

CONTROLE ESTRUTURAL EM ESCARPAS GRANÍTICAS

Anna Sabrina Vidal de Souza ¹
Rubson Pinheiro Maia ²

INTRODUÇÃO

Sistemas de juntas, fraturas multidirecionais e intrusões de diques e veios constituem descontinuidades fundamentais na modelagem de formas de relevo em plútons, como torres, pilares e campos de boulders, os quais revelam a configuração estrutural de rochas graníticas (Chigira; Kato, 2023; Chigira, 2021; Chigira; Hirata, 2021). Tipicamente, inselbergs são caracterizados por possuírem escarpas maciças e convexas (morfologia dômica) (Twidale, 1981). Algumas caracterizações incluem aqueles relevos com intenso padrão de fraturamento levando à individualização de blocos ou boulders in situ, formando *nubbins* ou *Castle Koopies* (Migoñ, 2013) - os quais já não exibem a forma de escarpas contínuas. Entretanto, diversas formas de relevo (e.g. inselbergs, pilares, torres) em rochas graníticas encontradas em tipos climáticos variados apresentam padrões de fraturas multidirecionais ao mesmo tempo que exibem proeminentes e íngremes escarpas, cuja evolução responde a processos de fraturamento e colapso de blocos. Alguns exemplos incluem: Dedo de Deus (Teresópolis, RJ), Pedra do Frade (Itapajé, CE), Pico dos Pontões (ES), no Brasil, e Spitzkoppe (Namíbia) (cf. Fernandes et al., 2010; Bastos et al., 2021; Dantas et al., 2014; Migoñ, 2010). Todos esses locais também convergem em uma característica – a formação de uma paisagem geomorfológica icônica dada as formas que os escarpamentos assumem.

Dentre os trabalhos a respeito da evolução de escarpas fraturadas, nota-se que inselbergs assim caracterizados não constituem com frequência o objeto de atenção das pesquisas geomorfológicas. Nesse sentido, o inselberg Pedra da Galinha Choca (Quixadá, Brasil), constitui um exemplo de relevo representativos em termos de controle estrutural por processos de fraturamento e colapso, tanto por suas escarpas fraturadas, quanto pela geração de depósitos de talus. Diante disso, objetiva-se verificar a correlação da configuração estrutural da rocha granítica com a morfologia da escarpa, em comparação

¹ Doutoranda do Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará - UFC, annasabrinavidal@gmail.com;

² Professor do Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará – UFC, rubsonpinheiro@yahoo.com.br.

a outros exemplos similares de formas dessas formas de relevo, a fim de contribuir com a compressão dos processos de evolução geomorfológica em escarpas graníticas fraturadas. Para tanto, foram feitas análises baseadas em dados de aerofotogrametria de alta resolução e obtenção de dados estruturais em modelos digitais, além da observação de campo. A interpretação morfoestrutural permitiu averiguar que inselbergs com escarpas íngremes e fraturadas devem a manutenção de suas características devido ao arranjo multidirecional (interlocking pattern) das descontinuidades na rocha granítica, que favorece o encaixe de blocos ou porções da rocha que estão sendo individualizadas.

Os resultados aqui apresentados são parte da pesquisa intitulada “Inselbergs modelados por colapso: considerações sobre o controle estrutural em escarpas graníticas” publicada na Revista Brasileira de Geomorfologia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia contou com ampla revisão bibliográfica, trabalhos de campo e elaboração de modelos digitais através da aerofotogrametria. Em campo, foi realizado levantamento aerofotogramétrico com drone (Phantom 4 Pro – DJI) no inselberg Pedra da Galinha Choca. Esse procedimento deu-se conforme o protocolo de aquisição fotogramétrica adaptado para o contexto de inselbergs, que consiste na aquisição de fotos no nadir realizadas com sobreposição frontal e lateral de 70%, fotos oblíquas (45°) e horizontais em pontos específicos (Figura 1). O processamento ocorreu no Metashape Agisoft PhotoScan através do algoritmo *Structure from Motion* (SfM), permitindo a criação de um modelo detalhado (18.1 pontos por m²) das características morfológicas e texturais das escarpas.

Na nuvem de pontos do inselberg (Point Cloud) (resolução ~20 cm) foi feita a mensuração das espessuras de juntas foi feita com a ferramenta *Point Picking* nesse software; também foram extraídos ângulos das fraturas (12 medidas), com a ferramenta *Virtual Compass > Plane tool*. As fraturas horizontalizadas foram definidas como aquelas < 45°, e verticais aquelas > 45°.

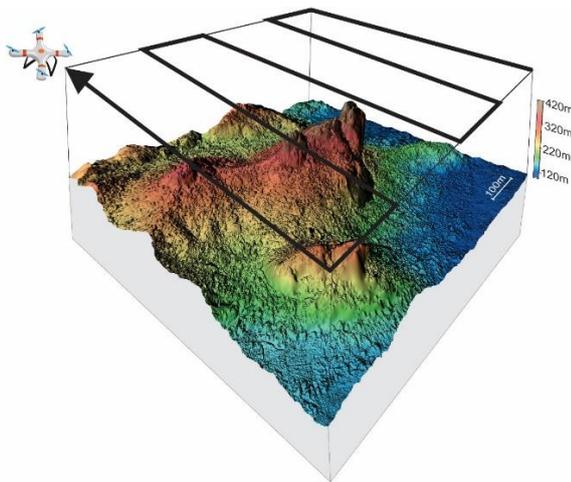


Figura 1 – Representação da aquisição aerofotogramétrica em inselbegs.

A partir do MDE e ortomosaico gerou-se um mapa de densidade de lineamentos a partir de um grid de dimensões 10 m x 10 m. Para tanto, foi utilizado o algoritmo Interseção, que extrai as partes sobrepostas das feições nas camadas (lineamentos e grid), de modo a unir o atributo de ambas e foi feita uma interpolação dos dados (IDW). Ademais, foram mapeados manualmente Megablocos colapsados (MBC) na rampa de talus com base na ortofoto. MBC foram definidos como os blocos de morfologia angulosa com dimensões mínimas de 5 x 5 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inselbergs de fraturamento são aqueles cujas escarpas são marcadas desmembramento rúptil (inselbergs Tipo 2 de Maia et al., 2015), característica apresentada pelo inselberg Pedra da Galinha, o qual apresenta feições morfológicas que atestam os processos de desintegração mecânica, tais como escarpas angulosas resultantes da queda de blocos devido a propagação de fraturas, e rampa de talus que circunda o relevo aflorante.

O arranjo de fraturas no inselberg possui direção preferencial NE-SW (Figura 2). A densidade de lineamentos no inselberg PGC revela que a contagem de fraturas alta – muito alta (9 a 15 lineamentos/10 m²) ocupa maior área no segmento Neque reflete a interseção de estruturas verticais e horizontais. As feições estruturais mapeadas incluem fraturas extensionais e fraturas ao longo de diques centimétricos (mergulhos de 8° - 34°, além de fraturas (66° a 80°).

O arranjo de fraturas ao longo de planos estruturais (diques e veios) somado àquele formado pelas fraturas verticais e de alívio formam redes de fraturamento multidirecional na escarpa do inselberg, favorecendo o gradual colapso de blocos (vide Megablocos colapsados), mapeados preferencialmente próximo às porções das escarpas que são mais fraturadas - média e alta densidade, formando rampa de talus.

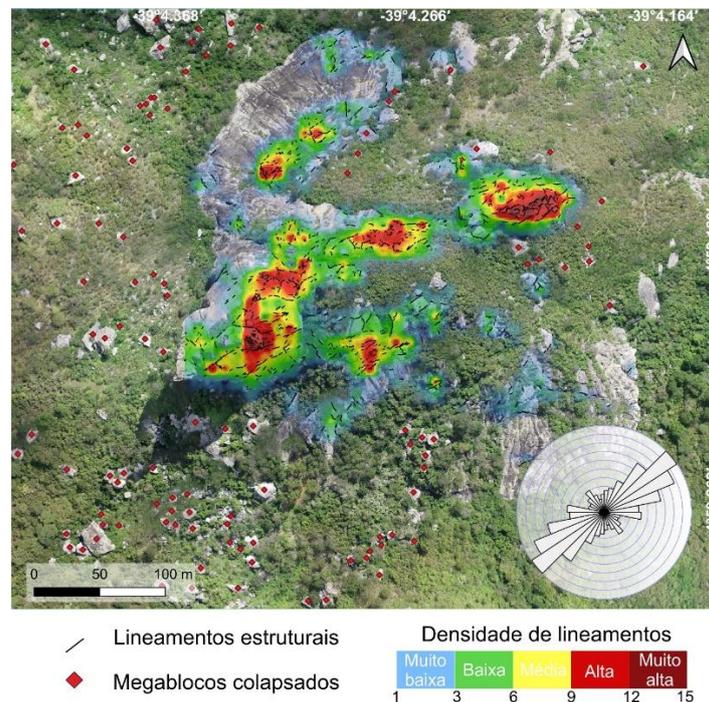


Figura 2 - Lineamentos estruturais (fraturas) e distribuição dos megablocos colapsados na rampa de talus (Inselberg Pedra da Galinha Choca, CE)..

Apesar da ocorrência de colapso, as escarpas com arranjo multidirecional são íngremes (chegando a 80° de declividade). Isso se dá pois blocos se mantem in locu enquanto a trama estrutural (densa rede de fraturas horizontais e verticais) permitirem o encaixe/travamento dos blocos sobrepostos. Essa configuração permite que a escarpa sustente sua alta declividade não obstante a presença essa rede de fraturas, tal como ocorre no setor NE da Pedra da Galinha. A manutenção de blocos na escarpa pode ser entendida como a fase pré-colapso (BPC, Figura 6A) e resulta do efeito encaixe, gerado pelo fraturamento multidirecional. Um exemplo de efeito encaixe ocorre também nos Castle Koppies.

Quando colapso de blocos da escarpa ocorre, tende a deixar cavidades que podem originar tafoni (vide Figura 3A), nesse caso gerados exclusivamente pela remoção do bloco. Essa forma na escarpa atesta os efeitos da evolução geomorfológica de corpos rochosos submetidos ao desmembramento rúptil. O desprendimento de blocos na escarpa, além de

deixar uma cavidade, deixa também uma área suspensa, levando ao colapso ascendente, processo que resulta da falta de sustentáculo devido à remoção de um bloco na parte sotoposta da escarpa. A respeito do efeito encaixe, Krabbendam et al. (2022) apontaram que o arranjo irregular de fraturas gerado pela interseção de discontinuidades na rocha leva à individualização de blocos em um padrão denominado *interlocking fracture pattern*, no qual os blocos são delimitados por fraturas interconectadas que conferem certa resistência à massa rochosa, retardando a desintegração da forma de relevo. Portanto, esse padrão pode ser entendido como eficiente na manutenção de escarpas íngremes, ainda que fraturadas.

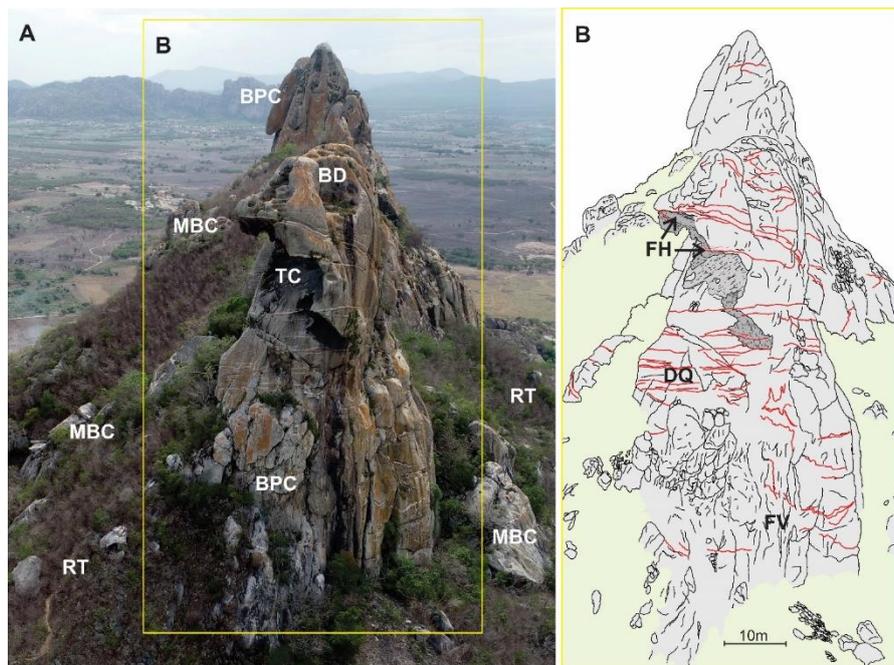


Figura 3 - Feições típicas em inselberg de fraturamento (Pedra da Galinha Choca – Quixadá, CE). A - Feições de relevo na escarpa granítica: BCP – Bloco pré-colapso; BD – Bacias de dissolução; TC- Tafoni de colapso; MBC -Megablocos colapsados; RT – Rampa de tálus. B – Identificação esquemática de estruturas na escarpa: FH – Fraturas horizontais; DQ- Diques; FV- Fraturas verticais.

Com base no que foi observado na área de estudo, verifica-se que a intensa propagação de fraturas persistentes (Eppes, 2022) requer discontinuidades que concentram os diversos esforços que o corpo rochoso recebe, sejam tectônicos ou climáticos. Anisotropias “primárias” herdadas das fases de pré-cristalização do corpo granítico, tais como redes de diques e veios e a foliação de fluxo magmático concentram e direcionam os processos de intemperismo seletivo (Figura 4-1) (Vidal Romaní, 2008). Com a continua exumação do corpo granítico em relevo e formação de fraturas de alívio paralelas à superfície, a intersecção de fraturas aumenta. Dada a instabilidade das escarpas

relativa à intensa desintegração mecânica, as escarpas íngremes dos inselbergs não apresentam elevado desenvolvimento de feições associadas à dissolução e processos de intemperismo químico (e.g. *gnammas* e caneluras), os quais exigem certa estabilidade para seu desenvolvimento. Nesse estágio, o fraturamento e colapso de blocos faz a escarpa recuar lateralmente (Migoñ, 2006) (Figura 4-2). Em estágios mais avançados da evolução de escarpas íngremes e fraturadas, estas tendem a dar lugar à rampa de talus que, não apenas se torna um setor do inselberg, mas constitui a morfologia resultante da intensa desintegração mecânica (Figura 4-3).

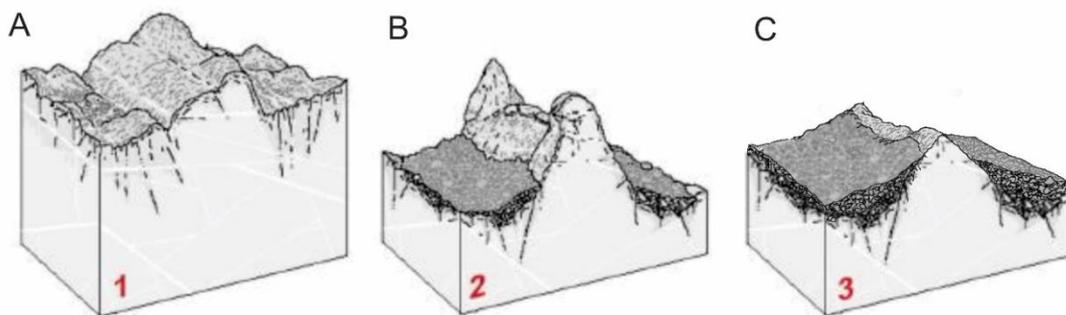


Figura 4 - Modelo de evolução esquemático para inselbergs do tipo 2 (fraturamento)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Escarpas caracterizadas por redes de fraturas multidirecionais, rampas de talus e incipiente desenvolvimento de feições de dissolução evidenciam a preponderância dos processos de colapso de blocos como principal elemento morfogenético. Verificou-se que esses processos, quando ocorrem em rochas graníticas, resultam de fraturamentos ao longo de planos de diques/veios, sheeting joints (fraturas paralelas à superfície) e fraturas verticais, os quais tendem a reduzir a integridade da rocha levando à gradual desintegração mecânica. Foi observado que inselbergs caracterizados por feições de fraturamento, a exemplo da Pedra da Galinha Choca (Quixadá, NE do Brasil), possuem configurações estruturais similares às observadas em feições como torres e pináculos graníticos, comumente sustentados por um encaixe de fraturas multidirecionais, e cuja forma evolui por processos de erosão catastróficos (associados ao colapso).

Propõe-se, portanto, que o controle estrutural na evolução inselbergs fraturados se dá uma vez que a interseção de fraturas advindas de processos tectônicos pretéritos e exumação do corpo rochoso promove, por um lado, o efeito encaixe de blocos na escarpa,

que permanece íngreme e sustentam a configuração estrutural da rocha. Por outro lado, os graduais processos de erosão ao longo de descontinuidades geram instabilidade na escarpa, a qual tende a ser modelada por feições de colapso. Blocos colapsados nas adjacências das escarpas formam, por sua vez, amplos depósitos de talus, os quais evidenciam avançados estágios de ação do intemperismo mecânico.

Palavras-chave: Fraturas; Escarpa; Blocos; Colapso.

REFERÊNCIAS

BASTOS, F.H., LIMA, D.L.S., CORDEIRO, A.M.N., MAIA, R.P. RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA. In: JÚNIOR, O. A. C., GOMES, M.C.V., GUIMARÃES, R.F., GOMES, R.A.T. Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira. São Paulo: União da Geomorfologia Brasileira, 2021, pp. 737-762.

CHIGIRA, M. Rock pillars shaped by columnar joints in granite at Mt. Mizugaki, Central Japan. **Island Arc**, v. 30, e12424, 2021.

CHIGIRA, M.; HIRATA, T. The Kui boulder fields: Formation processes controlled by columnar joints of granodiorite. **Catena**, v. 207, p. 1-10, 2021.

CHIGIRA, M.; KATO, H. Granite rock towers shaped by mesh-like joint sets, which formed in the shallower portion of a granite body during cooling at depth. **Island Arc**, v. 32, e12484, 2023.

DANTAS, M., SHINZATO, E., RENK, J.F.C., MORAES, J.M., MACHADO, M.F., NOGUEIRA, A.C. Emprego Da Geomorfologia Para Avaliação De Suscetibilidade A Movimentos De Massa E Inundação – Mimoso Do Sul/Es. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 4, p. 23 – 43, 2014.

EPPEES, M-C.M. 2022. Mechanical Weathering: A Conceptual Overview. In: SHRODER,

FERNANDES, N.F., TUPINAMBÁ, M., MELLO, C.L., PEIXOTO, M.,N.,O. Rio de Janeiro: A Metropolis Between Granite-Gneiss Massifs. In: MIGON, P. (Ed.), **Geomorphological Landscapes of the World**. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2010, pp. 89 -100. DOI 10.1007/978-90-481-3055-9_10.

KRABBENDAM, M., HALL, A. M., PALAMAKUMBURA, R. M., FINLAYSON, A. Glaciotectonic disintegration of roches moutonnées during glacial ripping in east Sweden. **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 104, p. 35-56, 2022. <https://doi.org/10.1080/04353676.2021.2022356>.

MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L. do; BEZERA, F. H. R.; CASTRO, H. S. de; MEIRELES, A. J de A.; ROTHIS, L. M. Geomorfologia do campo de *inselbergues* de Quixadá, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 240-253, 2015.

MAIA, R.P.; BASTOS, F.H.; WALDHERR, F.R.; NASCIMENTO, M.A.L.; AULER, A.S. 2022. Breves considerações sobre Tafoni em *inselbergs*: aspectos genéticos e morfoestruturais. **Revista Brasileira de**

MIGÓN, P. Structural control in the evolution of granite landscape. **Acta Universitatis Carolinae**, v. 39, n. 1, p. 19-32, 2004.

MIGÓN, P. **Granite Landscapes of the world**. New York: Oxford University Press, 2006, 384p.

MIGÓN, P. Weathering Mantles and Long-Term Landform Evolution. In: SHRODER, J. (Editor in Chief), POPE, G.A. (Ed.). **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, CA, vol. 4, Weathering and Soils Geomorphology, 2013, p. 127–144.

TWIDALE, C.R. Granitic *inselbergs*: Domed, block-strewn and castellated. **The Geographical Journal**, v. 147, p. 54-71, 1981.



XX

**Simpósio Brasileiro
de Geografia Física Aplicada**

IV Encontro Lusofroamericano de Geografia Física e Ambiente

VIDAL ROMANI, J. R. Forms and structural fabric in granite rocks. **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, v. 33, p. 175 – 198, 2008.