

ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS DO NORDESTE SETENTRIONAL BRASILEIRO

MORPHO-STRUCTURAL ASPECTS OF THE NORTHEAST BRAZILIAN NORTHEAST

ASPECTS MORPHOSTRUCTURALES DU NORD-EST BRÉSILIEN

RUBSON PINHEIRO MAIA

Professor do Dept. de Geografia – Universidade Federal do Ceará

<https://orcid.org/0000-0002-1688-5187>

Recebido 21/06/2020

Enviado para correção 25/06/2020

Aceito 10/07/2020

RESUMO

No Nordeste Brasileiro, a denudação continental distinguiu as formas de relevo a partir do condicionamento morfoestrutural representado pelas zonas de deformação rúpteis e dúcteis do embasamento cristalino pré-cambriano. Ao longo das zonas de falhas, a dissecação interiorana e a agradação costeira deu-se a partir de sistemas de drenagem condicionados pela disposição estrutural. O enfoque analítico proposto por este trabalho abordará a relação entre estrutura (Plano de foliação, planos de deformação e direções de fraturamento), denudação/agradação e relevo. Nesse aspecto, apresentar-se-á uma proposta de interpretação, baseada em processos derivados da evolução associados a erosão diferencial ao longo de zonas de cisalhamento transcorrentes. Nessas zonas, de direções NE-SW e E-W, a exumação crustal, originou trends de lineamentos que confinam os canais de drenagem orientando a dissecação e a agradação fluvial. Isso resulta na formação de maciços, sequências de cristas e vales que confinam os canais de escoamento, passando esses a serem os indicadores dos planos de deformação. Esse contexto estende-se para as unidades agradacionais e circudenudacionais na forma de controle sobre a dissecação. Esta por sua vez, passa a ocorrer orientada segundo os planos de falhas, formando vales encaixados que constituem a expressão geomorfológica da reativação frágil de zonas de cisalhamento transcorrentes nas unidades paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas.

Palavras-chave: Geomorfologia. Erosão diferencial. Nordeste. Tectônica.

ABSTRACT

In the northeast of Brazil, the continental denudation distinguished the relief forms by using the morphostructural conditioning represented by the ductile and brittle deformation zones of the Precambrian crystalline basement. The interior dissection and the coastal affiliation occurred along the fault zones by the drainage systems conditioned by the structural arrangement. The analytical approach proposed by this work will address the relationship between structure (foliation plane, deformation planes and fracture directions), denudation/aggradation and relief. In this aspect, a proposal of individualization of the relief based on processes derived from macro-scale morphostructural evolution will be presented. That classification took into account form and process, and divided that type of relief into the following macro units: Denudational Forms, Circudenudational Forms and Aggradational Forms. In the denudational units, crustal exhuming in deforming areas in NE-SW and E-W directions has led to lineament trends that confine the drainage channels, leading to dissection and fluvial aggradation. This results in the formation of massifs, ridges and valleys that confine the flow channels, which are the indicators of the deformation planes. This context extends to the aggradational and circudenudational units in the form of control over dissection. That dissection happens due to the fault planes, forming embedded valleys that constitute the geomorphological expression of the fragile reactivation of transcurrent shear zones in the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic units.

Keywords: Geomorphology. Differential erosion. Northeast. Tectonic.

RÉSUMÉ

Dans le nord-est du Brésil, la dénudation continentale a distingué les reliefs du conditionnement morfostructural représenté par les zones de déformation fragile et ductile du socle cristallin précambrien. Dans toutes les zones de failles, la dissection intérieure et l'agrément côtier ont eu lieu à partir de systèmes de drainage conditionnés par la disposition structurale. L'approche analytique proposée par ce travail portera sur la relation entre la structure (plan de foliation, plans de déformation et directions de fracture), dénudation / agrément et relief. A cet égard, une proposition d'interprétation sera présentée, basée sur des processus issus de l'évolution associée à l'érosion différentielle le long des zones de déplacement. Dans ces zones, des directions NE-SW et E-W, l'exhumation crustale a donné lieu à des tendances de linéaments qui confinent les canaux de drainage, guidant la dissection et le plaisir fluvial. Il en résulte la formation de massifs, de séquences de crêtes et de vallées qui confinent les canaux d'écoulement, devenant ceux-ci les indicateurs des plans de déformation. Ce contexte s'étend aux unités agréables et circudenudationales sous forme de contrôle de la dissection. Ceci, à son tour, commence à se produire orienté selon les plans de failles, formant des vallées encastrées qui constituent l'expression géomorphologique de la réactivation fragile des zones de cisaillement se produisant dans les unités paléozoïque, mésozoïque et cénozoïque.

Mots clés: Géomorphologie. Érosion différentielle. Nord-est. Tectonique.

INTRODUÇÃO

Os processos denudacionais que ocorreram ao longo do Cenozoico constituem a principal força modeladora do relevo no Nordeste Brasileiro (PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2004). A denudação continental fora responsável pela distinção das formas de relevo, originando assim, um complexo mosaico geomorfológico que expressa em superfície, os condicionantes estruturais responsáveis pela morfologia atual. Dessa forma, destacam-se as bordas de bacias sedimentares, os maciços residuais, os campos de inselbergues, as depressões sertanejas e as planícies fluviais e costeiras. Entretanto, é preciso ressaltar que essa denudação ocorreu em terrenos diferentes, com idades distintas, afetados por vários graus de metamorfismo e deformação. Assim, as formas residuais resultantes da erosão diferencial sobre estruturas deformacionais relacionadas aos diversos eventos tectônicos que ocorreram ao longo da formação da província Borborema, constituem a expressão geomorfológica de superfície de processos associados à deformação crustal, ao metamorfismo e ao plutonismo.

Esse trabalho tem como principal objetivo associar o papel exercido pelas zonas de deformação brasileiras no condicionamento estrutural do relevo.

Ao final, será apresentada uma classificação para o relevo do Nordeste, especificamente na porção norte da Província Borborema, através de uma compartimentação morfotectônica, buscar-se-á analisar o processo de evolução da morfologia e propor uma delimitação das unidades geomorfológicas.

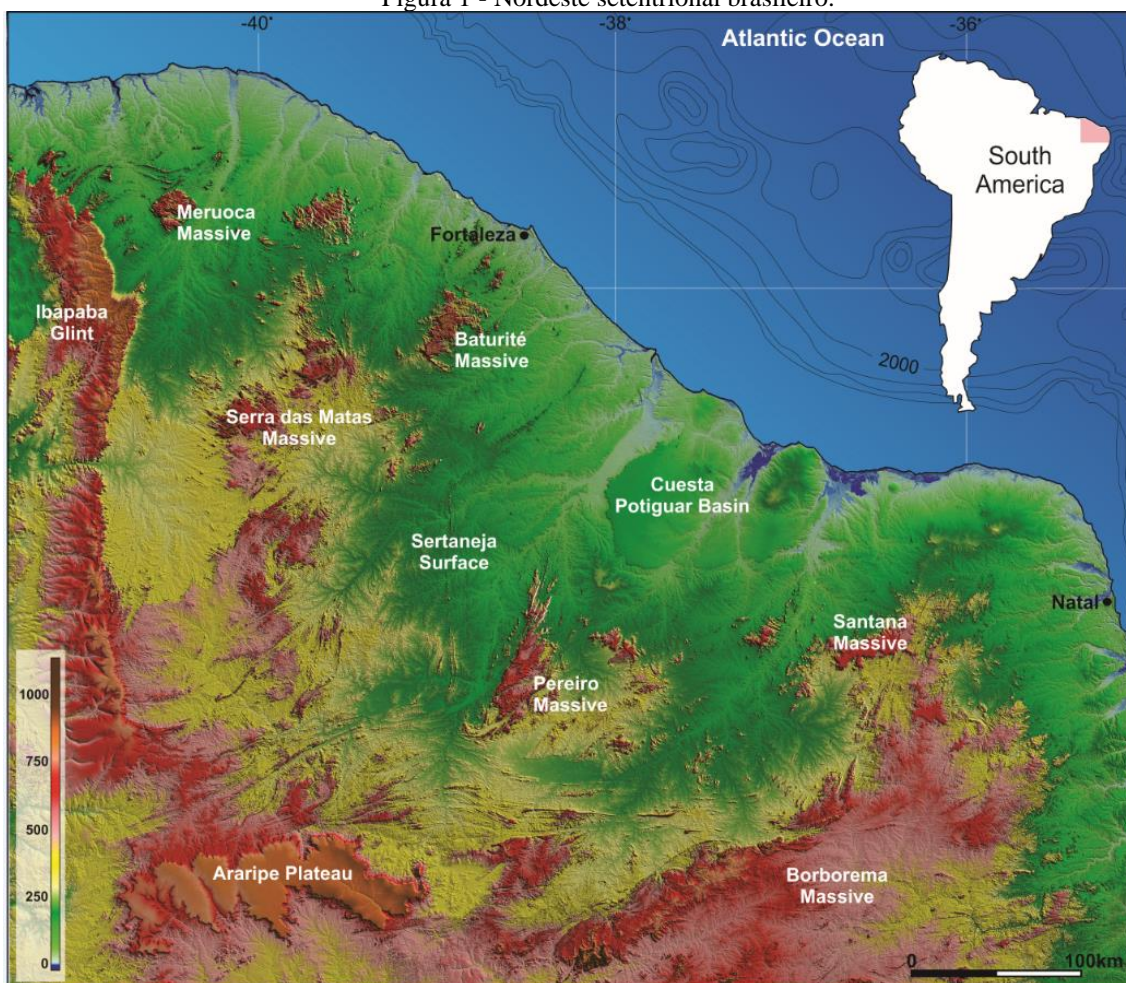
Localização e Caracterização

Esta área é caracterizada por relevos desenvolvidos em litotipos variados, com destaque para as Bacias paleozoicas e mesozoicas, os maciços cristalinos e as depressões sertanejas. Os padrões de dissecação são difusos em muitos casos, orientados segundo as direções das principais zonas de cisalhamento transcorrentes (Figura 1). As altitudes variam de 0 a 200m na faixa costeira aumentando suas amplitudes em direção ao interior, onde podem ultrapassar os 1.000m no topo dos maciços mais elevados.

A Província Borborema compreende uma área do Nordeste setentrional situada a leste da Bacia Parnaíba e ao norte do Cráton São Francisco (ALMEIDA; BRITO NEVES; CARNEIRO, 2000) e é caracterizada por terrenos de diferentes litologias separados por falhas e lineamentos (ALMEIDA; BRITO NEVES; CARNEIRO, 2000) de direção predominante NE-SW e E-W (VAUCHES *et al.*, 1995). A Província Borborema é composta por vários terrenos arqueanos e Proterozoicos agrupando litologias metamórficas e ígneas. Sobre este substrato Pré-Cambriano ocorrem diversas bacias sedimentares Paleozoicas e Cretáceas.

A orogenia Brasileira foi responsável, entre 750 e 540 Ma, pela amalgamação final de Gondwana ocidental (ARTHAUD, 2007). No final desta orogenia, os diferentes blocos crustais parecem ter sido soerguidos variavelmente ao longo dos lineamentos principais, seja como resultado de reativações das extensas zonas de cisalhamento em caráter dúctil-rúptil, seja associado a reajustes isostáticos pós-tectonismo (CORSINI *et al.*, 1998). Posteriormente, a fase de reativação de zonas de cisalhamento (Jurássico superior a Cretáceo inferior), caracterizou-se pela formação de rifts que resultaram nas bacias interiores do Recôncavo, Tucano-Jatobá, Araripe, Rio do Peixe, Iguatu e as bacias costeiras da margem Atlântica (Ceará, Potiguar, Pernambuco, Paraíba e Sergipe-Alagoas) (MATOS, 1992). Esses eventos levaram à fragmentação de Pangea, à formação do Oceano Atlântico e à individualização da Placa Sul-Americana.

Figura 1 - Nordeste setentrional brasileiro.



Fonte: o autor.

Paralela e subsequentemente à formação do Atlântico, o interior continental foi submetido a soerguimento e erosão, esta fase é chamada de fase de estabilização pós-cretácea (PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2004). Muitos dos depósitos sedimentares resultantes desses sucessivos eventos tectônicos foram influenciados pelas falhas do embasamento subjacente, particularmente pelas estruturas desenvolvidas durante o tectonismo que atuou no final do Ciclo Brasileiro até o Cretáceo (MATOS, 1992). Essas falhas são pré, sin e pós-deposicionais na área das bacias (BEZERRA; VITA-FINZI, 2000; CASTRO *et al.*, 2000).

Nesse aspecto, o relevo do maciço da Borborema corresponde ao conjunto de terras altas que se distribuem ao longo da fachada do Nordeste oriental do Brasil, ao norte do rio São Francisco, acima da cota 200 m, cujos limites são marcados por uma série de desnivelamentos topográficos, sendo sua gênese epirogênica associada à fragmentação de Pangea e ao magmatismo intraplaca atuante ao longo do Cenozoico (CORREA *et al.*, 2010).

Nesse trabalho, realizar-se-á uma análise acerca do papel exercido pelas zonas de deformação tectônica na denudação continental. O foco analítico basear-se-á na relação entre dissecação promovida pela drenagem, resistência do embasamento e erosão diferencial resultante.

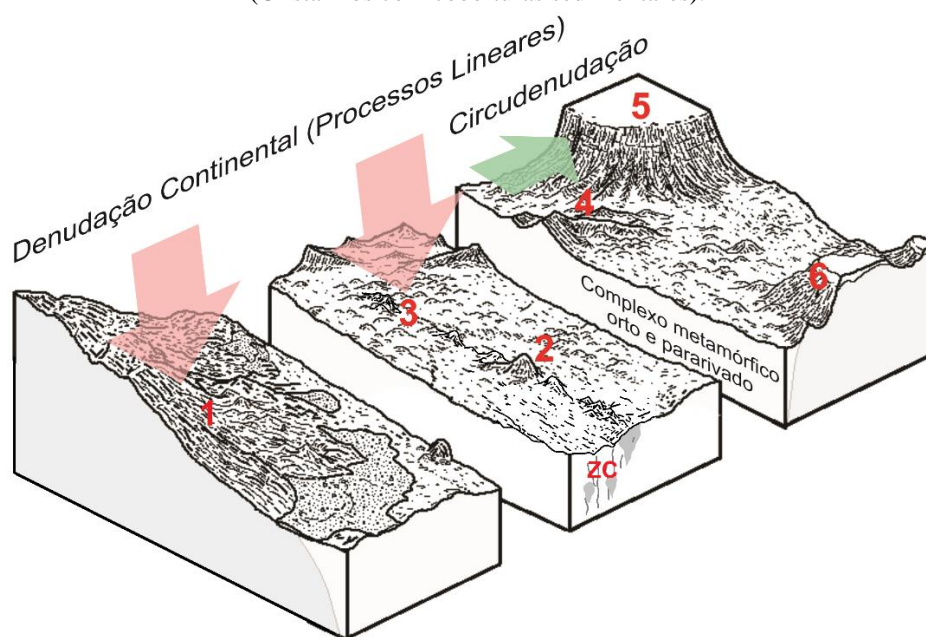
MATERIAIS E MÉTODOS

Foram correlacionadas formas de relevo como cristas e vales, com padrões, densidade e ocorrência de lineamentos estruturais associados as zonas de cisalhamento transcorrentes no nordeste setentrional brasileiro. Os mapas de geologia da CPRM (CAVALCANTE *et al.*, 2003; ANGELIM *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2001; WANDERLEY *et al.*, 2002), de lineamentos e drenagem, com os dados de SRTM 30m, permitiu fazer a correlação entre as feições de relevo e seus condicionantes morfoestruturais. Esse trabalho contou ainda com o Processamento Digital de Imagens a partir de edições coloridas do sensor ALOS-PALSAR. Essas composições permitiram estabelecer conexões entre geomorfologia, controle estrutural, e drenagem. Os blocos diagramas deram suporte a interpretação geomorfológica e a representação tridimensional acerca da evolução do relevo.

RESULTADOS

Os controles estruturais de macroescala ocorrem, sobretudo ao longo das zonas de deformação, onde os efeitos da granitogênese brasileira e conseqüentemente do metamorfismo, possibilitaram o desenvolvimento de cristas a partir da erosão diferencial. Na Província Borborema extensas zonas de cisalhamento transcorrentes brasileiras a seccionam nas direções E-W e NE, zonas estas que, em geral controlaram o alojamento de diversos corpos granitoides, além disso, controla o relevo, que é comumente disposto em sequencias de cristas e vales orientados segundos os trends de lineamentos. Esses trends são representados no relevo por cristas quartizíticas ou de micaxistos, por intrusões graníticas e por planos de milonitização. Assim originam-se lineamentos paralelos, de resistências diferenciadas a denudação geoquímica ou física favorecendo através da erosão diferencial o desgaste das faixas menos tenras segundo os planos de deformação e a manutenção dos corpos intrusivos, que passam a ser expressos no relevo como cristas residuais de origem morfo-estrutural (Figura 02).

Figura 2 - Modelo de processos atuantes na erosão das formas de relevo continentais do Nordeste Brasileiro. Setas indicam a direção da dissecação. 1: Maciços graníticos, 2: Cristas residuais em ZC (Zonas de cisalhamento transcorrentes), 3: Superfície sertaneja, 4: Depressões Periféricas, 5: Platôs sedimentares, 6: Platôs mistos (Cristalinos com coberturas sedimentares).



Fonte: o autor.

A dissecação associada aos vales, é realizada por drenagens com canais retilíneos e padrões paralelos. As cristas desenvolvem-se como alinhamentos de morros (Figura 03) que separam vales, como interflúvios lineares.

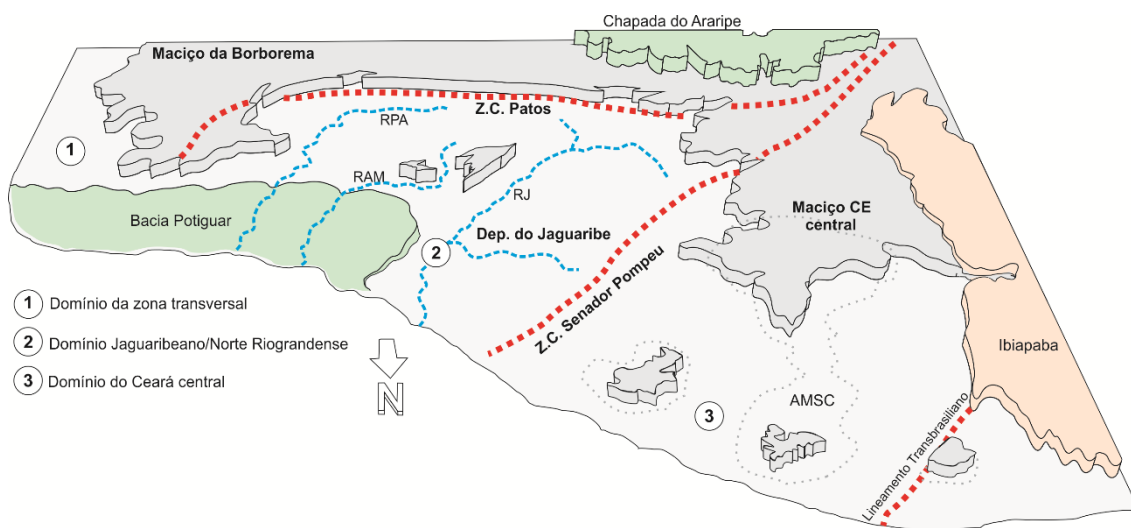
Figura 3 - Cristas residuais associadas a ZC Senador Pompeu – Ceará central.



Fonte: o autor.

O resultado final da atuação da erosão é o desaparecimento do relevo e o retorno da crosta a sua espessura inicial, anterior ao evento deformacional. Isso implica entre outras coisas, em que o substrato de subsuperfície, aparecerá em superfície. Dessa forma a erosão de zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas conduz a progressiva exumação de plutons que podem resultar, na formação de maciços cristalinos. Essa exumação, possibilitou através da erosão diferencial, a formação de trends de lineamentos geomorfológicos, dispostos em formas lineares positivas e negativas associadas aos planos de deformação brasileira.

Figura 4 - Compartimentos Morfoestruturais do Nordeste setentrional brasileiro.



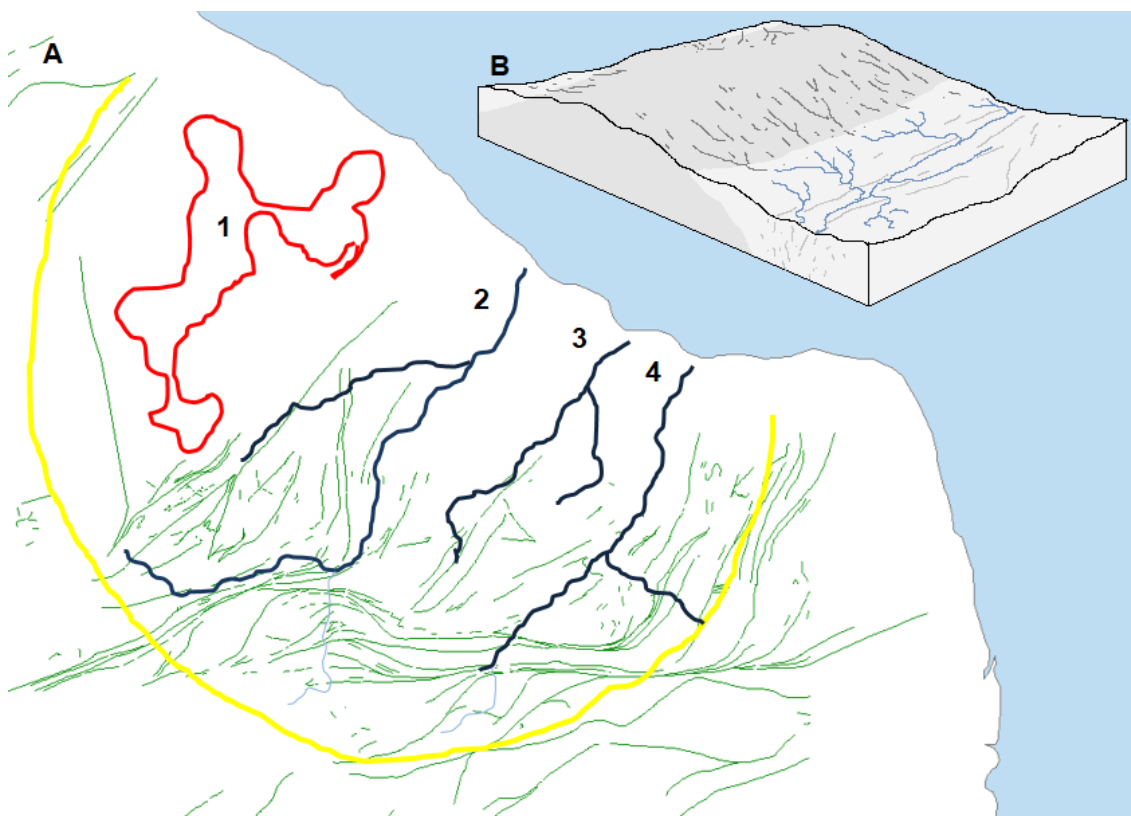
Fonte: o autor.

Os planos de deformação brasiliana, condicionam em escala regional, diversas morfologias, principalmente aquelas associadas às zonas de cisalhamento dúcteis onde o relevo é caracterizado por cristas simétricas com vertentes de declividade acentuadas dispostas de forma contínua.

Nas áreas compreendidas entre o lineamento Patos e a ZC Senador Pompeu (Figura 03) forma-se a partir da dissecação promovida pelas bacias hidrográficas (Bacias Jaguaribe/CE, Apodi-Mossoró/RN e Piranhas-Açu/PB e RN que em conjunto somam 70% da área total do anfiteatro erosivo.

Com exceção do maciço da Borborema, as áreas com menor concentração de ZCTs (Domínio do Ceará central) foram menos afetadas pela erosão do embasamento. Especificamente nesse setor as bacias de drenagem são menos expressivas em escala espacial quando comparadas aos grandes sistemas que dissecam o domínio jaguaribeano e norte-riograndense.

Figura 5 - Relação entre zonas de deformação e drenagem no NE setentrional brasileiro. A: Nordeste setentrional. B: Bloco diagrama demonstrando o padrão de dissecação ao longo das ZCs e os maciços cristalinos. Polígono vermelho: Arco magmático Santa Quitéria, Traços azuis escuro: 1 - Rio Jaguaribe, 2 – Rio Apodi-Mossoró, 3 – Rio Piranhas-Açu. – 4.



Fonte: o autor.

As áreas afetadas por metamorfismo regional, com rochas de diferentes graus de foliação, apresentam planos preferenciais para a propagação do fraturamento. Isso condiciona o trabalho exercido pelas correntes fluviais que passam a desenvolver seus cursos, confinados ao longo de planos preferenciais de dissecação. Por esse motivo, as maiores bacias hidrográficas estão situadas nesse setor. Ao norte, a área representada pelo arco magmático Sta. Quitéria, menos afetada pela foliação ígnea/metamórfica, funciona como núcleo de resistência mecânica a erosão, mantendo-se elevado e com dissecação incipiente.

DISCUSSÕES

No Nordeste setentrional brasileiro, os planos de deformação brasiliana constituem os principais condicionadores estruturais do relevo (PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2004). A erosão diferencial do embasamento, sobretudo ao longo das zonas de cisalhamento pré-cambrianas, tem revelado através da denudação de um complexo mosaico de plútons graníticos que atualmente são os principais mantenedores do relevo interiorano. Muitos desses batólitos parcialmente exumados, bem como as encaixantes afetadas por metamorfismo sin-plutônico (NEVES, 2012), têm sustentado muitos dos relevos como os maciços residuais (MAIA; BEZERRA, 2014).

Nesse aspecto, a exumação em zonas de deformação de direção NE-SW e E-W tem originado trends de lineamentos que confinam os canais de drenagem orientando a dissecação e por vezes a agradação fluvial. Isso resulta em sequencias de cristas e vales que confinam os canais de escoamento, passando esses a serem indicadores dos planos de deformação (BRAGA; MAIA, 2017).

Os ambientes sedimentares têm revelado importantes indicadores de como os processos de reativação cenozoica tem condicionado a evolução de relevo associada a essas áreas. Nesses ambientes, a repercussão dessas reativações pode ser constatada a partir da orientação da dissecação e da conseqüente deposição quaternária. Dessa forma, a geomorfologia do Nordeste setentrional, tanto no embasamento pré-cambriano quanto nos ambientes sedimentares (Bacias Paleo-mesozóicas e depósitos cenozoicos) é notoriamente condicionada pela disposição morfoestrutural. As maiores bacias hidrográficas estão diretamente condicionadas por falhamentos e por zonas de cisalhamento dúcteis. São exemplos dessas drenagens o Rio Acaraú, na porção norte da área de estudo, que possui seu vale encaixado sobre o lineamento transbrasiliano. O Rio Jaguaribe que desenvolve seu baixo e médio curso sobre a falha de denominação homônima, em uma depressão entre as zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Portalegre. Os vales dos Rios Apodi-Mossoró (MAIA; BEZERRA, 2012) e Piranhas-Açu, ambos encaixados no sistema de falhas não aflorantes da fase rifte na Bacia Potiguar. Neste caso, a reativação de falhas da fase rifte é responsável por formação de altos e baixos topográficos da Bacia Potiguar, influenciando assim na configuração da drenagem (MAIA; BEZERRA, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Nordeste Brasileiro, a denudação continental distinguiu as formas de relevo a partir do condicionamento morfoestrutural representado pelas zonas de deformação rúpteis e dúcteis do embasamento cristalino pré-cambriano. Tal processo revelou em superfície estruturas da crosta profunda que atualmente condicionam as formas de relevo através da erosão diferencial. Esses processos foram responsáveis pela exumação de estruturas intracrustais como os batólitos. Isso ocorreu como muita frequência ao longo das zonas de cisalhamento transcorrentes, onde o plútons graníticos foram alojados. Essas áreas constituem hoje altos topográficos mantidos por sua litologia mais resistente, normalmente associações litológicas graníticas.

Os planos de foliação ao longo das zonas de deformação orientam a dissecação segundo a orientação estrutural do embasamento. Nessas áreas, os relevos ocorrem principalmente na forma de cristas alinhadas e resultam da erosão diferencial em quartzitos, gnaisses, granitos e migmatitos. A textura dessas litologias, principalmente quando afaníticas sustentam formas residuais em virtude de sua maior resistência a meteorização.

Atualmente muitos dos maciços e campos de inselbergues estão associados e exumação de plútons graníticos. A exumação crustal em zonas de deformação de direção NE-SW e E-W originou trends de lineamentos que confinam os canais de drenagem orientando a dissecação e por vezes a agradação fluvial. Isso resulta na formação de maciços, sequências de cristas e vales que confinam os canais de escoamento, passando esses a serem os indicadores dos planos de deformação. Esse contexto estende-se para os ambientes sedimentares na forma de controle sobre a dissecação que passa a ocorrer orientada segundo os planos de falhas, formando vales encaixados que constituem a expressão geomorfológica da reativação frágil de zonas de cisalhamento transcorrentes nas unidades paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth Science Reviews**, 50: 77-111, 2000.

ARTHAUD, M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil):** da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in Northeastern Brasil. **Geology**, v. 28, p. 591-594, 2000.

BRAGA, M. B; MAIA, R. P; Caracterização morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V18 N3 2017.

CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, p. 35-52, 2010.

CORSINI, M., LAMBERT DE FIGUEIREDO, L., CABY, R., FÉRAUD, G., RUFFET, G., VAUCHES, A., Thermal history of the Pan/African – Brasileiro Borborema province of the northeast Brazil, deduced from⁴⁰AR/³⁹AR analysis. **Tectonophysics**, 285, 1998.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, Ceará. CPRM, 2003.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2010a. Escala: 1:750.000.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal: CPRM, 2009. Escala: 1:500.000.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Piauí**. Teresina: CPRM, 2010b. Escala: 1:1.000.000.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Pernambuco**. Recife: CPRM, 2010c. Escala: 1:500.000.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Paraíba**. João Pessoa: CPRM, 2013. Escala: 1:500.000.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. B. **Tópicos de geomorfologia estrutural**: nordeste brasileiro. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

MATOS, R. M. D. The Northeast Brazilian Rift System. **Tectonics** 11(4):766-791, 1992.

NEVES, S. P.; Granitos Orogênicos: da geração dos magmas à intrusão e deformação. Rio de Janeiro: **Synergia**, 2012.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO-SALES, V. Stepped surfaces and Paleolandforms in the Northern Brazilian <Nordeste>: Constraints on models of morfotectonic evolution. **Geomorphology**, v. 3: 89-122, 2004.

VAUCHES, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M.; AMARO, V. The Borborema shear zone system, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 8, 1995.