

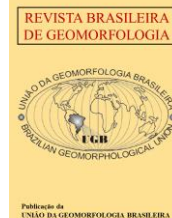


<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 23, nº 4 (2022)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2090>



Artigo de Pesquisa

Breves considerações sobre Tafoni em inselbergs: aspectos genéticos e morfoestruturais

Brief considerations on Tafoni in inselbergs: genetic and morphostructural aspects

Rubson Pinheiro Maia¹, Frederico de Holanda Bastos², Felipe Rodrigues Waldherr³, Marcos Antônio Leite do Nascimento⁴, Augusto Sarreiro Auler⁵

- ¹ Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 911, Fortaleza, CE, CEP: 60455-760, Brasil. rubsonpinheiro@yahoo.com.br
ORCID: orcid.org/0000-0002-8905-0121
- ² Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará. Campus do Itaperi, Fortaleza, CE. CEP: 60740-903. Brasil. fred_holanda@yahoo.com.br
ORCID: orcid.org/0000-0002-4330-7198
- ³ Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 20550-013, Brasil. felipewald@gmail.com
ORCID: orcid.org/0000-0002-6036-9737
- ⁴ Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av. Senador Salgado Filho, Natal, RN, CEP: 59.072-970, Brasil. marcos@geologia.ufrn.br
ORCID: orcid.org/0000-0002-8158-7186
- ⁵ Instituto do Carste. Rua Brasópolis, 139, Floresta, Belo Horizonte, MG, CEP: 30.150-170, Brasil. aauler@gmail.com
ORCID: orcid.org/0000-0002-8454-3381

Recebido: 01/02/2021; Aceito: 29/03/2022; Publicado: 01/10/2022

Resumo: Os *tafoni* (*tafone* no singular) são cavidades naturais localizadas em afloramentos escarpados associados a diferentes litologias, tendo uma expressiva ocorrência em inselbergs e domos graníticos residuais. São originados a partir da intemperização química ao longo de superfícies de descontinuidades como fraturas, falhas, veios, diques, *sets* de juntas, onde se instalam microambientes de maior umidade. Nesse trabalho foram analisadas diversas ocorrências de tafoni no Ceará, Paraíba, Bahia e Rio de Janeiro. A partir de revisão bibliográfica e trabalhos de campo foi proposto um modelo morfogenético para a formação de cavidades com base no controle estrutural e, por vezes, adicionado ao petrográfico. A meteorização inicial se dá preferencialmente ao longo das fraturas, especialmente nas zonas onde a água pode percolar ou mesmo residir. A partir daí, as depressões vão sendo alargadas por meio da progressiva descamação das superfícies interiores e a sua desintegração granular. Ainda na fase de fraturamento, que antecede a fase de colapso, a expansão da cavidade cria nichos de intemperismo onde a variação de temperatura e umidade é diretamente proporcional ao volume removido. Uma vez iniciada a fase de colapso, o processo de expansão da cavidade dá-se por formação e coalescência de *honeycombs*, levando a expansão ascendente originando assim os *tafoni*.

Palavras-chave: Paisagens graníticas; Cavidades de intemperismo; Deformações rúpteis

Abstract: Tafoni are natural cavities incised in to vertical rock surfaces associated with different lithologies, having an expressive occurrence in inselbergs and residual granitic domes. Tafoni are cavities that form in the escarpments of inselbergs or at the bases of residual granitic domes. They are originate from chemical weathering along fractures, faults, veins, dykes,

joint sets, where microenvironments of higher humidity are installed. In this work several occurrences of tafoni in Ceará, Paraíba, Bahia and Rio de Janeiro states (Brazil) were analysed. From literature review and fieldwork, a morphogenetic model for cavity formation was proposed based on structural control and sometimes added to petrographic control. The initial weathering occurs preferably along fractures or other lines of discontinuity, especially in areas where water can seep through or even reside. Subsequently, the depressions are widened through the progressive flaking of the inner surfaces and their granular disintegration. Still in the fracturing phase, which precedes the collapse phase, the expansion of the cavity along the fracture planes creates niches of weathering where the variation in temperature and humidity is directly proportional to the volume removed. Once the collapse phase has started, the cavity expansion process occurs through the formation and coalescence of honeycombs, leading to the upward expansion, thus originating the tafoni.

Keywords: Granitic landscapes; Weathering cavities; Ruptile deformations

1. Introdução

Tafoni (plural de *tafone*) é um termo proveniente da ilha de Córsega, na França, e que traduzido para o português, têm o significado de perfuração ou janela (ROQUÉ et al., 2013). Pode ser definido como um oco, produzido por meteorização local em uma face rochosa íngreme (ALLABY, 2013). Tratam-se de formas resultantes do intemperismo cavernoso que normalmente possuem vários metros cúbicos de volume e têm entradas em forma de arco (GOUDIE, 2003). Em seu interior, feições análogas como alvéolos e *honeycombs* são usualmente empregadas para descrever a mesma formação (MUSTOE, 1982; VIDAL-ROMANÍ; YEPES TERMIÑO, 2004).

Os *tafoni*, assim como os *honeycombs*, são alguns dos fenômenos geomorfológicos mais enigmáticos e intrigantes pois, apesar do esforço de pesquisas ao longo de mais de um século (KLIMCHOUCK, 2017) permanecem como feições ainda não completamente compreendidas (INKPEN; HALLB, 2016). São comuns em todo o mundo, independente da latitude (GOUDIE; VILES, 1997) e foram descritos em litologias distintas (GROOM et al., 2015).

O presente trabalho, pretende demonstrar, de maneira inicial, como fatores estruturais podem constituir o ponto inicial de partida para o intemperismo cavernoso em rochas graníticas. Para tanto, foram escolhidas 4 unidades amostrais, compostas por inselbergs com *tafoni*. São elas, o campo de inselbergs de Quixadá, no Ceará, o complexo Monte das Gameleiras na Paraíba, Inselbergs de Itatim na Bahia e o Pão de Açúcar no Rio de Janeiro. As áreas amostrais selecionadas estão indicadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 da Figura 1.



Figura 1. Distribuição geográfica das áreas amostrais com presença de *tafoni*. 1: Inselsbergs de Quixadá – Ceará. 2: Pedra da Boca – Araruna – Paraíba. 3: Itatim – Bahia. 4: Pão de Açúcar – Rio de Janeiro.

As áreas escolhidas representam importantes paisagens graníticas no contexto brasileiro e se localizam em diferentes latitudes (Inselsbergs de Quixadá/CE - 4°58'S; Inselsbergs de Araruna/PB - 6°27'S; Inselsbergs de Itatim/BA - 12°43'S; Pão de Açúcar no Rio de Janeiro/RJ - 22°56'S), sendo as três primeiras situadas em domínio natural semiárido de baixa latitude e a última em domínio tropical úmido.

Ao todo, foram escolhidos 10 *tafoni* em domos graníticos sendo os critérios de escolha a dimensão horizontal superior a 10 metros e a presença de *honeycombs* em seu interior. A localização das áreas amostrais envolveu 3 províncias geológicas, nomeadamente Borborema (Quixadá/CE e Araruna/PB), São Francisco (Itatim/BA) e Mantiqueira (Pão de Açúcar/RJ) (ALMEIDA et al, 1977).

Do ponto de vista altimétrico, Quixadá e Itatim localizam-se em superfícies de aplainamento desenvolvidas entre as cotas de 200 m e 300 m (MAIA et al, 2015, LIMA; CORREA; GOMES, 2015), podendo seus inselsbergs, atingirem cotas próximas de 500 m. Araruna se situa nos esporões setentrionais do planalto da Borborema cujo setor dos inselsbergs analisados localiza-se em cotas que variam de 200 a 400 m. Já o Pão de Açúcar (Rio de Janeiro) constitui um domo rochoso localizado no nível do mar cujo topo possui 392 m (FERNANDES et al., 2010).

2. Materiais e Métodos

A metodologia desse trabalho contou primeiramente com ampla revisão bibliográfica acerca de relevos graníticos e, mais especificamente, sobre cavidades do tipo *tafone* e *honeycomb*. As ferramentas de geotecnologias viabilizaram a construção de um banco de dados geoespaciais com arquivos vetoriais e matriciais. Nessa perspectiva, foi realizado o tratamento digital de imagens do Sensor TM – Landsat 5 e do radar SRTM com resolução espacial de 30 m. As imagens de radar permitiram a elaboração de blocos diagramas que deram suporte à interpretação geomorfológica e à representação tridimensional do relevo. As informações geológicas de mapeamentos regionais utilizadas encontram-se disponíveis no site do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), tendo sido consultadas as folhas Quixadá (SB.24-V-B-VI) e Quixeramobim (SB.24-V-D-III), ambas na escala de 1:100.000, e as folhas Natal (SB.25), Salvador (SD.24) e Rio de Janeiro (SF.23) na escala de 1:1.000.000. As interpretações dos mapas geológicos juntamente com a hipsometria proporcionada pela SRTM permitiram correlacionar as macrounidades de relevo com o contexto litoestrutural regional de cada recorte espacial analisado.

Posteriormente, os trabalhos de campo e reconhecimento objetivaram a identificação e a caracterização das formas de relevo em escala de detalhe. A identificação e a classificação de microformas de dissolução seguiram os critérios taxonômicos de Migón (2006). Em cada ocorrência, durante as observações de campo, foi realizada petrografia macroscópica objetivando sua caracterização mineralógica e litoestrutural (planos de foliação ígnea/metamórfica). Essa caracterização permitiu estabelecer correlações entre formas, faciologia, textura e estrutura, conforme preconizado por Maia et al., (2015). A presença de *tafoni* nas escarpas dos domos graníticos foi o principal critério de escolha das áreas amostrais.

3. Resultados

Foi verificado que nos casos em que a rocha granítica apresenta veios, o fraturamento por alívio de pressão soma-se ao deslocamento ao longo de superfícies de descontinuidade representadas pelo contato entre o veio e a rocha hospedeira (Figura 2).

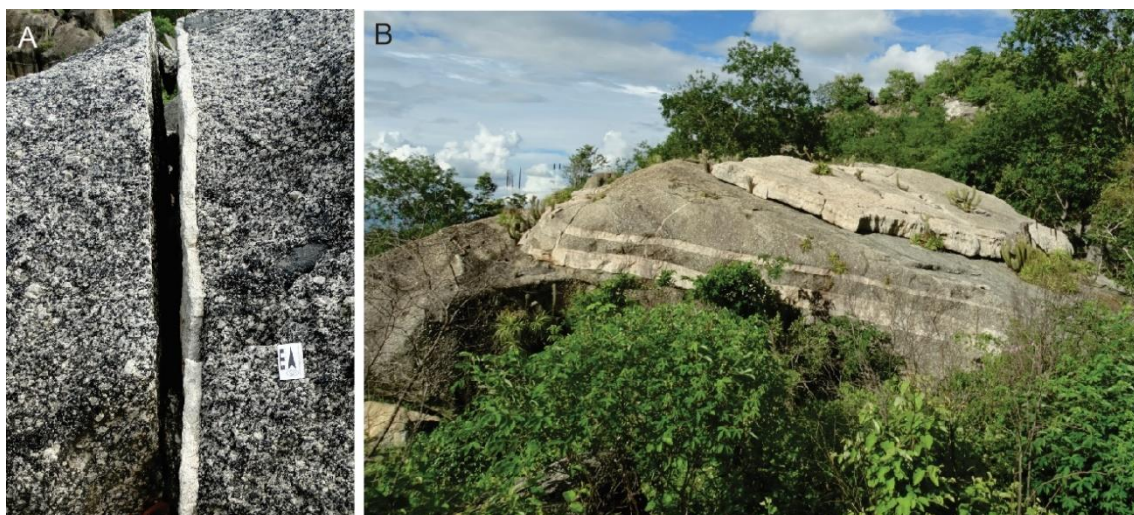


Figura 2. Exemplos de fraturas verticais (A) e horizontais (B) ao longo de superfícies de descontinuidade representadas por veios em rocha granítica. (Quixadá/CE, 2018).

Além de ser um condicionador direcional do fraturamento, os veios podem também ser ponto de partida para a formação de micro-cavidades. Essas cavidades surgem como *vugs* centimétricos que se expandem no sentido oposto ao veio, consumindo a rocha granítica, por meio da alteração de minerais máficos (micas e anfibólios) e/ou feldspatos, com formação de *grus* (Figura 3A). A expansão da cavidade se dá de forma homogênea em rochas isotrópicas na forma de cúpulas. Em meios anisotrópicos as cavidades são assimétricas com eixo de maior desenvolvimento ao longo da foliação/faturamento.

Na ocorrência de fraturamento multidirecional, principalmente quando se tem veios em várias direções, ou quando se soma ao fraturamento por descompressão, blocos podem ser isolados, criando-se assim, o contexto

necessário para o colapso de blocos. O espaço vazio deixado na escarpa pelo colapso total ou parcial de blocos constitui a cavidade de colapso (Figura 3B).

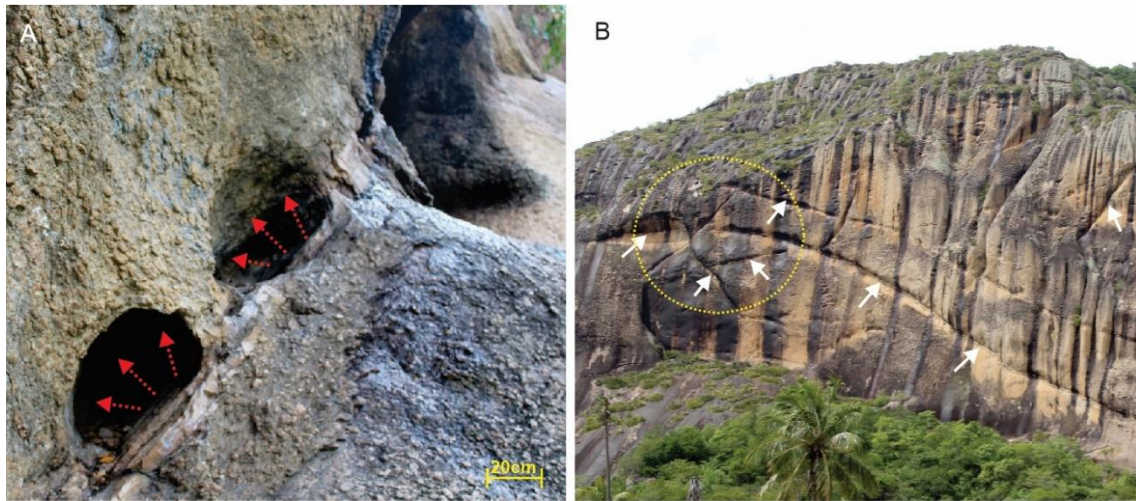


Figura 3. Gênese de cavidades ao longo de superfície de descontinuidade representadas por veios de quartzo: As setas vermelhas indicam o sentido de expansão da cavidade (A) e as setas brancas indicam as reentrâncias erosionais formadas na zona de contato entre os veios e o granito (B). O círculo amarelo pontilhado indica a área de fraturamento multidirecional. (Araruna/PB, 2018)

Essa evolução pode ser resumida em quatro estágios (Figura 4): a formação de fraturas de alívio de pressão e o intemperismo ao longo das fraturas origina os *honeycombs* na fase pré-colapso (Figuras 4A e 4B). Nesse modelo evolutivo as fraturas condicionam os ambientes propícios para intemperização e consequente desenvolvimento dos *honeycombs*. Posteriormente, o avanço do intemperismo individualiza os blocos promovendo seu colapso; tal processo dá origem às cavidades e expõe os *honeycombs* (Figura 4C e 4D).

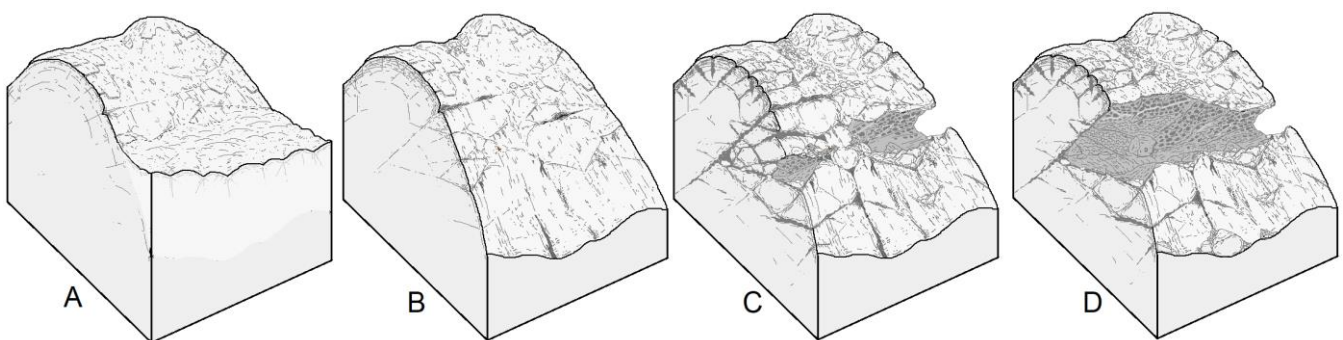


Figura 4. Modelo de processo de formação de *tafoni* a partir de fraturas: exumação de corpo ígneo (A), formação de fraturas de alívio de pressão (B), fraturamento, intemperismo e colapso de blocos (C e D) (Adaptado de MIGÓN; MAIA, 2020).

Dos exemplos analisados nesse trabalho, todos os *tafoni* apresentaram eixo de maior desenvolvimento coincidente com a direção de fraturamento, veios ou foliação. Contudo, destaca-se que as amostras adotadas, apesar de muito representativas em termos regionais, podem não refletir uma evolução global de cavidades de intemperismo do tipo *tafoni*.

A maioria dos exemplos de cavidades ou *tafoni* gerados inicialmente por colapso estão comumente alinhados ao longo de superfícies de descontinuidade como fraturas, falhas, veios e diques. Quando o colapso antecede a fase de formação de *honeycombs*, o teto da cavidade apresenta-se como uma superfície linear, desprovida de feições de dissolução (Figura 5).



Figura 5. Cavidade formada por colapso (Quixadá, 2016).

Em alguns casos é possível visualizar o veio como superfície de deslocamento, como é o caso da Pedra da Galinha, em Quixadá – CE (Figura 6). Observa-se que o veio como superfície de propagação de fratura, também pode condicionar o início da formação de *honeycombs*. Quando o processo de alteração remove parcialmente o veio ou o mesmo fora removido em parte pelo colapso, a superfície granítica exposta, do teto da cavidade, passa a expor *honeycombs* até então desenvolvidos na fase pré-colapso e, a partir daí, a evolução dos *honeycombs* passa para a fase pós-colapso.

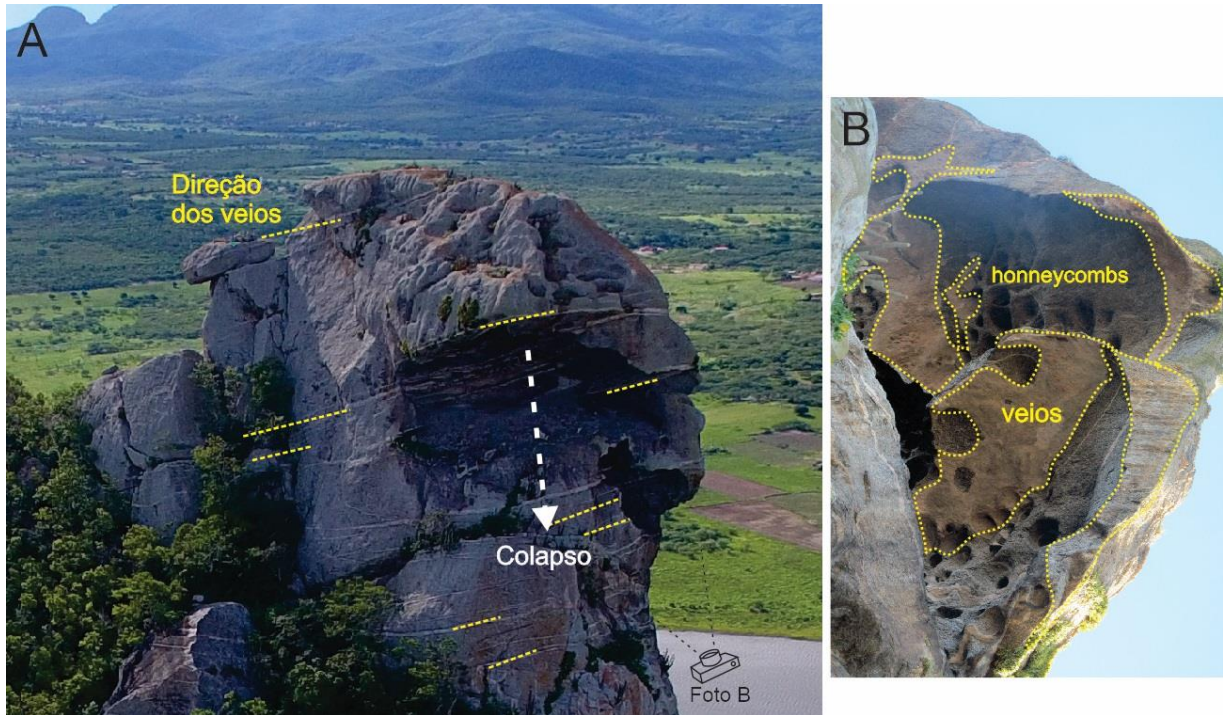


Figura 6. *Tafone* da Pedra da Galinha – Quixadá, CE: cavidade formada por colapso (A); teto da cavidade de colapso mostrada na foto A, (B) (Quixadá/CE, 2017)

O colapso progressivo de blocos expõe as superfícies internas das fraturas afetadas por diferentes graus de alteração e, portanto, por diferentes graus de desenvolvimento de *honeycombs*. Estes nucleiam os tetos e, em menor intensidade, as paredes laterais das cavidades, com cúpulas polimorfas centimétricas e decamétricas. Sua coalescência resulta na expansão da cavidade, gerando vazios de volume superior ao da abertura frontal.

A expansão das cavidades tem os planos de descontinuidade como ponto de partida. Atuando como núcleos de resistência à alteração química, os veios condicionam a tafonização. De acordo com a Figura 6 é possível perceber que a morfologia do *tafone* é herdada pela disposição e orientação dos veios de quartzo ou diques de áplitos (rocha granítica, clara e granulação muito fina, formada por quartzo e feldspatos). Esses veios também controlam a expansão da cavidade, que é notoriamente maior onde sua concentração é mais elevada (parte direita da Figura 7B). Desse modo, inselbergs em rochas com elevado grau de anisotropia, apresentam cavidades assimétricas, formadas por uma expansão heterogênea diretamente proporcional à densidade de planos de descontinuidade.

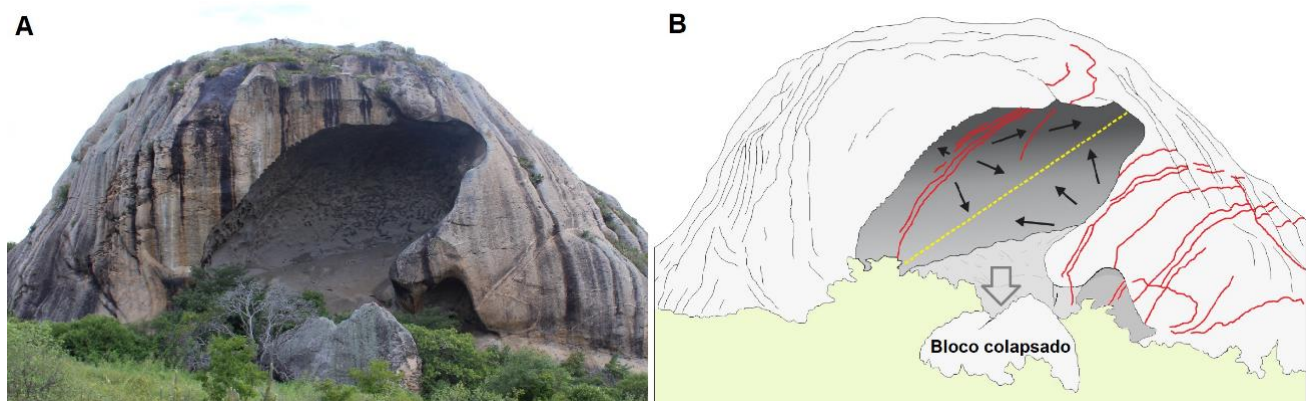


Figura 7. *Tafone* em inselberg, Araruna – PB (A); representação esquemática (B). Destaque para veios (traços vermelhos). Tracejado amarelo indica o sentido de maior desenvolvimento da cavidade. Setas pretas indicam o sentido de expansão da cavidade a partir dos veios em seu interior. (Araruna/PB, 2018)

O fraturamento multidirecional, nos casos em que os veios não são dispostos em *sets* paralelos, leva ao desprendimento e colapso de blocos. Normalmente, cavidades formadas dessa maneira, possuem nas proximidades fragmentos residuais. Esses casos são mais comuns quando as condições topográficas são favoráveis para a manutenção local do bloco colapsado.

Na Figura 8 é possível perceber que uma das faces do bloco colapsado, está nucleada por *honeycombs*, indicando dessa forma, a posição original do bloco na fase pré-colapso.



Figura 8. Cavidade de colapso em inselberg granítico. (Quixadá/CE, 2016)

Outro exemplo de *tafone* com controle estrutural pode ser visto na Pedra do Letreiro (Araruna-PB), denominação dada em virtude da existência de registros rupestres no local. Trata-se de uma cavidade de aproximadamente 70 m de abertura horizontal com cerca de 30 m de altura. No interior, veios com cerca de 50 cm de espessura formam *sets* paralelos com mergulho a 45 graus para SW (Figura 9B). Essa direção e esse mergulho coincidem com o teto da cavidade, que atualmente é nucleado por *honeycombs* em diferentes graus de desenvolvimento.

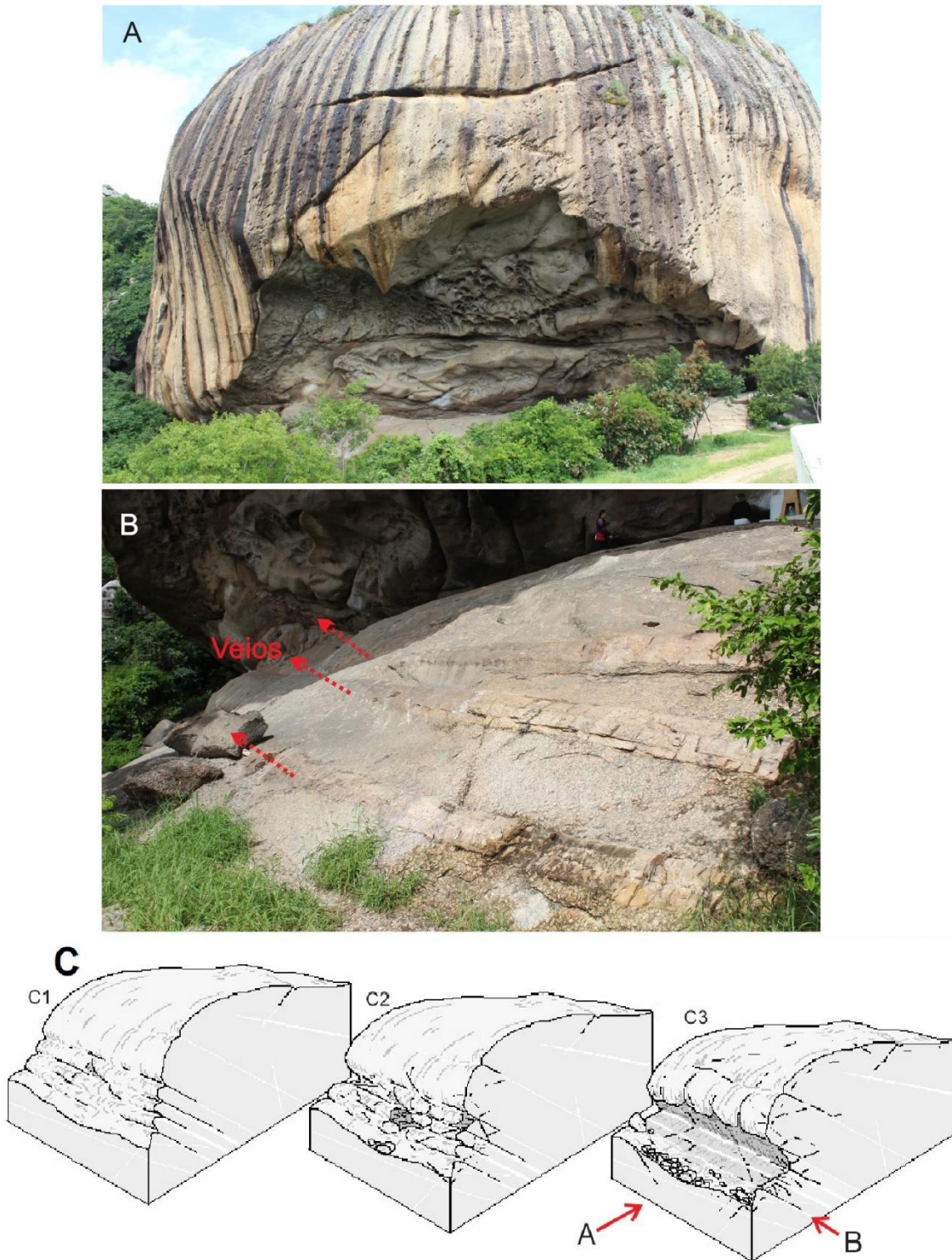


Figura 9. *Tafoni* na Pedra do Letreiro – PB: foto frontal (A); foto lateral (B), com destaque para veios de quartzo e diques de áplitos (neste caso os mais espessos e de cor rosa clara são os diques de áplitos); proposta de modelo evolutivo baseado no controle estrutural exercido por *sets* de diques paralelos (C). No bloco diagrama C3, as setas vermelhas indicam a posição das fotografias. (Araruna/PB, 2018)

Ainda na mesma área, tem-se o inselberg Pedra da Boca, referência associada ao formato do *tafone*. Trata-se de um inselberg de escarpamento descontínuo, onde a individualização é feita por um patamar subhorizontal que limita a porção inferior da superior. Na porção superior, a densidade de veios é maior, assim como a densidade de fraturas e resquícios de enclaves de rochas máficas (dioritos ricos em biotita e anfibólio). Dessa forma, as feições

de colapso assim como o próprio *tafone*, constituem a expressão geomorfológica da trama estrutural adicionada à litológica.

Foi observado que os padrões de distribuição de estruturas rúpteis geram a zonação de feições geomorfológicas indicando o seu controle estrutural. A Figura 10B demonstra que a distribuição de fraturas e veios possui direta relação com o relevo. A distinção feita entre os quadrantes B1, B2 e B3 utiliza como base a expressão geomorfológica da intensidade da deformação associada ao setor. Nesse sentido, observa-se que o setor B1 (Figura 10B), por ser o nível superior do inselberg e, portanto, com maior tempo de exposição por exumação, concentra a maior densidade de fraturas. Duas cavidades paralelas, com padrões de forma e tamanho semelhantes, mas com grau de desenvolvimento diferentes, constituem a principal feição geomorfológica do setor. Neste caso a questão litológica também favoreceu a formação do *tafone*, tendo em vista que na cavidade maior e mais aberta tem-se enclaves de dioritos no teto da boca, enquanto que na segunda não são vistos tais enclaves. A cavidade superior constitui um típico *tafone* de escarpa granítica, com piso inclinado no sentido da escarpa e teto nucleado por *honeycombs*. Trata-se de concavidades circulares densamente distribuídas na forma de nichos de intemperismo. Sua ocorrência tem-se mostrado frequente em cavidades de colapso estando irregularmente dispostos ao longo de superfícies de descontinuidades como fraturas e veios.

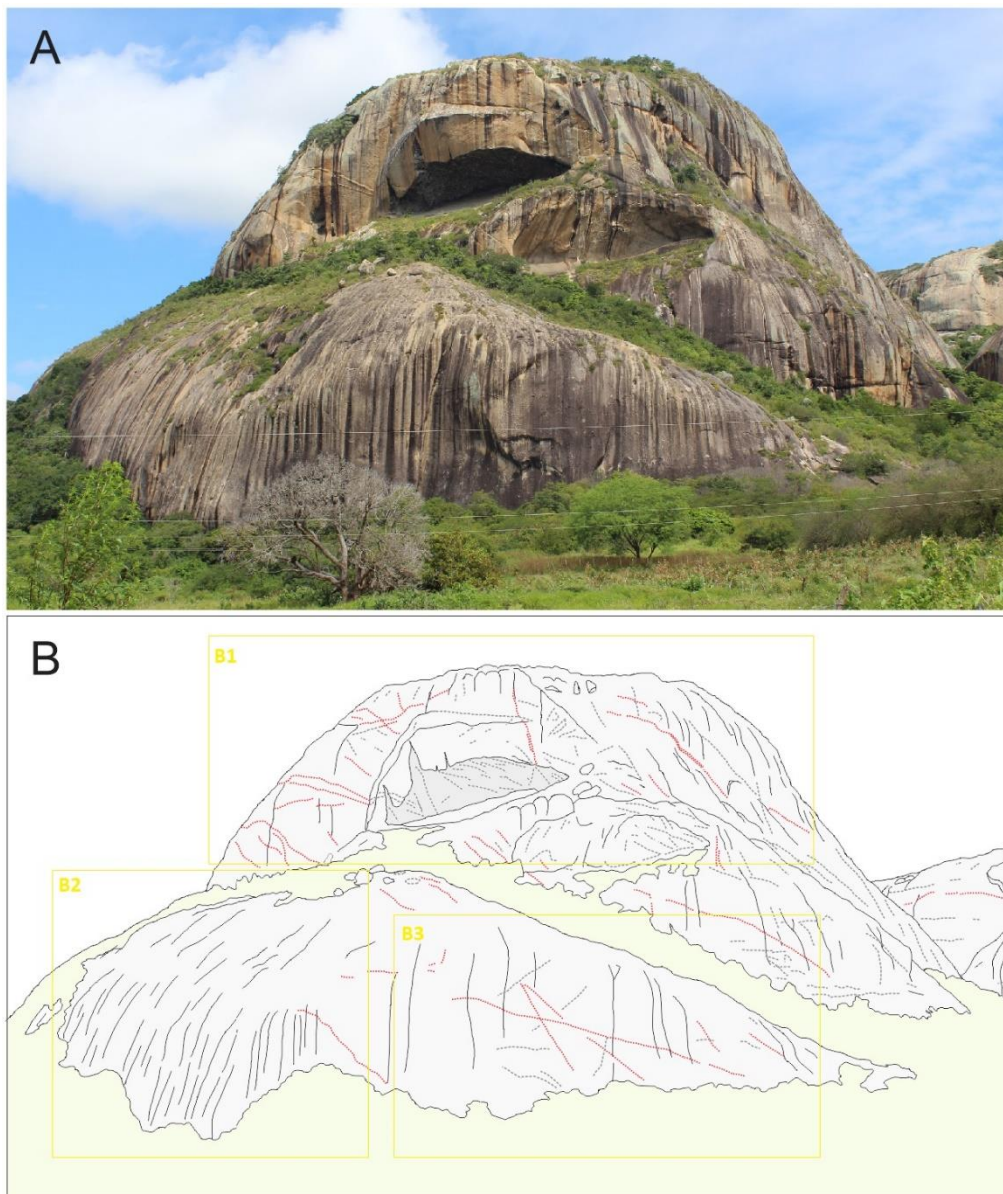


Figura 10. Inselberg com *tafoni* (Pedra da Boca) – Araruna, PB (A); representação esquemática acerca da distribuição de fraturas e veios/diques e sua relação com o relevo (B); traços pretos representam feições de dissolução; tracejado vermelho representa veios/diques; tracejado cinza representa fraturas. (Araruna, 2018)

Já o setor B2 (Figura 10B) apresenta a maior concentração de feições de dissolução do tipo canelura/*karren*. Quando se analisa o setor B3, a menor concentração de feições de dissolução pode estar associada à maior concentração de veios de quartzo sub-horizontais, que aumentam a predisposição ao fraturamento e colapso e, de modo distinto, a resistência a dissolução.

Nessa perspectiva, pode-se inferir que as superfícies rochosas com maior grau de faturamento e/ou veios são mais propícias a condicionar os processos de tafonização do que as superfícies atacadas por processos de intemperismo linear no tipo *karren*. Isso se deve ao fato de que os sistemas de faturamento e/ou veios proporcionam ambientes ideais para a ação de intemperismo cavernoso, além de viabilizarem processos de colapso responsáveis pela exposição de feições de dissolução desenvolvidas em fase pré-colapso.

Na região de Itatim, nordeste do estado da Bahia, uma série de inselbergs ocorrem em uma área essencialmente plana, pertencente à bacia do Rio Paraguaçu. Muitos destes inselbergs apresentam *tafoni* com alturas superiores a 50 m. A área se desenvolve em uma zona de transição entre duas unidades geomorfológicas e tectônicas, o Planalto de Maracá (localizado sobre o bloco crustal Jequié) e a Superfície Sertaneja, desenvolvida por sobre o bloco crustal Jequié (LIMA; CORRÊA-GOMES, 2015). Os inselbergs se desenvolvem em ortognaisse granulítico, enderbitos e charnockitos do Complexo Jequié (SANTIAGO, 2010).

Os *tafoni* de Itatim ocorrem à meia altura nos inselbergs, raramente na base, sendo observada a ocorrência de *tafoni* superpostos, com o *tafone* superior de maiores dimensões. Isto sugere uma sequência evolutiva/cronológica relacionada à progressiva exposição dos inselbergs. O principal elemento estrutural responsável por essa separação sobreposta de *tafoni* parece estar associado à presença de veios ou diques.

Os *tafoni* da área se caracterizam pela presença de pisos lisos e tetos com evolução de *honeycombs*, com destaque para sua grande dimensão. Ao menos 30 *tafoni* de grandes dimensões (>20 m de largura) foram identificados, sendo quatro com largura superior a 100 m (Figura 11).



Figura 11. Exemplos de *tafoni* de grandes dimensões em Itatim, BA: *tafone* no Morro do Letreiro (A e B); *tafoni* superpostos no Morro da Toca (C); e outro exemplo de *tafoni* sobrepostos na mesma região. (Itatim/BA, 2018)

As superfícies dos inselbergs de Itatim estudados nesse trabalho apresentam juntas oblíquas descontínuas e subparalelas (Figura 12A), que são propícias à acumulação de água, gerando um microambiente favorável a alterações químicas e ação de processos intempéricos. Nessa perspectiva, com o desenvolvimento do *tafone*, o efeito de sombra da cavidade propicia maior manutenção da umidade e temperatura inferior aos setores de rochas expostas. Estas fraturas oblíquas podem ser observadas tanto nos afloramentos quanto no interior de *tafoni* de grandes dimensões, como no Morro do Letreiro (Figura 12B), marcando o limite entre o piso e o teto. Isto sugere que a iniciação do *tafone* se deu seguindo estes horizontes. A expansão do *tafone* ocorre notadamente devido a precipitação de cristais de halita, o que causa, via haloclastia, o deslocamento de porções do teto.

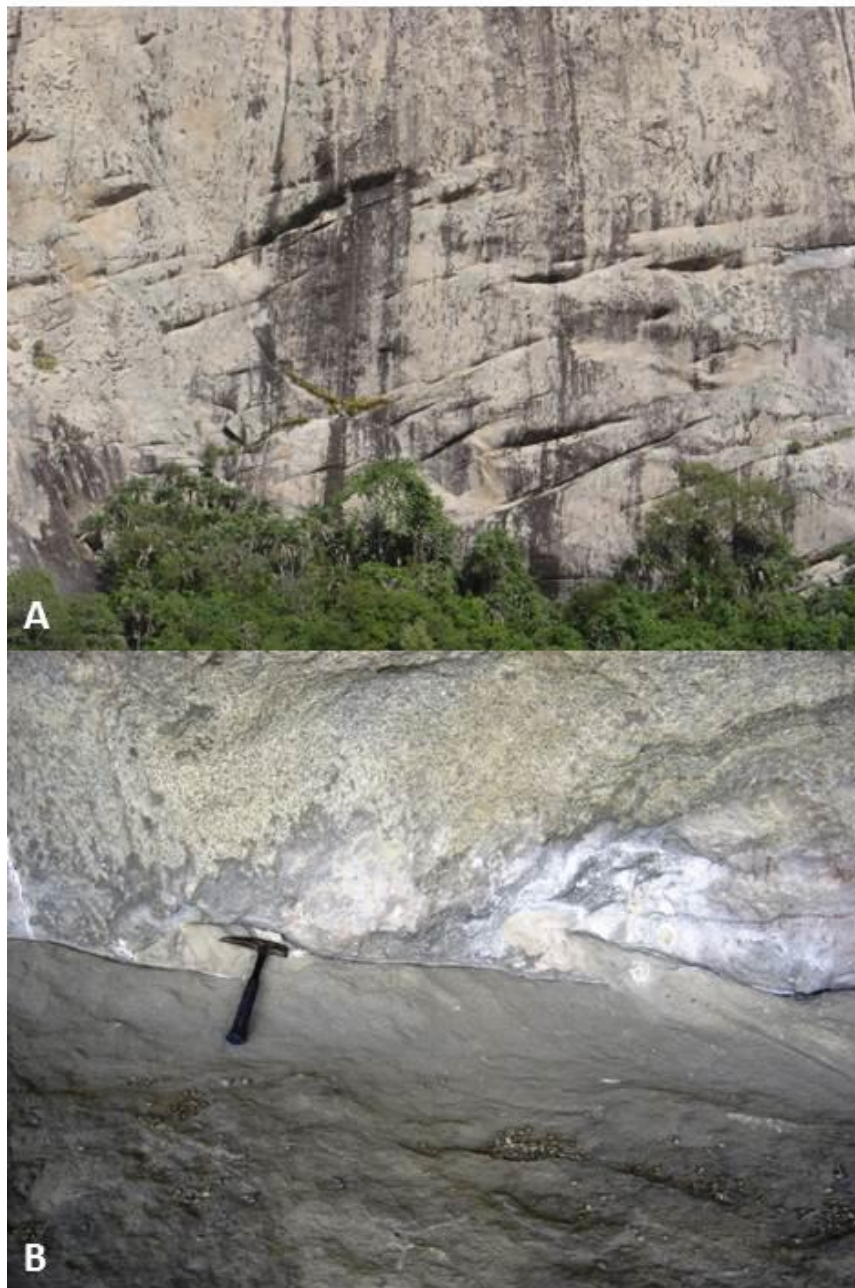


Figura 12. Fraturas oblíquas na superfície de um inselberg (A) e fraturas oblíquas descontínuas no contato entre piso e teto no *tafone* inserido no Morro do Letreiro (B) (Itatim/BA, 2018).

Na cidade do Rio de Janeiro, entre os afloramentos rochosos com ocorrência de *tafone* destaca-se o morro do Pão de Açúcar. O morro do Pão de Açúcar é considerado marco natural e histórico do município e uma das principais feições do relevo granítico-gnáissico do Brasil, sendo amplamente reconhecido no meio internacional em virtude de sua beleza cênica. Cabe ressaltar que durante o *31st International Geological Congress*, em julho de 2000, o morro do Pão de Açúcar foi declarado como um dos principais sítios geológicos mundiais, recebendo inclusive uma placa comemorativa (SILVA; RAMOS, 2002).

Na face norte do morro do Pão de Açúcar, porção voltada para o interior da Baía de Guanabara, é possível observar uma ampla distribuição de cavidades do tipo *tafone* de dimensões variadas e que recobrem a superfície rochosa constituída por gnaisse facoidal (ortognaisse de composição granítica associada a suítes magmáticas sin-colisionais) (VALERIANO et al., 2003). Os tafoni de maiores dimensões tendem a ocorrer sob a fratura (ou lasca) de descamação suspensa (*sheet structure*) (Figuras 13 e 14). A distribuição das cavidades do tipo tafone no paredão

rochoso configura uma forma semelhante a uma ave e que ao longo de tempo acabou por receber dos populares a alcunha de "Íbis do Pão de Açúcar".

Assim, a famosa Íbis do Pão de Açúcar corresponde ao total de cinco tafoni com disposição diagonal e que se encontram localizados em uma altitude de aproximadamente 160 m. Nas paredes internas dos tafoni podem ser observados diferentes tipos de desagregação, como a desagregação granular e descamação em placas (*flaking*), assim como o desenvolvimento de alvéolos isolados ou em grupos (*honeycombs* ou *estrutura em panal*), protuberâncias convexas e estruturas mamelonares.

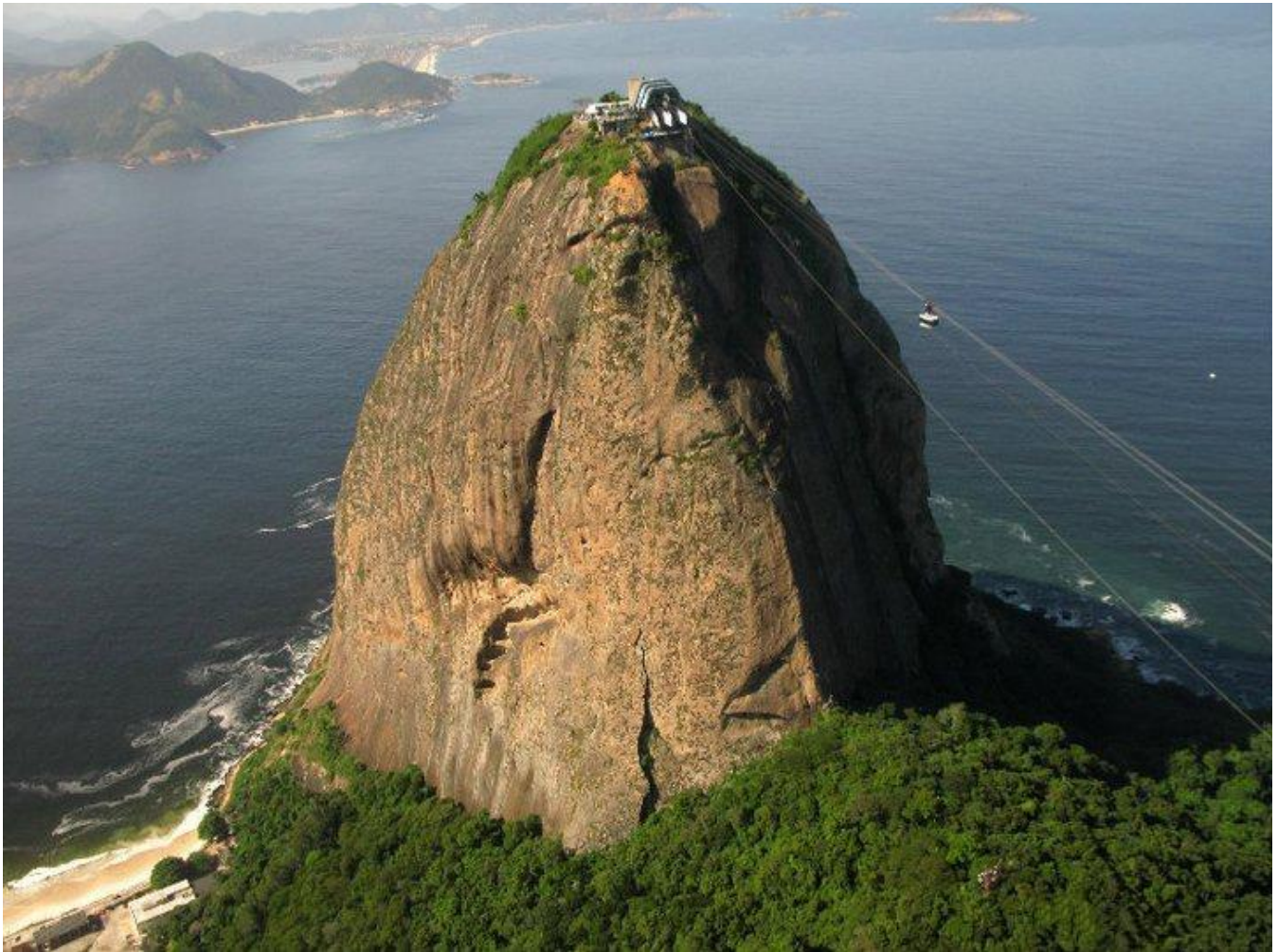


Figura 13. A Íbis do Pão de Açúcar na face norte (à esquerda) do morro do Pão de Açúcar, orientada para o interior da Baía de Guanabara. As cavidades de tipo *tafone* encontram-se dispostas em diagonal e sob a fratura de descamação suspensa (*sheet structure*). A face sul (à direita) está voltada ao Oceano Atlântico e, ao contrário da face norte, é possível observar a continuidade da fratura (ou lasca) de descamação desde o cume até a base do morro. (Foto cedida gentilmente por Thiago Haussig - Rio de Janeiro/RJ, 2015)

A distribuição espacial e a morfologia das cavidades do tipo *tafone* no morro do Pão de Açúcar sugerem um vínculo com as estruturas de esfoliação (leia-se descamação) que se desenvolveram ao longo de sistemas de juntas gerados desde a etapa intrusiva, em condições confinantes, até o resfriamento da rocha e, posteriormente, associados ao alívio de pressão. O fato de estarem atualmente expostas na superfície sobre a parede vertical se deve ao desprendimento por gravidade de sucessivas placas de descamação (*sheet structure*) que recobriam o domo do Pão de Açúcar (Figura 14).

A abordagem inicial para compreender a possível origem dos *tafoni* na face norte do Pão de Açúcar baseia-se no processo de concentração de cargas em pontos específicos associado às descontinuidades da *sheet structure* (VIDAL ROMANÍ, 1984, 1989, 2008; VIDAL ROMANÍ; TWIDALE, 1999; VIDAL ROMANÍ et al., 2014a, 2014b, 2018, 2020; TWIDALE; VIDAL ROMANÍ, 2005; RODRÍGUEZ, 2011; WALDHERR et al., 2018). Nessa abordagem, a rocha seria previamente afetada por esforços tensionais, resultando nos chamados espaços lacunares, no caso, em zonas deformadas internamente, semelhantes a bulbos de tensões. Os espaços lacunares também corresponderiam a pontos pré-estabelecidos ou áreas preferenciais ao intemperismo físico-químico, estabelecendo ocasionalmente "bolsões areno-argilosos" confinados, onde o contato solo-rocha permaneceria entre o domo e a fratura de descamação em distintas altitudes.

Os denominados "bolsões" tenderiam a ser continuamente umedecidos através da percolação de águas pluviais entre o sistema de fraturas, criando condições ideais para atuação de processos associados à corrosão química e, conseqüentemente, o reafeiçoamento das formas de relevo sobre os espaços lacunares. Ao expor estas partes débeis do domo, decorrente do desprendimento da fratura de descamação, as zonas previamente afetadas (espaços lacunares) começariam a evoluir através da desagregação granular e/ou em placas, junto a remoção do material sedimentar, e a desenvolver as cavidades do tipo tafone.



Figura 14. Parede vertical (metade inferior da foto) e a base da fratura de descamação suspensa (metade superior) com a ocorrência de *tafoni* associados a um sistema de descontinuidades na face norte do morro Pão de Açúcar: registro de estruturas associadas de aglomeração de alvéolos (*honeycombs*) (A-B); ocorrência de alvéolos (pequenas cavidades isoladas, semelhantes àquelas ilustradas na Figura 4A, devido a presença de veio/dique ou arcadas lenticulares (cavidades em sequência) em planos de fratura com disposição subvertical e vertical (C-D); ocorrência de *honeycombs* sobre uma concavidade na parte inferior da fratura de descamação suspensa (E-F); disposição de veios de pegmatites (G-H). Os escorrimentos de água provenientes da parte superior do morro permitiram a colonização, provavelmente por líquens da parede rochosa protegida de precipitação. A direita do C e abaixo do E foi possível

observar em cor cinza-claro os depósitos de opala biogênica formados no interior das fissuras entre as *sheet structures*.
(Rio de Janeiro/RJ, 2018)

4. Discussão

De maneira geral, a gênese das cavidades em granitos pode ser associada aos seguintes fatores: variação da temperatura (termoclastia); variação da temperatura dentro e fora do *tafone*; fatores termo-mecânicos (presença de irregularidades na superfície rochosa); congelamento e descongelamento (crioclastia); influências salinas (haloclastia); influência do sombreamento; ação eólica; abrasão marinha; presença de superfícies endurecidas nas rochas; umidade; e ação biológica (RODRÍGUEZ, 2011) e ascensão de fluidos hipogênicos (KLIMCHOUCK, 2017). Nesse trabalho, sugere-se que o início do processo evolutivo de *tafoni* ocorre a partir de irregularidades estruturais nas paredes dos afloramentos graníticos constituindo áreas de fraqueza.

As áreas de fraqueza das rochas constituem setores que podem proporcionar o início da evolução dos *tafoni*. Esses setores, relacionados a microfaturas, podem estar associadas a rachaduras entre os grãos formados na solidificação, rachaduras induzidas por estresse, fissuras radiais concentradas sobre grãos de diferentes propriedades volumétricas, trincas produzidas por solução de fluido magmático, ataque químico, fissuras induzidas por choques térmicos e trincas de clivagem (SMITH, 2009).

Planos de fratura, falhas e foliação criam superfícies de descontinuidade que podem vir a ser foco de alteração físico-química. *Tafoni* em meios anisotrópicos desenvolvem-se, sobretudo sobre controle estrutural, onde planos de fratura e falhas condicionam a expansão da dissolução. Também é comum encontrar cavidades de colapso, sobretudo em escarpas graníticas onde a fácies sejam ricas em quartzo com presença de veios. Tal contexto gera baixa plasticidade favorecendo assim o fraturamento e colapso de blocos. Nesses casos, associados à cavidade, têm-se depósitos de tálus na base dos escarpamentos.

Essas cavidades, segundo Hejl (2005), possuem uma ampla gama de condições que podem controlar a sua formação e desenvolvimento. Assim, os mecanismos de controle da formação dos *tafoni* podem ser agrupados em quatro categorias; 1: Propriedades mineralógicas e estruturais das rochas hospedeiras. 2: Elementos topográficos independentes da formação do *tafoni*, incluindo as características da encosta e do relevo pré-existent, como inselbergs ou blocos exumados. 3: As condições gerais do clima e da localização. 4: As condições microclimáticas criadas pelo e no próprio *tafone*.

No contexto analisado, como no caso de Quixadá, deve-se ressaltar o papel desempenhado pela variação mineralógica no processo de meteorização, tendo em vista que a solubilidade de determinados minerais pode favorecer o intemperismo químico (biotita) ou limitar sua ação (quartzo).

Nesse trabalho, fora observado que as cavidades em granito, situam-se preferencialmente em zonas afetadas por deformação dútil. Essas deformações podem ser representadas por planos de fraturas e/ou falhas resultantes da foliação ígnea, de planos de descontinuidade representados por veios e/ou diques, por fraturamento de decompressão e por *sets* de juntas. Os contrastes de composição ou densidade de fraturas são suficientes para iniciar diferenças nos padrões de intemperismo (TWIDALE; VIDAL-ROMANÍ, 1994). Considerando-se a baixa porosidade de rochas graníticas frescas, as fraturas exercem um papel claro no controle do intemperismo, uma vez que a permeabilidade e a porosidade da rocha aumentam exponencialmente por meio das conexões entre as diáclases (VIDAL-ROMANÍ; YEPES TERMIÑO, 2004).

A esse respeito, Bigarella et al. (1994) concorda que as cavidades resultantes do intemperismo, encontrados em granitos, localizam-se ao longo de diáclases sub-horizontais e em locais de menor resistência aos processos físicos-químicos de alteração, incluindo o intemperismo salino.

Contatos litológicos, planos de fraturas bem como, planos de esfoliação, são locais ideais para o início da tafonização. Isso ocorre por que não só as soluções ricas em sais podem penetrar na rocha, mas também porque a umidade rica em sais pode penetrar ainda mais e ficar retida por mais tempo no interior desses planos de fraqueza. Isto parece ocasionar, a partir da lenta evaporação, a nucleação de cristais ainda maiores, o que acelera o intemperismo. Aumento do teor de umidade carregado de sais provoca a deliquescência dos cristais anteriormente formados e, posteriormente, cristais ainda maiores e puros são formados causando a desagregação mais rápida da rocha (SILVA et al., 2013).

Existem ainda pesquisas que associam a formação de cavidades e concavidades à corrosão química em condições epigênicas. Nesse caso, as cavidades poderiam resultar do avanço irregular da frente de alteração e do

acúmulo de umidade do manto de intemperismo sobre as zonas de debilidade de embasamento cristalino (TWIDALE et al., 2002, ROQUÉ et al., 2013). Essa perspectiva de análise corrobora com uma interpretação morfogenética da teoria da *etchplanação* (BÜDEL, 1982), que concebe a existência de profundos mantos de intemperismo pretéritos associados a condições paleoclimáticas mais úmidas.

Nessa perspectiva, a principal causa da formação de *tafoni* é o desgaste químico da caolinização, onde a alteração de feldspatos alcalinos para formar um agregado de grão fino do mineral caulinita, resulta do trabalho que a água da chuva ácida é capaz de realizar em rochas graníticas (ALLABY, 2013). Esse processo tende a ser mais intenso nas zonas de maior deformação rúptil e, portanto, maior porosidade secundária.

Nos terrenos graníticos, a coincidência de uma rocha com características geotécnicas muito especiais (isotropia, baixa porosidade, reduzida permeabilidade ao sistema de discontinuidades, baixa solubilidade, etc.) significa que as formas resultantes dos processos de intemperismo-denudação devam ser muito semelhante em ambientes climáticos muito diferentes (VIDAL-ROMANÍ; YEPES TERMIÑO, 2004). Dessa forma é fundamental a influência lito-estrutural no início da formação dos *tafoni*, mesmo que sua evolução possa ocorrer de maneira diferenciada em condições climáticas distintas.

Apesar da indicação das variáveis estruturais apresentadas ao longo do trabalho como fatores de grande relevância no desenvolvimento dos *tafoni*, a ocorrência das cavidades mais expressivas no contexto brasileiro se localiza sob condições de clima semiárido na região Nordeste. No Brasil os *tafoni* em afloramentos sob condições de clima tropical úmido são insipientes se comparados aos do semiárido.

A origem dos *tafoni* tem sido associada a diferentes processos tais como erosão eólica, ciclos de umedecimento, haloclastia, termoclastia, crioclastia, dissolução de cimentos carbonatados e intemperismo epigênico (UÑA ÁLVAREZ, 2012). Em termos globais, *tafoni* têm uma distribuição muito ampla sendo relatados em todas as zonas morfoclimáticas do globo, porém, são mais comuns e melhor desenvolvidos em ambientes áridos e semiáridos (MIGÓN, 2006; TWIDALE; VIDAL ROMANÍ, 2005), onde quer que a haloclastia prevaleça (VIDAL ROMANÍ; TWIDALE, 2010). Os ambientes permanentemente úmidos parecem não favorecer o desenvolvimento do *tafoni*.

Levando-se em consideração que o desenvolvimento dos *tafoni* demanda uma escala temporal, de intervalos ainda desconhecidos, pode-se afirmar que os maiores *tafoni* são mais antigos (RODRÍGUEZ, 2011). Nessa perspectiva, considera-se que os *tafoni* do Nordeste brasileiro são muito mais antigos do que aqueles que se desenvolvem nos climas úmidos da região Sudeste. Cabe destacar que o desenvolvimento morfogenético aqui sugerido refere-se aos *tafoni*, e não à evolução dos inselbergs ou domos rochosos onde os respectivos *tafoni* estão inseridos.

Em termos altimétricos a tafonização parece decrescer com elevadas altitudes. Porém, já foram encontrados *tafoni* desde o nível do mar até cotas de 2.200m (RODRÍGUEZ, 2011). No entanto, discussões relacionadas à influência da altitude no desenvolvimento de *tafoni* não cabe na presente abordagem tendo em vista que os recortes espaciais analisados se localizam em superfícies baixas cujas cotas altimétricas não ultrapassam os 500 m.

5. Conclusões

A formação de cavidades em escarpas graníticas, quando associada a um controle estrutural por fraturamento e/ou falha, pode ser compreendida como resultado de um conjunto de variáveis onde o intemperismo ao longo de fraturas resultantes da descompressão, *sets* de juntas, fraturamento ao longo de veios e de planos de foliação, constituem os principais fatores de nucleação de nichos de intemperismo que possam vir abrigar uma cavidade.

Em escarpas graníticas situadas nos estados do Ceará, Paraíba, Bahia e no Pão de Açúcar, no Rio de Janeiro, foi observado que a formação de cavidades depende da conjunção de fatores como grau de anisotropia da rocha, presença de enclaves, veios e diques, diferentes graus de fraturamento, texturas e composição da rocha hospedeira. Cada uma destas variáveis pode atuar no sentido de nuclear pontos de partida para a tafonização.

Mesmo em contextos hidroclimáticos distintos, as informações aqui apresentadas indicam importantes elementos estruturais como pontos de partida para a evolução de *tafoni*, tais como veios, diaclases, foliações e diques, cuja origem se deve, sobretudo, a deformações rúpteis e dúcteis do estágio pré-exumação. Nas superfícies rochosas expostas, estes fatores representam áreas de resistência diferenciada permitindo o desenvolvimento de pequenas cavidades e conseqüentemente, o acúmulo de umidade.

Os *tafoni* têm sido designados como morfologias azonais tendo em vista que a sua ocorrência se dá em diferentes domínios morfoclimáticos da Terra. No entanto, no contexto brasileiro, o desenvolvimento dessas

cavidades tem sido muito mais expressivo no semiárido do que nas áreas de climas úmidos. Dessa forma, cada contexto deve ser analisado de forma individualizada, tanto do ponto de vista estrutural como climático.

No Nordeste brasileiro, as cavidades de colapso, resultantes da propagação de fraturas em meio anisotrópico podem ser observadas amplamente em áreas com ocorrências de inselbergs, desde que possuam *sets* de veios paralelos ou com tendência multidirecional. Nesse caso, observa-se que o fraturamento seguido de colapso expõem os planos de fratura antes da implantação do nicho de intemperismo. A principal variável de controle das características dimensionais e morfológicas é relacionada ao volume de rocha disponíveis que poderia ser desintegrada dentro da unidade de acolhimento, que é limitada por um sistema de descontinuidade. Esse controle sobre o tamanho e a forma resulta da densidade de distribuição de superfícies de descontinuidade. Em meio isotrópico, os *tafoni* expandem-se como cúpulas elipsoidais orientadas segundo o plano de descontinuidade. Em meios anisotrópicos, apresentam padrão assimétrico associado principalmente à densidade de distribuição de fraturas e veios.

No Rio de Janeiro, em razão da atual localização dos *tafoni*, acima dos 160 m de altitude sobre a base do domo, a explicação das cavidades por meio do controle estrutural se torna mais viável que o modelo de meteorização restrito ao contato solo-rocha. Bastaria a exumação do domo pelo desprendimento das placas de fraturas de descamação (*sheet structure*) para que fosse iniciada sobre essas zonas a atuação do processo de desagregação mecânica nos pontos afetados pela concentração de cargas e, possivelmente, alterados pela atuação local de processos associados a corrosão química, resultando assim na exposição das cavidades do tipo *tafoni*.

Contribuições dos Autores: Rubson Pinheiro Maia foi responsável pela concepção inicial do artigo, organizando a sua estruturação, participando dos trabalhos de campo e da elaboração do manuscrito, contribuindo com os resultados, discussões e revisões. Frederico de Holanda Bastos participou dos levantamentos de campo e participou da elaboração do manuscrito, contribuindo com os resultados, discussões e revisões. Felipe Rodrigues Waldherr participou da elaboração do manuscrito com ênfase nas ocorrências de *tafoni* do Rio de Janeiro (Pão de Açúcar). Marcos Antônio Leite do Nascimento contribuiu com a revisão do manuscrito. Augusto Sarreiro Auler participou da elaboração do manuscrito com ênfase nas ocorrências de *tafoni* da Bahia (Itatim).

Financiamento: Esta pesquisa recebeu financiamento parcial através do Projeto intitulado “Caracterização Geomorfológica dos principais campos de inselbergues do Nordeste setentrional brasileiro”, aprovado no Edital MCPI/CNPq (Chamada Universal 2016).

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq (Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento parcial desta pesquisa.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ALLABY, M. **A dictionary of geology and earth sciences**. 4th revised ed. New York: Oxford University Press. Inc. 2013. 672 p.
2. ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. Províncias estruturais brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. **Anais...** Campina Grande: SBG. p. 363. 1977.
3. BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D., SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Volume 1. Florianópolis: Editora UFSC, 1994. 425 p.
4. BÜDEL, J. **Climatic geomorphologie**. Tradução de L. Fischer e D. Busche. New Jersey: Princenton University Press, 1982. 444p.
5. GOUDIE, A. S. (ed) **Encyclopedia of geomorphology**. Volume 1. London and New York: Routledge, 2003. 578 p.
6. GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. *Tafoni, alveoles, honeycombs, and overhangs, in salt weathering hazards*. New York: Wiley, 1997. 256 p.
7. GROOM, K. M.; ALLEN, C. D.; MOL, L.; PARADISE, T. R.; HALL, K. Defining tafoni: Re-examining terminological ambiguity for cavernous rock decay phenomena. **Progress in Physical Geography**, v. 39, n. 6. 2015. p. 1-19.
8. HEJL, E., A pictorial study of tafoni development from the 2nd millennium BC. **Geomorphology**. v. 64, p. 87-95, 2005.
9. INKPEN, R. HALLB, K. Using morphospaces to understand tafoni development. **Geomorphology**. Volume 261, Pages 193-199, 2016.

10. KLIMCHOUK, A. Tafoni and honeycomb structures as indicators of ascending fluid flow and hypogene karstification in: **Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications**. Geological Society, London, Special Publications, 2017. 486p.
11. LIMA, G. M. P.; CORRÊA-GOMES, L. C. Itatim geomorphological site: Largest concentration of inselbergs in Brazil. In VIEIRA B.C.; SALGADO A. A. R., SANTOS L. J. C. (org.) **Landscapes and landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht: p 371-380. 2015.
12. MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, H. S.; MEIRELES, A. J, A; ROTHIS, L. M. Geomorfologia do campo de inselbergues de Quixadá - NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, p. 239, 2015.
13. MIGON, P; MAIA, R. Pedra da Boca, Pai Mateus, and Quixadá – Three Possible Key Geoheritage Sites in Northeast Brazil. **Geoheritage**, 12(3), 2020.
14. MIGÓN, P. **Geomorphological landscapes of the world: granite landscapes of the world**. Oxford University Press Inc., New York. 2006. 375p.
15. MUSTOE, G. E. The origin of honeycomb weathering. **Geological Society of America Bulletin**, v. 93. 1982. p. 108-115.
16. RODRIGUEZ, J. A. M. **Génesis de cavidades graníticas en ambientes endógenos y exógenos**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto Universitario de Geología Isidro Parga Pondal, Universidad de Coruña, La Coruña, 2011. 396p.
17. ROQUÉ, C.; ZARROCA, M.; LINARES, R. Subsurface initiation of tafoni in granite terrains - Geophysical evidence from NE Spain: Geomorphological implications. **Geomorphology**, n. 196, p. 94-105, 2013.
18. SANTIAGO, J. S. Estruturas e tectônica da zona de transição entre os blocos Jequié e Itabuna-Salvador-Curaçá, região de Itatim, Bahia, Brasil. Monografia (Graduação em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2010. 82p.
19. SILVA, L. C.; RAMOS, A. J. L. A. Pão de Açúcar, RJ Cartão Postal Geológico do Brasil. In SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, N. (org.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília, DNPM, p: 263-268. 2002.
20. SILVA, M. A. M.; NETO, J. A. B.; SILVA, A. L. C.; SMITH, B.; MCALISTER, J.; WARKE, P.; CURRAN, J. Intemperismo decorrente da acumulação de sal e formação de alvéolos e tafoni nos afloramentos das praias de Niterói (Rio de Janeiro, Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 189-195, 2013.
21. SMITH, B. J. Weathering Processes and Forms in A.J. Parsons, A.D. Abrahams (eds.). **Geomorphology of Desert Environments**. 2nd ed., DOI 10.1007/978-1-4020-5719-9 4, Springer Science Business Media B.V. p. 69-100. 2009.
22. TWIDALE, C. R.; VIDAL-ROMANÍ, J. R. On the multistage development of etch forms. **Geomorphology**, n. 11, p. 107-124, 1994.
23. TWIDALE, C. R.; VIDAL-ROMANÍ, J. R. **Landforms and Geology of Granite Terrains**. Boca Raton, USA: CRC Press Inc., 2005. 354p.
24. TWIDALE, C. R.; BOURNE, J. A.; VIDAL-ROMANÍ, J. R. Multistage landform development in various settings and at various scales. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 27, p. 55-76, 2002.
25. UÑA ÁLVAREZ, E. Interpretación de sistemas naturales complejos: el problema de los tafoni. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles** Nº 60, p. 349-368, 2012.
26. VALERIANO, C. M.; ALMEIDA, J. C. H.; HEILBRON, M. Precambrian gneisses in Rio de Janeiro: from the Sugar Loaf to the Arpoador outcrops. In CHAVES, H.; CAMOZZATO, E.; LOGUERCIO S.; CAMPOS, D.A. (org.) **Field Trips of the 31st International Geological Congress**. Rio de Janeiro, SBG/CPRM. 2003
27. VIDAL ROMANÍ, J. R. Microformas graníticas tipo tafoni (cachola) y gnamma (pía). Un micromodelado sin relación con el clima o la estacionalidad. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 7, p. 273-277, 1984.
28. VIDAL ROMANÍ, J. R. Geomorfología granítica en Galicia (NW España). **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 13, p. 89-163, 1989.
29. VIDAL-ROMANÍ, J. R. Tipos de fabric plana y su relación con la generación de formas graníticas. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 16, p. 301-312, 1991.
30. VIDAL ROMANÍ, J. R. Forms and structural fabric in granite rocks. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 33, p. 175-198, 2008.
31. VIDAL ROMANI, J. R.; TWIDALE C. R. Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. **Geomorphology**, n. 31, v. 1-4, p. 13-27, 1999.
32. VIDAL-ROMANÍ, J. R.; TWIDALE, C. R. Structural or climatic control in granite landforms? The development of sheet structure, foliation, boudinage, and related features. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 35, p. 189-208, 2010.

33. VIDAL-ROMANÍ, J. R.; UÑA ALVAREZ, E.; VAQUEIRO RODRÍGUEZ, M. An endogenous origin for the form tafone developed in magmatic rocks. In: Reunión Nacional de Geomorfología, 8., 2014a, Cáceres. **Anais...** Cáceres: Relieves Graníticos y Cársticos. p. 486-489. 2014a.
34. VIDAL ROMANÍ, J. R.; VAQUEIRO RODRÍGUEZ, M.; SANJURJO, J. Granite landforms in Galicia. In GUTIÉRREZ, F.; GUTIÉRREZ, M. (org.) **Landscapes and landforms of Spain**. Springer, New York: p. 63-69. 2014b. 365p.
35. VIDAL ROMANÍ, J. R.; VAQUEIRO RODRIGUEZ, M.; VÁZQUEZ, R. Ría de Aldán. **Colección Geología**, n. 18. 2018. p. 1-32.
36. VIDAL ROMANÍ, J. R.; SONG, Z.; LIU, H.; SUN, Y.; LI, H.. Orogenic Movements during the Paleozoic Period: Development of the Granitoid Formations in the Northwestern Region of Spain's Iberian Peninsula. **Journal of Earth Science**, n. 31, p. 611-620, 2020.
37. VIDAL-ROMANÍ, J. R.; YEPES TERMIÑO, J. Historia de la morfogénesis granítica. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 29, p. 331-360, 2004.
38. WALDHERR, F. R.; VIDAL-ROMANÍ, J. R.; RODRIGUES, S. W. O. Consideraciones previas sobre las formas del tipo tafone y otras estructuras menores en la vertiente norte del Pão de Açúcar, Rio de Janeiro - Brasil. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 40, p. 139-158, 2018.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuíam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuíam o devido crédito pela criação original.