



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 20, nº 1 (2019)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1335>



CONDICIONAMENTO MORFOESTRUTURAL DOS RELEVOS NO ENTORNO DO DISTRITO DE TAPERUABA, SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ, BRASIL

MORPHOSTRUTURAL CONDITIONING OF RELIEF IN THE ADJACENCIES OF TAPERUABA DISTRICT, CEARÁ CENTRAL SERTÃO, BRAZIL

Wesley Feitosa Rodrigues

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 911, Fortaleza, Ceará. CEP: 60455-760. Brasil
E-mail: wesley_fr@yahoo.com.br*

Rúbson Pinheiro Maia

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 911, Fortaleza, Ceará. CEP: 60455-760. Brasil
E-mail: rubsonpinheiro@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
21/05/2018
Aceito (Accepted):
29/09/2018

Palavras-chave:

Condicionalmento Morfo-
estrutural; Taperuaba;
Sensoriamento Remoto.

Keywords:

Morphostructural Conditioning;
Taperuaba; Remote Sensing.

Resumo:

O condicionamento morfoestrutural, na evolução geomorfológica dos terrenos ígneo-migmatíticos que circunscrevem o distrito de Taperuaba, Sertão Central cearense, foi investigado através da correlação de dados geológicos, morfotectônicos e produtos de sensoriamento remoto. Dessa forma, informações referentes a propriedades litológicas, deformações regionais e escoamento superficial foram aliadas ao PDI e a fotointerpretação, em imagens Sentinel-2A e ALOS-PALSAR RTC, com o intuito de identificar lineamentos de comportamento dúctil e rúptil que influenciam a morfogênese dos relevos atuais. Nesse contexto, foi possível a identificação de 971 lineamentos, em um limiar de averiguação na ordem de 1:25.000. A orientação preferencial dessas estruturas corresponde à moda WNW-ESE, mesmo *trend* verificado para a foliação principal e o estiramento mineral planar dos bandamentos, nas rochas da região. Por consequência, os canais principais denotam a mesma tropia para sua drenagem. A densidade de lineamentos é alta a moderada nos relevos com litologias anisotrópicas e moderada a baixa em relevos com litologias isotrópicas. Dessa forma, a dinâmica erosiva foi mais intensa nas porções com maior densidade de lineamentos, denotando áreas mais dissecadas em litologias com constância de foliação. Em contrapartida, em áreas de baixa anisotropia e menor densidade de lineamentos, como nas rochas granítico-diatexíticas, os maciços e cristas estruturais são alçadas à paisagem. Portanto, a exumação e o aplainamento da área de estudo estão geneticamente subordinados a um controle litoestrutural, denotado pela diferenciação de patamares topográficos e pela concentração de lineamentos.

Abstract:

The morphostructural conditioning in geomorphological evolution of igneous-migmatitic territories from district of Taperuaba, Ceará Central Sertão, was investigated through the integration of geological, morphotectonic, geographic and remote sensing data. Thus, information regarding lithological properties, regional and superficial deformations were allied to PDI and photointerpretation in Sentinel-2A and ALOS-PALSAR RTC images, with the aim of identifying ductility and brittle behavior that conditioning morphogenesis of current landforms. In this context, it was possible to identify 3050 lineaments, in the scale of 1: 25.000. The preferred structural trend is WNW-ESE, even tendency for a main foliation and mineral stretching lineation of rocks from this. Consequently, the main channels denote the same direction from main structural trend. The structural density is very high to moderate in landforms with anisotropy lithologies and moderate to very low in landforms with isotropic lithologies. In this way, the erosive dynamic was more aggressive in areas with high lineaments density, denoting more dissected landforms in lithologies with constancy of foliation. By contrast, in areas of low anisotropy and low density of lineaments, as in granitic-diatextic rocks, the massifs and crests arised in landscape. Therefore, exhumation and planning of the study area are genetically subordinated to a lithostructural control, denoted by the differentiation topographic levels and by the lineaments concentration.

Introdução

Os relevos presentes no semiárido brasileiro vêm, desde a década de 1960, sendo interpretados à luz das postulações de King (1953), a partir da identificação de superfícies geomorfológicas, produzidas pela associação de episódios epirogênicos a longos ciclos de recuo de vertentes e pediplanação (AB'SÁBER e BIGARELLA, 1961; ANDRADES e LINS, 1965; MABESSONE e CASTRO, 1975; BIGARELLA, 1994). Os relevos residuais seriam testemunhos de um contínuo processo de pedimentação, vinculado à erosão fluvial. Em climas tropicais ou subtropicais, o processo denotaria eficiência máxima, promovendo diversos ciclos de aplainamento (BIGARELLA e AB'SÁBER, 2004). O produto de cada ciclo desses fenômenos daria origem à paleosuperfícies distintas (MAIA e BEZERRA, 2014).

Contudo, essa perspectiva evolutiva denota diversas fragilidades relacionadas ao entendimento dos relevos semiáridos. O modelo da pediplanação desconsidera o papel do intemperismo, na dinâmica morfológica de formas de menor escala, bem como a influência do condicionamento estrutural sobre os processos de aplainamento (VIDAL ROMANÍ e TWIDALE, 1998).

Para Migon (2006), a diferenciação litológica entre os sobressaltos topográficos seria insuficiente para produzir uma individualização de relevo a partir da condução dos processos erosivos. A concepção evolutiva dos pediplanos, em constante dissecação e soerguimento, não solucionaria o problema geomorfológico de maciços e inselbergues estarem

dispostos em cotas distintas, em um mesmo arcabouço litológico (TWIDALE e BOURNE, 1975), tampouco explica a meteorização diferenciada das morfologias.

Em decorrência dessas abordagens críticas, a análise do controle estrutural e das reações geoquímicas sobre os relevos foi elencada ao entendimento da evolução geomorfológica do Nordeste. Modelos evolutivos como o duplo estágio de aplainamento (BUDEL, 1957) e o aplainamento por aprofundamento geoquímico (MILLOT, 1980) vêm sendo adotados nas análises morfogenéticas recentes, por disporem de um enfoque incisivo nas relações entre os componentes litoestruturais e o intemperismo.

Para Budel (1982), o aplainamento ocorre em condições de estabilidade tectônica, a partir de estágios de aprofundamento intempérico epigênico e de erosão laminar. A meteorização química age de forma intensa e subordina a formação do manto intempérico no estágio inicial (SALGADO, 2007). Na fase posterior, o espesso manto de alteração sofre uma intensificação da ação dos mecanismos de escoamento linear, erodindo e alçando superfícies saprolíticas à atmosfera (VITTE, 2005). Dessa forma, o *front* de intemperismo desenvolvido no primeiro estágio fica exposto a novos processos de meteorização (TWIDALE, 2002).

As contribuições de Millot (1980) são associadas ao duplo estágio de aplainamento, em uma perspectiva climática. Para o autor, o intemperismo químico avança em períodos úmidos, enquanto a segunda etapa de aplainamento seria favorecida em períodos secos, com a remoção e o transporte do manto de alteração. Com base nessas proposições, a pedogênese e a morfogênese

são intensificadas de acordo com a alternância climática, o que resulta em patamares diferenciados. Em outras palavras, o desgaste diferencial do relevo se daria seguindo as discrepâncias litoestruturais vigentes.

As descontinuidades geológicas denotam extrema relevância para o rebaixamento dos relevos. Em áreas bastante deformadas, as morfologias tendem a ser denudadas e dissecadas com maior facilidade, por causa da predisposição à meteorização que os terrenos com alta concentração de planos de fraqueza dispõem (TWIDALE, 1982).

Nesse contexto, a análise do controle estrutural denota fundamental importância para a evolução geomorfológica. Estudos morfoestruturais, morfotectônicos e neotectônicos, embasados em aspectos morfométricos e geológicos, fornecem subsídios importantes para o entendimento dos processos geomorfológicos (ANDRADES FILHO e ROSSETTI, 2012). A interação clima/componentes litoestruturais/rede de drenagem/tectônica funcionam como um sistema aberto, erodindo diferencialmente as superfícies e elaborando as morfologias dos terrenos (COUTO *et al.*, 2013).

A identificação de lineamentos estruturais auxilia na interpretação de eventos tectônicos, visto que essas feições lineares são correlatas em superfície a processos decorridos em subsuperfície, como por exemplo, falhas que atingem dimensões profundas. O'Leary *et al.*, (1976) define lineamento como uma feição linear, retilínea ou suavemente encurvada, impressa na paisagem, podendo ser simples ou composta, apresentando continuidade no terreno. Em superfície, representam morfologias de vales incisivos, cristas, segmentos de escarpas, canais retilíneos e anomalias tonais em imagens de satélite que refletem a influência de deformações regionais (ALVES e ROSSETTI, 2015).

Todavia, os conhecimentos sobre o condicionamento morfoestrutural nos terrenos nordestinos ainda são escassos. Atualmente, há uma lacuna nos trabalhos referentes a controles litoestruturais, taxas de denudação, reativações tectônicas e datação absoluta dos processos geomorfológicos recorrentes na região. No que diz respeito aos trabalhos que discutem esses aspectos voltados ao nordeste brasileiro, destacam-se, as pesquisas de Peluvast e Claudino Sales (2004), em relação à Província Borborema Setentrional; Gurgel *et al.* (2013), no maciço do Pereiro - CE; Maia *et al.* (2015), Maia *et al.* (2016), respectivamente, sobre o campo de inselbergues de Quixadá - CE e os maciços de Portalegre e Martins - RN; Lima e Corrêa-Gomes

(2015), sobre o campo de inselbergues de Itatim - BA; Cordeiro *et al.* (2018), no maciço de Quicuncá - CE; e Maia e Nascimento (2018), sobre os relevos graníticos nordestinos.

Nesse ínterim, o presente trabalho explanará características morfoestruturais que repercutem no relevo do entorno do distrito de Taparuaba, Ceará, mediante correlação entre lineamentos, características litológicas e respectivas formas de relevo conformadas a conjuntura local. O interesse específico nessa área de estudo foi estabelecido com a falta de informações relativas à nítida anisotropia que condiciona suas morfologias e que se repete em diversas parcelas dos terrenos cristalinos cearenses. Para tanto, a pesquisa foi desenvolvida a partir da inter-relação de informações geológicas e dados derivados de produtos de sensoriamento remoto, amplamente testados e aplicados a diversas propostas metodológicas de análises morfoestruturais (AMARO, 1998; SILVA, 2003; RIBOLINI e SPAGNOLO, 2008, RAHARIMAHEFA e KUSKY, 2008; HARTWING e RICCOMINI, 2010; MIGON e VIEIRA, 2014; OWEN, 2014; ALVES e ROSSETTI, 2015).

Localização e caracterização da área

Os terrenos que circunscrevem o distrito de Taparuaba encontram-se localizados no Sertão Central do Estado do Ceará, nordeste brasileiro. Do ponto de vista geológico, a área de pesquisa encontra-se a NW da porção setentrional da Província Borborema (PB), pertencendo localmente ao Domínio Ceará Central (BRITO NEVES *et al.*, 2000). Os relevos em análise estão modelados na associação granítico-migmatítica denominada Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ), proveniente de um ambiente de arco continental (Figura 1).

Sua gênese é atribuída a uma zona de subdução de sentido NW-SE envolvendo a consumação do Oceano Phaurariano-Goiás no setor oeste do supercontinente Gondwana, culminando em uma colisão continental entre o Embasamento Arqueano-Paleoproterozóico e o Bloco Parnaíba/Cráton-Oeste Africano durante o Ciclo Brasileiro-Panafricano (FETTER *et al.*, 2003). A principal fase magmática relacionada ao substrato da região de Taparuaba teve seu alojamento em um momento sin a tardi-empurrão – 800 a 600 M.a. (ARAÚJO *et al.*, 2014a) – exibindo uma associação de migmatitos metatexíticos e diatexíticos, além de granitos equigranulares a porfiríticos (ZINCONI, 2011).

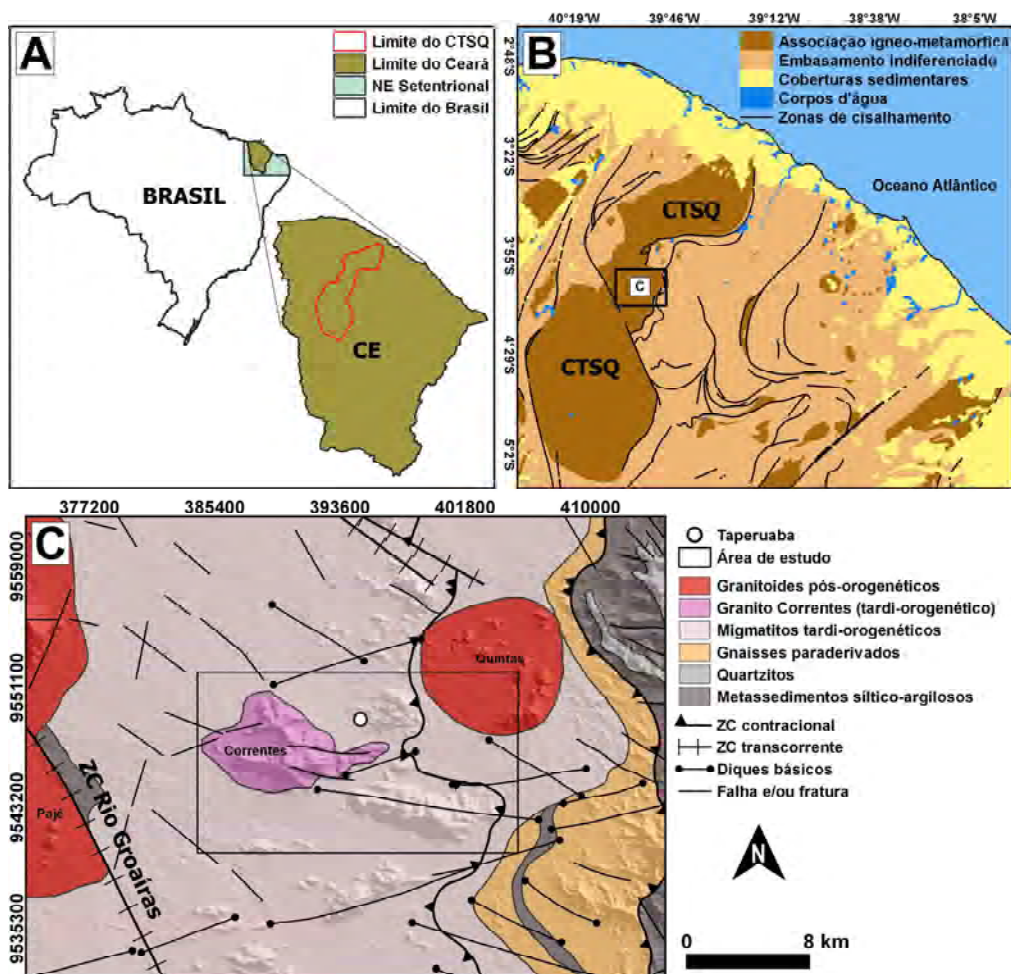


Figura 1 - Localização da área de estudo em relação à geologia regional.

Nos metatexitos observa-se uma distinção petrográfica nítida entre fases (bandamentos), com porções preservadas da rocha-mãe (paleossoma) e porções de formação intrusiva (neossoma) pela injeção de material quartzo-feldspáticos nos protólitos (SAWYER, 2008). Os diatexitos são produtos da anatexia, com diferenciação cromática especificamente relacionada ao estágio de fusão no momento da cristalização. Suas fases comuns são os leucossomas, enriquecidos em minerais félsicos; e os melanossomas, contendo máficos em bandamentos insipientes (FETTES e DESMONS, 2007).

De forma generalizada, Castro (2004) especifica um padrão direcional para a fábrica das rochas em questão. A foliação local apresenta um mergulho preferencial de baixo ângulo, 30°, para N60-70W. A lineação de estiramento mineral plana ocorre em modas variando no intervalo N50-80W, em mergulhos geralmente suaves, menores que 20°.

O granitoide Correntes corresponde a um *stock* que intrude o conjunto de migmatitos, advindo dos mesmos processos de injeção magmática tardi-colisional (GOMES, 2006). Com fábrica isotrópica, esse corpo é classificado petrograficamente como um sienogranito ($SiO_2 > 75\%$) de coloração em tons róseos a cinzas esbranquiçados. Granitos anarogênicos também são verificados, nas proximidades da área, representados pelas suítes intrusivas Quintas e Pajé (GOMES, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2012b). Esses apresentam facies grosseiras, profíricas, de composição mineral monzodiorítica a diorítica e enriquecidos em biotita.

Na trama estrutural local, além de falhas contracionais de direção aproximadamente NNE-SSE, verificam-se Zonas de Cisalhamento (ZC) transcorrentes sinistrais – NNW-SSE e WNW-ESE – e uma gama de diques básicos que cortam a região em comportamento difuso. Descontinuidades rúpteis de menor expressão como falhas fraturas e juntas, são recorrentes por toda

a extensão do terreno, bem marcadas nas morfologias denudadas.

Em relação à geomorfologia, os terrenos da área perfazem um conjunto de maciços estruturais, com disposição geral NW-SE a E-W aflorados em superfícies aplainadas adjacentes (Figura 2). A elevação dos relevos montanhosos atinge uma média de aproximadamente 800 m, com elevação máxima de 918 m. Os maciços de maior amplitude altimétrica são denominados de Correntes (MC), Feijão (MF) e Valentim (MV). Cristas e inselbergues, alinhados em direção geral NW-SE, afloram nas superfícies aplainadas. Suas maiores cotas perfazem uma média de 200 m de elevação, em relação

ao nível de base local. Esse limiar basal corresponde a um conjunto de planícies fluviais, na porção ocidental do recorte de estudo.

A superfície onde são encontrados os corpos granitoides denota uma declividade suave no sentido NW-SE, perfazendo um caimento topográfico de 250 a 130m. Em termos de correlação com os modelos clássicos propostos para o aplainamento no nordeste brasileiro, os patamares dos maciços corresponderiam a Superfície Sulamericana, enquanto as adjacências aplainadas remetem ao desenvolvimento da Superfície Paraguaçu, segundo a identificação de superfícies erosivas proposta por King (1956).

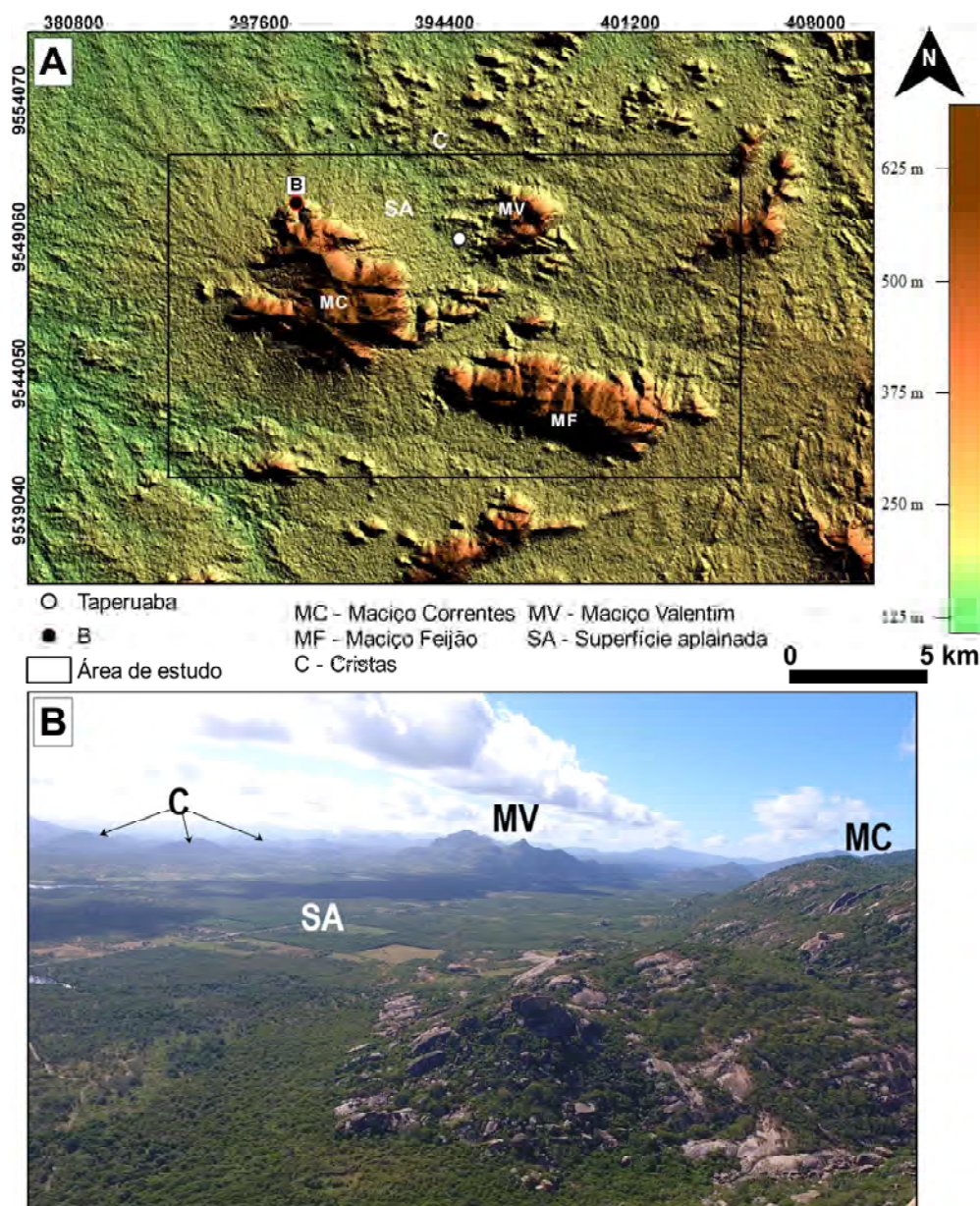


Figura 2 - Visão panorâmica dos relevos do entorno da região de Taparuaba.

Materiais e Métodos

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir dos seguintes materiais: (i) bases vetoriais relativas à rede de drenagem na escala de 1: 250.000 do IBGE (2014); (ii) imagens orbitais SENTINEL-2A, sensor MSI (i.e., 10~20m), ofertadas na plataforma *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS), (disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>), (iii) MDE-ALOS PALSAR RTC (i.e., 12,5 m) disponibilizado, gratuitamente, no *Alaska Satellite Facility* (ASF), (disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>); (iv) informações dispostas nas Cartas Geológicas da CPRM, especificamente a Folha Sobral – 1:100.000 (GORAYEB *et al.*, 2014), Folha Irauçuba – 1: 100.000 (NALETO e ARAÚJO, 2014), Folha Quixadá – 1:250.000 (TORRES *et al.*, 2007) e a Folha Taperuaba – 1:100.000 (CASTRO *et al.*, 2014). Esse conjunto de produtos, foi integrado em um banco de dados georreferenciado na projeção UTM, Zona 24 S, no Datum SIRGAS 2000, posteriormente, manipulados nos *softwares* ArcGIS, 10.4, QuantumGIS (QGIS) 3.0, GIMP 2.8 e SPRING 5.5.2.

Para a elaboração dos perfis geológicos, foram promovidas relações de correspondências entre as cartas geológicas descritas, juntamente com o acréscimo de informações coletadas em campo em relação à distribuição dos litotipos e às informações geomórficas do MDE. Todo o processo foi decorrido no software QGIS, onde as cartografias de escala 1: 100.000 foram o limiar de análise para a produção do material.

Técnicas de Processamento Digital empregadas

A partir do processamento digital do MDE-ALOS PALSAR RTC, cena 7100 e órbita 39, no software QGIS, sombreamentos foram gerados nas oito angulações azimutais principais (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°), com fonte luminosa em torno de 30 a 45 graus. Em acréscimo, o MDE também foi utilizado para a representação de formas de relevo pertinentes para essa pesquisa, correspondentes à figura 2, através de uma classificação altimétrica promovida no QGIS.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) relativo aos dados SENTINEL foi promovido no software SPRING 5.5.2 para realçar e contrastar os lineamentos morfoestruturais. As seguintes técnicas de processamento foram empregadas: (i) aquisição das Componentes Principais (CP) das bandas 2, 3, 4 e 8; (ii)

razões e multiplicações matriciais e (iii) fusões com a banda pancromática (banda 8).

As principais razões e multiplicações de bandas foram estabelecidas de acordo com os resultados obtidos por Raharimahefa e Kusky (2008). A combinação das derivações com as CP e bandas individuais, em miscelâneas RGB, revelaram diferenças significantes em relação à topografia e reflectância, nos dados produzidos. Os produtos de expressiva eficácia ao trabalho foram: 8-12-2; 8-1/2-8/12; 8/11-11/12-4/2; PC1-3-2; 11/12-11/2-11/8*4/8 (Figura 3).

Identificação dos lineamentos

Os lineamentos foram obtidos a partir de vetorização manual dos dados matriciais, no software QGIS, por análise *overlay*, relacionados à morfoestruturas dúcteis e rúpteis, segundo os critérios propostos por Amaro (1998). Nessa lógica, rúpteis equivalem a falhas, fraturas, juntas ou canais fluviais de relativa retilinearidade, enquanto que os dúcteis compreendem as foliações, cristas e dobras regionais, nos distintos patamares topográficos.

A coleta dos lineamentos foi estabelecida no limiar escalar de 1: 25.000, motivada pelo pequeno recorte espacial da pesquisa (com aproximadamente 248,29 km²) e pelo nível de resolução espacial e espectral dos produtos de sensoriamento remoto escolhidos. A base de drenagem do IBGE (2014) também foi utilizada como auxílio para a verificação de estruturas rúpteis e suas correlações direcionais. Por fim, os dados foram exportados para o SPRING, onde foram produzidas as análises estatísticas (frequência absoluta e orientação) apresentadas nos digramas de roseta, e ao final, os lineamentos foram agrupados em *trends* direcionais, com o objetivo de correlacioná-los com o contexto morfotectônico regional.

No ArcGIS, foram gerados *rasters* referentes à densidade de frequência de lineamentos por km² e ao comprimento dos mesmos, por área mapeada (km/km²). Para o primeiro produto, foi disposta uma classificação em cinco intervalos iguais, denotando áreas de densidades populacionais muito baixas, baixas, moderadas, altas e muito altas. No segundo mapa de densidade, os comprimentos também foram especializados em cinco categorias de variação por área, com média de 2,3 km a 11,9 km.

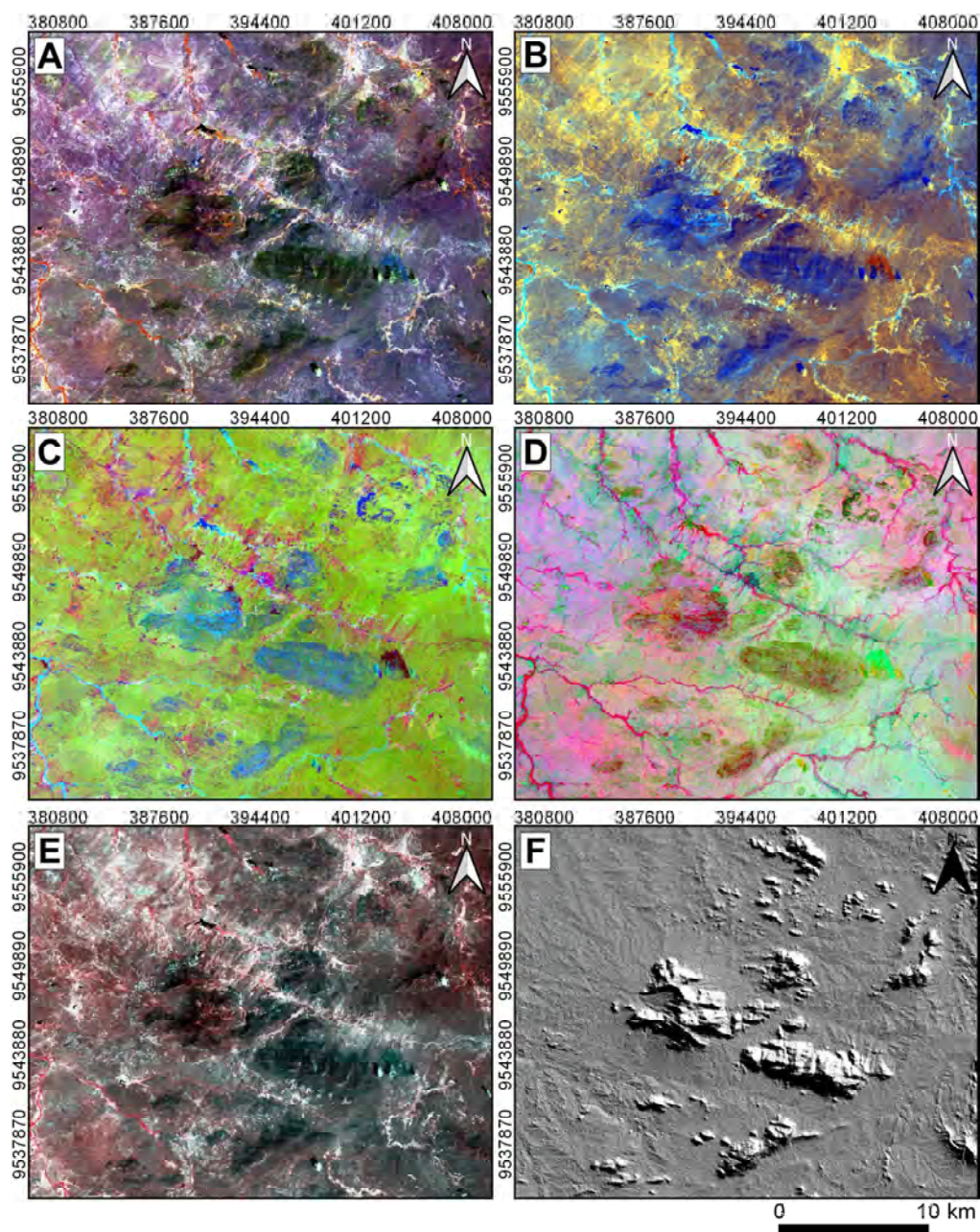


Figura 3 - Dados processados das imagens Sentinel-2A e Alos-Palsar RTC. A) 8-12-2; B) 8-1/2-8/12; C) 8/11-11/12-4/2; D) PC1-3-2; E) 11/12-11/2-11/8*4/8 e F- MDE sombreado a 30° e iluminação de azimute 45°.

Resultados

A seguir, a textura e a fábrica mineral das rochas apontadas anteriormente serão abordadas com o intuito de propor suas similitudes com deformações verificadas na área de estudo. Por conseguinte, informações equivalentes à geometria, orientação e adensamento de lineamentos mapeados serão associadas aos principais eventos tectônicos que denotaram importância para o contexto evolutivo do relevo analisado.

Condicionantes litológicos

A propensão ao comportamento rúptil se estabelece de maneira singular, de acordo com o arranjo da fábrica mineral analisada. Deformações frágeis são bem marcadas nas litologias granitoides da região (como no Maciço Correntes). Entretanto, o arranjo da trama mineral não denota imponência significativa em relação ao comportamento rúptil das mesmas. Esses corpos isotrópicos denotam menos planos de fraqueza,

em comparação a rochas bandadas com anisotropia bem definida. Dessa maneira, as áreas aplainadas compreendem aos litotipos expressivamente foliados.

A estruturação dos metatexitos facilita o desenvolvimento de descontinuidades rúpteis pela clivagem entre suas fases somáticas (Figura 4 A). No contato entre o paleossoma e o neossoma migmatítico, é procedida a esfoliação de sentido orientado, possibilitando o aprofundamento erosivo. O deslocamento é facilitado nos bandamentos, além de auxiliar a eluviação para porções mais profundas do substrato, desenvolvendo uma contínua meteorização das superfícies foliadas ricas em minerais máficos.

No tocante aos diatexitos, os planos de fraqueza são mais escassos em comparação ao quadro metatexítico. Nessas rochas, foram identificadas tramas minerais dos tipos *schlieren*, *schollen* e nebulítica, conforme os

critérios de Sawyer (2008), geneticamente relacionadas à reologia e mobilidade dos minerais. Geralmente apresenta-se enriquecimento em biotita (Figura 4 B) nessas estruturas, chegando a portar alguma homblenda agregada. Alinhamentos minerais do tipo *schlieren* compõem acessos prioritários para esforços rúpteis nos diatexitos, em contraposição aos de tramas nebulíticas (Figura 4 C), configuradas sem anisotropia prévia. A presença de estruturas *schollen* facilita a desagregação e a decomposição dessas rochas. A concentração de minerais máficos, nessas estruturas, ocasiona a formação de setores de fragilidade, originando pequenas bacias de dissolução com o avanço intempérico (Figura 6 B). Em contrapartida, fábricas nebulíticas denotam isotropia ao arranjo mineral devido à avançada anatexia de suas fases, incorporando ao corpo litológico uma estruturação rúptil caótica, similar ao comportamento do sienogranito correntes.

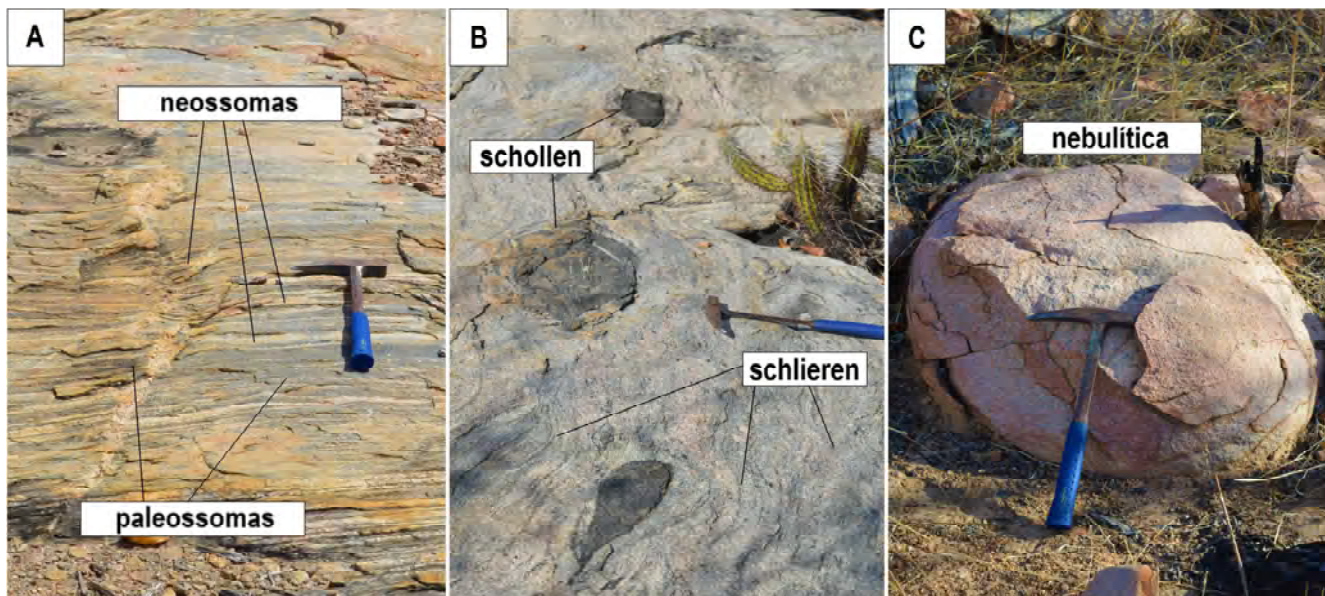


Figura 4 - Condicionantes litológicos da área de estudo. A- metatexitos de injeção; B- diatexitos com estruturas *schlieren*/*schollen*; C- diatexitos nebulíticos.

A distribuição desses condicionantes migmatíticos exibe um padrão relacionado às morfologias desses terrenos. Bandamentos de injeção nos metatexitos são verificados principalmente nos pediplanos e no embasamento das estreitas planícies fluviais. As fábricas diatexíticas correspondem aos maciços Feijão e Valentim, além de encontradas em cristas estruturais, na superfície de aplainamento adjacente (Figura 5).

Lineamentos morfoestruturais

O levantamento geométrico e direcional dos lineamentos revelou um total de 2034 feições. Especificamente, os lineamentos de comportamento rúptil correspondem a um total de 654 elementos, enquanto os dúcteis perfazem uma quantidade de 317 morfoestruturas (Figura 6). Os *trends* mais frequentes são WNW-ESE e NNE-SSW, (respectivamente 623 e 554 lineamentos).

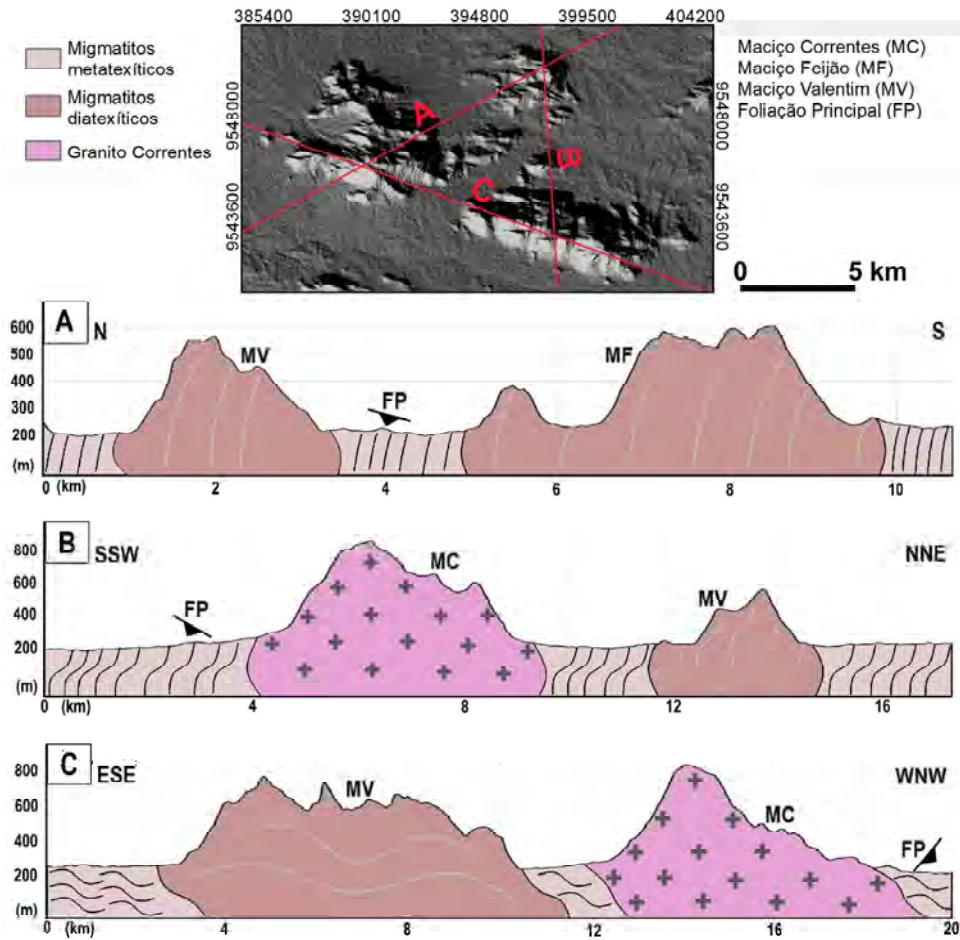


Figura 5 - Perfis geológicos da área de estudo.

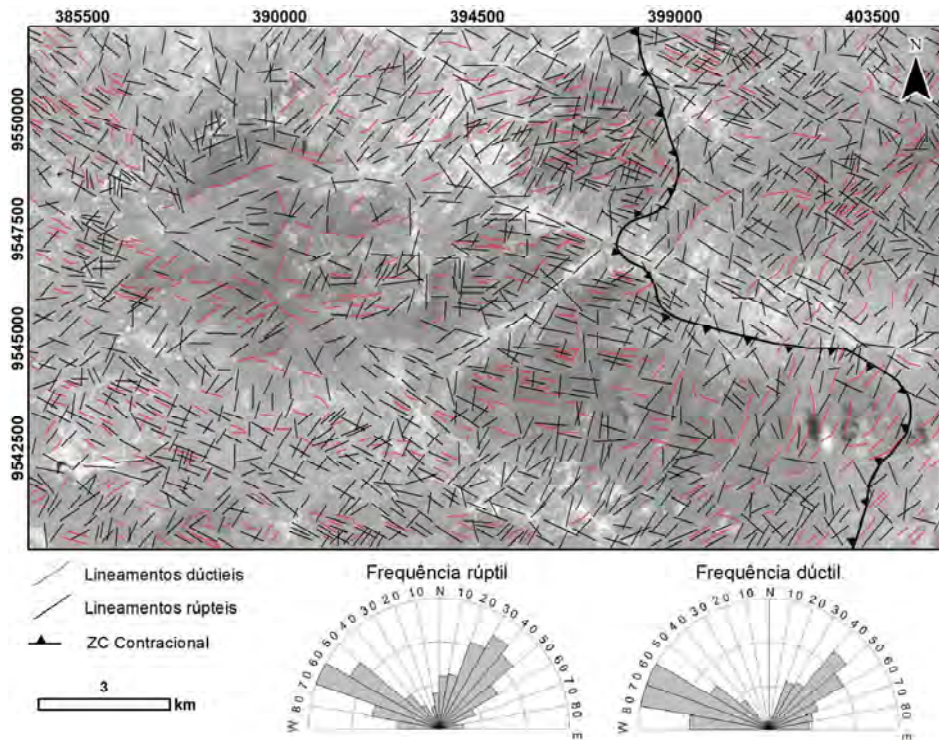


Figura 6 - Lineamentos da região de Taparuaba.

Comparando os dados modais rúpteis e dúcteis, nota-se que a direção WNW-ESE está em primazia para as rosetas específicas de cada tipo de lineamento. Esse *trend* envolve a faixa direcional da lineação de estiramento mineral (N50-80W) das rochas da área e é compatível com a orientação da foliação principal (N60-70W) correspondendo a um total de 454 lineamentos. Em vista disso, os mesmos denotam paralelismo ao eixo compressivo (σ_1) da colisão continental brasileira.

Tratando-se das estruturas a NNE-SSW, observa-se uma orientação aproximadamente perpendicular à moda WNW-ESE. Logo, situam-se paralelos ao eixo extensional (σ_3) dos cavalgamentos crustais na região. Ademais, lineamentos nessa direção são preferencialmente rúpteis (325), denotando escassas estruturas dúcteis em encurtamentos de baixa extensão.

Essas condições de arranjo denotam uma configuração ligeiramente ortogonal aos terrenos analisados. Nas litologias metatexiticas, verifica-se a presença de cristas estruturais de orientação paralela ao σ_1 neoproterozoico, intercaladas por sistemas de fraturas e juntas de mesma orientação, transpassadas por estruturas paralelas ao eixo extensional citado, acompanhando o alinhamento das dobras regionais.

Modas secundárias frequentemente seccionam o par preferencial apontado. Dentre essas, os *trends* ENE-WSW e N-S dispõem das maiores frequências, com 389 e 256 lineamentos respectivamente. Novamente, essas modas são mais expressivas em relação aos rúpteis, indicando condições genéticas mais recentes.

Analisando a distribuição e o adensamento dos lineamentos, percebe-se que as concentrações expressivas estão localizadas nos terrenos rebaixados que circunscrevem as feições positivas (Figura 7 A). Constata-se que as porções do terreno com expressivas quantidades de lineamentos dispõem-se em uma correlação de formas de relevo rebaixadas, como as planícies fluviais e a superfície aplainada, com predominância composicional litológica metatexitica a diatexitica.

Por outro lado, nas parcelas do recorte de estudo, onde são encontrados os maciços residuais e os encurtamentos regionais, são verificadas aglomerações de ordens moderadas a muito baixas, tendo em vista a discrepância geológica nesses terrenos. Em adição a esse dado, verifica-se que há uma diferenciação de densidade de lineamentos relacionada aos maciços da área. O MC e o MF denotam densidades populacionais muito baixas a baixas; e baixas a moderadas, respectivamente. Por outro lado, o MV apresenta densidade moderada a alta, além

de menor amplitude e elevação em relação aos demais maciços e cristas estruturais.

Combinado à densidade de comprimentos de lineamentos por área (km/km^2) e à rede de drenagem, verifica-se que a tropia do escoamento dos canais principais reflete o conteúdo litoestrutural descrito (Figura 7 B). Avaliando a orientação dos canais que sofrem menor influência do gradiente topográfico – em geral, acima da 3ª ordem – observa-se uma direta correlação com o arranjo dos lineamentos de maior extensão. Verifica-se que esses canais são super-impostos a estruturas de alto prolongamento e adensamento, principalmente nos terrenos de fábrica mineral anisotrópica. O alinhamento morfoestrutural desses canais está em primazia relacionado a estruturas na direção N60-70W, dentro da moda principal WNW-ESE.

Discussão

O relevo atual no entorno de Taperauba dispõe de subordinação morfoestrutural a episódios tectônicos decorridos desde o Neoproterozoico. Isto posto, o arranjo colisional da Orogenia Brasileira indicou condições favoráveis para o desenvolvimento dos sets de lineamentos dúcteis e rúpteis através de etapas tardi a pós-colisionais.

Num primeiro momento tardi-colisional – 620 a 600 M.a. (ARAÚJO *et al.*, 2014a), o comportamento dúctil é firmado, propiciando encurtamentos no eixo extensivo aos magmas granítico-migmatíticos em alojamento, além do estabelecimento da injeção magmática de acordo com a vergência do cavalgamento de nappes – aproximadamente WNW-ESE (CASTRO, 2004). Concomitantemente, esforços impostos no eixo σ_1 ocasionaram uma distribuição de estresse por toda a extensão crustal em compressão. Litologias ígneo-migmatíticas supracrustais, de maior resistência, absorvem e confinam esses esforços, igualmente ao longo de sua massa (TWIDALE, 1982).

Com o fim do estágio colisional, a área passou por um período de estabilidade tectônica, no intervalo de 600 a 580 M.a. (ZINCONI, 2011). Isso favoreceu o avanço intempérico e, conseqüentemente, o início da exumação dos corpos alojados. Segundo Pluijm e Marshak (2004), os esforços transmitidos nas rochas intrusivas são liberados, ao passo que a crosta subjacente é erodida produzindo sistemas de juntas ortogonais. O primeiro conjunto forma-se em paralelo ao *strike* em σ_1 , enquanto que o segundo obedece à direção de alongamento, em decorrência do relaxamento de tensão crustal no eixo σ_3 (OWEN, 2014).

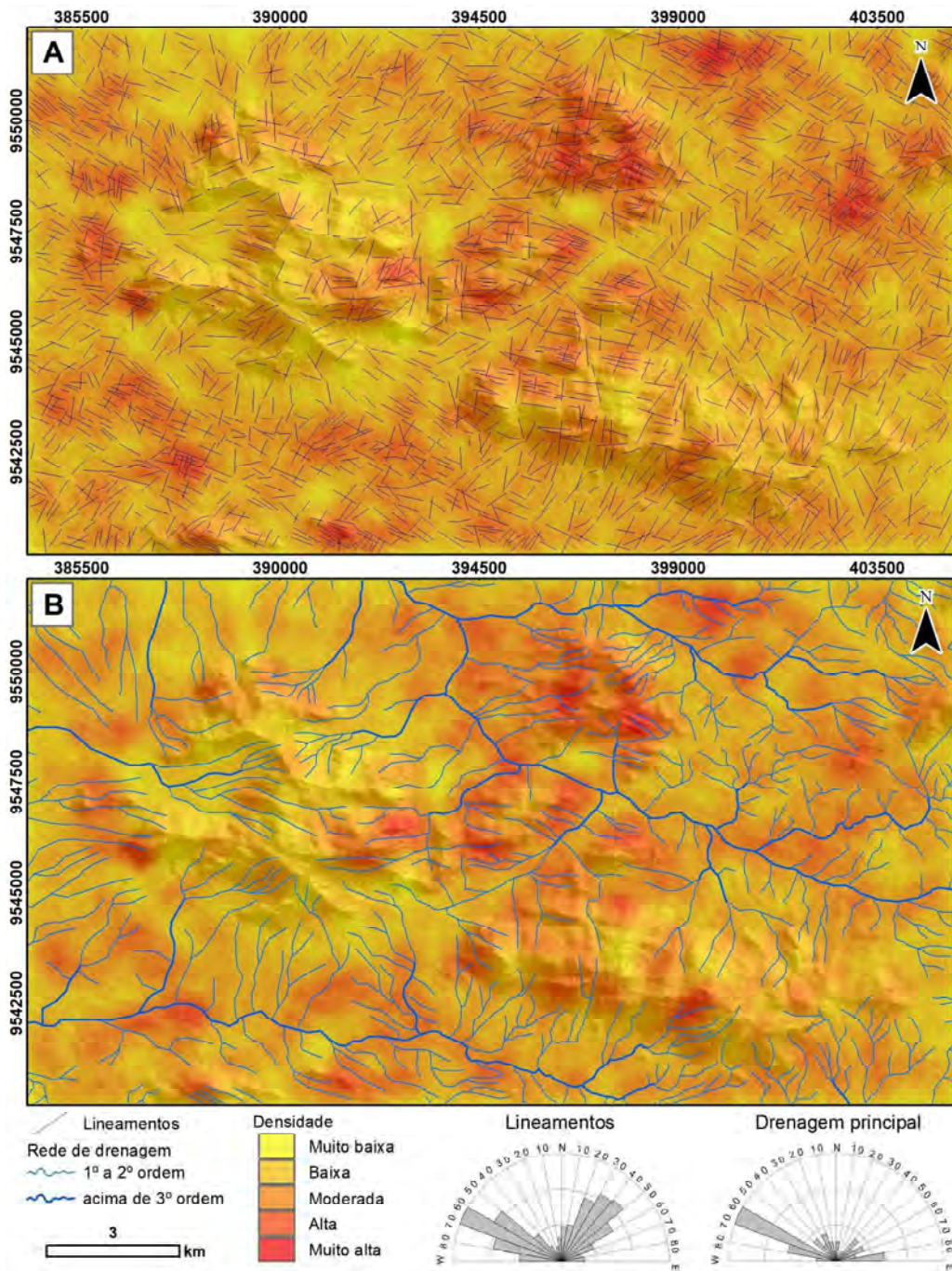


Figura 7 - Densidade de lineamentos e rede de drenagem. A- frequência de lineamentos por área (freq./km²); B- comprimento de lineamentos por área (km/km²)

A similaridade composicional das litologias estudadas configurou notória importância em relação à propagação de estresses em profundidade na crosta. A partir dos dados de Castro (2004) e Gomes (2006), constata-se que as rochas da região apresentam um enriquecimento em minerais félsicos como quartzo e k-feldspatos, em detrimento aos constituintes

máficos como a biotita e a hornblenda, orientados preferencialmente nos migmatitos. Essa condição estipula uma transmissão de tensão generalizada devido à baixa plasticidade dos minerais silicáticos primários em maior quantidade no substrato (JERRAM e PETFORD, 2014), favorecendo a transmissão de esforços aproximadamente uniformes no decorrer dos terrenos.

Em um terceiro momento, pós-colisional – 580 a 550 M.a. (ARAÚJO *et al.*, 2014b), – uma extrusão tectônica é imposta a PB, vinculada ao surgimento de diversas Zonas de Cisalhamento (ZC) transcorrentes. Segundo o modelo sintetizado por Araújo *et al.* (ibidem), as ZC, deformadas no período citado, foram produzidas por meio do encontro colisional entre episódios orogênicos do Ciclo Brasileiro, provocando um mecanismo denominado de extrusão tectônica nas amalgamações. Essa ampla deformação ocorre no encontro de orógenos ou de blocos crustais, consistindo de uma transformação dos esforços de encurtamento em movimentos laterais, causando o deslocamento de massa

paralelo ao eixo extensivo, gerando transcorrências e transpressões (TWISS e MORESS, 2006).

Essa convergência de orogênias culminou em uma rotação anti-horária gradual entre os domínios morfotectônicos da PB (Figura 8), resultando em uma modificação no sentido de máximo encurtamento regional (BUENO *et al.*, 2012). O impacto dessa cinemática sinistral na área de estudo deflagrou uma mudança no eixo σ_1 , passando de uma orientação WNW-SE para ENE-WSW (ARAÚJO *et al.*, 2014b) e condicionando a formação dos cisalhamentos transcorrentes verificados nas adjacências de Tapuruaba.

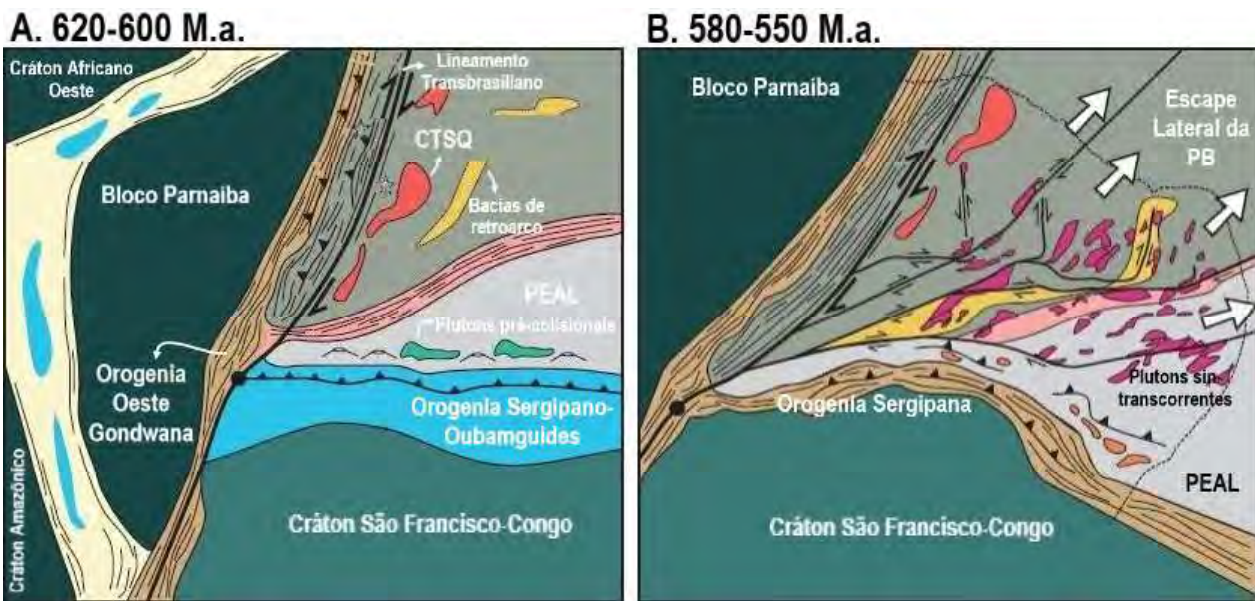


Figura 8 - Modelo de extrusão tectônica da PB. Fonte: Adaptado de Araújo, *et al.*, (2014).

A formação dessas ZC contribuiu para a intensificação deformacional através de cisalhamentos acessórios, segundo um sistema de esforços do tipo Riedel. Conforme Dooley e Schreurs (2012), esses esforços cisalhantes, verificados em zonas de transcorrência sinistrais, conjugam estruturas (i) sintéticas dispostas em angulações de $45^\circ \pm \varphi/2$ (“ φ ” corresponde ao ângulo de fricção principal da ZC); (ii) antitéticas em ângulos $45^\circ + \varphi$; e (iii) fraturas tracionais em 45° anti-horários com o cisalhamento principal. À vista disso, a propagação de tensões oriundas dessas deformações desencadeou esses cisalhamentos de acordo com o rejeito direcional dessas falhas - NNW-SSE e WNW-ESE. Consequentemente, as juntas pré-estabelecidas foram reativadas, principalmente relacionadas às modas WNW-ESSE, verificadas em primazia, no contexto local dos bandamentos migmatíticos (Figura 9).

Após esse contexto deformacional, a área denotou longos períodos de estabilidade, intercalados por eventos tectônicos de menor repercussão na trama estrutural local. Os esforços extensionais desenvolvidos no Cretáceo, de sentido geral NNE-SSW na PB (MATOS, 1999), possivelmente reaproveitaram essas estruturas. Esse quadro de deformação agrega-se à interpretação pela presença de diques básicos relacionados ao magmatismo Ceará-Mirim (CASTRO, 2004), correlatos à abertura do atlântico. Além desse, o soerguimento Cenozoico da PB, associado aos vulcanismos intra-continentais Macau-Queimadas e Fernando de Noronha-Messejana (ALMEIDA *et al.*, 2015), possivelmente reativou esses planos de fraqueza. Contudo, a falta de dados consistentes que comprovem a manifestação desse tectonismo no Domínio Ceará Central impossibilita uma afirmação precisa sobre seu impacto.

Subordinação do relevo local

O arcabouço tectônico local foi responsável pela intensificação da dinâmica morfogenética, tendo em vista as condições de predisposição deformacional das litologias componentes da área. O fato de a região de Taparuaba estar inserida no embasamento do CTSQ

explica a alta densidade de estruturas, principalmente nos migmatitos, devido a sua maior idade e ao alto grau de deformação evidente nessas rochas. Em escala local, os relevos exibem arranjos estruturais compatíveis ao conjunto de esforços discutidos, apresentando vertentes com sistemas de juntas e fraturas ortogonais e conjugadas (Figura 10).

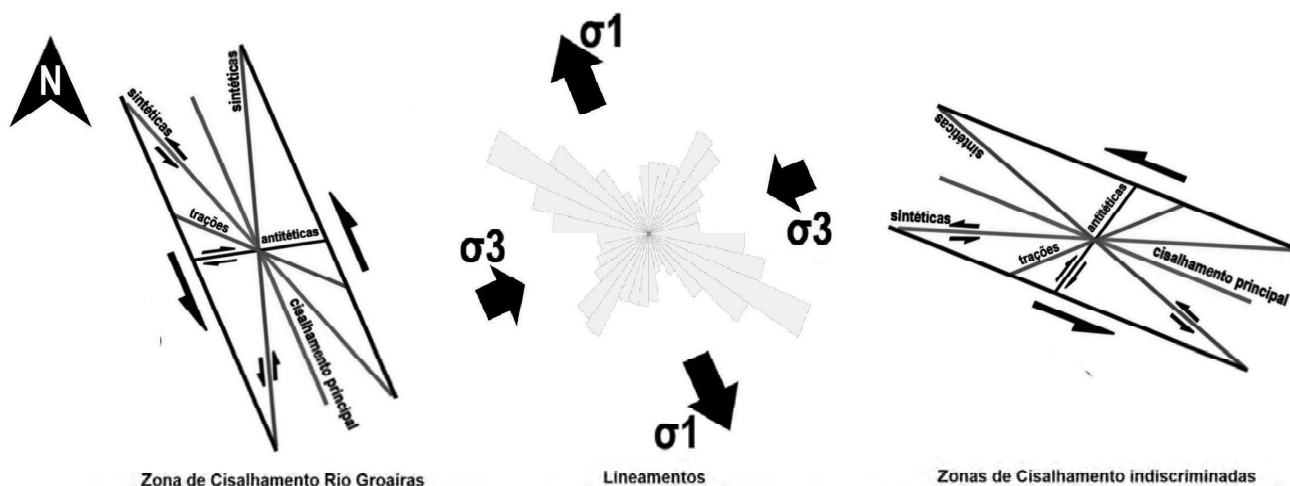


Figura 9 - Correlação da trama estrutural com o sistema de esforços Riedel.



Figura 10 - Sets de estruturas rípteis em vertentes da área de estudo. A- Maciço Feijão; B- Maciço Correntes.

As oscilações climáticas, de acordo com a proposta de Millot (1980), encontraram condicionantes litoestruturais favoráveis ao rebaixamento do nível de base local. Com isso, a evolução geomorfológica registrada nesses terrenos, de acordo com as etapas de aplainamento propostas por Budel (1957), revela maior impacto nas unidades migmatíticas pelo alto adensamento de lineamentos rúpteis. Em função disso, o alçamento dos maciços granítico-diatexíticos foi concomitante ao aplainamento das superfícies adjacentes de primazia metatexítica.

Segundo Maia e Bezerra (2014), as cristas estruturais, os inselbergs e os maciços provenientes do magmatismo vinculado às deformações brasilianas, expostos atualmente na superfície da PB, decorrem de uma exumação através da erosão diferencial elencada aos *trends* de cisalhamento regionais. Trazendo esse contexto regional para a escala local, verifica-se que o

direcionamento desses relevos está vinculado à trama de lineamentos, ao passo que o arranjo ortogonal dos planos de fraqueza promove caminhos favoráveis a suas exumações.

Os patamares rebaixados, com planos de clivagem de alta penetratividade e composições faciológicas enriquecidas em minerais solúveis, denotam melhores condições para a propagação de estruturas rúpteis e a dissolução intempérica. Nesse sentido, a dissecação atual dos maciços, e suas disposições em relação às superfícies aplainadas, são resultados do controle morfoestrutural que os lineamentos impõem a rede de drenagem (Figura 11).

O escoamento tem sua tropia principal condicionada pelas estruturas rúpteis. Assim, de acordo com a concentração e orientação das juntas e fraturas, o aplainamento geoquímico das superfícies adjacentes se estabelece com alta intensidade, rebaixando porções crustais mais deformadas e alçando os corpos intrusivos.

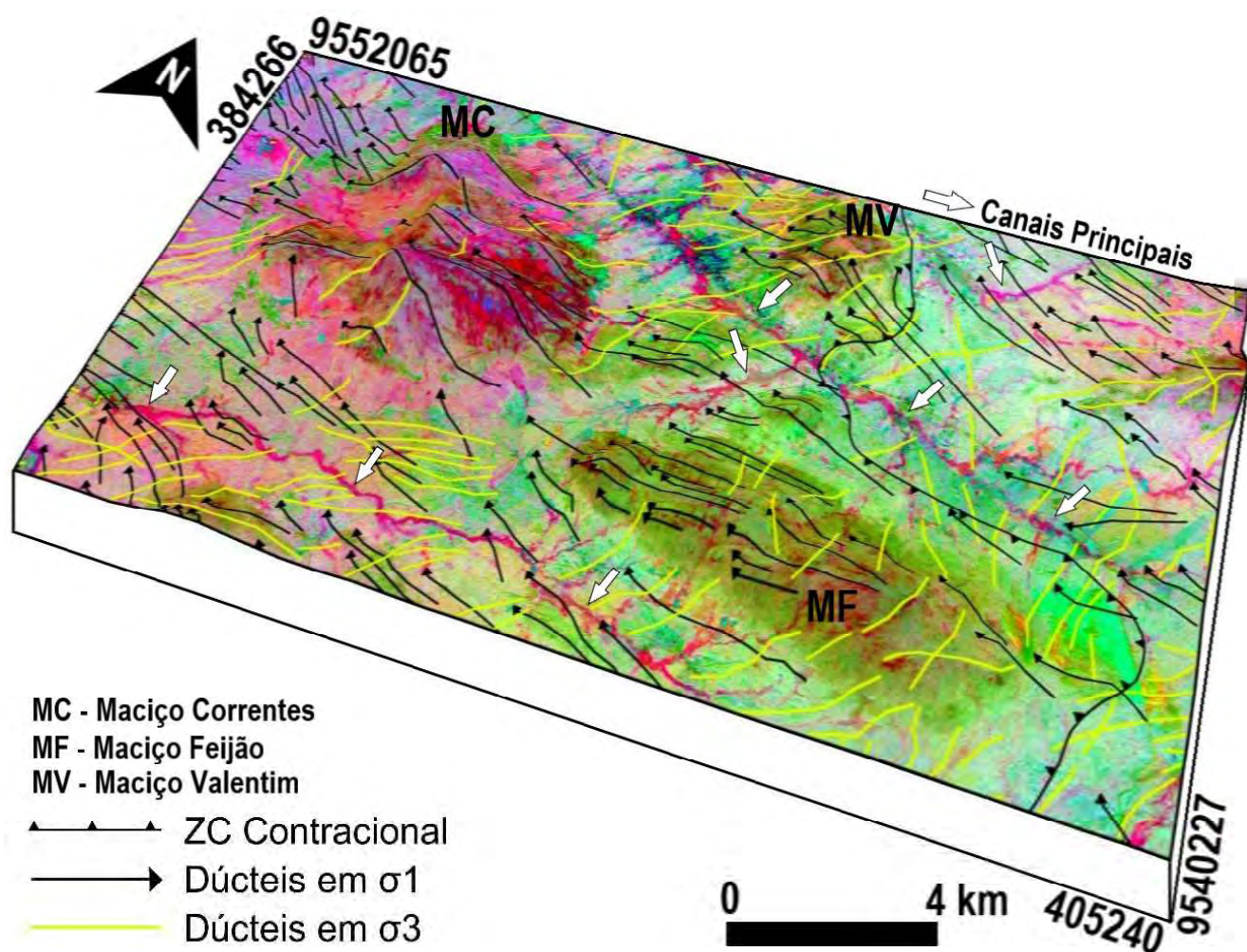


Figura 11 - Correlação da rede de drenagem e lineamentos dúcteis.

Conclusões

A disposição do relevo das adjacências de Taparuaba é fruto da relação entre episódios tectônicos tardi a pós-brasilianos e dos lineamentos morfoestruturais que cortam a região, controlando o fluxo de drenagem em planos preferenciais e, conseqüentemente, influenciando a dissecação nesses terrenos, a partir das variações nas fábricas litológicas. Do ponto de vista genético, grande parte dos lineamentos advém de derivações das deformações Neoproterozoicas, devido aos padrões de modas direcionais de alta repetitividade – WNW-ESE e NNE-SSW – serem similares ao modelo compressivo de cavalgamento crustal proposto para a área – com polaridade WNW-ESE.

Esses resquícios estruturais encontram-se expressos nos relevos atuais: (i) de forma dúctil, através de cristas, dobras e foliações; ou (ii) de forma rúptil, referentes a reativações de juntas e fraturas por outros eventos pós-orogênicos, controlando os canais principais e a dissecação da região.

A erosão diferencial avançou preferencialmente nos setores de fragilidade, denotando alta intensidade nas áreas com expressivas densidades de lineamentos. Os maciços que dispunham de maior coesão, relacionada a uma baixa anisotropia, foram alçados à paisagem, em oposição aos substratos migmatíticos metatexíticos, com significativa anisotropia, e por conseqüência, propensos à deformação rúptil e à dissolução.

Logo, o rebaixamento denotou condições intensas nas rochas metatexíticas, facilitando a progressiva exumação dos *cores* granitoides em oposição à formação da superfície aplainada que compreende essas unidades geológicas. As variações climáticas favoreceram o duplo estágio de aplainamento, denotando a exposição dos núcleos de resistência.

O aprofundamento intempérico nas zonas de fragilidade e a conseqüente erosão laminar desenvolveram novas morfologias até o arranjo geomorfológico atual, como a incisão de vales, formação das planícies fluviais, denudação de cristas e colinas, regressão de vertentes e deposição colúvio-aluvial.

Referências Bibliográficas

AB'SÁBER, A. N.; BIGARELLA, J.J. Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Mar. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 4/5, p. 94-110, 1961.

ALMEIDA, Y. B.; JULIÀ, A.; FRASSETTO, A. Crustal architecture of the Borborema Province, NE Brazil, from receiver function CCP stacks: Implications for Mesozoic stretching and Cenozoic uplift. **Tectonophysics**, v. 649, p. 68-80, 2015.

ALVES, F. C.; ROSSETTI, D. F. Análise morfoestrutural e neotectônica na porção norte da Bacia Paraíba (PB). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n.4, p. 559-578, 2015.

AMARO V. E. **Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da Província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis Neoproterozoicas**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998. 393 p.

ANDRADE G. O; LINS R. Introdução à morfoclimatologia do Nordeste do Brasil. **Arquivos do Instituto de Ciências da Terra**, Recife, n. 3-4, p. 11-28, 1965.

ANDRADES FILHO, C. O.; ROSSETTI, D. F. Effectiveness of SRTM and ALOS-PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 1058-1077, 2012.

ARAÚJO, C. E. G. de, COSTA, F. G., PINÉO, T. R. G., CAVALCANTE, J. C., MOURA, C. A. V. Geochemistry and ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb zircon ages of granitoids from the southern portion of the Tamboril-Santa Quitéria granitic-migmatitic complex, Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 15, n. 33, p. 21–33, 2012a.

ARAÚJO C. E. G. de; CORDANI U. G.; BASEI, M. A. S.; CASTRO, N. A.; SATO, K.; SPROESSER, W. M. U–Pb detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE–Brazil: Tectonic implications for a long-lived Neoproterozoic active continental margin. **Precambrian Research**, v. 17, n. 206–207, p. 36–51, 2012b.

ARAÚJO, C. E. G. de; WEINBERG, R. F.; CORDANI, U. G. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. **Terra Nova**, v. 26, p. 157-168, 2014a.

ARAÚJO, C. E. G. de, CORDANI, U. G., WEINBERG, R. F., BASEI, M. A. S., ARMSTRONG, R., SATO, K. Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites. **Lithos**, v. 14, n. 202–203, p. 167–189, 2014b.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens**

- Tropicais**. Primeira ed. Florianópolis: Editora UFSC, v. 1, 1994, 356 p.
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R., CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A. (2000). Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In CORDANI, U.; MILANI, E.J.; THOMAZ, A. & CAMPOS, D.A (Org.) **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, 31 International Geological Congress: p. 151-182.
- BUDEL, J. Die "Doppelten Einebnungsflächen" in den feuchten Tropen. **Geomorphology**, v. 1, n. 2, p. 201–228, 1957.
- BUDEL, J. **Climatic Geomorphology**. First ed. New Jersey: Princeton University Press, 1982, 215 p.
- BUENO, J.F., OLIVEIRA, E.P., MCNAUGHTON, N. AND LAUX, J.H. U–Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil: implications for the timing and duration of continental collision and extrusion tectonics in the Borborema Province. **Gondwana Research**, v. 15, n. 4, p. 86–97, 2009.
- CASTRO, N.A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taperuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004, 221 p.
- CASTRO, N. A.; OSAKO, L. S.; SIMÕES, L. **Folha SB.24-V-B-II: Taperuaba**. Fortaleza: CPRM, 2014. Mapa color., 69cm x 98cm. Mapa geológico. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB.
- CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H.; MAIA, R. P. Formações Concrecionárias e Aspectos Genéticos e Evolutivos do Maciço do Quincuncá, Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.
- COUTO, E. V.; FORTES, E.; FERREIRA, J. H. D. Índices geomorfológicos aplicados a análise morfoestrutural da zona de falha do rio Alonzo - PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 287-297, 2014.
- DOOLEY, T.P., SCHREURS, G. Analogue modelling of intraplate strikeslip tectonics: a review and new experimental results. **Tectonophysics**, v. 17, n. 574–575, p. 31–71, 2012.
- FETTER, A. H., SANTOS, T. J. S., VAN SCHUMUS, W. R., HACKSPACHER, P. C., BRITO NEVES, B. B., ARTHAUD, M. H., NOGUEIRA NETO, J. A., WERNICK, E. Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of west Gondwana. **Gondwana Research**, v.17, n. 6, p. 265–273, 2003.
- FETTES, D.; DESMONS, J. **Metamorphic rocks. A classification and glossary of terms**. First ed. Cambridge: Cambridge University, 2007, 244 p.
- GOMES, I. P. **Caracterização petrográfica e petroquímica dos granitos tardi e póstectônicos da região de Santa Quitéria-Ceará, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006, 219 p.
- GORAYEB, P. S. de S.; ABREU, F. de A. M. de; SANTOS, M. V. dos; SILVA JÚNIOR, O. G. da S. **Folha SA.24-Y-D-IV: Sobral**. Fortaleza: CPRM, 2014. Mapa color., 69cm x 98cm. Mapa geológico. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB.
- GURGEL, P. P. S.; BEZERRA, R. H. F, CORRÊA, B. C. A.; MARQUES, O. F.; MAIA, P. R.; Cenozoic uplift and erosion of structural landforms in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 186, p. 68-84, 2013.
- HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. Análise morfotectônica da região da Serra dos Órgãos, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2010.
- JERRAM, D., PETFORD, N. **Descrição de Rochas Ígneas. Guia Geológico de Campo**. Segunda ed. São Paulo: Bookman, 2014, 280 p.
- KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. **Geological Society of America Bulletin**, n. 64, p. 721-752, 1953.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- LIMA G.M.P., CORRÊA-GOMES L.C. (2015). Itatim Geomorphological Site: Largest Concentration of Inselbergs in Brazil. In: VIEIRA B., SALGADO A., SANTOS L. (eds) **Landscapes and Landforms of Brazil**. Serie: World Geomorphological Landscapes. Springer, Dordrecht, p. 371-380.
- MABESSONE, J. M.; CASTRO, C; Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. **Boletim do núcleo Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**. v. 3, 1975.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. **Revista Mercator**, v. 15, n 13, p 127-141. 2014.
- 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. 2, n. 16, 2015.
- MAIA, R. P.; BETARD, F.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia Dos Maciços De Portalegre E Martins - Ne Do Brasil: Inversão Do Relevo Em Análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 273-285, 2016.
- MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L. Relevos Graníticos do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.
- MATOS, R. M. D. History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa. **Geological Society of London**. Special Publication. v. 153, p. 55 – 73, 1999.
- MEHNERT, K. R. **Migmatites and the Origin of Granitic Rocks**. First ed. Amsterdam: Elsevier, 1968, 356 p.
- MIGON, P. **Granite Landscapes of the World**. First ed. England: Oxford University Press, 2006. 416 p.
- MIGON, P.; GONÇALO, V.; Granite geomorphology and its geological controls, Serra da Estrela, Portugal. **Geomorphology**, v. 226, n. 3, p. 1-14, 2014.
- MILLOT, G. Les grands aplanissements des socles continentaux dans les pays subtropicaux, tropicaux et désertiques. **Mém. ORSTOM, Société. Géologique de France.**, Spécial. Publication. 10, p. 295-305, 1980.
- NALETO, J. L. C.; GANADE DE ARAÚJO, C.E. **Folha SA.24-Y-D-V : Irauçuba**. Fortaleza: CPRM, 2014. Mapa color., 69cm x 98cm. Mapa geológico. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB.
- O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1.463-1.469, 1976.
- OLIVEIRA, R. G., MEDEIROS, W.E. Evidences of buried loads in the base of the crust of the Borborema Province (NE Brazil) from Bouguer admittance estimates. **Journal of Society American Earth Science**, v. 37, p. 60–76, 2012.
- OWEN, S. C. **Geological Origins of Sugarloaf Mountains In Eastern Brazil And Their Environmental Significance As Refugia For The Mata Atlantica Rainforest**. Tese (Doutorado em Geologia e Geografia) Universidade de Leicester, Leicester, 2014. 356 p.
- PEULVAST, J. P.; CLAUDINO-SALES, V. Aplainamento e geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia. **Revista Mercator**, v. 1, n. 1, p. 113-150, 2002.
- PEULVAST, J. P.; CLAUDINO-SALES, V. Stepped surfaces and palaeolandforms in the Northern Brazilian Nordeste: Constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**. v. 3, n. 2, p. 89-122, 2004.
- PLUIJM, V. D. B. A.; MARSHAK, S. **Earth Structure**. Second ed. London: Norton Publ. House, 2004, 432 p.
- RAHARIMAHEFA, T.; KUSKY, M. T.; Structural and remote sensing analysis of the Betsimisaraka Suture in northeastern Madagascar. **Gondwana Research**, v. 15, n. 1, p. 14-27. 2009.
- RIBOLINI, A.; SPAGNOLO, M. Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French–Italian Alps). **Geomorphology**, v. 93, n. 3–4, p. 253-266, 2008.
- SALGADO, A. A. R. Superfícies de Aplainamento: Antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Geografias**, v. 3, p. 64-78, 2007.
- SAWYER, E. W. **Atlas of Migmatites**. ninth ed. Canadá: The Canadian Mineralogist, Special Publication, 2008. 371 p.
- SILVA, G. P.; GOY, J. L.; ZAZO, C.; BARDAJÍ, T. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. **Geomorphology**, v. 50, n. 1–3. p. 203-225, 2003.
- TORRES, P. F. M.; CAVALCANTE J. C.; PALHETA E. S. M.; VASCONCELOS A. M.; OLIVEIRA F.V. Mapa Geológico da Folha Quixadá, 1:250.000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos**. CPRM. 2007.
- TWIDALE, C. R. **Granite Landforms**. First ed. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1982. 396 p.
- TWIDALE, C. R.; BOURNE, J. A. Episodic exposure of inselbergs. **Geological Society of America Bulletin**, v. 86, n. 1, p. 473-1481, 1975.
- TWIDALE, C. R., Bornhardts and associated Fracture Patterns. **Revista de la Asociacion Geologica Argentina**, v. 62, n. 1, p. 139-153, 2007.
- TWIDALE, C. R. The two-stage concept landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea. **Earth Science**, v. 57, p. 25-42, 2002.
- TWISS R. J., MOORES E. M. **Structural Geology**. First ed. New York: W.H. Freeman and Co. 1992, 532 p.
- VIDAL ROMANÍ J. R., TWIDALE C. R. **Formas y paisajes**

graníticos. First ed. La Coruña: Universidade de Coruña, 1998, 415 p.

VITTE, A. C. Etchplanação dinâmica e episódica nos trópicos quentes e úmidos. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 16, p. 105-118, 2005.

WINKLER, H. G. F. **Petrogênese das Rochas Metamórficas**.

Primeira ed. Porto Alegre: Edgard Blücher Ltda., 1977. 356 p.

ZINCONE, S. **Petrogênese do Batólito Santa Quitéria: implicações ao magmatismo brasileiro na porção norte da Província Borborema, NE do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas. 2011. 192 p.