocas.

INTRODUÇÃO

Os estudos sobre movimentos de massa são abordados em Geomorfologia para o entendimento da dinâmica na superfície terrestre (ALCÁNTARA-AYALA, 2002), pois são considerados processos naturais que contribuem na disposição das vertentes e evolução do relevo. Do mesmo modo, são classificados como eventos geomorfológicos perigosos ao homem a partir dos impactos que podem causar sobre as populações que vivem em encostas susceptíveis.

De acordo com Dikau (2004), existem seis tipos de movimentos, sendo possível classifica-los de acordo com o material envolvido e o tipo de processo. São eles: quedas, espalhamentos laterais, tombamentos, deslizamentos (rotacionais e translacionais), fluxos e ainda os movimentos complexos, que ocorrem a partir da ocorrência simultânea de dois ou mais deles. As quedas de blocos são movimentos que se sucedem em declividades elevadas, com um valor entre 45° e próximo dos 90°, e em áreas com ausência de formação dos mantos de intemperismo, onde o material rochoso se desloca de acordo com a inclinação da vertente.

Souza e Oliveira (2006) incluem a serra da Meruoca no grupo dos enclaves úmidos e subúmidos, que estão distribuídos pelos sertões semiáridos, configurando ambientes de exceção climática. É um relevo serrano de características ambientais subúmidas diferenciadas no contexto regional com expressivas limitações quanto à ocupação humana, pela disposição do relevo e instabilidade nas

encostas (ARRUDA, 2001). Esta serra, de acordo com Souza (1988), configura-se geologicamente como um stock granítico, sendo limitada por prolongamento de falhas, na direção SW-NE, constituindo o limite ocidental do graben Jaibaras.

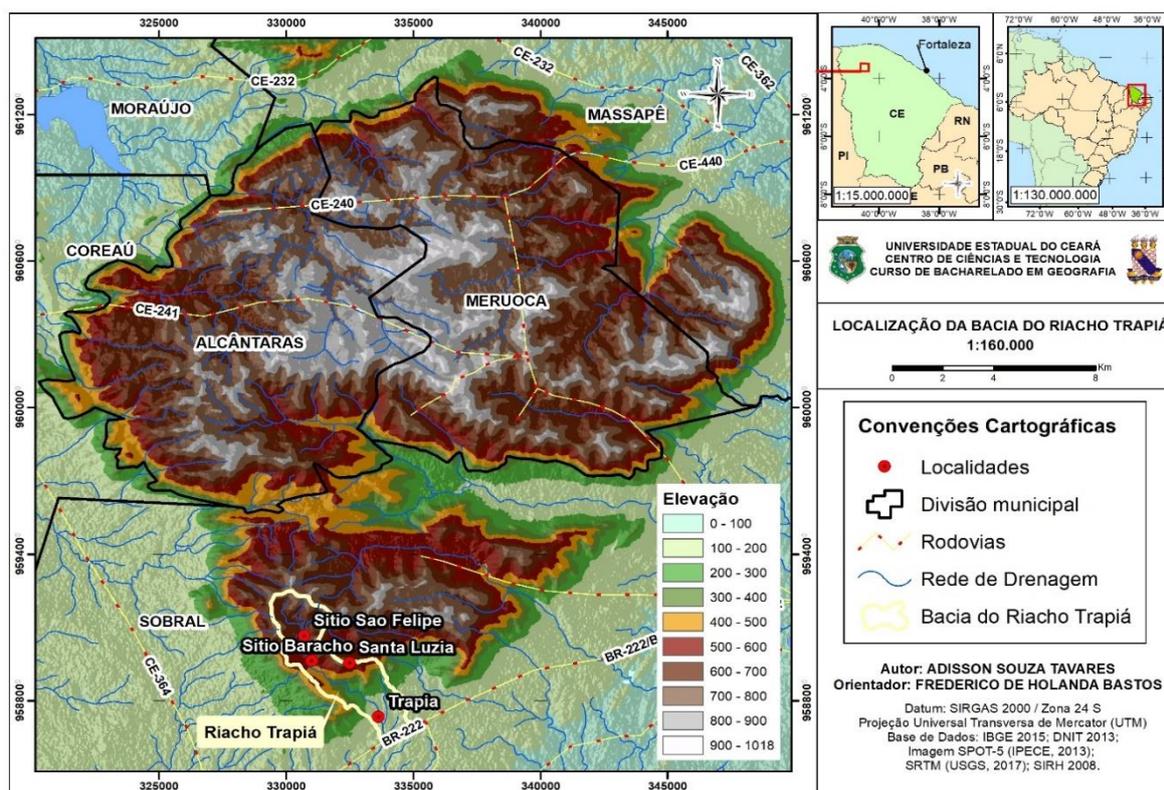
O intemperismo físico capaz de fragmentar rochas, associado ao material granítico presente, é responsável por formar feições peculiares no ambiente de empilhamento de blocos, denominadas tors ou boulders. A presença destas feições está associada aos fraturamentos, falhamentos, alívio de pressão e fragmentação por termoclastia sobre as rochas.

Bigarella (2009) afirma que blocos rochosos podem variar em sua formação a partir dos processos de decomposição esferoidal ou esfoliação, tendo diferenças entre estes sob o aspecto ambiental, pois a esfoliação é um processo comum em ambientes áridos ou semiáridos, já a decomposição ocorre em subsuperfície, com a infiltração da água pelas diaclases da rocha. Os *boulders* existentes em vertentes íngremes podem trazer risco às populações alocadas na base de encostas, pois a sua queda transforma o movimento em um processo de energia cinética de alto poder destrutivo, capaz de proporcionar perdas materiais e imateriais.

A bacia do Riacho Trapiá está situada na porção sul da serra da Meruoca, denominada por serra do Rosário, distante cerca de 220 quilômetros da capital Fortaleza, como pode ser visto no mapa de localização (Mapa 01). As localidades inseridas em seus limites são pertencentes ao território de Sobral, situadas em torno de 20 quilômetros de distância da sede municipal. São elas: Sítio São Felipe, Sítio Baracho, Santa Luzia e Trapiá. A altitude varia de 200 a 800 metros, e sua posição em relação ao deslocamento de massas de ar caracteriza-a em um ambiente de sotavento da serra, ou seja, é uma vertente seca.

O riacho principal que corta a bacia contribui para o aporte do Rio Jaibaras, que delimita a vertente oriental do Maciço de Meruoca. Entende-se que a combinação de vertentes íngremes, clima seco, vegetação arbustiva e afloramentos rochosos no local causa situações de perigo geológico ao deflagro de quedas de materiais rochosos.

Mapa 1 – Localização e hipsometria da área de estudo.



Fonte: Tavares (2017).

O referido ambiente pode ser estudado como um exemplo didático de susceptibilidade à queda de blocos, pois esta bacia hidrográfica apresenta um formato de confluência de materiais para o seu interior, incluindo as rochas. Do mesmo modo, há presença de ocupação humana na base destas encostas, que denotam risco à ocorrência dos deflagros sobre a vida da população.

O deflagro de quedas de blocos está submetido à influência de diversos fatores naturais e antrópicos que possuem diferentes funções e dinâmicas. Os agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitogeográficos, hidroclimáticos e antrópicos desencadeiam e condicionam os movimentos de massa, implicando na mudança de estrutura dos processos, velocidade e duração (LIMA; CORDEIRO; BASTOS, 2015). Pinto, Passos e Caneparo (2013) explicam que os fatores de condicionamento de movimentos gravitacionais de massa são elementos do meio físico ou biótico, que diminuem a resistência do solo ou da rocha, contribuindo para a sua deflagração. Estes agentes fazem parte da dinâmica natural do desenvolvimento das vertentes, contudo podem ser potencializados pelas formas irregulares de uso e ocupação.

Os diferentes fatores que levam à ocorrência de quedas de blocos podem ser diferenciados e agrupados em dois conjuntos, de acordo com Garcia (2012), sendo eles de função condicionante ou

desencadeante. Os fatores condicionantes são aqueles que levam ao início dos movimentos de massa através de meios de predisposição estáticos, ou por meios preparatórios dinâmicos (GARCIA, 2012, op cit.). O mesmo autor caracteriza os fatores desencadeantes por iniciarem imediatamente os processos morfodinâmicos, como também por serem dinâmicos.

Neste trabalho, é utilizada a classificação dos fatores que condicionam e desencadeiam as quedas de blocos, a partir da divisão anteriormente abordada. Para os agentes condicionantes atribui-se a estrutura geológica, relevo e declividade, cobertura vegetal e características pedológicas. Já no âmbito dos agentes desencadeantes se tem o regime pluviométrico, atividade sísmica e a ação antrópica, sob aspectos do uso e ocupação na bacia hidrográfica do Riacho Trapiá.

De acordo com essa metodologia de classificação de Garcia (2012), o presente trabalho tem como objetivo identificar os agentes condicionantes e desencadeantes de movimentos de massa, com foco para as quedas de blocos, na bacia hidrográfica do Riacho Trapiá, localizada na vertente sul da Serra da Meruoca, que fica no noroeste do Estado do Ceará. Pois, pelo entendimento prévio das características físico-naturais de cada fator, é possível compreender melhor o modo como que estas influenciam na deflagração dos movimentos de quedas de blocos.

MATERIAL E MÉTODO

Os procedimentos técnico-metodológicos tratam das etapas de forma ordenada e organizada que contribuíram para alcançar os objetivos propostos da pesquisa. Desse modo, a pesquisa está dividida em quatro etapas, sendo elas: levantamento bibliográfico e cartográfico, técnicas de geoprocessamento, pesquisa de campo e integralização dos dados obtidos.

2.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

A etapa basilar para a construção desta pesquisa se dá através do levantamento bibliográfico e cartográfico, sendo estes levantamentos de características interdisciplinares que visam uma abordagem mais completa sobre a área de estudo. Para o primeiro, foi feita primariamente uma busca de autores que tratassem do maciço de Meruoca de forma geral, para que fosse delimitada uma escala de abordagem. Dessa forma, foram consultados diversos trabalhos tais como Oliveira (2001); Souza e Oliveira (2006); Souza (1988); Souza (2000); Lima (1999) e Evangelista e Lima (2007), para ser delimitada a bacia hidrográfica como unidade de estudo. Para entender os mecanismos dos movimentos de quedas de blocos foram consultados Amaral Jr (2007); Gálvez (2012); Christofolletti (1980) e Giani (1992).

Como o principal objetivo do trabalho, houve a necessidade da compreensão do processo de quedas de blocos sob a caracterização dos fatores que condicionam e desencadeiam estes eventos, assim houve busca por trabalhos que concretizassem esta discussão tais como Lima, Cordeiro e Bastos (2015); Garcia (2012); Bigarella et al (2003); Bigarella (1996); Bastos (2012); Bateira (2001); Bateira e Soares (1997); Fernandes e Amaral (2000).

O levantamento cartográfico foi importante para que as informações espaciais fossem interpretadas e correlacionadas através da elaboração do mapa de localização e hipsométrico, na finalidade de representar a realidade de forma simplificada visualmente. Os principais dados foram adquiridos nas páginas eletrônicas de órgãos públicos como: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará), USGS (Serviço Geológico Norte-americano), SRH (Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará), FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

Técnicas de geoprocessamento e interpretação de mapas

O uso das técnicas de geoprocessamento ajuda na análise dos eventos gravitacionais a partir do tratamento de imagens de satélite, modelos digitais de elevação, bem como pela confecção de mapas básico e temáticos, e modelagem dos processos, correlacionando as informações espaciais. Alguns arquivos vetoriais e matriciais foram adquiridos por órgãos governamentais, todavia outros foram gerados a partir do processamento em ambiente SIG.

A base cartográfica utilizada e produzida foi configurada em projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o Datum SIRGAS 2000/fuso 24. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado pela imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adquirida através da página eletrônica *Earth Explorer* (USGS), de resolução espacial de 30 metros. O mapa de localização e hipsométrico traz a localização da área estudada, sendo resultado da justaposição de dados vetoriais com a imagem de satélite e o relevo sombreado gerado a partir da SRTM que apresenta também informações como a delimitação da bacia hidrográfica do Riacho Trapiá, rede de drenagem, localidades presentes, estradas não pavimentadas, rodovias no entorno, limite municipal e topografia pelo relevo sombreado. A escala de elaboração do mapa foi de 1:35.000.

Pesquisa de campo

A importância da pesquisa empírica se dá pela constatação da veracidade das informações encontradas através dos levantamentos prévios de bibliografia e material cartográfico produzido. É uma

etapa fundamental para atingir os resultados, como serviu também para acrescentar e complementar dados obtidos nas etapas anteriores.

Foi realizado um trabalho de campo na área de estudo, onde foram buscadas informações para a análise do quadro físico da área de estudo e a forma como os fatores naturais auxiliassem na identificação dos agentes desencadeantes e condicionantes, seguindo a literatura. Alguns materiais foram fundamentais para o auxílio ao trabalho de campo, dentre eles o mapa previamente confeccionado de localização e hipsometria, receptores de sinal GPS, câmera fotográfica digital para registro de imagens e computador portátil.

Integralização dos dados

Como processo final de consolidação desta pesquisa, os dados tiveram de ser organizados e compilados em informações que trariam os principais resultados, propostos a partir do objetivo inicial. Nesta etapa concebida de forma integradora, foram unidos os materiais de campo, junto às concepções teóricas, para se ter uma análise sobre a forma como os referidos agentes interferiam na ocorrência de quedas de blocos na área estudada. Por fim, com todas as informações integradas, processadas e organizadas, foi possível realizar a escrita da redação final deste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fatores Condicionantes

Utilizando a classificação de Garcia (2012), entende-se por fatores condicionantes ao desencadeamento de movimentos de massa, aqueles que apresentam particularidades capazes de catalisar a ação de outros agentes dinâmicos, responsáveis pelo deflagro imediato. Estes fatores subdividem-se entre fatores de predisposição e fatores preparatórios.

Os fatores de predisposição são estáticos, representando as características dos terrenos, e influenciam na distribuição espacial da susceptibilidade do ambiente à instabilidade. A litologia, o relevo, a cobertura vegetal e os aspectos pedológicos são exemplos de fatores condicionantes de predisposição. Somado a isto, existem os fatores preparatórios, que assumem papéis dinâmicos nos movimentos de quedas, e levam à diminuição da margem de estabilidade das vertentes, porém não desencadeiam os processos em si. São exemplos destes agentes o intemperismo das rochas e erosão dos solos, assim como ações antrópicas de retirada da cobertura vegetal. A seguir, estão listados e classificados cada fator condicionante aos processos morfodinâmicos, sendo apontadas suas características de predisposição e preparação aos deflagros.

Estrutura geológica

As características geológicas, levando em consideração a composição física e química das rochas, suas propriedades mecânicas e a forma como respondem aos agentes intempéricos, são determinantes para o acontecimento de quedas de blocos. Como afirma Penteado (1974, P. 23), “as propriedades básicas das rochas, grau de coesão, de permeabilidade e de plasticidade, influem no modo de escoamento superficial, na desagregação mecânica e na composição química”. Assim, entende-se que os processos erosivos agem sobre os aspectos litológicos de forma diferenciada, sendo estes fatores que condicionam os deflagros, suas dimensões e evolução na área afetada.

Bigarella, Becker e Passos (2009) consideram aspectos estruturais e litológicos para o condicionamento aos movimentos, sendo alguns deles os padrões de fraturas e diáclases, xistosidades, dobramentos e estratificações, o manto de intemperismo, coesão e peso por unidade do material formador das vertentes, circulação das águas, os esforços de cisalhamento e os planos de cisalhamento.

Para este autor, os padrões de diáclases e de fraturas, bem como de qualquer plano de descontinuidade, desempenham papel importante na infiltração e na circulação das águas e, portanto, na intemperização das rochas, como está representado na figura 1. A percolação de água em solos pedregosos com declives acentuados leva à individualização de blocos nos taludes, causando maior susceptibilidade às quedas destes materiais.

Figura 1 - Padrão de diaclases em rochas graníticas no Maciço de Meruoca.



Fonte: Tavares (2015).

Além das características litológicas e geotécnicas das rochas, Garcia (2012) ressalta a importância da disposição dos materiais em relação ao terreno, em que a intercalação de materiais de permeabilidade e resistências diferentes podem propiciar a sucessão de rupturas, tornando-os sujeitos aos processos gravitacionais.

As fraturas presentes no maciço rochoso podem estar associadas a dois fatores: eventos tectônicos pretéritos ou alívio de pressão originada pela expansão da rocha em relação à superfície (BASTOS, 2012). Bigarella, Becker e Passos (2009) ainda ressaltam a importância da rede de diaclasamento para o condicionamento de deslocamentos maciços, como também diferenciam esta rede entre planos herdados por esforços tectônicos pretéritos e sistema de diaclases curvas que seguem grosseiramente a morfologia das vertentes, em subsuperfície, desenvolvendo-se com o progresso da denudação regional. Além de seguirem a topografia do terreno, as fraturas apresentam diminuição do espaçamento entre os planos, quando se aproxima da superfície (FERNANDES; AMARAL, 2000).

O granito presente no maciço de Meruoca, cuja área de estudo está inserida, apresenta granulação fina a grosseira e coloração variando de acordo com a alteração mineralógica, entre cinza-claro a róseo-avermelhado (SIAL; FIGUEIREDO; LONG, 1981). Devido à boa resistência ao intemperismo apresentada pelos minerais que compõem esta rocha, percebe-se que a alteração não é tão significativa, logo a estrutura geológica justifica a permanência de declives acentuados e afloramentos rochosos. No entanto, o seu grau de fraturamento favorece a infiltração de água em períodos úmidos, causando corrosão química sobre os minerais em subsuperfície e individualização de blocos, e a posterior exposição de feições rochosas tridimensionais após o carreamento do manto de intemperismo (VIDAL ROMANÍ; TEMIÑO, 2004). Este processo ocorre em escala de tempo geológico através de milhões de anos.

Relevo e declividade

As temáticas de estudo principais acerca dos movimentos de massa e dinâmica de vertentes são caracterizadas pelo declive e morfologia da superfície terrestre. Bateira e Soares (1997) defendem que o declive é o fator determinante a ser considerado na evolução de vertentes, constituindo um dos critérios capazes de fornecer elementos para a definição de áreas de risco potencial.

Além dos declives, há que se considerar a morfologia da encosta para o condicionamento às quedas de blocos. Bateira (2001) considera também fatores como altimetria, declividade e a disposição do relevo frente à ação dos agentes atmosféricos, como características que influenciam o desencadeamento dos processos. Ou seja, na medida em que a altitude e a declividade aumentam num talude, os efeitos das quedas serão mais catastróficos, e a velocidade e força de impacto do mesmo modo terão níveis elevados (figura 2). Valeriano (2008) define declives de ângulos superiores a 55° como sendo os mais favoráveis à ocorrência de queda de blocos ou tombamentos.

Figura 2 - Ilustração do processo de queda de blocos em altitude e declives acentuados.



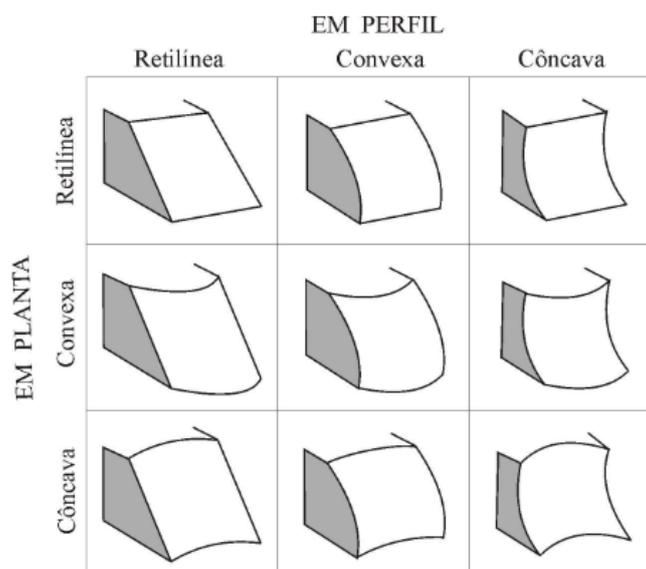
Fonte: Ribeiro (2013).

Os tipos de movimentos de massa preponderantes na porção sul da serra da Meruoca, onde está situada a bacia do Trapiá, são as quedas de blocos. Isto acontece devido à união de fatores como o material rochoso granítico mais resistente à erosão, o clima predominantemente seco, cobertura vegetal pouco expressiva e fraco desenvolvimento de mantos de intemperismo.

A pedogênese, processo de formação do solo, tem forte relação com a declividade, de acordo com Bastos (2012). Como acontece nas vertentes encontradas na área de estudo, grande parte do material intemperizado é erodido e transportado pela ação da gravidade, desfavorecendo a deposição em camadas de solo. Logo, os solos nestes ambientes são predominantemente Neossolos Litólicos.

Os perfis de encostas podem ser diferenciados (BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 2009), apesar de o autor afirmar que há uma morfologia de forma geral caracterizada por um segmento superior convexo, no qual a declividade aumenta para jusante, seguida por um seguimento inferior côncavo com redução de declive encosta abaixo. Guerra (2011) classifica a morfologia das encostas em três tipos distintos: convexo, côncavo e retilíneo, conforme a figura 3. Tais aspectos geomorfológicos têm influência direta na estabilidade das encostas.

Os perfis côncavos são os mais favoráveis aos movimentos de massa, segundo Fernandes e Amaral (2000), pois são locais de convergência de sedimentos e fluxos de água. Já as encostas retilíneas fazem os processos assumirem maiores velocidades, como no caso das quedas de blocos e as convexas são responsáveis pela divergência de fluxos de materiais.

Figura 3 - Representação da diversidade do formato das encostas.

Fonte: Guerra *et al.* (2011).

Os processos gravitacionais também podem ser condicionados em relação à situação e posição das vertentes. De acordo com este aspecto, a encosta tem maior ou menor exposição aos elementos climáticos como ventos, chuvas e insolação, que são fatores interferentes na sua estabilidade (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2013). A sua localização em barlavento ou sotavento nos maciços pode diferenciar suas características pedológicas, fitogeográficas e, sobretudo, a resistência ao cisalhamento e morfodinâmica.

Características dos solos

O solo além de estar relacionado aos dois fatores condicionantes anteriores, também influencia e sofre ações erosivas, em função da sua textura, estrutura, permeabilidade e densidade. Logo, entender estes aspectos pedológicos é de fundamental importância para se obter informações que possam fornecer subsídios na avaliação da susceptibilidade às quedas de blocos.

Bigarella (2009) aborda o papel dos elementos do solo que influenciam nos movimentos de massa, afirmando que a textura do solo se refere à proporção relativa das partículas sólidas presentes ao longo dos perfis, influenciando na capacidade de infiltração e absorção de água da chuva. A estrutura caracteriza o arranjo dos constituintes do solo, compreendendo a reunião das partículas em agregados, os quais apresentam formatos e tamanhos variados. Estes elementos estão separados uns dos outros por superfícies de fraqueza, e influenciam na velocidade e direcionamento de infiltração da água. A permeabilidade e a porosidade são propriedades que estão diretamente ligadas e são

inversamente proporcionais à densidade, que representa a relação entre o volume e massa total do solo (BIGARELLA, 2009, op cit.). A exemplo disto, entende-se que os solos arenosos são mais porosos, permeáveis e menos densos que solos argilosos.

Molinari (2010) afirma que o equilíbrio das vertentes está diretamente associado às características dos solos, principalmente por seus elementos morfológicos, hidráulicos e mineralógicos. Para ele, as características pedológicas influenciam nas condições de infiltração, circulação e armazenamento de água, causando instabilidade e possibilidade de ruptura. As discontinuidades presentes dentro do saprolito, como feições estruturais decorrentes do embasamento rochoso (fraturas, falhas, bandamentos etc.) atuam juntamente aos processos pedogenéticos de modo decisivo no condicionamento das poro-pressões no interior da encosta e, conseqüentemente, na sua estabilidade (FERNANDES; AMARAL, 2000).

A espessura dos perfis de solos e a dimensão do regolito variam de acordo com os parâmetros hidroclimáticos de cada área, além da influência de outros fatores. Devido a este fato, compreende-se que os processos pedogenéticos se comportam de maneira diferenciada, a depender da situação em que o solo se encontra. Contudo, vale destacar o papel da estrutura geológica no desenvolvimento pedogenético, como fornecedora de material à constituição do solo e ter importância na característica do regolito, bem como na velocidade do processo de sua formação.

No ambiente do vale do riacho Trapiá, as condições climáticas secas não favorecem à formação de espessos mantos de alteração, pois há predominância dos processos de meteorização física, responsáveis pela fragmentação das rochas. Por causa disso, os solos presentes são rasos e detêm grande incidência de afloramentos rochosos (Figura 4), onde os movimentos de massa predominantes estão associados com a queda de blocos e detritos grosseiros (BASTOS, 2012).

Outro aspecto a ser considerado na formação dos solos e geração de instabilidade de vertente, é a topografia. O relevo enquanto um dos fatores de formação dos solos (OLIVEIRA, 1975), influencia na erosão e rede de drenagem. Na medida em que são encontradas encostas escarpadas ou bem dissecadas, o material intemperizado é transportado pela gravidade e ações fluviais, justificando mantos de intemperismo rasos nas vertentes e profundos na base destas, constituindo materiais coluviais (BASTOS, 2012).

Figura 4 - Vertentes com solos rasos e presença de afloramentos rochosos presentes na Bacia do Trapiá.



Fonte: Tavares (2015).

Cobertura vegetal

O papel da cobertura vegetal sobre o solo no condicionamento à processos morfodinâmicos se dá pela proteção contra agentes erosivos pluviais e eólicos, como também pela manutenção do equilíbrio das vertentes. A configuração do quadro de susceptibilidade está na proporção da relação entre cobertura vegetal e intensidade dos deflagros, em que quanto mais expressiva e desenvolvida é a vegetação, menor será a frequência, velocidade e intensidade de quedas de blocos.

A presença da vegetação controla o escoamento superficial e a infiltração das águas no manto de intemperismo. A perda da vegetação expõe o solo à erosão permitindo, após chuvas prolongadas, a penetração de um excesso de água no subsolo, favorecendo o relaxamento dos esforços internos através da lubrificação dos planos de cisalhamento e, por consequência, dando início aos movimentos de massa (BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 2009).

A cobertura vegetal é um fator condicionante às quedas de blocos, em que ao mesmo tempo é um agente de predisposição à ação da sua supressão por desmatamento, que é um fator condicionante de preparatório, de acordo com a classificação de Garcia (2012). Logo, entende-se que os processos erosivos e morfogenéticos atuam de forma mais intensa quando a cobertura vegetal é suprimida das encostas, seja por ações antrópicas de desmatamento (Figura 5), ou por processos morfodinâmicos naturais como deslizamentos.

A respeito da morfologia vegetal, Teixeira (2005) *apud* Lima, Cordeiro e Bastos (2015), afirma que as raízes da cobertura vegetal sustentam os materiais das vertentes, todavia o alargamento das raízes que penetram nas fendas das rochas pode desencadear queda de blocos, que são os principais

movimentos de massa encontrados na área de pesquisa. Este tipo de intemperismo físico causa desagregação mecânica na estrutura das rochas, sendo um dos fatores que condicionam às quedas.

Nos locais de declives menos acentuados, maior altitude e vegetação de mata seca presentes na bacia do Trapiá, o teor de matéria orgânica sobre o solo é mais expressivo que na vegetação de caatingas. Desse modo, há um auxílio na coesão dos materiais superficiais que evita processos erosivos, pois existe maior controle na capacidade de retenção e armazenamento de água nos períodos chuvosos.

Figura 5 - Supressão da cobertura vegetal e exposição dos blocos rochosos no solo.



Fonte: Tavares (2015).

Fatores Desencadeantes

Os fatores desencadeantes aos movimentos de massa são capazes de originar o início imediato dos processos, controlando a sua dinâmica temporal, de acordo com Garcia (2012). Se diferenciam dos fatores condicionantes justamente pela forma ativa de causar instabilidade nas vertentes.

Estes agentes subdividem-se naqueles de origem natural, como a pluviosidade e a atividade sísmica, ou podem ser de origem antrópica, a partir das formas de uso e ocupação do solo. Como são controladores da dinâmica temporal, os fatores desencadeadores deflagram um movimento de massa por alguns segundos como os sismos, ou ao longo de horas ou dias, no caso das chuvas ou ação antrópica.

A seguir, são listados e classificados cada fator desencadeante, de acordo com sua dinâmica, características e comportamento na deflagração dos movimentos de quedas de blocos.

Regime pluviométrico

As condições hidroclimáticas são determinantes como fator de desencadeamento aos movimentos de massa. Elas influenciam os deflagros a partir da pluviosidade principalmente, porém o regime hídrico, modos de escoamento e a temperatura também são características que podem explicar estes processos. Índices pluviométricos elevados provocam a saturação do solo ou rocha, reduzindo a resistência à desagregação, refletindo em perda de estabilidade das encostas (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2013). Segundo os autores, a pluviosidade é considerada por muitos pesquisadores como o principal agente desencadeador de forma imediata.

Bigarella, Becker e Passos (2009) explicam que o excesso de água no subsolo afeta os materiais coloidais que, ao invés de conferirem uma resistência ao solo, tendem à sua liquefação. Logo, a superfície impermeável ou de cisalhamento torna-se “lubrificada”, facilitando o movimento de massa. Os autores também destacam que os deflagros não ocorrem somente em eventos excepcionais de chuvas, mas se deve considerar o tempo de duração das precipitações, a condutividade hidráulica dos solos e a variação do grau de saturação.

O regime hídrico e o escoamento pluvial são outros fatores que devem ser considerados nas condições hidroclimáticas do ambiente. O escoamento, quando concentrado, possui grande capacidade erosiva sobre o solo, deixando ravinas abertas em muitas áreas (Figura 6). Christofolletti (1980) trata este tipo de escoamento concentrado típico de vertentes desnudadas, enquanto que o escoamento difuso ocorre na presença de cobertura vegetal.

Figura 6 - Escoamento concentrado ocasionando processo de ravinamento.



Fonte: Tavares (2015).

Os tipos de movimentos de massa decorrentes de ambientes serranos de alta umidade e pluviosidade são principalmente caracterizados pelos deslizamentos, escorregamentos e fluxos. Isto ocorre por serem locais de condições pedogenéticas mais desenvolvidas, pelos mantos de intemperismo serem mais espessos e o relevo bastante dissecado, favorecendo a perda da estabilidade destes elementos e aumento da densidade do solo por saturação (BASTOS, 2012).

Há locais no Estado do Ceará, como no vale do Trapiá, que apesar de serem serranos possuem clima de condições mais próximas da semiaridez. Conseqüentemente, os processos morfogenéticos e a meteorização física são predominantes. Contudo, há eventos de precipitação extremos em períodos chuvosos que facilitam o percurso de água através das diáclases e fraturas presentes nas rochas (BRICALLI; SILVA; GIMENES, 2001), causando instabilidade e perigo relacionado ao desencadeamento de quedas dos blocos nas vertentes.

Atividade sísmica

A sismicidade é um dos fatores capazes de gerar instabilidade imediata de vertentes e desencadear as quedas. Os processos intempéricos em subsuperfície isolam os blocos por decomposição química, que posteriormente são evidenciados na forma de afloramentos e feições de tors, tornando os matacões susceptíveis aos movimentos de massa. Logo, os abalos sísmicos que vêm a ocorrer em um ambiente aceleram e deflagram as quedas destes materiais, causando risco à população que vive na base das encostas.

Na área de estudo, existem registros de atividades neotectônicas sucedidas em virtude da falha sismogênica Riacho Fundo de trend E-W (MOURA, 2012), que está localizada a norte do vale do Boqueirão, na porção centro-sul da serra da Meruoca. Moura (2012) afirma que diques basálticos estão associados a esta falha, o que causa pequenos sismos com registros desde o ano de 2008 na região. Tais sismos existentes em zonas de falhamentos presentes na serra da Meruoca são um dos elementos capazes de provocar colapsos de blocos graníticos fraturados nas vertentes, que desencadeiam às quedas. Observa-se que nas pequenas localidades, há inúmeras residências situadas na base de encostas e nos possíveis caminhos percorridos pelos matacões no momento de movimentos de massa.

Ação antrópica

As formas de uso e ocupação da terra influenciam na dinâmica natural de evolução das encostas, em que atividades realizadas pelo homem como desmatamentos, recortes nos terrenos, aterros para construção, retilinização de canais fluviais, entre outras, acabam por interferir no equilíbrio das vertentes,

induzindo a ocorrência de movimentos de massa que podem ter efeitos catastróficos. Para Bigarella, Becker e Passos (2009), os processos morfodinâmicos são meios com que a natureza busca para atingir novamente o equilíbrio, após a descaracterização das vertentes causada pelo ser humano.

A população que vive em áreas de risco geomorfológicos não são os principais responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, pois estes são considerados processos naturais da dinâmica de vertentes, de acordo com Bateira e Soares (1997). No entanto, apesar de se encontrarem em posição de vulnerabilidade, o ser humano também é um agente de contribuição e agravamento de deflagros a partir de ações que alteram a configuração natural do ambiente ocupado. As catástrofes ou desastres existem porque há ocupação humana em locais que ocorrem processos morfodinâmicos (CASTRO; PEIXOTO; PIRES DO RIO, 2005).

O risco à população é maior quando estão instalados em encostas ou na base destas, constituindo um perigo pela instabilidade decorrente de outros fatores naturais ao acontecimento de quedas de blocos e vulnerabilidade em que as comunidades se encontram (Figura 7). Bastos (2012) afirma que algumas atividades como construção de rodovias, casas e outras obras civis necessitam de um ajustamento topográfico, que demanda a realização de cortes e aterros capazes de aumentar a susceptibilidade aos movimentos gravitacionais de massa.

Figura 7 - Existência de casas na base das encostas com presença de blocos de granitos.



Fonte: Tavares (2015).

Também existem casos de interferência humana no sentido de diminuir a quantidade de deflagros ou minimizar os seus efeitos. Há ações do poder público em algumas cidades sobre medidas de contenções em taludes que apresentem perigo de quedas de blocos como a instalação de redes de

proteção e valas de captação. Bem como existem medidas preventivas de treinamento por parte da defesa civil e estudos de susceptibilidade e vulnerabilidade social sob o perigo de deflagramento de movimentos de massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado sobre movimentos de massa é responsável por realizar uma análise da dinâmica de vertentes, cuja abordagem é intrínseca à Geomorfologia. Logo, a partir desta análise, entende-se que a interferência no modelado do relevo perpassa por processos naturais, que foram classificados em tópicos separadamente, contudo a morfodinâmica presente no ambiente estudado necessita da abordagem inter-relacionada de cada agente. Ainda, foi identificado que o fator humano não sendo o principal causador de quedas de blocos, faz parte de um agente desencadeante, atuando de forma direta na catalisação dos deflagros, sendo ao mesmo tempo um fator com capacidades de amenizar os danos causados por estes fenômenos e solucionar os problemas em locais susceptíveis.

Existem técnicas de reconhecimento de áreas perigosas a ocorrência de quedas de blocos, em que o auxílio do geoprocessamento é imprescindível no auxílio destes estudos e prevenção da sociedade ao seu desencadeamento. São ferramentas baseadas em programas computacionais e sistemas de informações geográficas que foram difundidas em países europeus e asiáticos no século XX, capazes de indicar os possíveis trajetos a serem percorridos pelos blocos rochosos que venham a se desprender de vertentes, criação de mapas de susceptibilidade, entre outros tipos de modelagens. Elas levam em conta inúmeros parâmetros, que variam em cada *software*, sendo alguns deles as classes morfométricas de vertentes, capacidade energética dos blocos, material envolvido, velocidade, altura, etc.

A realidade reflete que nem todos os municípios apresentam planos de segurança contra os desastres naturais abordados, ou aqueles que o comporta não fizeram um estudo aprofundado acerca dos possíveis trajetos dos blocos, como é o caso de ambientes rurais e algumas cidades menores.

Por fim, a presente análise pode servir de base para diversos tipos de estudos sobre temáticas geomorfológicas, a exemplo das análises de dinâmicas de vertentes, cartografia de risco e susceptibilidade, planejamento ambiental ou até para gestão de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

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

- ARRUDA, L. V. de. **Serra de Maranguape-CE: Ecodinâmica da Paisagem e Implicações Socioambientais**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- BASTOS, F. H. **Movimento de massa no Maciço de Baturite (CE) e contribuições para estratégia de planejamento ambiental**. 2012. 257 f. Tese (Doutorado de Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. Fatores naturais na evolução das paisagens no semiárido brasileiro: uma abordagem geral. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p. 464 - 476, 2012.
- BATEIRA, C. **Movimentos de vertente no NW de Portugal, suscetibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica**. 2001. 475 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto, 2001.
- BATEIRA, C.; SOARES, L. Movimentos em massa no norte de Portugal: factores da sua ocorrência. **Territorium**, Coimbra, n. 4, p. 63 - 78. 1997.
- BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2009.
- BRICALLI, L. L.; SILVA, M. S.; GIMENES, A. C. W. Queda de Blocos e Ocupações Irregulares na Sede do Município de Mimoso do Sul (ES- Brasil). In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 8., 2001, Santiago. **Anais...** Santiago: Media Graphics, 2001. p. 55 - 64.
- CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; PIRES DO RIO, G. A. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- DIKAU, R. Mass Movement. In: GOUDIE, A. S. (Org.). **Encyclopedia of Geomorphology**. Nova Iorque: Routledge, 2004. p. 644 – 652.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: Uma abordagem geológica – geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Orgs). **Geomorfologia e Meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2000.
- GARCIA, R. **Metodologias de avaliação da perigosidade e risco associado a movimentos de vertente: aplicação na bacia do Rio Alenquer**. 2012. 430 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.
- GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico - geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- LIMA, D. L. S.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H. Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1142 - 1157. 2015.
- MOLINARI, D. C. Hidrologia, processos erosivos e movimentos de massa. In: REBELLO, A. (Org.). **Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010. p. 67-103.
- MOURA, A. C. A. **Falhas sismogênicas no granito Meruoca, Sobral, Ceará**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2012.
- OLIVEIRA, J. B. Fatores de formação. In: MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1975. p. 275 – 288.
- PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158 p.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoiingá**, Maringá, v. 5, n. 1, p.102-124, 2013.

RIBEIRO, R. S. **Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discretos**. 2013. 265 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RITCHIE, A. M. Evaluation of Rockfall and its Control. **Highway Research Record**, Washington, v. 17, p.13-28, 1963.

SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. E. Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. **Chemical Geology**, v. 31, p. 271 – 283. 1981.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, v.1, p. 73-91, 1988.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. Os enclaves úmidos e subúmidos do semiárido do nordeste brasileiro. **Mercator**, v. 5, n. 9, p. 85-102, 2006.

TEIXEIRA, M. A. C. Movimentos de Vertente: factores de ocorrência e metodologia de inventariação. **Geonovas**, n. 19, 95-106. 2005.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2008.

VIDAL-ROMANI, J. R.; TEMIÑO, J. Y. Historia de la morfogénesis granítica. **Caderno geológico de Laxe Coruña**, V. 29, p. 331-360, 2004.