

CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL DA PARTE CENTRAL EMERSA DA BACIA PARAÍBA (PB)

Clódis de Oliveira ANDRADES FILHO & Dilce de Fátima ROSSETTI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto / DSR. Av. dos Astronautas, 1758.
CEP 12227-010. São José dos Campos, SP. Endereços eletrônicos: clodisfilho@terra.com.br, rosseti@dsr.inpe.br.

- Introdução
- Área de Estudo e Arcabouço Geológico
- Material e Métodos
 - Lineamentos Morfoestruturais
 - Rede de Drenagem
- Resultados
 - Compartimentos Morfoestruturais
 - Caracterização da Rede de Drenagem
 - Bacia do Rio Goiana
 - Bacia do Rio Dois Rios
 - Bacia do Rio Gramame
 - Bacias da Margem Direita do Baixo Rio Paraíba
 - Bacias Hidrográficas Litorâneas
- Discussão
- Conclusões
- Agradecimentos
- Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho promove o reconhecimento de morfoestruturas relacionadas com deformação tectônica na porção central da Bacia Paraíba e de áreas do embasamento cristalino adjacente, e expressas na topologia das redes de drenagem e dos lineamentos morfoestruturais. Para tanto, foram utilizados dados referentes à rede de drenagem presente em cartas topográficas em escala 1:100 000 e dados de sensoriamento remoto ativo baseados no modelo digital de elevação - SRTM. A análise foi baseada na densidade e direcionamento de lineamentos morfoestruturais, além dos padrões e anomalias de drenagem. Os resultados indicam grande ocorrência de padrões de drenagem indicativos de controle tectônico, destacando-se o padrão treliça e suas variações. Adicionalmente, existe uma abundância de anomalias sugestivas de drenagem com controle tectônico, incluindo principalmente trechos retilíneos, junções em ângulos retos e meandros localizados, além de mudanças bruscas de padrões. Portanto, conclui-se que a porção central da Bacia Paraíba contém fortes indícios de deformação tectônica impressos no relevo. Os lineamentos morfoestruturais apresentaram densidades e disposições distintas ao longo da área de estudo, revelando maior controle tectônico no extremo dos setores oeste e leste. Estas deformações são de natureza rúptil e dúctil, estando associadas com a reativação de estruturas precambrianas, embora não se descarte a possibilidade de geração de novas estruturas relacionadas com a evolução estrutural da bacia. A atividade tectônica se manifestou em períodos geológicos recentes, inclusive no Quaternário, o que denota que a margem leste da placa sulamericana esteve sob efeito de deformação tectônica durante grande parte de sua evolução.

Palavras-chave: rede de drenagem, lineamento morfoestrutural, deformação tectônica, SRTM, Bacia Paraíba.

ABSTRACT – *C. de O. Andrades Filho & D. de F. Rossetti - Morphostructural characterization on the central portion of the Paraíba Basin (PB).* This work promotes the recognition of tectonically related morphostructures in the central portion of the Paraíba Basin and in adjacent terrains with crystalline basement, expressed in the topology of drainage networks and morphostructural lineaments. In order to accomplish this goal, we used data derived from the drainage network from topographic maps (scale 1:100 000) and active remote sensing data based on digital elevation model - SRTM. The analysis was based on density and direction of morphostructural lineaments, as well as drainage patterns and anomalies. The results indicate great occurrence of drainage patterns suggestive of tectonic control, mostly including trellis pattern and its variations. Additionally, there is an abundance of anomalies suggestive of tectonically controlled drainage, including mostly straight river segments, straight angle junctions, and localized meandering, as well as rapid changes in drainage patterns. Therefore, it was concluded that the central portion of Paraíba Basin contains evidence of tectonic deformation impressed upon its relief. The morphostructural lineaments displayed distinct densities and distribution throughout the study area, revealing stronger tectonic control in the extreme western and eastern sectors. We conclude that the study area shows evidence of tectonic deformation. These deformations have brittle and ductile nature, being associated with reactivation of Precambrian structures, though one can not rule out the possibility of a new generation of structures related to the structural evolution of the basin. The tectonic activity took place during recent geologic periods, including the Quaternary, which denotes that the eastern Sulamerican plate margin was undergone to tectonic deformation during great part of its evolution.

Keywords: drainage network, morphostructural lineament, tectonic deformation, SRTM, Paraíba Basin.

INTRODUÇÃO

Tem sido crescente o volume de investigações da paisagem e da evolução sedimentar na Bacia
abordando tectônica como fator primordial na definição Paraíba (Morais Neto & Alkmin, 2001; Brito Neves et

al., 2004; Furrier et al., 2006; Andrades Filho, 2010; Bezerra, 1998; Bezerra et al., 2008). Esta influência tem sido particularmente revelada nos estratos mais jovens da bacia, correspondentes à Formação Barreiras e aos Sedimentos Pós-Barreiras (Rossetti et al., 2007; Rossetti et al., 2011), o que se deve ao fato destes estarem melhor expostos em campo. Dada à similaridade e grande extensão geográfica no território nacional, estes depósitos sedimentares vêm sendo considerados como resultantes de fatores alóctones incluindo eustasia e tectônica (Rossetti, 2004, 2006). Portanto, a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras são importantes não só para o entendimento da evolução da Bacia Paraíba, mas também para a reconstrução de eventos que refletem os últimos estágios de evolução tectônica da margem passiva sulamericana.

Um número crescente de publicações tem demonstrado que a costa nordeste brasileira permaneceu em relativa atividade tectônica após o estabelecimento do *rift* intercontinental que deu origem às bacias marginais no Juro-Cretáceo (Barreto et al., 2002; Bezerra et al., 2001, 1998, 2008; Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Brito Neves et al., 2004; Morais Neto & Alkmin, 2001; Nogueira et al., 2006). De acordo com estas publicações, as estruturas tectônicas precambrianas e cretáceas foram reativadas e, possivelmente, outras feições se formaram durante o Neógeno e o Quaternário. Por exemplo, o Lineamento Patos, que intercepta a porção norte da Bacia Paraíba, tem mostrado uma

longa história sísmica desde o Cretáceo até pelo menos o Pleistoceno (Bezerra et al., 2008). Além disto, a ocorrência de terremotos na região nordestina pode estar ligada com reativações atuais de falhas preexistentes (Ferreira et al., 1998, 2008; Bezerra et al., 2007). Tem se proposto, também, que a margem leste do Brasil esteve sob efeito de compressão em tempos relativamente recentes (Bezerra et al., 2008). O registro tectônico da Bacia Paraíba é, ainda, pontual, não permitindo entendimento completo de sua evolução tectono-sedimentar.

A caracterização de rede de drenagem e de lineamentos morfoestruturais pode fornecer importantes informações que contribuem para a análise do arcabouço tectônico (Howard, 1967; O'Leary et al., 1971; Schumm, 1981; Soares & Fiori, 1976). A aplicação de dados orbitais é de grande relevância em estudos morfoestruturais. A elaboração de produtos derivados de modelos digitais de elevação, destacando-se os dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Rabus et al., 2003), tem sido eficiente no realce de morfoestruturas (Masoud & Koike, 2006; Ramli et al., 2010). Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a caracterização morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba e do embasamento cristalino adjacente a partir de atributos inerentes à topologia da rede de drenagem e de lineamentos morfoestruturais, a fim de contribuir no entendimento de seu contexto tectônico.

ÁREA DE ESTUDO E ARCABOUÇO GEOLÓGICO

A área de estudo, com 704 km², localiza-se no sudeste do Estado da Paraíba e nordeste do Estado de Pernambuco, Região Nordeste do Brasil (Figura 1A). De acordo com as regiões fisiográficas definidas pelo IBGE, as porções oeste e centro-leste dessa área são denominadas de Agreste e Zona da Mata, respectivamente.

No contexto geológico brasileiro, a área de estudo pertence à Província Estrutural da Borborema, no Escudo Atlântico (Kegel, 1965; Almeida, 1967; Brito Neves, 1984), que inclui rochas deformadas paleoproterozóicas, eo-neoproterozóicas e neoproterozóicas. Estas são recobertas, a leste, por unidades sedimentares da Bacia Paraíba, localizada entre o Lineamento Pernambuco, a sul, e a Falha de Mamanguape, a norte (Figura 1B). A Bacia Paraíba foi destacada da Bacia de Pernambuco por Lima Filho et al. (2005). Sua porção central desta bacia, onde a área de estudo está situada, é referida como Sub-Bacia Alhandra por alguns autores (Barbosa et al., 2003; Brito Neves et al., 2009). De acordo com estes autores, essa sub-bacia ocorre entre

as sub-bacias Miriri, a norte, e Olinda, a sul, cujos limites são as falhas de Itabaiana e de Goiana, respectivamente (Mabesoone & Alheiros, 1988).

A Bacia Paraíba tem sua origem relacionada com o processo de abertura do Atlântico Sul durante o final do Jurássico e início do Cretáceo (Szatmari et al., 1987), se constituindo em uma das bacias marginais formadas na fase final do rifteamento, no Neocretáceo. O preenchimento sedimentar, de sua porção emersa, revisado por Córdoba et al. (2007), inclui seis unidades sedimentares, designadas de formações Beberibe (Beurlen, 1967), Itamaracá (Kegel, 1955; Lima Filho & Sousa, 2001), Gramame (Oliveira, 1940; Beurlen, 1967), Maria Farinha (Beurlen, 1967; Barbosa, 2004), Barreiras (Alheiros et al., 1988) e Sedimentos Pós-Barreiras (Rossetti et al., 2007). O início do preenchimento sedimentar ocorreu no Coniaciano-Santoniano (~89-83 Ma). Durante este evento, formaram-se arenitos continentais médios a grossos da Formação Beberibe, interpretada como de origem fluvial e lacustre. A Formação Itamaracá, sobrejacente

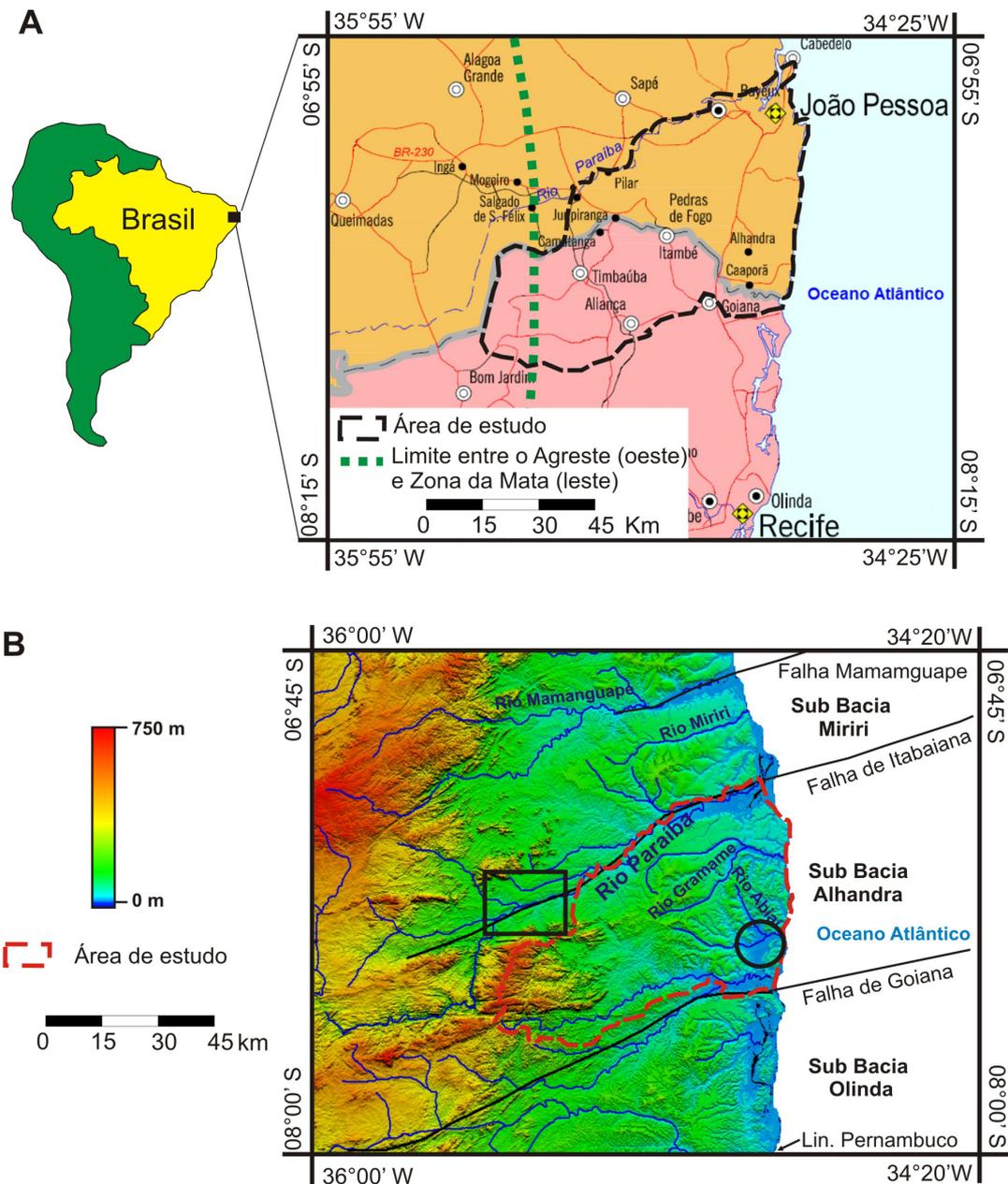


FIGURA 1. A) Localização geográfica da área de estudo na porção central emergida da Bacia Paraíba. B) Modelo de elevação digital-SRTM com localização das sub-bacias e indicação das falhas tectônicas principais indicadas em Barbosa & Lima-Filho (2005) (retângulo = *graben* de Cariatá; círculo = depressão Abiaí).

a essa unidade, possui idade campaniana-maastrichtiana (~83-70 Ma) e é representada por depósitos estuarinos e lagunares a plataformais (Barbosa et al., 2003). A Formação Gramame exibe uma sucessão carbonática transgressiva, que consiste em calcários organizados em ciclos de arrasamento ascendentes, delimitados por finas intercalações de argila (Barbosa et al., 2003). Nova transgressão marinha ocorreu durante o Paleoceno e Eoceno (~65-34 Ma) e resultou na formação de calcários, representados pela Formação Maria Farinha (Mabesoone, 1994).

A Formação Barreiras inclui depósitos continentais (Morais et al., 2006; Araújo et al., 2006) com transição a marinho (Rossetti, 2006), que recobre, de forma discordante, o embasamento cristalino e as demais formações rochosas sedimentares acima descritas. Esta formação inclui uma sucessão arenosa-argilosa pobremente consolidada, e, ainda, depósitos conglomeráticos finos a grossos. A geometria côncava dos estratos e as sucessões de granodrecência, comuns nesta unidade, resultam de deposição por ação de fluxos canalizados. Indicadores sedimentológicos

semelhantes aos registrados na Formação Barreiras no norte do Brasil (Rossetti et al., 1989, 1990; Rossetti, 2000) sugerem que os sistemas deposicionais canalizados que ocorrem na Formação Barreiras em áreas do nordeste do Brasil eram, também, influenciados por processos marinhos costeiros (Rossetti & Góes, 2009). A exposição desta unidade neógena (~20-1,8 Ma) ocorre, principalmente, no setor leste da área de estudo, onde são encontradas suas maiores espessuras.

No Quaternário (1,8 Ma) foram depositados os Sedimentos Pós-Barreiras, subdivididos provisoriamente em duas unidades, denominadas PB1 e PB2. O PB1 assenta-se sobre a Formação Barreiras ou diretamente sobre o embasamento cristalino, com maior espessura na medida em que se aproxima da costa. A composição é arenítica e conglomerática e, em geral, de constituição maciça. Os sedimentos desta formação contêm fragmentos de laterita ferruginosa, que são elementos importantes na sua diferenciação com a Formação Barreiras, onde esses fragmentos são ausentes. Também podem apresentar diversas feições deformacionais, indicativas de possível ação de ativi-

dades sísmicas em grande amplitude, contemporâneas à sedimentação (Rossetti et al., 2007). O PB2 corresponde a sedimentos arenosos, em geral maciços, bem a mal selecionados, que se desenvolvem discordantemente sobre todas as demais unidades sedimentares e, também, sobre o embasamento cristalino em cotas topográficas variadas. A Figura 2 apresenta o mapa geológico da área estudo.

Com relação aos aspectos tectônicos, após rifteamento inicial, a Bacia Paraíba foi submetida a reativação tectônica pós-cretácea (Sá et al., 2004), de natureza distensional, responsável pela formação de um sistema tafrogênico ao longo de antigas zonas de cisalhamento do embasamento proterozóico de direções E-W a ENE-WSW (Brito Neves et al., 2004). No entanto, trabalhos recentes apontam que essa movimentação tectônica não resulta apenas de esforços distensionais, mas também de compressão de direção ENE-WSW sob regime transcorrente durante o Cenozóico (Bezerra, 1998; Bezerra et al., 2001, 2008; Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Barreto et al., 2002, Brito Neves, 2004). Falhas interceptam as unidades depo-

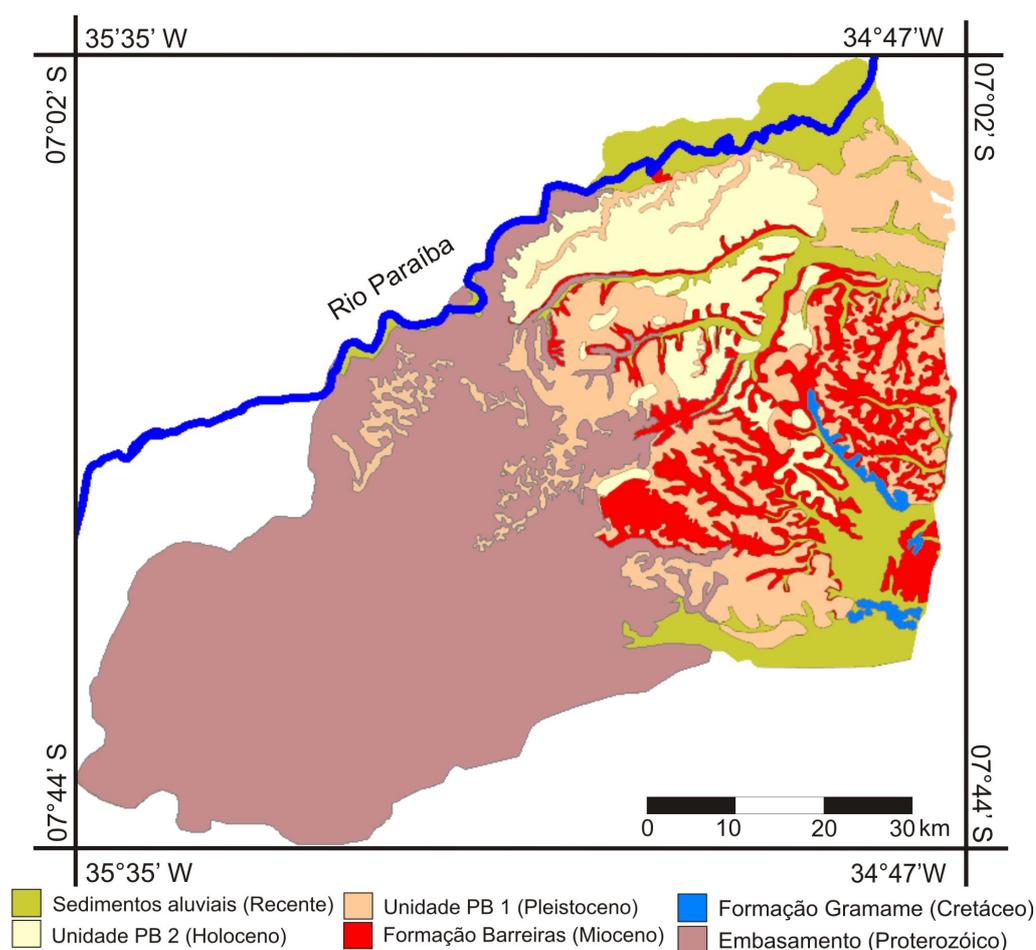


FIGURA 2. Mapa geológico da área de estudo na Bacia Paraíba (cf. Rossetti et al., 2011).

sitadas entre o Cretáceo e o Quaternário da zona costeira. Muitas destas falhas correspondem a reativações de estruturas precambrianas ou cretácea e, em alguns casos, há formação de novas estruturas. As falhas são transcorrentes e normais, que resultam numa sequência de estruturas de *graben* e *horst* ao longo da planície costeira (Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Bezerra et al., 2001, 2008; Furrier et al., 2006; Nogueira et al., 2006).

Estudos mais detalhados na porção central da Bacia Paraíba evidenciam atividade tectônica recente (p.e. Bezerra et al., 2008; Rossetti et al., 2009). No *Graben* de Cariatá (setor norte da bacia; Figura 1B) (Bezerra et al., 2008), primeiramente identificado por Brito Neves et al. (2004), foram reconhecidos dois eventos principais de falhamentos. No primeiro, de natureza extensional, formaram-se falhas normais que pré-datam a deposição de unidades pleistocênicas tardias. O segundo evento, marcado por falhas transcorrentes, afetou o embasamento cristalino e o preenchimento sedimentar durante o Pleistoceno tardio (~0,1 Ma) (Bezerra et al., 2008). Na porção entre o Rio Gramame e a Depressão Abiaí (Figura 1B) são

identificados registros relacionados a falhas e fraturas, que deformaram a cobertura sedimentar. No entanto, também são presentes feições anticlinais deformacionais relacionadas a dobras como registro de esforço compressivo ocorrido no Plioceno-Pleistoceno (Rossetti et al., 2009).

A evolução geomorfológica da área de estudo está ligada à condição de margem passiva do continente sulamericano, onde os fatores controladores estão relacionados, principalmente, à tectônica e ao clima. Em relação à dinâmica de evolução da paisagem, um dos estudos pioneiros no nordeste oriental do Brasil foi o de modelo de pediplanação de King (1956; 1967), sendo que parte significativa dos trabalhos posteriores foi embasada nas premissas desse autor. De acordo com King, o relevo da área é produto da interação entre processos denudacionais de longa duração, associados a eventos de soerguimento regional sincrônico e uniforme. A variação litológica, climática e a tectônica local não interferiram na tendência geral de pediplanação. O modelo de pediplanação de King vem sendo debatido por vários autores (p.e. Furrier et al., 2006; Lima et al., 2006; Bezerra et al., 2001; 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados utilizada nesta pesquisa inclui os produtos de sensoriamento remoto derivados de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) processados no âmbito do projeto TOPODATA (Valeriano, 2005; Valeriano & Albuquerque, 2010). A análise foi complementada com: a) informações cartográficas, em formato digital, disponíveis nas folhas da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico) SB-25-Y-A-VI, SB-25-Y-C-II, SB-25-Y-C-III, SB-25-Y-C-IV, SB-25-Y-C-V e SB-25-Y-C-VI, da articulação da escala 1:100.000; e b) mapa geológico 1: 100.000, publicado em Rossetti et al. (2011).

LINEAMENTOS MORFOESTRUTURAIS

O mapeamento de lineamentos morfoestruturais foi realizado a partir de vetorização com uso do banco de dados topográficos TOPODATA, utilizando a base correspondente às variáveis geomorfométricas orientação de vertentes (ON) e curvatura horizontal (HN). Estes produtos, trabalhados no aplicativo SPRING 4.3.3 (Câmara et al., 1996) e Global Mapper 9 (Global Mapper Software, 2009), foram combinados com dados de altimetria visualizados em diferentes padrões personalizados de paletas de cores e tons de cinza, o que possibilitou a extração de traços retilíneos ou suavemente encurvados de relevo positivo e negativo.

Compartimentos morfoestruturais foram definidos

com base em similaridades de relevo integradas às características morfoestruturais e às informações derivadas do mapa geológico. A disposição espacial dos lineamentos morfoestruturais foi analisada com base na geração de mapas de densidade, bem como em informações quantitativas referentes ao número e comprimento das feições. Para a análise direcional, as informações estatísticas foram representadas em diagramas em roseta obtidas com intervalos de 10°, segundo frequência absoluta (i.e., número absoluto de lineamentos em determinada direção).

REDE DE DRENAGEM

O mapa de drenagem foi produzido a partir da manipulação e ajuste das redes de drenagem presentes nas cartas topográficas da DSG, disponibilizadas em formato vetorial e edições realizadas com base na análise visual do MDE. Para implementação da delimitação de bacias hidrográficas utilizou-se a técnica de extração automática de bacias a partir do modelo digital de elevação, utilizando a ferramenta ArcHydro do programa ArcGIS 9.2 (Maidment, 2002). Os rios principais foram estabelecidos segundo critérios de hierarquia, comprimento, área de contribuição e ângulo de confluência de rios (Christofolletti, 1981; Knighton, 1998; Strahler, 1957). A análise foi realizada a partir da identificação de padrões e anomalias de drenagem.

RESULTADOS

COMPARTIMENTOS MORFOESTRUTURAIS

Foram identificados dois compartimentos morfoestruturais (Figura 3A), um localizado na porção oeste da área de estudo dominada por rochas do embasamento cristalino (compartimento 1), e o outro localizado a leste, onde ocorre predomínio de coberturas sedimentares (compartimento 2). Este último foi, ainda, subdividido em 6 subcompartimentos (2a a 2f) com base em diferenciações de unidades geológicas sedimentares formadas em tempos distintos, características morfológicas e altitudinais, bem como orientações e densidade de lineamentos morfoestruturais.

Fica evidente a maior frequência de elementos vetoriais na porção oeste da área, correspondente a rochas geologicamente mais antigas. Na porção leste, a ocorrência de lineamentos é mais esparsa relativamente à porção oeste, principalmente a nordeste desse setor, o que é bem representado a partir da densidade de lineamentos morfoestruturais (Figura 3A). De forma absoluta, o valor de densidade de lineamentos morfo-

estruturais para toda área de estudo é de 1,05 km/km², sendo que a porção oeste apresentou valor em torno de 1,36 km/km². Para a porção leste, este valor é de 0,77 km/km², ou seja, próximo à metade do valor de densidade obtido na porção oeste.

A discriminação a partir da densidade de lineamentos morfoestruturais (baixa, média, alta e muito alta) para cada compartimento morfoestrutural sugere diferenças significativas entre os compartimentos, condizentes com a setorização proposta. No geral, as áreas com densidade média e baixa encontram-se exclusivamente na porção com predomínio de coberturas sedimentares. Já as áreas de maior densidade ocorrem, em sua maioria, em locais com predomínio do embasamento cristalino, exceto no caso dos compartimentos 2e e 2f. Este último, que ocupa a maior parte da faixa costeira da área de estudo, tem representatividade, em volume, equiparada à maior parte da porção oeste. Portanto, a porção leste da área de estudo possui variação espacial de densidade de lineamentos morfoestruturais mais complexa em relação à sua

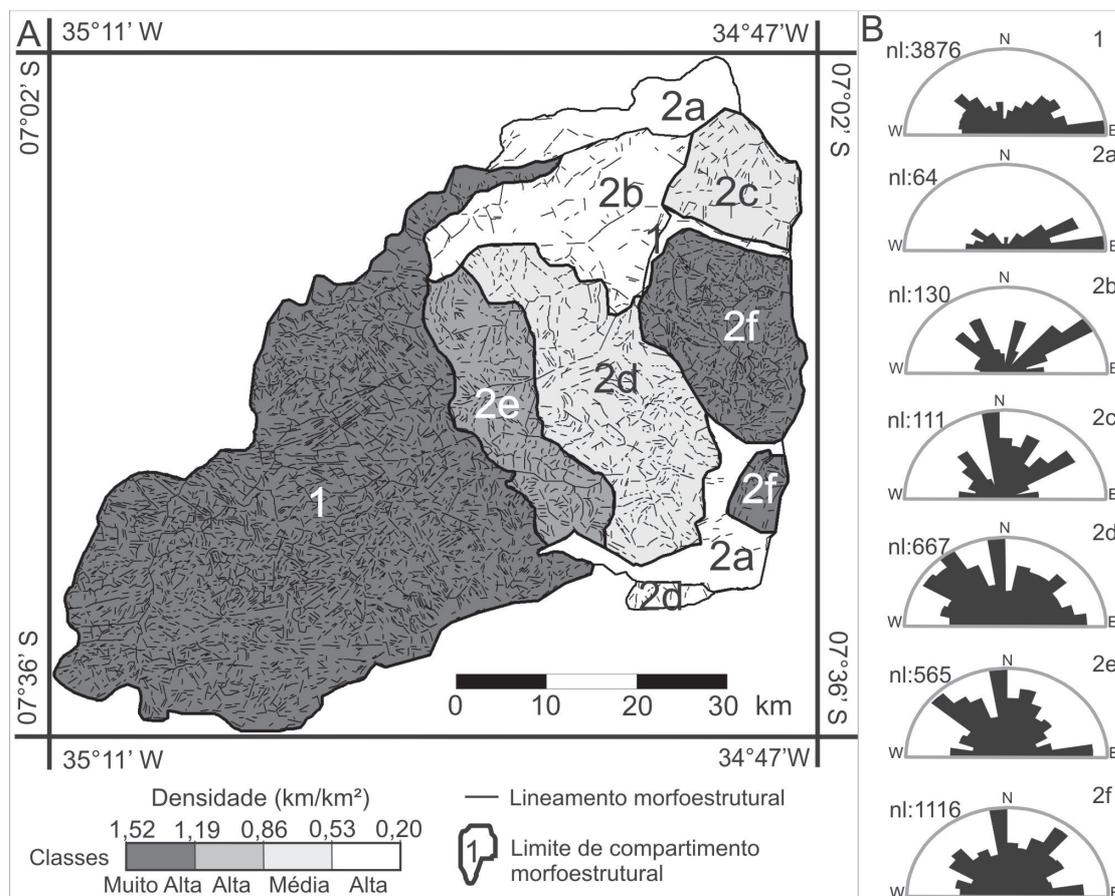


FIGURA 3. A) Lineamentos e compartimentos morfoestruturais extraídos para a área de estudo; B) Diagramas em roseta (frequência absoluta) referentes aos compartimentos morfoestruturais (nl: número total de lineamentos).

porção oeste. Na porção leste, as amplitudes de densidade são expressivamente maiores que na porção oeste (Figura 3A). Nesta área, os setores norte e sul apresentam densidade de lineamentos expressivamente menor do que no setor central, enquanto que nas faixas leste e oeste do setor central, a densidade de lineamentos é maior (Figura 3A).

Com relação ao direcionamento dos lineamentos no conjunto da área de estudo (Figura 3B), prevalecem feições com orientação E-W, em segundo plano NE-SW e NW-SE e, com menor representatividade, N-S. Os diagramas em roseta indicam correspondências e divergências entre as porções oeste e leste. A maior semelhança está na forte ocorrência de lineamentos de direção E – W. A maior divergência é em relação à evidente direção N-S de lineamentos morfoestruturais na porção leste, condição inversa à porção do embasamento, onde este conjunto direcional é o menos expressivo.

O compartimento 1, que ocorre na área do embasamento cristalino, apresenta forte predominância de lineamentos na direção E-W (Figura 3B). Quantitativamente, o número de lineamentos entre 70° e 90° (E-W a ENE-WSW e WNW-ESE) no compartimento 1 representa mais de 40% da frequência total deste compartimento. Um elemento importante a ser

considerado é que todos os compartimentos morfoestruturais da área de estudo apresentam grande ocorrência de lineamentos nas orientações E-W e direções aproximadas, com exceção dos compartimentos 2b e 2c.

Os sistemas direcionais de orientação NE-SW e NW-SE possuem representatividade significativa em todos os compartimentos. Prevalece a tendência N-SW nos compartimentos 2a a 2c e 2f, mais próximos à faixa costeira, e NW-SE nos compartimentos 2d e 2e.

Os compartimentos 2c e 2f apresentam forte representatividade de lineamentos N-S. É importante destacar que estes compartimentos possuem disposição espacial semelhantes, pois se encontram no extremo leste da área, em contato com o Oceano Atlântico.

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM

A análise detalhada da rede de drenagem possibilitou a organização da área em cinco conjuntos de bacias hidrográficas principais, denominadas: Goiana, Gramame, Dois Rios, bacias da margem direita do Baixo Paraíba, e Litorâneas (Figura 4). No que diz respeito aos padrões de drenagem, em geral predominam nestas bacias hidrográficas os tipos treliça, subdendrítico e variações destes dois padrões (Figura 5), com ocorrência em mais de 90% da área.

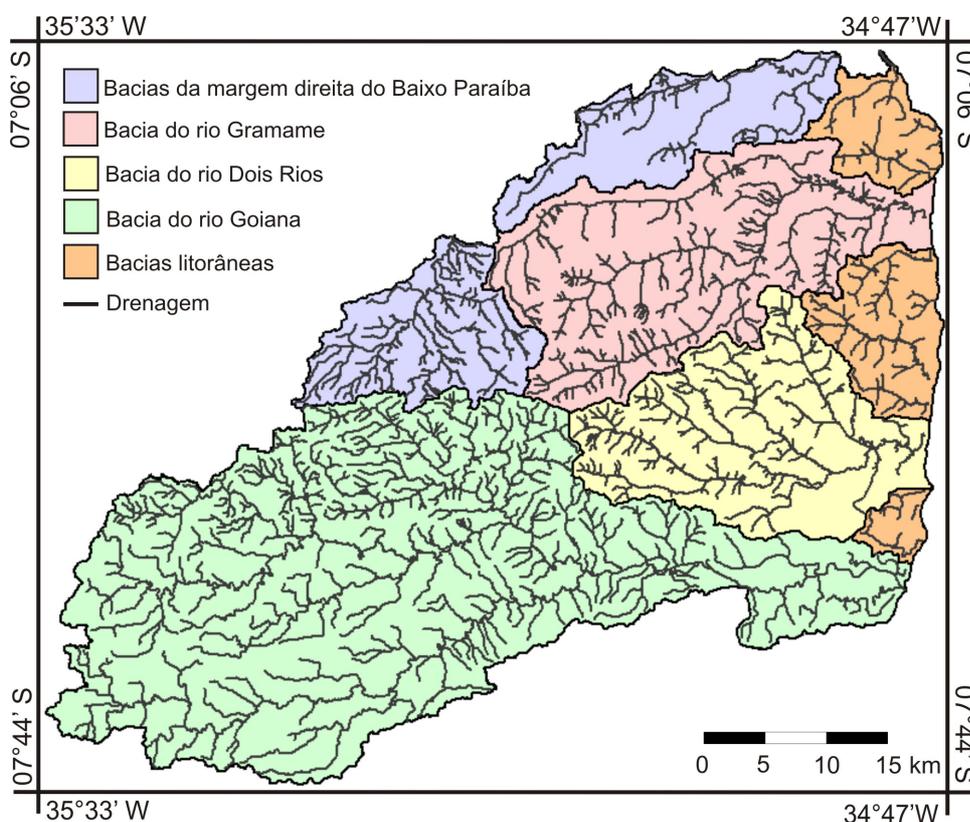


FIGURA 4. Conjuntos das bacias hidrográficas descritas na área de estudo.

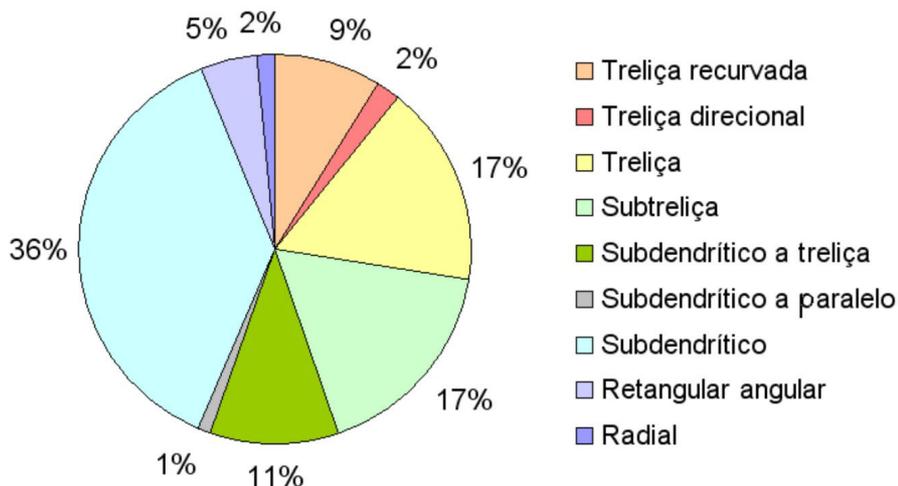


FIGURA 5. Distribuição dos padrões de drenagem.

Bacia do Rio Goiana

A bacia do Rio Goiana constitui o maior conjunto de sub-bacias hidrográficas da área de estudo, representando quase a metade da área total. Esta unidade está subdividida em seis sub-bacias hidrográficas: Boqueirão, Cruangi, Ferreiras, Goiana, Sirigi, Tiúma (Figura 6). Estas sub-bacias apresentam predomínio litológico de rochas do embasamento cristalino.

A sub-bacia do Rio Goiana, principal deste conjunto de sub-bacias, apresenta variação brusca de padrões ao longo de sua extensão. Em seu alto e baixo curso, ocorrem padrões subtreliça, porém, estes são

rapidamente substituídos por padrões subdendrítico e trelíça na porção intermediária da sub-bacia. Além disso, anomalias locais configuradas por inflexões em 90° registram mudanças bruscas de direcionamento, principalmente de norte para leste, no alto curso do Rio Goiana. Observa-se que o padrão trelíça ao longo do Rio Goiana está em continuidade com padrão similar do baixo curso da sub-bacia Sirigi.

A sub-bacia Sirigi apresenta o padrão retangular angular e subdendrítico no alto e médio curso, respectivamente. São evidentes, ainda, anomalias locais ao longo da drenagem principal, representadas por mudanças bruscas de direção do curso do rio de sul

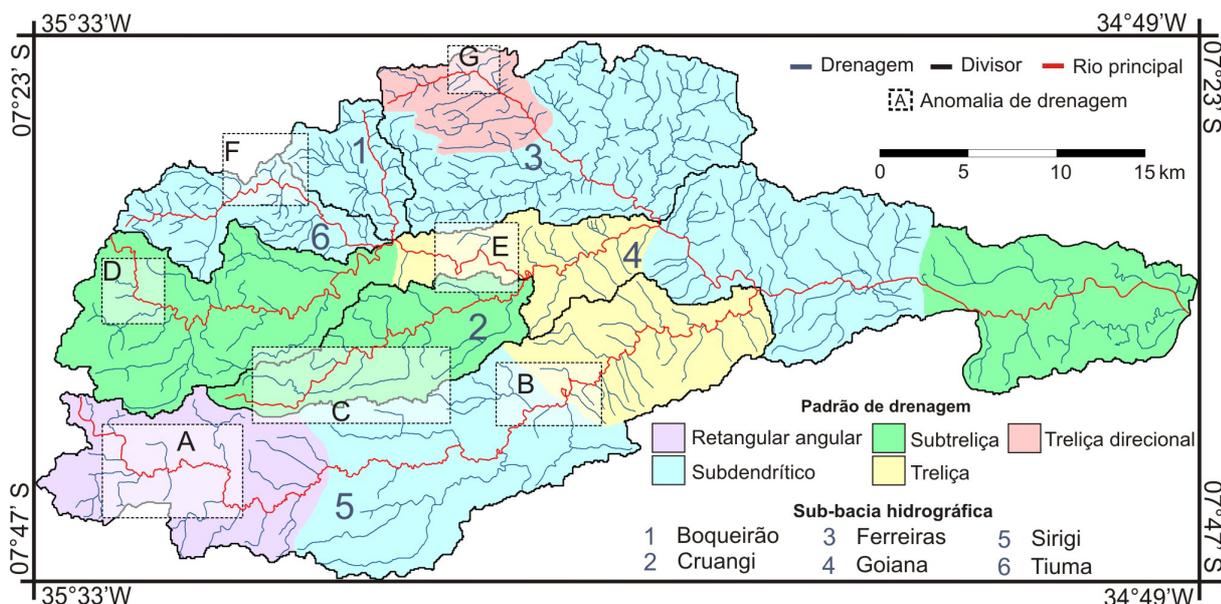


FIGURA 6. Sub-bacias hidrográficas do Rio Goiana, com indicação de anomalias de drenagem (A, C, D, F e G – Inflexões em ângulo agudo; B e E – Meandros localizados).

para norte e de norte para leste em seu trecho à montante, configurando junções em ângulos retos (ver A e B na Figura 6). Esta característica é também observada em alguns afluentes do Rio Sirigi. Além disto, existem vários locais onde, tanto o rio principal, como os afluentes, perfazem curvas anômalas e meandros localizados.

Outra sub-bacia que também mostra variação brusca no padrão de drenagem é a do Rio Ferreiras. Nesta sub-bacia, o padrão dominante é o subdendrítico, porém no alto curso do rio principal ocorre variação para o padrão treliça direcional. Além disto, neste local, o Rio Ferreiras sofre forte inflexão em alto ângulo, invertendo seu curso de NE para SE (ver G na Figura 6). É importante destacar que este direcionamento é distinto das principais inflexões que ocorrem nas sub-bacias hidrográficas Goiana e Sirigi.

As demais sub-bacias, representadas pelos rios Boqueirão, Tiuma e Cruanji, mostram padrões de drenagem uniforme em todas suas extensões, consistindo em subdendrítico nos dois primeiros, e subtreliça na sub-bacia Cruanji, onde figuram segmentos de drenagem retilíneos e inflexões em alto ângulo (ver C na Figura 6). É interessante observar que, similarmente ao que acontece no alto curso do Rio Ferreiras, o Rio Tiuma também tem fortes inflexões em seu curso, que flui de montante para jusante na direção leste, NE, SE e novamente leste. O segmento com fluxo NE deste rio mostra-se em continuidade com o segmento de direção similar do Rio Ferreiras (ver F na Figura 6).

Na sub-bacia do Rio Boqueirão, intermediária entre as sub-bacias dos rios Ferreiras e Tiuma, afluentes do alto curso também seguem esta orientação, definindo um longo lineamento morfoestrutural de direção NE-SW.

Bacia do Rio Dois Rios

As sub-bacias hidrográficas do Rio Dois Rios são: Abiaí, Popocas e Dois Rios (Figura 7). Estas sub-bacias se estabeleceram na porção da área com predomínio das unidades da Formação Barreiras, e secundariamente Formação Gramame. Uma feição de destaque neste conjunto é a disposição paralela dos altos cursos desses rios, orientados na direção NW-SE.

Este conjunto de sub-bacias é o que possui menor diversificação de padrões de drenagem da área de estudo, incluindo predominantemente o subdendrítico nos altos cursos, e o treliça, nos baixos cursos dos rios Popocas e Dois Rios. Essa variação de padrão de drenagem ocorre em setores lateralmente correspondentes e coincidem com o ponto onde os rios principais sofrem inflexões bruscas simultâneas de seu curso, de SE para NE e novamente para SE (ver B na Figura 7). Segundo este mesmo estilo, o baixo curso do Rio Dois Rios repete esta mudança brusca de curso, configurando segmentos com junções em ângulos elevados e retilíneos (ver A na Figura 7). A sub-bacia do Rio Abiaí apresenta unicamente padrão subdendrítico e o rio principal apresenta expressiva retilinearidade do alto ao baixo curso.

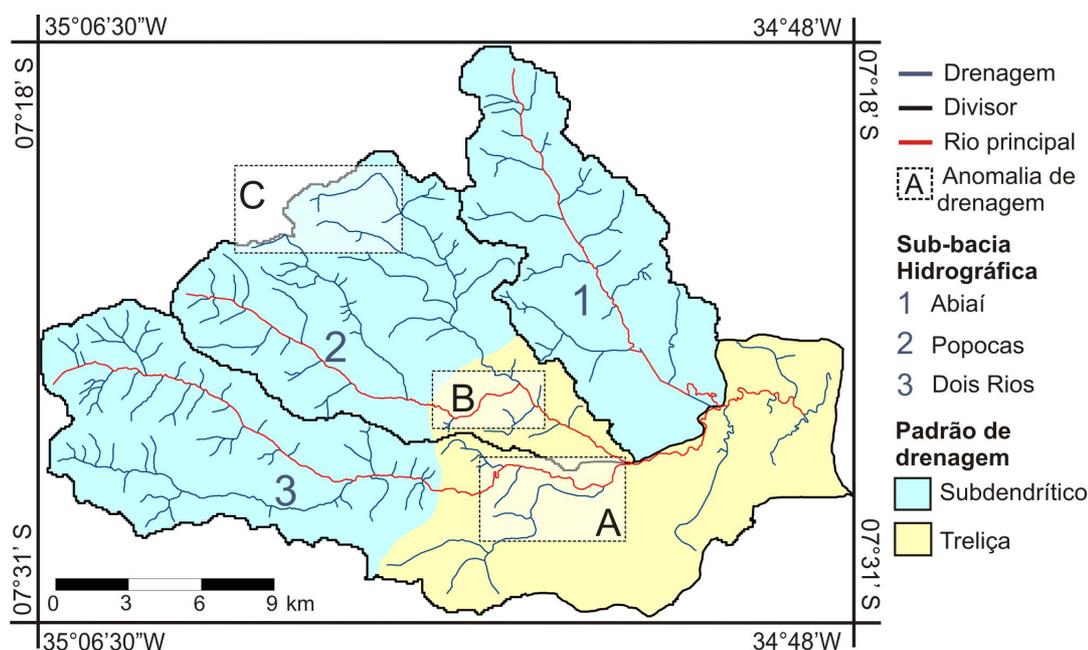


FIGURA 7. Sub-bacias hidrográficas do Rio Dois Rios, com indicação de anomalias de drenagem (A a C – Inflexões em ângulo agudo).

Bacia do Rio Gramame

A bacia hidrográfica do Rio Gramame abrange as sub-bacias: Gramame, Mamuaba, Mumbaba e Salsa (Figura 8). Estas ocorrem em áreas com predomínio das unidades litológicas da Formação Barreiras e dos Sedimentos Pós-Barreiras.

Uma área extensa das sub-bacias Mumbaba, Gramame e Salsa é dominada por padrão em treliça recurvada. A sub-bacia do Mumbaba, ao norte da área, apresenta intercalações entre o padrão treliça recurvada e treliça, definido pelo curvamento do rio principal. Este encurvamento é particularmente expressivo em seu alto curso, onde ele desenha uma semi-circunferência. Feição similar é desenhada pelo Rio Gramame e pelo afluente principal do Rio Salsa (Figura ver C na Figura 8). É interessante observar que, nestes dois casos, as partes côncavas das curvas são correspondentes, todas apontando para leste (Figura 8). Apesar do encurvamento de segmentos, a sub-bacia Mumbaba mostra expressiva retilinearidade no médio curso do rio principal. Após inflexão em alto ângulo de NE para SE (ver B na Figura 8), onde forma curso retilíneo, o Rio Mumbaba deságua em setor fortemente meandrante do Rio Gramame. Na sub-bacia Mamuaba, estão

presentes os padrões de drenagem subdendrítico a treliça e radial. Este último é complementar e definido pela combinação dos afluentes do Rio Gramame que ocorre ao sul, formando arranjo dômico característico. O Rio Mamuaba apresenta suave encurvamento, refletindo o padrão desse rio ao norte, porém possui alternância de inflexões em ângulos retos e canais retilíneos no alto curso (ver D na Figura 8), no baixo curso (ver A na Figura 8), assim como curvas anômalas nos cursos de afluentes (ver E na Figura 8). Além do padrão em treliça recurvada, todos os outros padrões reconhecidos neste conjunto de sub-bacias estão presentes ao longo da sub-bacia do Rio Gramame.

Bacias da Margem Direita do Baixo Rio Paraíba

Na margem direita do Baixo Paraíba (Figura 9), as sub-bacias Sal Amargo e Paroeira revelam baixa densidade de drenagem e estão estabelecidas sobre Sedimentos Pós-Barreiras. Em contrapartida, a sub-bacia Paraibinha tem alta densidade de drenagem e está disposta na porção com predomínio de rochas do embasamento. Esta sub-bacia possui padrão de drenagem predominantemente subdendrítico, com enclave de padrão subdendrítico a paralelo no alto

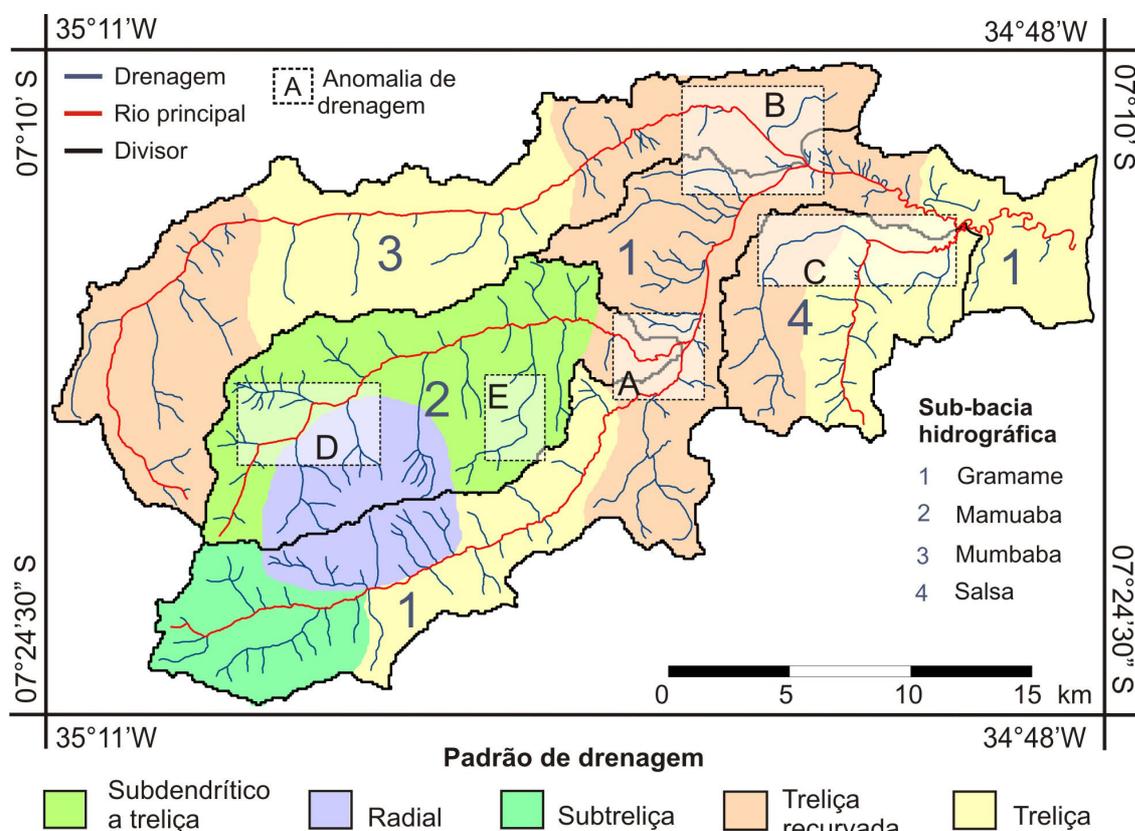


FIGURA 8. Sub-bacias hidrográficas do Rio Gramame, com indicação de anomalias de drenagem (A a E – Inflexões em ângulo agudo).

curso. Existem diversos setores com características anômalas nesta sub-bacia (ver F na Figura 9), destacando-se inflexões do rio principal em ângulos aproximadamente retos. Estes ocorrem em seu alto curso, onde a direção de fluxo do rio altera de NE para SE (ver G na Figura 9) e em seu baixo curso, onde o rio sofre rápido desvio de NE para NW (ver E na Figura 9).

As sub-bacias Sal Amargo e Paroeira possuem conformação semelhante com predomínio de padrão de drenagem subdendrítico a treliça, onde são identificados setores de anomalias análogos pela inflexão das drenagens principais (ver A, C e D na Figura 9), além de setores com expressiva retilinearidade de canais. Na porção de ocorrência do padrão treliça encurvada, são identificados desvios no rio principal, porém o mais expressivo ocorre em drenagens afluentes, constituindo acentuado encurvamento (ver B na Figura 9).

Bacias Hidrográficas Litorâneas

As bacias hidrográficas litorâneas (Figura 10) constituem drenagem, em geral, pouco desenvolvida e com baixa densidade e que deságuam diretamente no Oceano Atlântico. Estas compreendem, basicamente, a porção da área com predomínio da Formação Barreiras e compõem, na totalidade, onze sub-bacias hidrográficas denominadas: Cabelo, Carapebus, Coqueiro, Cuiá, Engenho Velho, Garaú, Gurujá, Jacarapé, Jaguaribe, Macatu e Seixas.

Os padrões de drenagem predominantes são subdendrítico a treliça e subtreliza. Apesar do pouco desenvolvimento da drenagem, é possível observar desvios em alguns setores (ver A a D na Figura 10). A anomalia de drenagem de maior significado ocorre na sub-bacia Gurujá (ver B na Figura 10). Esta possui analogia, em forma e disposição espacial, com as anomalias de encurvamento identificadas no conjunto de bacias do Rio Gramame.

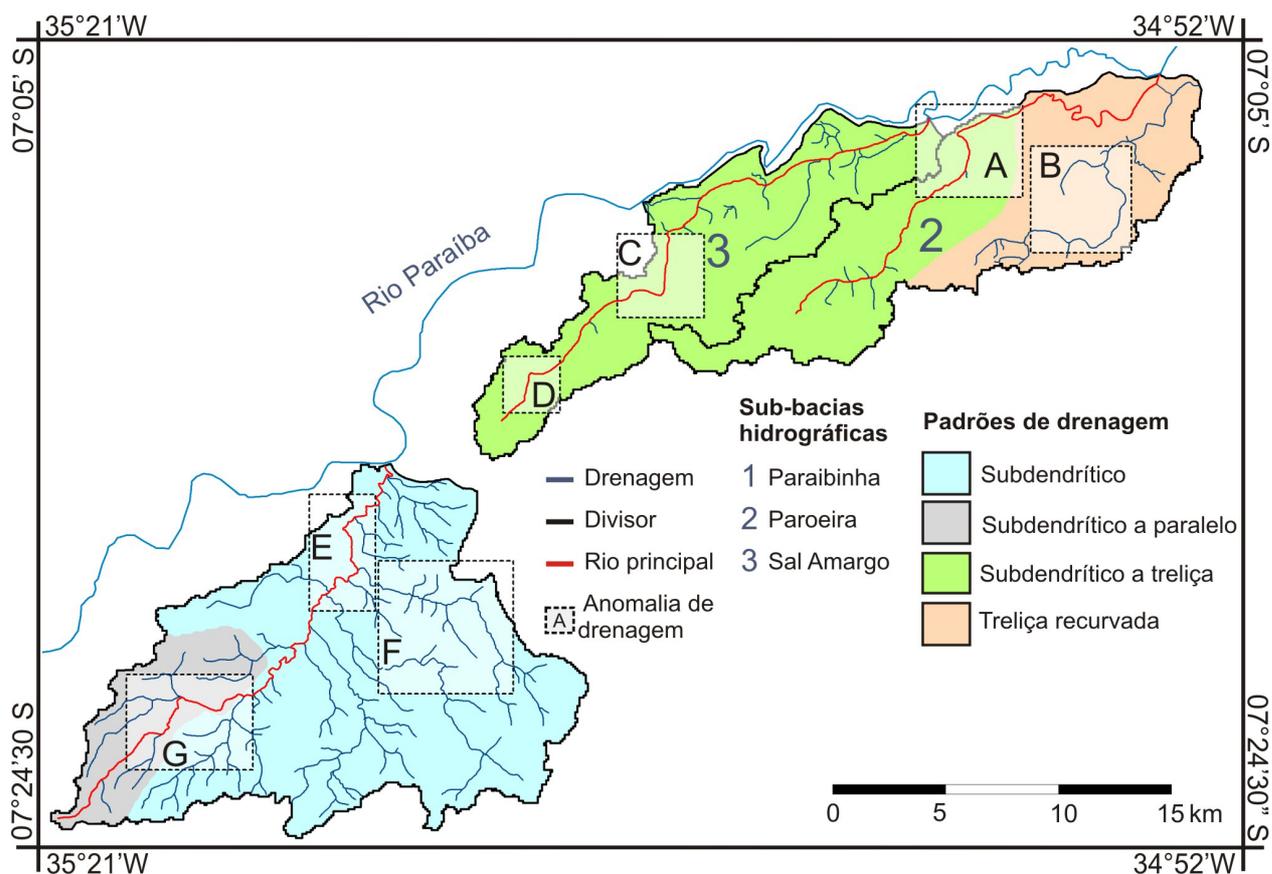


FIGURA 9. Sub-bacias hidrográficas da margem direita do Baixo Rio Paraíba, com indicação de anomalias de drenagem (A a F – Inflexões em ângulo agudo).

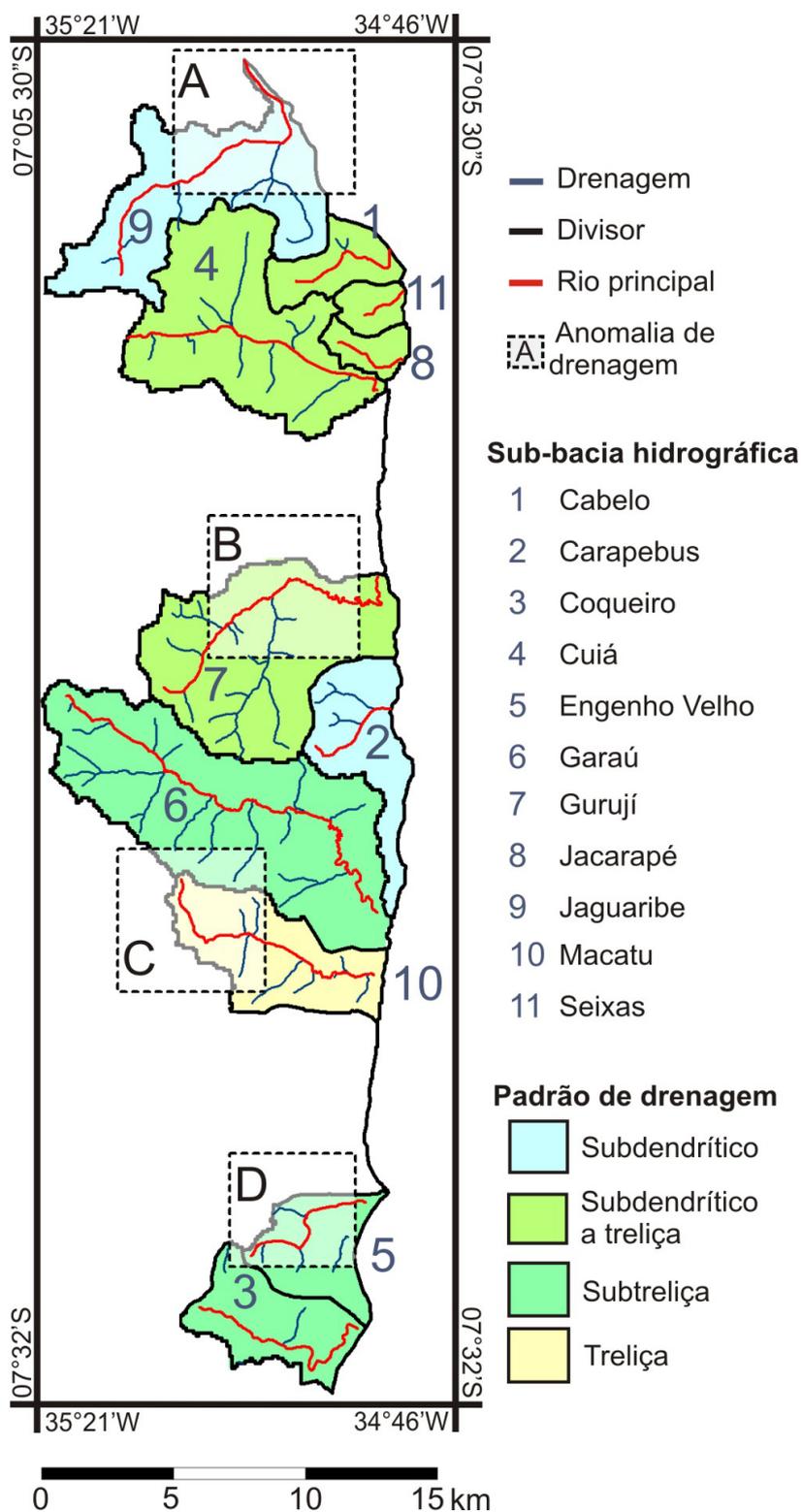


FIGURA 10. Sub-bacias hidrográficas litorâneas, com indicação de anomalias de drenagem (A a D – Inflexões em ângulo agudo).

DISCUSSÃO

A análise da rede de drenagem e dos lineamentos morfoestruturais permite sugerir que atividades tectônicas representam importantes elementos influenciadores da evolução da paisagem e da sucessão sedimentar na área de estudo. Estes estão apresentados a seguir pela caracterização e interpretação dos lineamentos morfoestruturais e da rede de drenagem, com foco nos padrões e anomalias identificados.

A compatibilidade entre estruturas tectônicas regionais e os lineamentos morfoestruturais extraídos do MDE-SRTM constituem forte elemento em suporte à inclusão desta ferramenta como complementar em investigações geológicas visando análise estrutural na Bacia Paraíba. Isto é proposto com base no predomínio de lineamentos de direção E-W (Figura 3B), que coincidem com a orientação dominante das zonas de falha não só na área estudada, mas também em todo o nordeste brasileiro.

Os lineamentos E-W nas áreas de ocorrência de embasamento cristalino, principalmente no compartimento morfoestrutural 1, são relacionados com antigas zonas de cisalhamento precambrianas, que têm direção predominante E-W a ENE-WSW (Brito Neves et al., 2004, 2005). O predomínio de lineamentos com estas direções também na porção leste da área de estudo, especialmente nos compartimentos morfoestruturais 2a, e 2d a f, onde prevalecem depósitos sedimentares cretáceos e cenozóicos, sugere reativações de estruturas antigas do embasamento após o estabelecimento da bacia sedimentar. Um número crescente de estudos, tanto na Bacia Paraíba, quanto em seus arredores (Bezerra et al., 2008; Morais Neto & Alkmin, 2001), em outras áreas do nordeste do Brasil (Bezerra et al., 2001; Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Brito Neves et al., 2004; Nogueira et al., 2010; Saadi & Torquato, 1991) e em demais regiões do território brasileiro (Costa et al., 2001; Costa & Hasui, 1997; Riccomini & Assumpção, 1999), vêm ressaltando a importância de reativações de falhas tectônicas precambrianas durante o Cenozóico, inclusive no Quaternário. Registro sísmico sugere que essas reativações podem estar se manifestando mesmo em tempos modernos, o que tem produzido abalos sísmicos de diferentes magnitudes em várias localidades do Nordeste do Brasil (Ferreira et al., 2008; Ferreira et al., 1998; Furrier et al., 2006). Dados geológicos têm demonstrado a ocorrência de sismos no registro sedimentar quaternário dessa região (Bezerra et al., 2005; Rossetti et al., 2011; Saadi & Torquato, 1992).

Lineamentos morfoestruturais de direções principais NE-SW e NW-SE na área de estudo também podem ser associados à reativação de falhas. Publi-

cação anterior subsidiada em informações de campo (i.e., Bezerra et al., 2008) constatou a ocorrência de falhas tectônicas com direcionamentos aproximados imediatamente a noroeste da área de estudo. Estes autores registraram o *Graben* de Cariatá, onde ocorrem falhas tectônicas reativadas em tempos pleistocênicos. Adicionalmente, estudos de campo na Sub-bacia Alhandra revelaram várias falhas tectônicas com estas orientações gerais afetando tanto a Formação Barreiras, quanto os Sedimentos Pós-Barreiras (Andrades Filho, 2010; Brito Neves et al., 2009), o que confirma que a área de estudo esteve sujeita a reativações em tempos geológicos relativamente recentes (Andrades Filho, 2010).

A maior concentração de lineamentos morfoestruturais nas áreas de ocorrência do embasamento cristalino é condizente com idades mais antigas, considerando que os maiores registros de episódios tectônicos tenham ocorrido previamente ao estabelecimento da bacia sedimentar. Relativamente às áreas do embasamento cristalino, a menor densidade de lineamentos morfoestruturais dos compartimentos relacionados com a cobertura sedimentar é compatível com tempos geológicos mais recentes, conforme visualização combinada das Figuras 2 e 3A.

Considerando-se somente as áreas de cobertura sedimentar, a diminuição geral na concentração de lineamentos em direção a estratos progressivamente mais jovens pode indicar redução dos episódios tectônicos com o tempo. Desta forma, o maior volume de lineamentos no compartimento 2f, onde a Formação Barreiras é dominante, sugere concentração de episódios tectônicos após deposição desta unidade (i.e., após o Mesomioceno), porém antes da deposição dos Sedimentos Pós-Barreiras no Pleistoceno Tardio-Holoceno. É provável que estes eventos tenham ocorrido não só em decorrência de esforços distensivos, mas também por compressão, o que fica evidenciado pelo registro, em campo, de dobras associadas com a Formação Barreiras neste compartimento morfoestrutural (Rossetti et al., 2009). Existem registros prévios de compressão de idade inferida campaniana a miocênica no Nordeste do Brasil (Matos, 2000), e também pleistocênica na Bacia Paraíba (Bezerra et al., 2008). Para o caso particular da área de estudo, o fato da Formação Barreiras ter sido afetada pela deformação dúctil mostra evento de compressão posterior, ou pelo menos contemporâneo à formação desta unidade. Como o dobramento afetou também o paleossolo laterítico do topo desta unidade (Rossetti et al., 2011), tido como formado entre o Tortoniano e Plioceno (Rossetti, 2004), pode-se sugerir que este evento foi

mais provavelmente ativo após este período.

Apesar da diminuição na concentração dos lineamentos ao longo do tempo geológico, como discutido acima, é importante salientar que o registro destes em todos os setores de ocorrência dos depósitos sedimentares permite sugerir atividade tectônica até o Holoceno. O maior volume de lineamentos de direção NE-SW e aproximadamente N-S na porção leste da área, revestida pela Formação Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras, leva a propor que essas estruturas não tenham tido vínculo com feições tectônicas do embasamento, mas registrem novas estruturas formadas em associação com a gênese e/ou evolução da Bacia Paraíba.

Na análise da rede de drenagem também foram reveladas feições da paisagem indicativas de expressão tectônica na evolução geológico/geomorfológica da área de estudo. Em relação ao padrão, o predomínio de drenagem treliça e ampla variação deste tipo, bem como a ocorrência de padrão retangular angular e radial, são compatíveis com controle tectônico no estabelecimento dos canais fluviais. Os padrões em treliça e retangular angular configuram canais paralelos com tributários formando junções tipicamente em ângulo reto ou aproximadamente reto, que normalmente registram intercepção perpendicularmente de conjuntos de estruturas, como falhas e juntas. Como estes padrões anômalos estão presentes em vários setores das bacias hidrográficas analisadas, pode-se sugerir que boa parte da área de estudo esteve sujeita à deformação tectônica. Além disto, o padrão radial, que no caso da área de estudo foi observado em associação com as bacias dos rios Gramame e Mumbaba, configura canais que irradiam de um ponto central e pode refletir, embora não exclusivamente, deformações tectônicas que originem feição dômica ou feições alçadas destoantes de morfologias adjacentes (Howard, 1967; Schumm, 1971). Destaca-se, ainda, o padrão treliça encurvada em associação com as bacias desses rios, onde também ocorrem afloramentos da Formação Barreiras contendo dobras tectônicas (Rossetti et al., 2009). Com base nessas evidências, pode-se sugerir que os padrões radial e treliça encurvado na área de estudo refletem morfologia em dobra. É interessante observar que esses padrões ocorrem principalmente na porção leste da área de estudo, onde diversas anomalias de drenagem, também atribuídas a controle estrutural, foram registradas.

Além de padrões normalmente relacionados com feições tectônicas, mudanças súbitas entre padrões adjacentes ao longo de uma mesma bacia hidrográfica, onde não ocorre variação litológica significativa, são também atribuídos a fatores tectônicos (Howard, 1967). Várias destas mudanças foram registradas em

áreas de ocorrência do embasamento cristalino. Por exemplo, a mudança súbita de padrão retangular angular para subdendrítico e treliça em direção à jusante no Rio Sirigi é provavelmente devido a movimentações tectônicas. Também se destaca a ocorrência de drenagem treliça direcional no alto curso do Rio Ferreiras, bem como sua mudança súbita para padrão subdendrítico à jusante. Da mesma forma que nos outros casos de ocorrência de anomalias de drenagem, este padrão anômalo, bem como sua rápida mudança à jusante, ocorre em área de litologia uniforme. Com isto, existe a possibilidade desta feição refletir controle tectônico na porção montante deste rio. Na área correspondente à cobertura sedimentar, variações bruscas de padrão são ainda mais expressivas, indicando que as deformações tectônicas tiveram reflexo maior no controle da drenagem atual.

Evidências adicionais de atividade tectônica são expressas em outras anomalias de drenagem que ocorrem em todos os conjuntos de bacias hidrográficas. Estas anomalias consistem em fortes inflexões de drenagem, caracterizadas por formas “em cotovelo”, ou seja, ângulos retos. Feições similares têm sido relacionadas à captura de drenagem por ação tectônica (Howard, 1967; Soares & Fiori, 1976). A abundância de canais retilíneos sugere frequentes encaixes dos rios, possivelmente ao longo de planos de falhas e fraturas. Meandros comprimidos e isolados, similares aos observados na sub-bacia hidrográfica Sirigi e Goiana, podem refletir reajustes locais dos rios frente a áreas deformadas (Deffontaines & Chorowicz, 1991; Howard, 1967; Soares & Fiori, 1976).

É interessante discutir, ainda, a variação espacial das anomalias de drenagem. Considerando-se mesmo contexto litológico, a densidade de drenagem e, principalmente, a forma de ocorrência das anomalias por inflexões de drenagem comparando-se os setores norte e sul da porção oeste da área de estudo, onde predominam rochas do embasamento cristalino, sugerem comportamentos tectônicos distintos. Destacam-se as inflexões no alto curso do Rio Paraíba em área com ocorrência de Sedimentos Pós-Barreiras, sugerindo que, após a deposição desses estratos, teria havido fase de deformação do embasamento cristalino. Portanto, as sub-bacias hidrográficas Tiuma, Ferreiras e Paraíba, possivelmente refletem deformações ocorridas na porção leste da área de estudo.

Em síntese, na área de domínio das unidades sedimentares, o setor norte é o que apresenta maiores evidências de deformação tectônica, o que pode ser demonstrado pela maior abundância de anomalias de drenagem sob forma de inflexões. Na porção sul, destaca-se o possível controle tectônico que abrange toda a área das sub-bacias hidrográficas Dois Rios,

Popocas e Abiaí, que, em seu conjunto, forma drenagem assimétrica sugestiva basculamento regional. Anomalias de drenagem, principalmente refletida por fortes inflexões e vários segmentos de rios retilíneos, também sugerem efeito tectônico significativo na porção central e norte da área, onde predominam a Formação Barreiras e dos Sedimentos Pós-Barreiras. Em especial, um dos indícios mais fortes de deformação dos Sedimentos Pós-Barreiras ocorre no

extremo norte das unidades sedimentares devido às mudanças bruscas, e correspondentes, e pela forte retilinearidade da drenagem principal dos rios Sal Amargo e Paroeira. Estas evidências são consistentes com a possibilidade de que eventos tectônicos tenham ocorrido em partes da área de estudo até mesmo no Quaternário, hipótese que merece ser melhor investigada com base em dados geológicos a serem obtidos em campo.

CONCLUSÕES

A base da rede de drenagem e os produtos geomorfométricos derivados do MDE-SRTM foram eficientes na extração de lineamentos morfoestruturais, considerando-se tanto baixos como altos topográficos, o que permitiu evidenciar controle tectônico na área de estudo. A topologia da rede de drenagem sugere deformações tectônicas tanto de natureza rúptil, como dúctil. Acredita-se que a reativação de falhas tectônicas precambrianas seja responsável por morfoestruturas típicas do embasamento também nas áreas de ocorrência de estratos sedimentares. Porém, não se descarta que a ocorrência de deformações, especialmente na porção leste, pode

ser ainda decorrente de eventos tectônicos não relacionados com feições preexistentes no embasamento. Essas deformações podem ter ocorrido durante o Cenozóico, mas também afetaram estratos formados durante o Quaternário.

A porção NE-E da área de estudo, onde a Formação Barreiras é dominante, se revelou como a área mais complexa do ponto de vista do entendimento da evolução tectônica. Há possibilidade de que eventos tectônicos, decorrentes de esforços compressivos, tenham afetado a área posteriormente, ou pelo menos contemporaneamente (i.e., Mesomioceno) à deposição dessa unidade sedimentar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade ao segundo autor, e à FAPESP, pelo auxílio financeiro no âmbito do projeto FAPESP 06/04687-7. Os agradecimentos são extensivos a um revisor anônimo, pelas inúmeras sugestões e correções que contribuíram para melhorar significativamente a versão inicial do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, F.M.; MONTEIRO, F.A.J.; OLIVEIRA FILHO, S.J. Sistemas deposicionais da Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, p. 753-760.
2. ALMEIDA, F.F. Origem e evolução da plataforma brasileira. **Boletim da DGM/DNPM**, n. 241, p. 1-36, 1967.
3. ANDRADES FILHO, C.O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraiba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. São José dos Campos, 2010. 173 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
4. ARAÚJO, V.D.; REYES-PERES, Y.A.; LIMA, R.O.; PELOSI, A.P.M.; MENEZES, L.; CÓRDOBA, V.C.; LIMA-FILHO, F.P. Fácies e sistema deposicional da Formação Barreiras na região da Barreira do Inferno, litoral oriental do Rio Grande do Norte. **Geologia USP - Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 43-50, 2006.
5. BARBOSA, J.A. **Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil**. Recife, 2004. 230 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
6. BARBOSA, J.A. & LIMA FILHO, M.F. Os domínios da Bacia Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EMPETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo & Gás, 2005. CD-ROM.
7. BARBOSA, J.A.; SOUZA, E.M.; LIMA FILHO, M.; NEUMANN, V.H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-108, 2003.
8. BARRETO, A.M.F.; BEZERRA, F.H.R.; SUGUIO, K.; TATUMI, S.H.; MOMOSE, E.F.; PAIVA, R.P.; MUNITA, C.S. Late Pleistocene marine terrace sequences in northeastern Brazil: sea-level changes and tectonic implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 179, n. 1-2, p. 57-69, 2002.
9. BEURLIN, K. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. **Boletim de Geologia**, v. 16, n. 1, p. 43-53, 1967.
10. BEZERRA, F.H.R. **Neotectonics in Northeastern Brazil**. Londres, 1998. 224 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Londres.

11. BEZERRA, F.H.R. & VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. **Geology**, v. 28, n. 7, p. 591-594, 2000.
12. BEZERRA, F.H.R.; AMARO, V.E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, n. 1, p. 61-75, 2001.
13. BEZERRA, F.H.R.; LIMA FILHO, F.P.; AMARAL, R.F.; CALDAS, L.H.O.; COSTA NETO, L.X. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWARTT, I.S.; VITA-FINZI, C. (Eds.), **Coastal Tectonics**. London: Geological Society of London, Publicação Especial, n. 146, p. 279-293, 1998.
14. BEZERRA, F.H.R.; NEVES, B.B.B.; CORREA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 97, n. 3-4, p. 555-582, 2008.
15. BRITO NEVES, B.B. A Província Borborema. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (Orgs.), **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 123-186, 1984.
16. BRITO NEVES, B.B.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; COUTINHO, J.M.V.; BEZERRA, F.H.R. Novos dados Geológicos e Geofísicos para caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). **Geologia USP - Série Científica**, v. 9, p. 63-87, 2009.
17. BRITO-NEVES, B.B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T.M.G.; SANT'ANNA, L.G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 127-134, 2004.
18. BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; KOZUCH, M.; SANTOS, E.J.; PETRONILHO, L. A Zona Tectônica Teixeira-Terra Nova - ZTTTN - fundamentos da Geologia Regional e Isotópica. **Geologia USP - Série Científica**, v. 5, n. 1, p. 57-80, 2005.
19. CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
20. CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 313 p., 1981.
21. CÓRDOBA, V.C.; SÁ, E.F.J.; SOUSA, D.C.; ANTUNES, A.F. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, p. 391-403, 2007.
22. COSTA, J.B.S. & HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M.L. & ANGELICA, R.S. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 15-90, 1997.
23. COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUY, Y.; BORGES, M.S. Tectonics and Paleogeography along the Amazon river. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, n. 4, p. 335-347, 2001.
24. DEFFONTAINES, B. & CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, v. 194, p. 237-263, 1991.
25. FERREIRA, J.M.; BEZERRA, F.; SOUSA, M.; NASCIMENTO, A. DO; SÁ, J.; FRANCA, G. The role of Precambrian mylonitic belts and present-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil. **Tectonophysics** (Amsterdam), v. 456, n. 3-4, p. 111-126, 2008.
26. FERREIRA, J.M.; OLIVEIRA, R.T.; TAKEYA, M.K.; ASSUMPÇÃO, M. Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. **Geophysical Journal International**, v. 134, n. 2, p. 341-355, 1998.
27. FURRIER, M.; ARAUJO, M.E.; MENESES, L.F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geologia USP - Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 61/2-70, 2006.
28. GLOBAL MAPPER SOFTWARE, LCC. Disponível em: <http://www.globalmapper.com/>. Acessado em: 2009.
29. HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.
30. KEGEL, W. Geologia do fosfato de Pernambuco. **Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral**, n. 157, p. 1-54, 1955.
31. KEGEL, W. A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. **Boletim da DGM/DNPM**, n. 227, p. 1-52, 1965.
32. KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 2, p. 37-72, 1956.
33. KING, L.C. **The Morphology of the Earth**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 699 p., 1967.
34. KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes: a new perspective**. New York: Hodder Arnold, 383 p., 1998.
35. LIMA, C.C.U.; VILAS BÔAS, G.S.; BEZERRA, F.H.R. Faciologia e Análise Tectônica Preliminar da Formação Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia, Brasil. **Revista do Instituto de Geociências - Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 71-80, 2006.
36. LIMA FILHO, M.F. & SOUZA, E.M. Marco estratigráfico em arenitos calcíferos do Campaniano da Bacia Paraíba: estratigrafia e significado paleoambiental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 19, 2001, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade de Geologia do Nordeste, 2001, p. 87-88.
37. LIMA FILHO, M.F.; BARBOSA, J.A.; NEUMANN, V.H.; SOUZA, E.M. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10 e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY, 4, 2005, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005, p. 45-47, 2005.
38. MABESOONE, J.M. **Sedimentary Basins of Northeast Brazil**. Recife: Editora Universitária - Universidade Federal de Pernambuco, 308 p., 1994.
39. MABESOONE, J.M. & ALHEIROS, M.M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, p. 476-482, 1988.
40. MAIDMENT, D.R. **ArcHydro: GIS for Water Resources**. Redlands, CA: ESRI, 2002.
41. MASOUD, A. & KOIKE, K. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt. **Journal of African Earth Sciences**, v. 45, n. 4-5, p. 467-477, 2006.
42. MATOS, R.M.D. Tectonic Evolution of the Equatorial South Atlantic. **Geophysical Monography**, v. 115, p. 331-354, 2000.
43. MORAIS, R.M.O.; MELLO, C.L.; COSTA, F.O.; SANTOS, P.F. Facies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da formação barreiras no Estado do Rio de Janeiro. **Geologia USP - Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 19-30, 2006.
44. MORAIS NETO, J.M. & ALKMIN, F.F. A deformação das coberturas terciárias do Planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 95-106, 2001.
45. NOGUEIRA, F.C.C.; BEZERRA, F.H.R.; CASTRO, D.L. Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. **Geologia USP - Série Científica**, v. 6, p. 51-59, 2006.

46. 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. 1463-1469, 1976.
47. OLIVEIRA, P.E. **História da pesquisa do Petróleo no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 208 p., 1940.
48. RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTY, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.
49. RAMLI, M.F.; YUSOF, N.; YUSOFF, M.K.; JUAHIR, H.; SHAFRI, H.Z.M. Lineament mapping and its application in landslide hazard assessment: a review. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 69, n. 2, p. 215-233, 2010.
50. RICCOMINI, C. & ASSUMPÇÃO, M. Quaternary tectonics in Brazil. **Episodes**, v. 22, p. 221-225, 1999.
51. ROSSETTI, D.F. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 133, n. 3-4, p. 295-324, 2000.
52. ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sedimentary Geology**, v. 169, n. 3-4, p. 51-174, 2004.
53. ROSSETTI, D.F. The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene Successions in Northern Brazil. In: DALRYMPLE, R.W.; LECKIE, D.A.; TILLMAN, R.W. (Eds.), **Incised Valley in Time and Space**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, p. 199-218, 2006.
54. ROSSETTI, D.F. & GÓES, A.M. Marine influence in the Barreiras Formation, State of Alagoas, Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 4, p. 741-755, 2009.
55. ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.; GÓES, A.M.; BRITO NEVES, B.B. Sediment deformation in Miocene and post-Miocene strata, Northeastern Brazil: evidence for paleoseismicity in a passive margin. **Sedimentary Geology**, v. 235, p. 172-187, 2011.
56. ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES-FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO-NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 300, p. 191-204, 2011.
57. ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)**, v. 2, p. 17-29, 1990.
58. ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M. Correlação estratigráfica da "Formação Barreiras" no nordeste e norte do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11, 2007, Belém. **Anais...** São Paulo: ABEQUA, 2007. CD-ROM.
59. ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)**, v. 1, p. 25-74, 1989.
60. ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; BEZERRA, F.H.R.; BRITO NEVES, B.B.; GÓES, A.M. Caracterização morfológica da porção sul da Sub-bacia de Alhandra, Bacia Paraíba, com base em dados SRTM: contribuição na compreensão do arcabouço estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 3325-3332.
61. SÁ, E.F.J.; CRUZ, L.R.; ALMEIDA, C.B.; MEDEIROS, W.E.; MOREIRA, J.M.; FIGUEIREDO, E.M. Tectônica pós-rifte na Sub-bacia da Paraíba, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004, Araxá. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004, p. 2400.
62. SAADI, A. & TORQUATO, J.R. Contribuição à Neotectônica do Estado do Ceará. **Revista da Geologia**, v. 5, p. 5-38, 1992.
63. SCHUMM, S.A. Evolution and response of the fluvial system: Sedimentologic implications. **SEPM Special Publication**, v. 31, p. 19-29, 1981.
64. SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.
65. STRAHLER, A.N. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.
66. STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-20, 1957.
67. SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J.B.L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 180-188, 1987.
68. VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 3595-3602.
69. VALERIANO, M.M. & ALBUQUERQUE, P.C.G. **TOPODATA**: processamento dos dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 79 p., 2010.

*Manuscrito Recebido em: 25 de agosto de 2010
Revisado e Aceito em: 15 de agosto de 2011*