

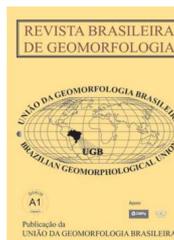


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 3 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1083>



### CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE, CEARÁ-BRASIL

### MORPHOSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE UPPER COURSE OF THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE JAGUARIBE RIVER, CEARÁ-BRAZIL

**Mickaelle Braga da Silva**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici, Bloco 911, Fortaleza, Ceará. CEP: 60455-760. Brasil  
Email: mickaellesilva@hotmail.com*

**Rubson Pinheiro Maia**

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

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
03/03/2017  
Aceito (Accepted):  
03/04/2017

#### Palavras-chave:

Geomorfologia Estrutural,  
Controle de Drenagem,  
Lineamentos Estruturais.

#### Keywords:

Structural Geomorphology,  
Drainage Control, Structural  
Lineaments.

#### Resumo:

O presente trabalho propõe uma análise morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil, através da relação litologia/drenagem/relevo. A análise baseou-se em levantamentos bibliográficos e cartográficos; na aplicação de técnicas de geoprocessamento e tabulação e análise dos dados. Dentre os produtos de sensoriamento remoto disponíveis para a área, destacam-se os dados *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM*, com resolução espacial de 30 metros. Este produto com o auxílio de softwares de geoprocessamento permitiu a extração da rede de drenagem e de lineamentos estruturais; a identificação e delimitação das unidades morfoestruturais; a compartimentação morfoestrutural dos lineamentos; a identificação e distribuição dos padrões de drenagem. Aplicou-se o cálculo e a geração dos gráficos de rosetas na espacialização da direção preferencial de frequência da drenagem e dos lineamentos estruturais. Neste contexto, foi possível identificar vários padrões de drenagem controlados por estruturas (padrões treliça e paralelo). Esses dados demonstraram uma significativa compatibilidade de direções NE-SW e E-W, que sugerem lineamentos estruturais positivos e negativos representados por sequências de cristas e vales e trechos retilíneos escarpados, confinando canais de drenagem. Desta forma, foi possível estabelecer correlações com a distribuição da densidade de lineamentos e padrões de drenagem, constatando que são nos setores tectonicamente mais deformados que apresentam maior concentração de canais estruturalmente controlados.

## Abstract:

This paper proposes a morphostructural analysis of the upper course of the river Jaguaribe watershed, located in the state of Ceará-Brazil through the analysis of the relation between lithology/ drainage/ relief. This analysis was supported by bibliographic and cartographic surveys; the application of GIS techniques, tabulation and data analysis. Among the remote sensing products available for the area, stands out the data from the Shuttle Radar Topography Mission-SRTM with 30 m of spatial resolution. This product tooled with GIS software allowed the extraction of the network drainage and the relief lineaments; the identification and demarcation of morphostructural units; of the morphostructural compartmentalization of lineaments; the identification and the distribution of the drainage patterns. We also used the application of statistics and the generation of rosette graphics to spatialize the preferred direction of drainage frequency and relief lineaments. In this context, it was possible to identify drainage patterns controlled by structures (lattice and parallel patterns). These data demonstrated a significant compatibility NE-SW direction and E-W, which suggest positive and negative lineaments relief represented by the sequence of crests and valleys and craggy rectilinear sections, abutting drainage channels. Thus, it was possible to establish links between the distribution of lineament density and the drainage patterns, noting that, in the most tectonically deformed sectors, exists the highest concentration of structural controlled channels.

## 1. Introdução

Entre os diversos marcadores morfoestruturais, a drenagem configura-se como um dos indicadores mais importantes de movimentação tectônica (SCHUMM, *et al.*, 2000). São exemplos desses indicadores, rios orientados transversalmente à estrutura de deformação, desvios em torno de zonas de soerguimento ou em direção a zonas de subsidência, avulsões ou migrações laterais que ocorrerem em canais orientados paralelamente à estrutura de deformação (HOLBROOK e SCHUMM, 1999).

Por ser um elemento muito sensível às alterações crustais recentes, mesmo que estas sejam pequenas em escala e magnitude (SCHUMM, 1993), a rede de drenagem se modifica apresentando padrões e formas de acordo com estruturas do relevo (COUTO, 2011; LIMA, 2006), evidenciando um condicionamento litoestrutural, morfoestrutural e morfotectônico (HOWARD, 1967).

No que diz respeito a estudos desta natureza em bacias hidrográficas do Nordeste setentrional brasileiro (ANDRADE-FILHO e ROSSETTI, 2012; CORREA *et al.* 2010; FURRIER, 2007; MAIA e BEZERRA, 2010, 2014; MOURA-LIMA, 2007), constatou-se que as principais bacias hidrográficas estão diretamente condicionadas por falhamentos e zonas de deformação dúcteis, controlando assim a dinâmica atual de dissecação e agradação, o regime e direção dos rios e os seus padrões de drenagem (Figura 1). São exemplos dessas drenagens o rio Acaraú (Ceará), que possui parte de seu vale encaixado sobre o Lineamento Transbrasiliano, o rio Jaguaribe (Ceará) no médio e baixo curso sobre a

falha de denominação homônima e uma depressão entre as zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Portalegre e os vales dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte), ambos encaixados no sistema de falhas da fase rifte da bacia sedimentar Potiguar.

Dentro desse contexto, o presente trabalho versa o alto curso do rio Jaguaribe, ressaltando seus aspectos morfoestruturais, através da relação litologia/drenagem/relevo. Esta área é representada predominantemente pelo embasamento cristalino pré-cambriano (GOMES *et al.* 2000). O embasamento apresenta terrenos nitidamente marcados por deformações rúpteis e dúcteis em uma extensa superfície dissecada por condições climáticas semiáridas. Tal contexto permite evidenciar por vezes, canais de drenagem confinados por sequências de cristas e vales, como também canais superimpostos a essas estruturas. Nesta perspectiva, se propõe apresentar uma caracterização morfoestrutural com base no mapeamento de deformações tectônicas a fim de identificar no ambiente atual como os elementos estruturais herdados da orogênese brasileira exercem controle na rede de drenagem atual.

## 2. Localização e caracterização da área

O alto curso do rio Jaguaribe (Figura 2) situa-se na porção sudoeste do Estado do Ceará, corresponde a maior das cinco sub-bacias que compõem a Bacia Hidrográfica do Jaguaribe (Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Salgado) e a maior do Estado, abrangendo 27 (vinte e sete) municípios (CEARÁ, 2009).

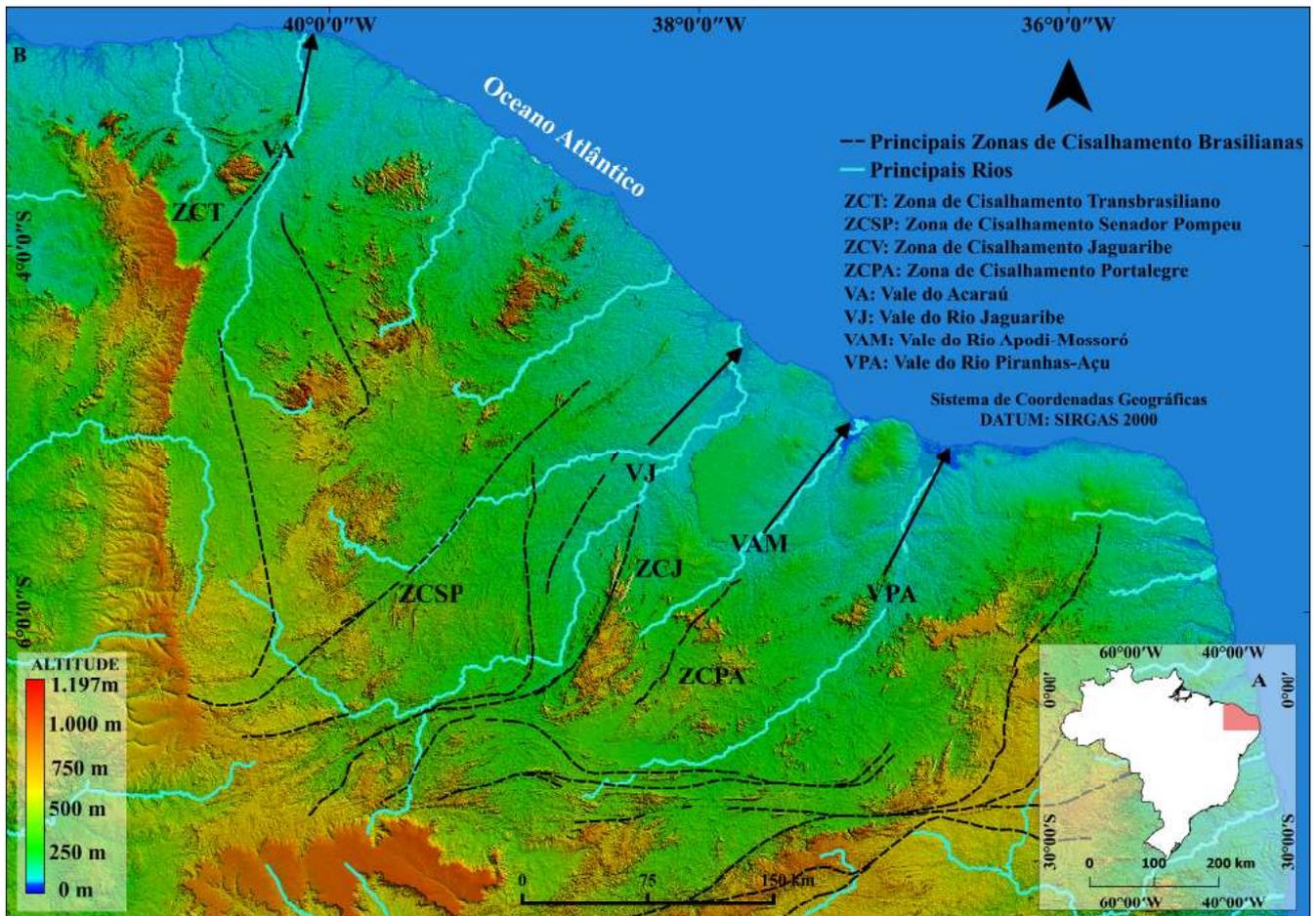


Figura 1 - Correlação entre as principais estruturas tectônicas e a disposição do relevo no Nordeste setentrional Brasileiro (B) e sua situação no Brasil (A).

De maneira geral, a área está inserida na região semiárida do Nordeste brasileiro (NIMER, 1989), que se caracteriza por apresentar uma irregularidade na distribuição das precipitações pluviométricas no tempo e no espaço, com precipitações médias anuais entre 500mm e 700mm, de janeiro a maio e a temperatura elevada com média anual em torno de 28° C (CEARÁ, 2009). Apresenta contato com bacias sedimentares de idade paleozoica (Bacia do Parnaíba) e mesozoica (Bacias do Araripe e do Iguatu) (Figura 4).

O relevo da área (Figuras 3 e 5) está representado pela chapada do Araripe e o *glint* da Ibiapaba, correspondendo às feições de maior elevação. Circundando estes compartimentos, a depressão sertaneja se apresenta modelada na forma de superfícies suavemente onduladas, recobertas predominantemente por solos rasos, pedregosos e pouco desenvolvidos. Destacando-se sobre a depressão sertaneja emergem maciços isolados e alinhamento de cristas e vales, possibilitados pelo tra-

balho expressivo da erosão diferencial. (BRASIL, 1982; CLAUDINO-SALES e LIRA, 2011; SOUZA, 1988).

## 2.1 Contextos geológico e geomorfológico

Geologicamente, a área em estudo está inserida, regionalmente, na porção oriental da Província Borborema (BRITO NEVES, 1999). O embasamento cristalino pré-cambriano apresenta-se com maior representatividade na área do alto curso do rio Jaguaribe, com destaque para as rochas metamórficas contidas nos terrenos dos domínios do Ceará Central, Jaguaribeano e Granjeiro (Figura 4). Esse quadro confere para a área um mosaico diversificado com vários tipos litológicos, eventos e zonas de deformações dúcteis e rúpteis impressas no embasamento, registrando uma história evolutiva longa e complexa, frutos de eventos que operaram no Arqueano, Paleoproterozoico e Neoproterozoico (GOMES *et al.*, 2000; NOGUEIRA, 2004).

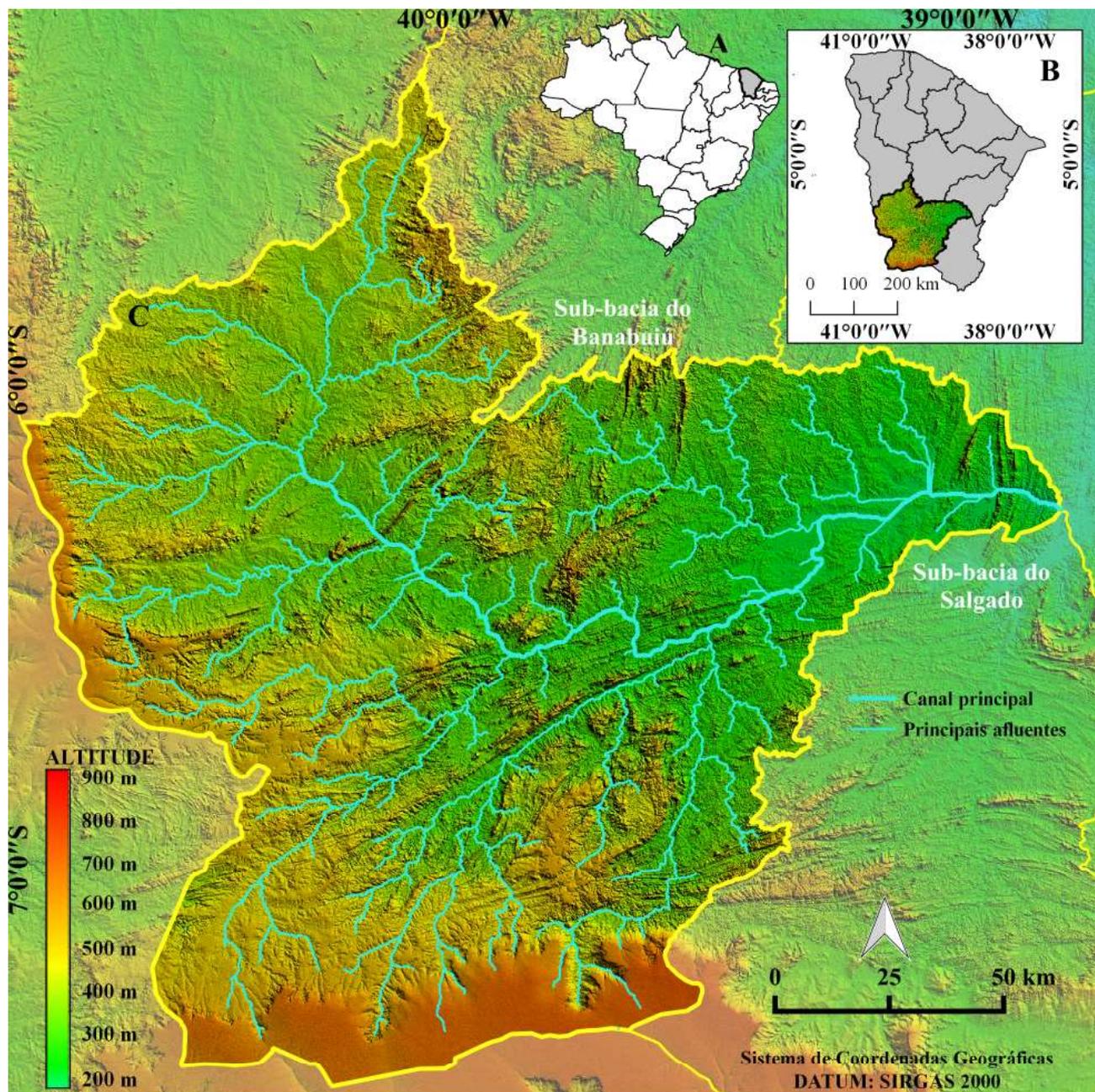


Figura 2 - Localização da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe (C). Situação das sub-bacias hidrográficas do Estado do Ceará (B). Situação do Estado do Ceará a nível de Brasil (A).

A geomorfologia da área apresenta-se disposta em superfícies erosivas bordejadas por maciços cristalinos e bordas de bacias sedimentares. Essas unidades podem ser individualizadas na forma de compartimentos morfoestruturais compreendendo o *glint* da Ibiapaba, a chapada do Araripe, os maciços cristalinos, as superfícies sertanejas, estas dispostas em diferentes níveis de depressão por ação da erosão diferencial e as planícies aluviais (Figuras 3 e 5).

Modeladas no embasamento pré-cambriano, ocorre na área de estudo formas de relevo como a depressão

sertaneja e os maciços cristalinos (Figuras 4 e 5).

A Depressão sertaneja (Figura 3, 5 e 6) configura-se como o relevo predominante na área de estudo.

Na área de estudo identificam-se dois níveis topográficos na depressão, sendo que os níveis mais baixos variam entre os 200 e os 300m de altitude e os níveis mais elevados estão cotados entre os 300 e os 450m, no sentido de não esquecer as superfícies mais ao norte (áreas próximas ao município de Tauá) e a oeste da área de estudo (avançando para o contato com o *glint* da Ibiapaba) que se enquadram nas características das depressões.

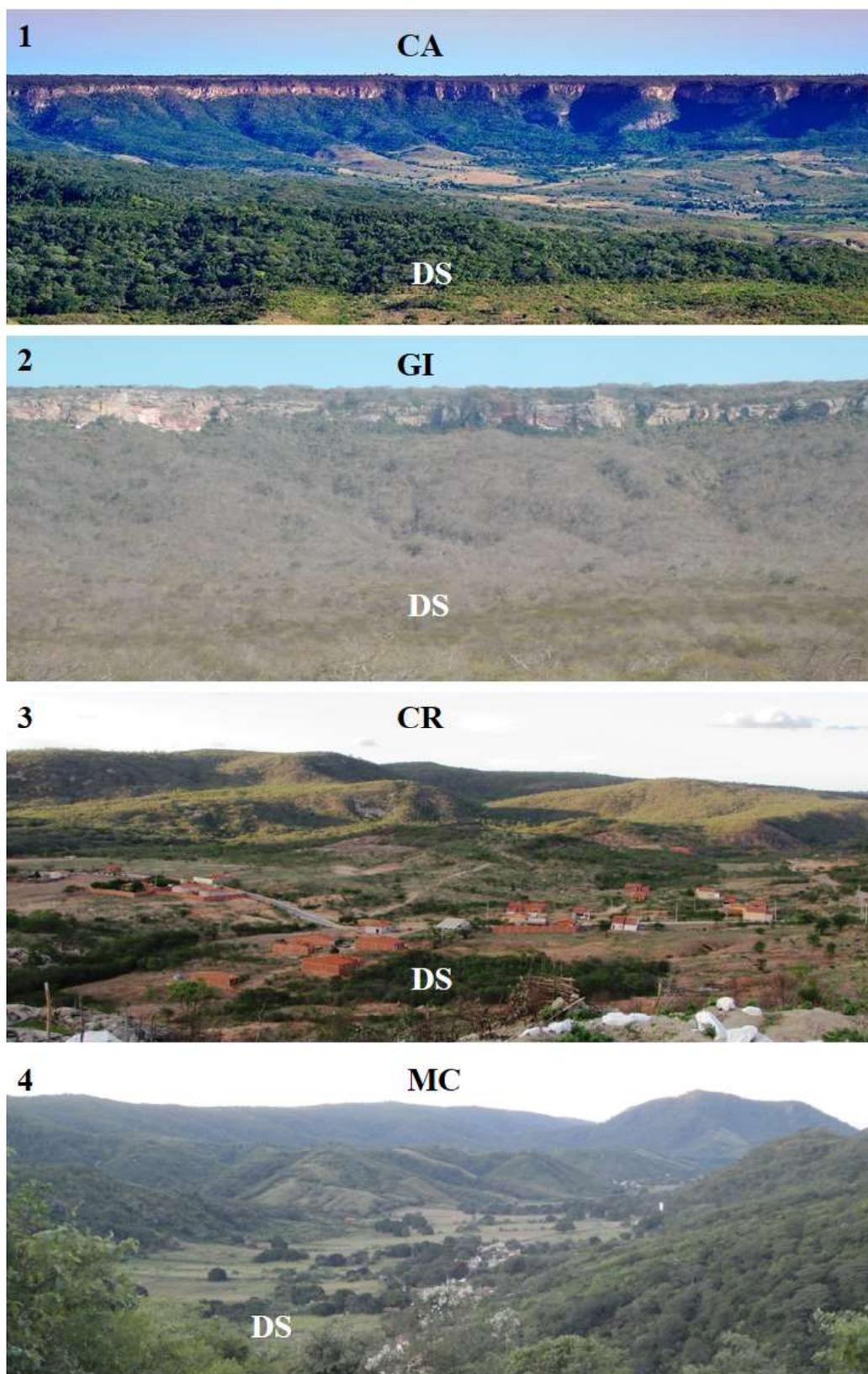


Figura 3 - Fotos da área de estudo. 1: CA- Chapada do Araripe e DS- Depressão Sertaneja no município Santana do Cariri, CE (Fonte: Roberto Amorim, 2014) 2: GI- Glinc da Ibiapaba e DS- Depressão Sertaneja no município Parambu, CE. (Fonte: Diego Teixeira, 2016); 3: CR- Cristas estruturais dinamizando a DS -Depressão Sertaneja no município de Saboeira, CE (Fonte: Mickaelle Braga, 2017) e 4: DS-Depressão Sertaneja e a Serra do Quincuncá, correspondente a porção leste dos MC- Maciços Cristalinos ao sul da área de estudo no município Farias Brito, CE (Fonte: Abner Cordeiro, 2015).

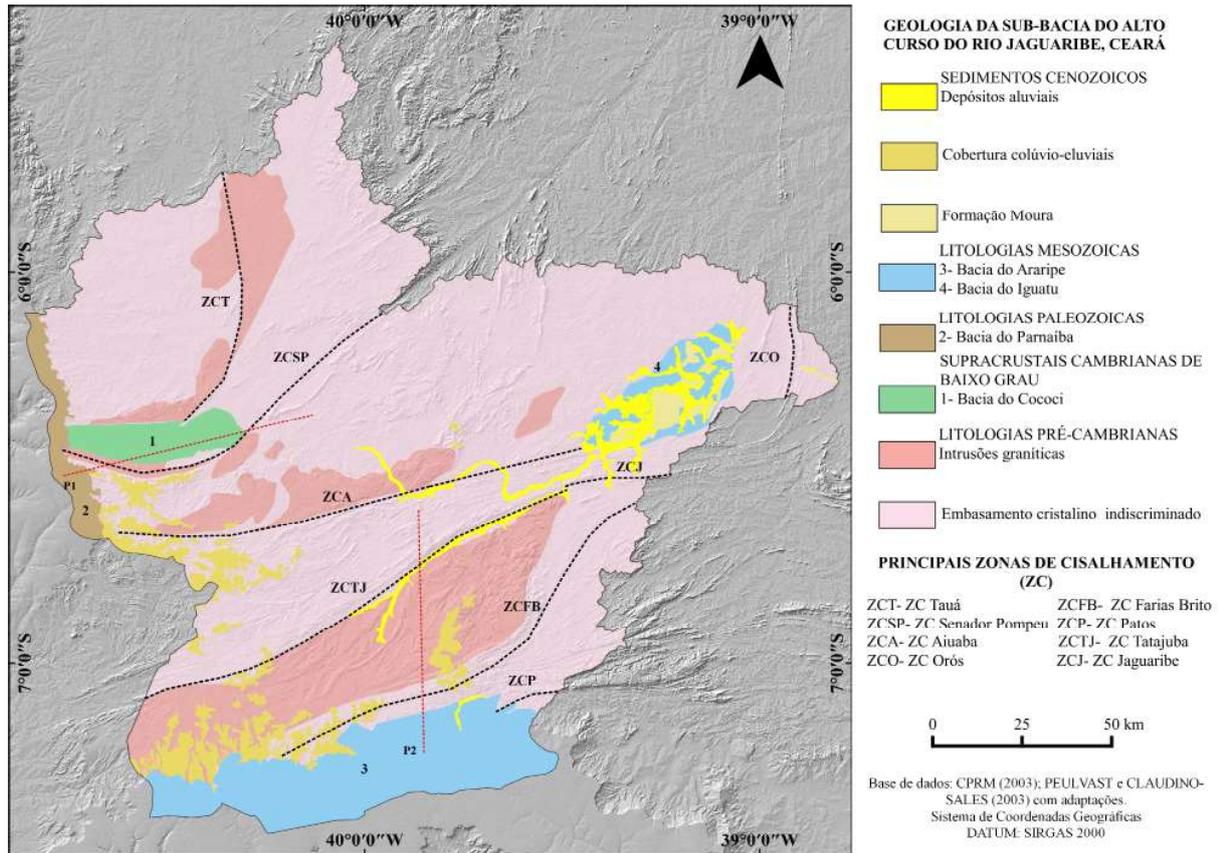


Figura 4 - Geologia da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe, Ceará.

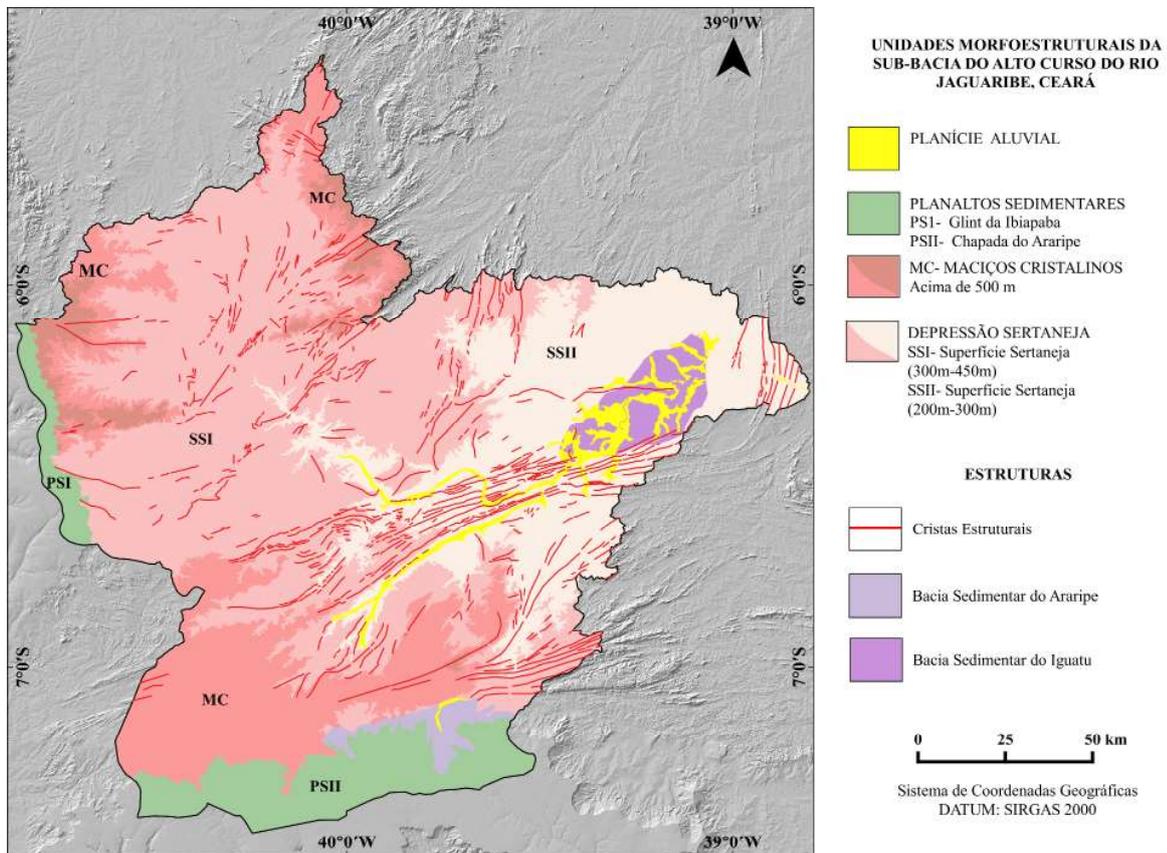


Figura 5 - Geomorfologia da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe, Ceará.

Os Maciços cristalinos (Figura 4) ocorrem na área de estudo na forma de elevações residuais com altitudes que variam de 500 a 650 metros. Esses maciços apresentam-se na área dissociados em vários volumes de relevo isolados, dispostos a noroeste da área de estudo em contato com o *glint* da Ibiapaba, a norte compondo a parte oeste dos maciços do Ceará Central e a sudoeste próximo à Chapada do Araripe. Apresentam-se modelados, em sua maioria, em rochas metamórficas, no entanto, apresentam-se com destaque em corpos graníticos (maciços a sudoeste), limitados pelas zonas de cisalhamento Tatajuba e Farias Brito (Figuras 4, 5 e 6).

Os sedimentos paleozoicos no alto curso do rio Jaguaribe dividem-se em dois períodos, o Cambriano referente à bacia sedimentar do Cococi e o Siluriano, representado pela bacia sedimentar do Parnaíba (Figura 4).

O substrato correspondente à Bacia do Cococi (Figura 4 e 6) apresenta suas formações metamorfizadas e deformadas em regime frágil. Sua repercussão geológica na área permanece na forma de um hemi-graben, disposto na direção E-W (GOMES *et.al.* 2000).

Na bacia sedimentar do Parnaíba (Figura 4), a formação Serra Grande, de idade siluriana, apresenta sua área de afloramento quase que exclusivamente em uma estreita faixa na extremidade leste da bacia. A existência de rochas cristalinas na vertente leste da Ibiapaba, sustentada no topo por rochas sedimentares, define a existência de um “*glint*”, no caso o *glint* da Ibiapada (Figura 5 e 6), modelado pela ação da erosão diferencial (CLAUDINO-SALES e LIRA, 2011). O *glint* ocorre ao noroeste da área representada pela borda leste da bacia sedimentar do Parnaíba em contato com o embasamen-

to cristalino. O elemento de maior representatividade na área de estudo corresponde ao *front*, onde a erosão produziu uma vertente abrupta modelada na formação Serra Grande e em seu topo apresenta altitudes que ultrapassam 800 metros.

Os sedimentos mesozoicos são caracterizados pelas bacias sedimentares do Araripe e Iguatu (Figura 4). Instalada sobre a bacia sedimentar do Araripe, destaca-se a chapada do Araripe (Figura 5 e 6), representada pelas formações Santana e Exu (ASSINE 2007). Apresenta-se contida na área de estudo sua porção norte, limítrofe com representativos maciços e a depressão sertaneja por uma linha de escarpa, fortemente delimitada por falhas regionais de mesma direção (W-E), com destaque para a Zona de Cisalhamento Patos e sua cimeira que se apresenta quase plana. A Bacia do Iguatu (Figura 3) apresenta-se disposta na área por um baixo topográfico acomodando sedimentos cenozoicos.

Os sedimentos cenozoicos (Figura 3) são representados pelas formações superficiais que compreendem litologicamente a três unidades sedimentares: Depósitos Aluviais, Cobertura Colúvio-Eluviais e Formação Moura (GOMES *et.al.* 2000). Destas, os sedimentos aluviais representam as planícies da área. A disposição dos sedimentos encontra-se com maior representatividade em grande parte do canal principal, depositando-se com maior concentração na bacia do Iguatu e sobre o trecho correspondente ao rio dos Bastiões (Figura 4). A formação Moura, sobre a bacia do Iguatu, corresponde a sedimentos superficiais presentes na área por evento erosivo regional, que segundo Arima (2007) marca a exumação e sedimentação concomitante durante o Neógeno.

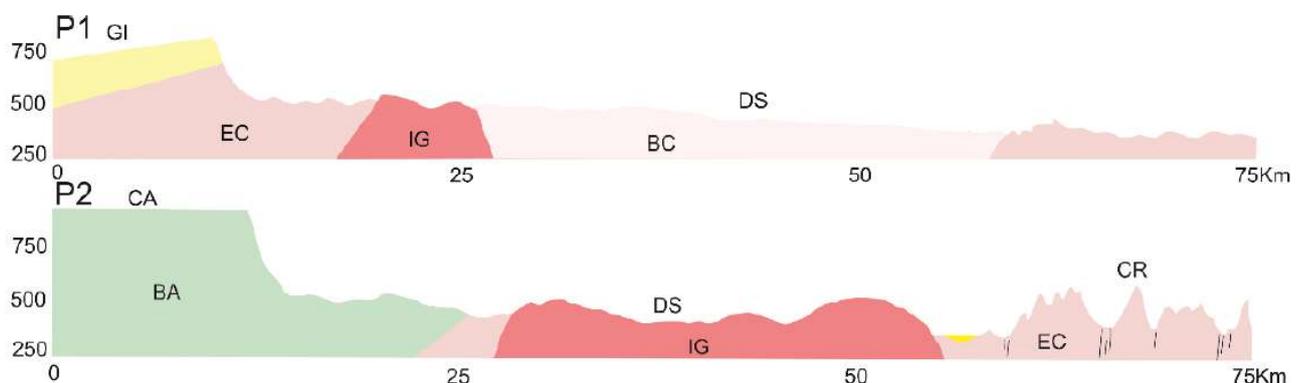


Figura 6 - Perfis geológico-geomorfológicos da área de estudo. P1: GI – Glint da Ibiapaba. EC: Embasamento pré-cambriano. IC: Intrusão granítica, BC: Bacia do Cococi, DS: Depressão Sertaneja. P2: CA: Chapada do Araripe, BA: Bacia do Araripe, CR: Cristas Estruturais. (A identificação dos locais dos perfis podem ser visualizada na figura 4).

## Materiais e Métodos

De modo a cumprir os objetivos propostos, efetivaram-se as seguintes etapas: levantamentos bibliográficos e cartográficos; aplicação de técnicas de geoprocessamento; tabulação e análise dos dados.

Inicialmente, foram efetuados levantamentos bibliográficos referentes às características da sub-bacia do alto Jaguaribe. Utilizou-se como base trabalhos do Brasil (1982); Ceará (2009); Gomes *et.al.* 2000; Peulvast e Claudino-Sales (2003) e Souza (1988).

Concomitante aos levantamentos bibliográficos ocorreu a busca cartográfica, no intuito de identificar as representações (cartas, mapas, imagens) existentes da área, bem como coletar imagens radar, que foram essenciais para realizar o mapeamento das feições geomorfológicas da área.

Dentre os produtos de sensoriamento remoto disponíveis para a área, destacam-se os dados da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (Missão Topográfica de Radar Transportado) disponíveis no site da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, com resolução espacial de 30 metros (NASA, 2015).

De posse das representações cartográficas e dos produtos do sensoriamento remoto, com o auxílio de softwares de geoprocessamento como o QGIS (Versão 2.14.1), foram elaborados mapas temáticos e modelos tridimensionais, a extração e vetorização de feições geomorfológicas presentes na área de estudo.

No tocante à metodologia utilizada para a identificação das feições geomorfológicas da área de estudo, utilizou-se como base os mapas já produzidos por Peulvast e Claudino-Sales (2003) e Souza (1988), onde os autores apresentam a compartimentação do relevo em unidades morfoestruturais. Para a identificação das feições, considerou-se os critérios altimétricos e os padrões de formas homogêneas, levando em consideração a litologia e a análise de imagens SRTM. A partir destas constatações, foram vetorizadas as feições.

A extração da rede de drenagem foi realizada de forma automática com o auxílio de ferramenta TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) habilitada no software QGIS e por interpretação visual, no intuito de apresentar um melhor detalhamento destas feições.

A obtenção dos dados morfométricos fez-se com a ferramenta *Calculadora de campo* do software QGIS.

Em termos de características geométricas da sub-bacia, obtiveram-se valores de área (Km<sup>2</sup>), perímetro (Km) e números de canais e as características da rede de drenagem utilizou-se a ordem da bacia, o comprimento total dos canais (km) e a densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

A densidade de drenagem (Dd) foi obtida pela seguinte fórmula:  $Dd = Lt/A$ , em que: Lt = comprimento total dos canais; A = Área da bacia. A partir da fórmula citada Beltrame (1994) sugeriu uma classificação em faixas para a densidade de drenagem, classificando-a em baixa, mediana, alta e muito alta.

Em posse das feições mapeadas e medidas, elaboraram-se gráficos de rosetas que permitiram especializar os dados de direção preferencial de frequência da rede de drenagem. A confecção dos gráficos de roseta realizou-se com o *software* OpenStereo em intervalos de 10°, segundo a frequência absoluta.

Devido à grande quantidade de feições mapeadas e à exigência do arquivo de entrada no formato TXT para gerar os diagramas de roseta, foi necessário converter automaticamente os dados gráficos (arquivo tipo *shapefile*) em numéricos (arquivo tipo texto) com os dados azimutais de cada feição com o *script* AzimuthFinder, integrado na *toolbox* do ArcGis. Este *script* foi criado por Queiroz *et. al.*, (2014) e de acordo com a necessidade gera tabelas azimutais para diversos softwares de geologia estrutural que aceitem arquivos no formato TXT.

A extração de lineamentos efetivou-se em ambiente digital por meio de extração automática e manual. A extração automática fez-se com o *software* PCI Geomatics V13.0 no módulo *Focus* através do algoritmo LINE (*Tools>Algorithm Librarian>LINE: Lineament Extration*). Este procedimento permitiu transformar feições lineares contidas nas imagens em segmentos vetoriais com a utilização de parâmetros globais, onde os valores são pré-definidos ou alterados de acordo com a necessidade do usuário. Os valores utilizados para os parâmetros de entrada do algoritmo LINE foram baseados nos trabalhos de Abdullah *et.al.*, (2009), Conceição e Silva (2013), Madani (2001) e Qari *et. al.*, (2008).

A base para a extração dos lineamentos no PCI Geomatica foram as imagens sombreadas do relevo providas do modelo SRTM, obtidas no software QGIS. Neste *software*, no item *Azimute de insolação*, inseriu-se em graus, a posição angular do sol para diferentes direções azimutais (45°, 90°, 315° e 360°), escolhendo para efetivação dos procedimentos o valor 315° e em

*Altitude de insolação*, que é a inclinação do sol, em graus, em relação ao horizonte, de 0° a 90°, o padrão utilizado foi 45°.

Dentre os parâmetros testados e acima citados, estabeleceram-se para a pesquisa os parâmetros propostos por Conceição e Silva (2013), por considerar o número de feições lineares, os comportamentos positivos e negativos das feições e as direções preferenciais dos lineamentos regionais.

A avaliação da qualidade dos lineamentos extraídos automaticamente realizou-se visualmente no *software* QGIS, a fim de apresentar um produto que corresponda às realidades estruturais da área a partir do posicionamento das feições sobre a imagem SRTM em falsa cor e mapas morfoestruturais já produzidos para a região Nordeste.

Para fins de espacialização dos dados de lineamentos, confeccionou-se um mapa de densidade, que possi-

ibilitou a compartimentação morfoestrutural das feições.

Assim, tal como nos dados da rede de drenagem, elaborou-se diagramas de rosetas para a espacialização da direção preferencial de frequência dos lineamentos estruturais.

## 4. Resultados

### 4.1 Arquitetura e geometria da rede de drenagem

A rede de drenagem da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe está dividida em dois setores (Figura 7): o setor oriental, correspondente à margem direita do rio principal e seus respectivos afluentes; o setor ocidental, correspondente à margem esquerda do rio principal e respectivos afluentes. A sub-bacia apresenta uma área total de 26.248 km<sup>2</sup>, perímetro de 1.100 km e sua rede de drenagem está disposta em 18.938 cursos de água, medindo no total 270.956 km.

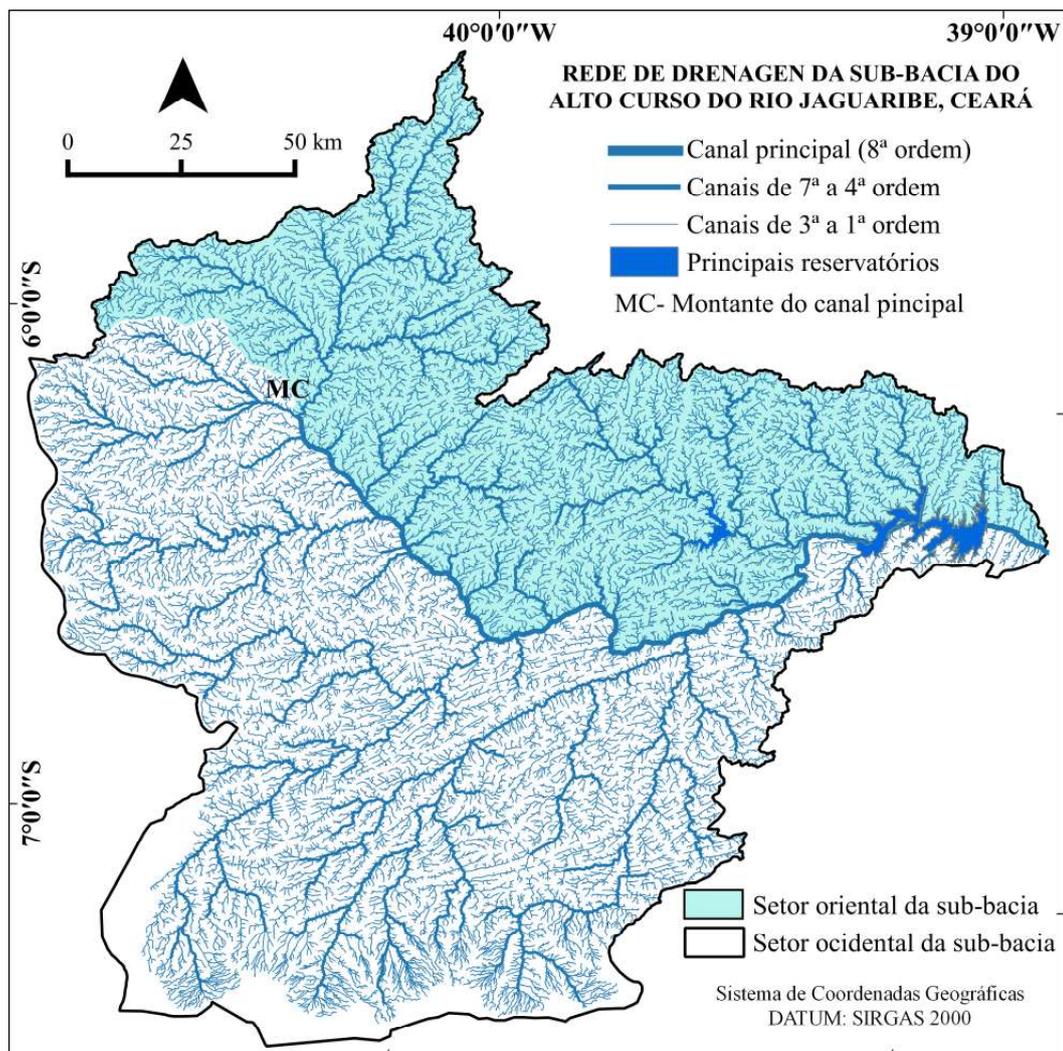


Figura 7 - Rede de drenagem da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe, Ceará.

A sub-bacia (Figura 7) é uma bacia com canais de oitava ordem. O canal principal assume uma extensão na área de 243.289 Km. Tem sua nascente localizada na Serra da Joanhina, município de Tauá (altitude de 340 m), na confluência, no contexto da sub-bacia, de dois rios de sexta ordem (rios Carrapateiras no setor oriental e Trici no setor ocidental).

O rio principal segue até o município de Orós (altitude de 200m), onde tem parte do seu canal na área de um açude de denominação homônima, constituindo o seu principal reservatório (Figura 7). A partir deste ponto seguem as sub-bacias do médio e baixo curso, conduzindo o rio Jaguaribe a desaguar no oceano Atlântico.

A rede de drenagem correspondente à área de estudo apresentada como tipo principal de padrão o dendrítico (Figura 8B).

O padrão dendrítico caracteriza-se na área por apresentar ramos irregulares em todas as direções onde o canal principal se junta aos tributários em ângulos variados, reflexos de causas como a declividade da área e a resistência das rochas (DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991), predominantemente cristalinas e metamorfozadas, resultando num quadro de maior dificuldade de permeabilidade com uma drenagem mais densa e mal definida. Esse padrão existe na depressão sertaneja e nos maciços cristalinos e destaca-se na figura 8, na nascente do rio principal.

No entanto, quando os canais são analisados com maior detalhe, identificaram-se padrões de drenagem com características de treliça (Figura 8C) e paralelo (Figura 8D) correspondendo a 26% e 8% da área, respectivamente. Tais constatações reforçam a importância de considerar, mesmo reconhecendo a influência do clima e da litologia nos padrões de drenagem, o controle estrutural no desenvolvimento e configuração da rede de drenagem, muitas vezes representados por anomalias, *i.e.*, são discordâncias locais da drenagem regional e/ou dos padrões de canais, que sugerem desvios topográficos ou estruturais (HOWARD, 1967).

A densidade de drenagem (Dd) da área apresenta o valor de 10,27 km/km<sup>2</sup>, o que indica que a sub-bacia é excepcionalmente bem drenada. A facilidade de criação de canais pode ser atribuída ao comportamento das rochas, predominantes cristalinas, que possibilita uma maior dificuldade de infiltração da água, favorecendo o escoamento superficial.

Dados quantitativos da rede de drenagem expressam os resultados obtidos para a densidade de drenagem, onde os canais de primeira e segunda ordem representam quase 90% dos canais da área, no entanto, são canais que não

apresentam grande extensão, assumindo em média 0,435 a 1,069 km por canal.

A rede de drenagem da área, quando analisada pela totalidade dos seus canais (canais de 8ª a 1ª ordem), apresenta-os dispostos em todas as direções. Entretanto, predominam as direções NE-SW, E-W, seguidas das direções NW-SE e N-S.

À medida que aumenta a ordem, a quantidade de canais diminui e estes representam o rio principal e seus afluentes mais significativos. Assim, os canais de 5ª ordem a 7ª ordem, apresentam direções mais definidas, destacando um predomínio de canais com direções NE-SW, E-W e N-S. O canal principal (8ª ordem) assume, ao longo do percurso, diferentes direções. Apresenta destaque para a direção NW-SE nos primeiros 160 km, NE-SW em uma extensão de 59 km marcada por um significativo deslocamento pra margem esquerda do canal, que é retomado nos últimos 78 km assumindo uma direção E-W (Figura 7).

A depressão sertaneja apresenta-se fortemente marcada pela rede de drenagem, dissecando-a em dois níveis de superfícies (Figura 8A).

O nível de superfície sertaneja mais rebaixado, com altitude que variam entre os 200 e os 300m de altitude, apresenta uma superfície dissecada pelos canais de 8ª a 4ª. Circundada esta superfície, destaca-se a superfície sertaneja mais elevada (300 a 450 m), limitada pelos relevos mais significativos da área. E esta superfície é dissecada em todas as direções pelos canais de ordens menores. Resultando em uma extensa área aplainada, partindo da base dos maciços cristalinos e dos planaltos sedimentares da área.

Os maciços cristalinos também se apresentam intensamente marcados pela dissecação de canais de menor ordem, no entanto se apresentam com litologias mais resistentes do que seu entorno rebaixado.

A drenagem também se apresenta atuante nos ambientes sedimentares no sentido de influenciar significativamente na dissecação no *front* do *glint* da Ibiapaba e na vertente norte da chapada do Araripe.

Quando analisadas as direções dos canais para os padrões treliça e paralela, os *trens* de direções começam a se delimitarem e correlacionarem com as estruturas geológicas presentes na área. O padrão treliça apresenta um predomínio de canais dispostos nas direções NE-SW e E-W (Figuras 8C e 9), o que permite relacionar com a disposição de estruturas como seqüências de cristas lineares e vales incisivos de mesma direção. Os alinhamentos das cristas correspondentes ao padrão treliça obedecem às litologias que resultaram da erosão diferencial em ortognaisses, gnaisses, granitos e granodioritos.

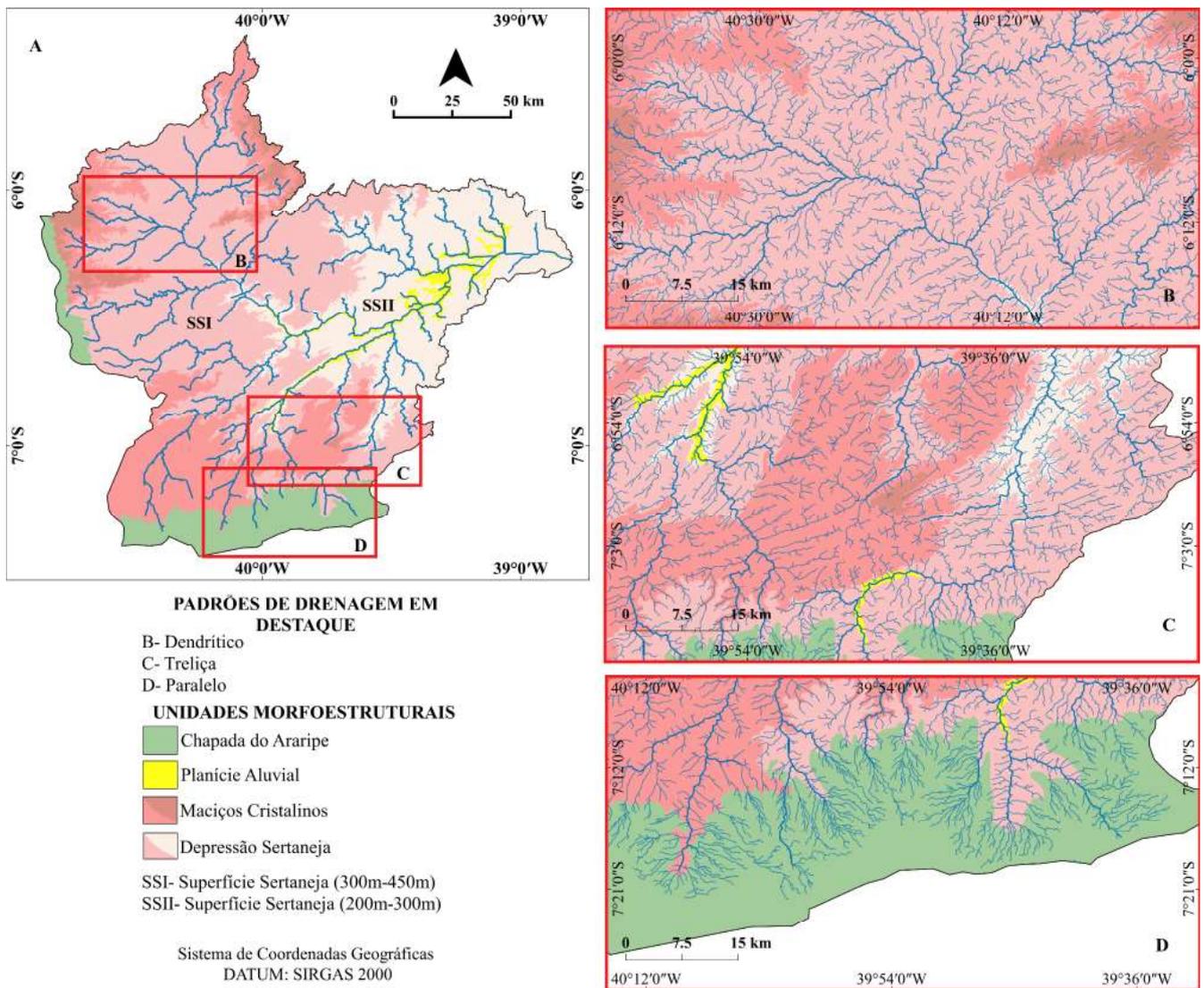


Figura 8 - Contexto morfoestrutural (A) e a distribuição dos padrões de drenagem na sub-bacia do alto curso rio Jaguaribe, Ceará: Padrões dendrítico (B), treliça (C) e paralelo (D).

O padrão paralelo (Figuras 8D e 9) apresenta um predomínio de canais dispostos NE-SW e N-S. A disposição dos canais organizados paralelamente no sentido N-S, com suas nascentes partindo da chapada do Araripe, atestam a presença de litologia sedimentar, relacionadas à bacia do Araripe e o condicionamento dos canais dispostos paralelamente às feições estruturais dispostas consequentemente na direção N-S.

Assim, os *trends* NE-SW e E-W presentes nos padrões treliça e paralelo procedem da concordância da drenagem às estruturas com relevos orientados segundo as principais zonas de cisalhamento. Nessas direções são evidenciados o controle da erosão diferencial dos maciços cristalinos e da depressão sertaneja, formando

feições positivas e negativas, como as cristas e vales, estruturando os canais de drenagem.

#### 4.2 Análise dos lineamentos estruturais

A área em estudo apresentou, a partir dos procedimentos de extração manual (Figura 10) e automática (Figura 11) de lineamentos em imagens sombreadas, derivadas de imagens SRTM, um número de lineamentos que se comportam como feições negativas e positivas (Figura 10), refletindo como encaixe do curso de água (vales), trechos retilíneos escarpados e cristas alongadas.

DIREÇÃO PREFERENCIAL DOS PADRÕES DE DRENAGEM

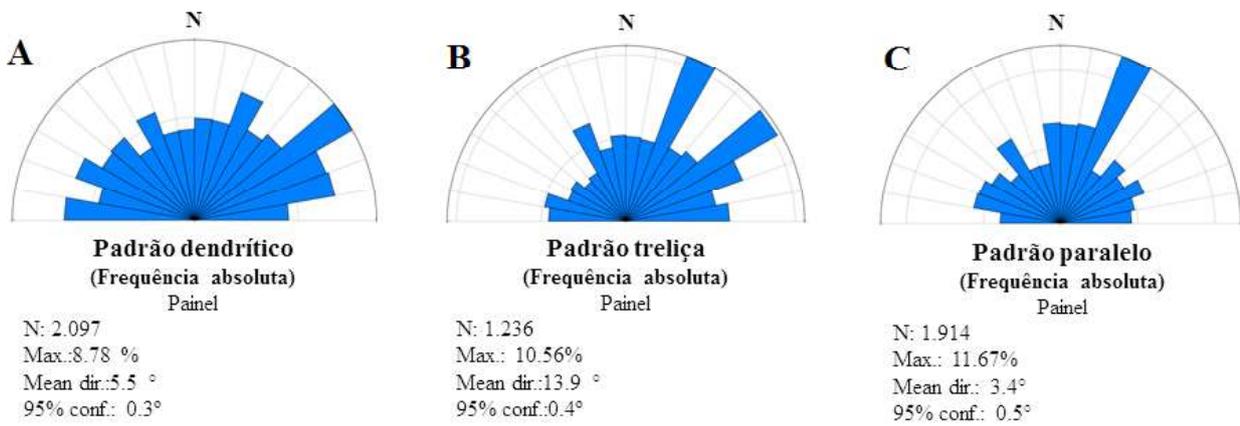


Figura 9 - Diagramas de roseta segundo a frequência absoluta para os padrões de drenagem na sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe, Ceará.

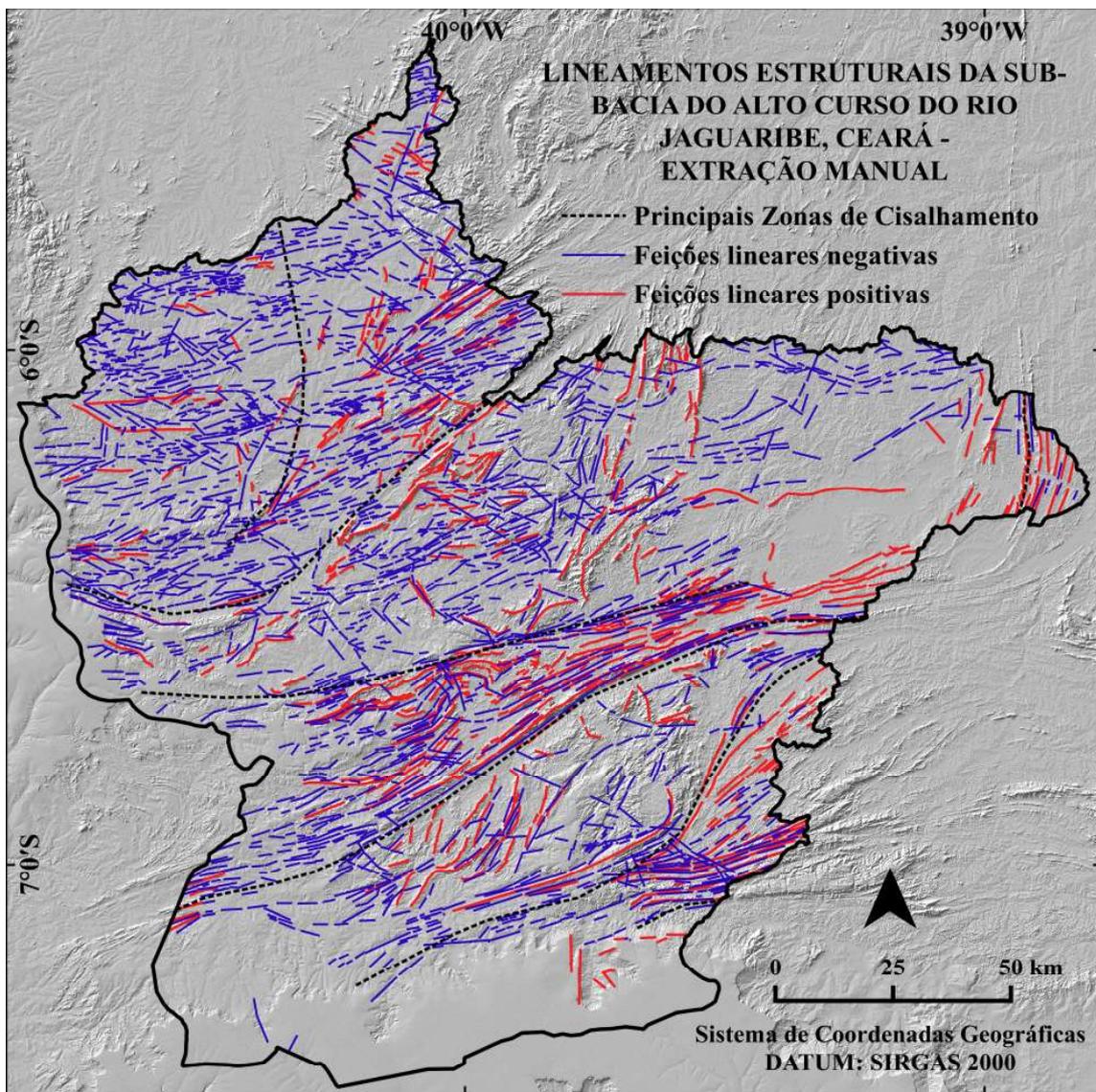


Figura 10 - Lineamentos estruturais obtidos por interpretação manual.

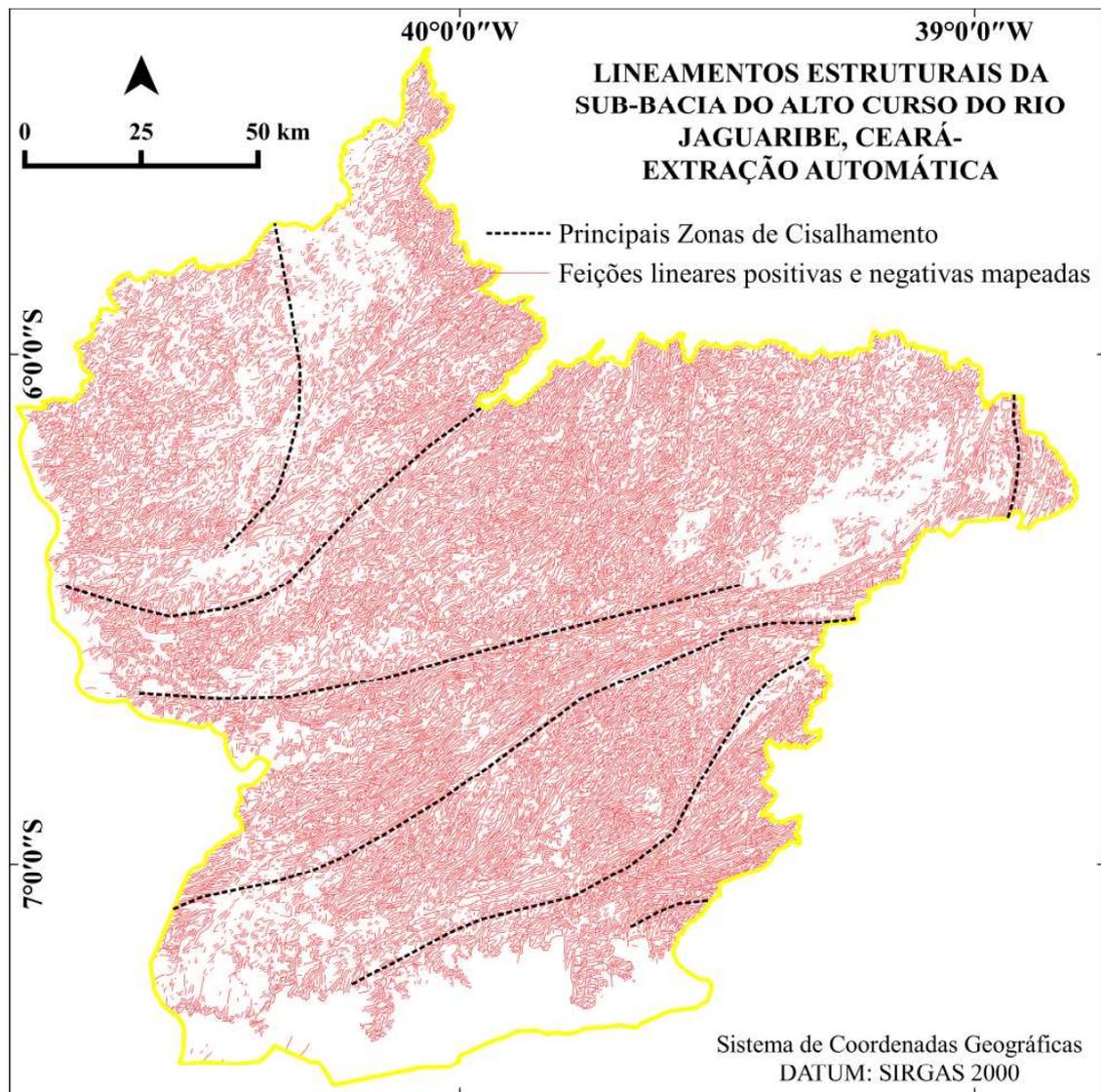


Figura 11- Lineamentos estruturais obtidos por extração automática.

Foram identificados 2 compartimentos morfoestruturais para os lineamentos estruturais pra área. O primeiro, e dominante, corresponde às rochas do embasamento pré-cambriano (Figura 12, 1a) e o segundo, corresponde às bacias sedimentares do paleozoico e mesozoico, representadas pelas bacias do Parnaíba e Araripe e Iguatu, respectivamente (Figura 12, 2b). Tais compartimentos refletem tanto as áreas de maior ou menor densidade de lineamentos quanto à presença destes nos terrenos com diferentes idades da área.

Quanto à direção geral dos lineamentos por frequência (Figura 13), estes se apresentam dispostos predominantemente na direção NE-SW, seguido das direções E-W e N-S, o que confere uma significativa compatibilidade com a estrutura geológica do nordeste brasileiro, constituída principalmente por falhas e zonas

de cisalhamento dúcteis pré-cambriana de direção NE-SW e E-W (BEZERRA e VITA-FINZI, 2000).

Assim, os lineamentos de direção NE-SW, E-W e N-S demonstram expressiva coincidência com as principais zonas de cisalhamentos presentes na área e apresentam-se pontuados em toda a área, mas com destaque nas áreas correspondentes a depressão sertaneja e os maciços cristalinos. Na porção oriental da área de estudos, predomina o controle desses lineamentos de direção NE-SW e N-S, obedecendo à disposição das principais zonas de cisalhamento e dos volumes de relevos e na porção ocidental, os lineamentos tendem a sugerir um forte controle de direção NE-SW e E-W, obedecendo também a disposição das estruturas e do relevo da área.

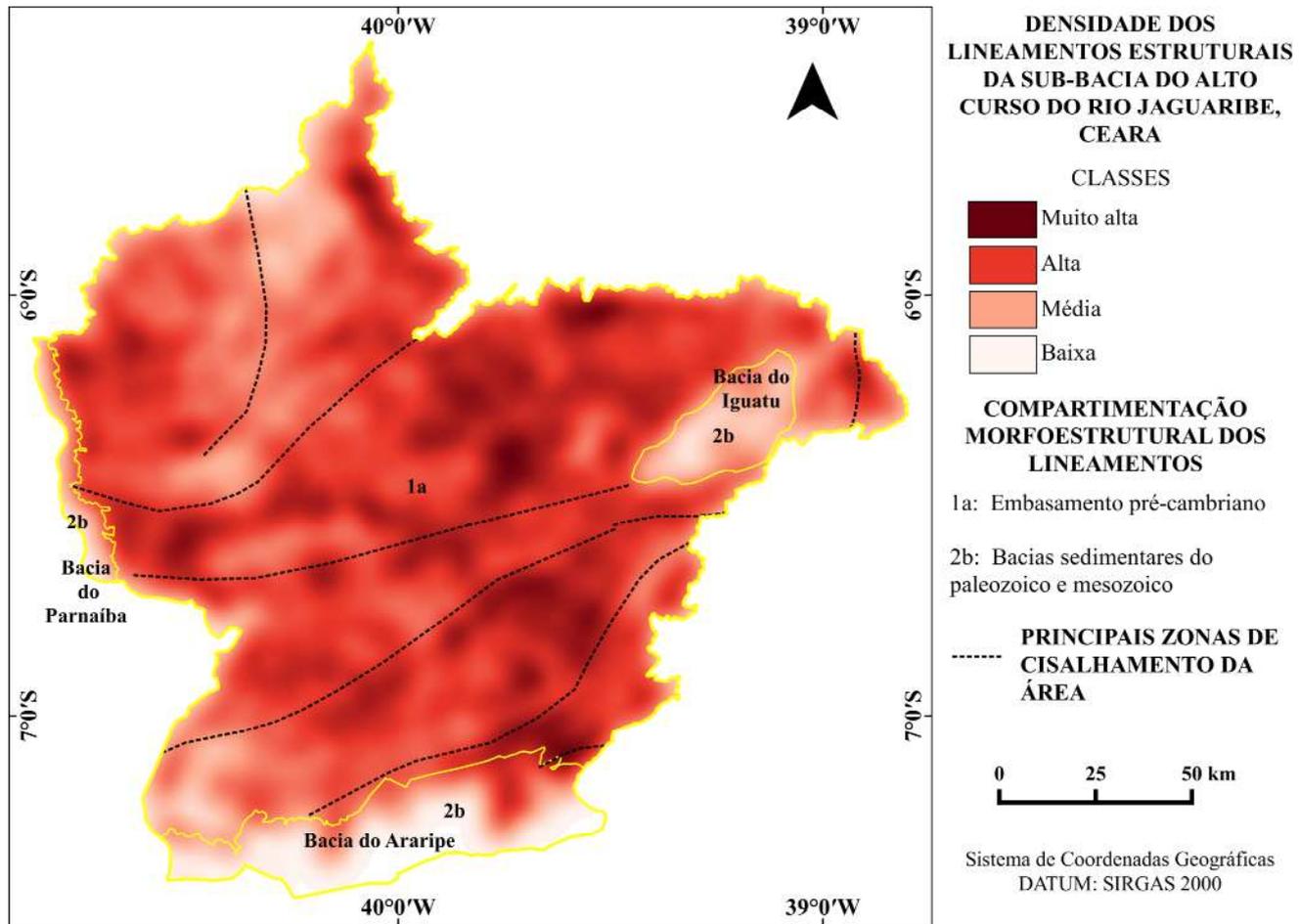


Figura 12 - Densidade e compartimentação morfoestrutural dos lineamentos estruturais da sub-bacia do alto curso do rio Jaguaribe, Ceará.

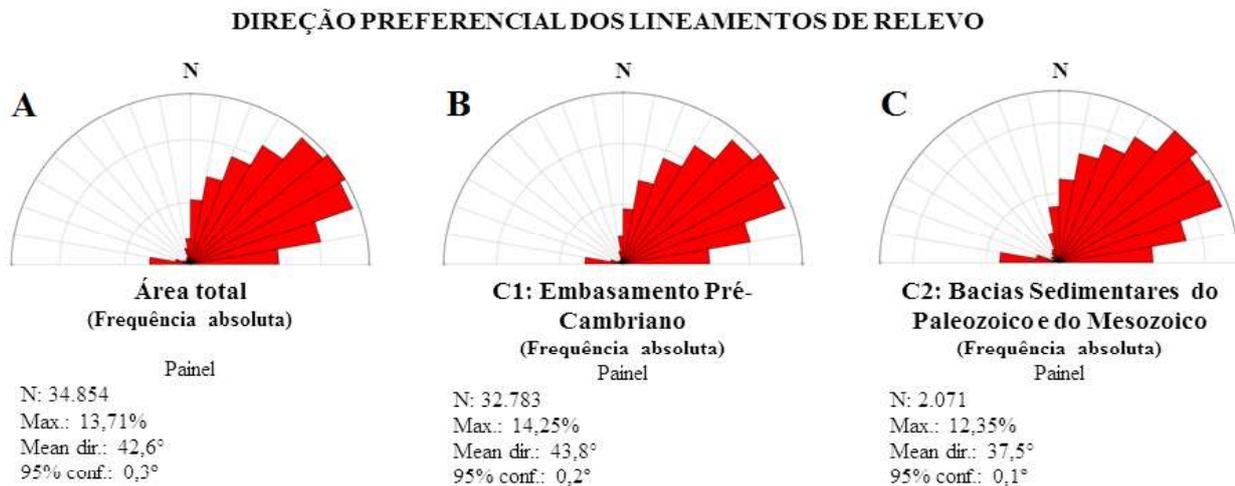


Figura 13 - Diagramas de roseta segundo a frequência absoluta dos lineamentos estruturais extraídos para a área total e por compartimentos.

A discriminação, a partir da densidade de lineamentos em classes (muito alta, alta, média e baixa), sugere diferença significativa entre os compartimentos morfoestruturais propostos (Figura 12). No geral, são as rochas do embasamento cristalino as áreas de maior

densidade. Ao passo que, nas áreas com densidade média a baixa, encontra-se nas bacias sedimentares do Parnaíba (paleozoica), Araripe e Iguatu (mesozoicas).

No que diz respeito ao direcionamento dos lineamentos para os compartimentos (Figuras 12 e

13), prevalece às direções NE-SW, N-S e E-W para o compartimento das bacias sedimentares e para o embasamento pré-cambriano, apresentando a mesma configuração direcional para toda a área da sub-bacia do Alto Jaguaribe.

O compartimento do embasamento pré-cambriano sugere setores com maior concentração dos lineamentos. A figura 12 demonstra que a norte da área, tomando como limite a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, a disposição dos lineamentos apresenta-se mais homogênea e com menos representatividade que a porção sul, variando de baixa a alta. A área central da porção norte, correspondente à depressão sertaneja e concidentemente à nascente do rio Jaguaribe, a densidade de lineamentos apresenta-se baixa, evidenciando que a drenagem da área se apresente sem controle estrutural evidente, representada pelo padrão dendrítico. A maior presença de cristas e vales na porção norte concentra-se nos maciços cristalinos.

Já no sul da área, ainda correspondente ao compartimento do embasamento pré-cambriano, evidencia-se uma maior concentração de lineamentos com densidade alta. Os agrupamentos de lineamentos correspondem a sequências de cristas e vales dispostos na direção de zonas de cisalhamento como a Senador Pompeu, Tatajuba, Farias Brito e Patos. Tais feições representam o reflexo na topografia da dissecação e conseqüentemente da exumação de deformações pré-cambrianas das principais zonas de cisalhamento citadas.

## **5. Discussão**

### **5.1 Relações da rede de drenagem e dos lineamentos estruturais**

Por se tratar de um ambiente fluvial, em seu alto curso e submetido a condições climáticas semiáridas, a área em estudo apresenta sua paisagem atual marcada pela ação da dissecação fluvial, o que evidencia no modelado do relevo um conjunto de morfologias que se comportam como altos e baixos topográficos. Tais morfologias, facilmente perceptíveis e identificadas nos dados SRTM, correspondem a feições com características de cristas e vales (Figuras 3 e 10) e são desenvolvidas em zonas cisalhamento herdadas da estruturação pré-cambriana, o que sugere que as estruturas evidenciadas correspondem a deformações que foram desenvolvidas em zonas de cisalhamento e configura-se como herança

da orogenia brasileira evidenciadas em superfície.

Essas estruturas tectônicas estão relacionadas às zonas de cisalhamentos, de caráter predominantemente transcorrente, herdadas da orogênese brasileira e reativadas de forma rúptil no cretáceo originando *trends* de falhamentos também de direção NE-SW e E-W (CASTRO *et al.*, 2012). Na área, estas deformações são representadas principalmente pelas zonas de cisalhamento Senador Pompeu, Tauá, Jaguaribe, Orós, Aiuaba, Tatajuba, Farias Brito, e avançando mais ao sul da área e com menos expressividade, apresenta contato com a Zona Transversal pela Zona de Cisalhamento Patos (Figura 4).

Destaca-se também o predomínio de cristas e vales nas direções NE-SW, N-S e E-W no compartimento morfoestrutural referente às bacias sedimentares do Parnaíba, Araripe e Iguatu (Figuras 10 e 16), que podem estar associadas a reativações de estruturas antigas do embasamento após a instalação das bacias. Tais informações podem contar como suporte os dados apresentados por Andrade-Filho e Rossetti (2002), ao demonstrar que depósitos sedimentares cretáceos e cenozoicos, sugerem reativações de estruturas antigas do embasamento após o estabelecimento da bacia sedimentar Paraíba. Trabalhos dessa natureza também apontam para a existência de estruturas rúpteis afetando depósitos sedimentares neógenos e quaternários em áreas no Rio Grande do Norte, como por exemplo, no vale do Rio Açú na bacia Potiguar (FONSECA, 1996 e MOURA-LIMA 2007). Assim, tanto para a área de estudo como para o Nordeste brasileiro, essas estruturas constituem na expressão geomorfológica da reativação frágil de zonas de cisalhamento transcorrentes nas unidades paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas (MAIA e BEZERRA, 2014).

As feições morfoestruturais identificadas na área apresentam diferentes geometrias e sobre elas os cursos de água se modelam o que pode explicar, em parte, padrões de drenagem que são atípicos da área. A figura 14 exemplifica o contexto da área apresentado padrões de drenagem sem e com controle estrutural. Nesses casos, as zonas de cisalhamento e as intrusões graníticas ao longo de feições com características de cristas, condicionam a dissecação que passam a ocorrerem orientadas segundo a trama estrutural.

Tais padrões apresentam-se em destaque pelo padrão de drenagem em treliça sobre o embasamento ígneo (Figura 8C), um padrão caracterizado por drenagens

controladas pela estrutura geológica (LIMA, 2006) e comum em associação a feições estruturais (HOWARD 1967; CHRISTOFOLETTI, 1981). No caso em estudo essas feições sugerem corresponder a uma sequência de cristas e vales (Figura 10) de direções NE-SW e E-W,

onde os canais são confinados por essas estruturas, apresentando canais paralelos com tributários formando junções em ângulo reto ou aproximadamente reto. São expressões que podem ser evidenciadas nos canais de 1ª e 2ª ordem.

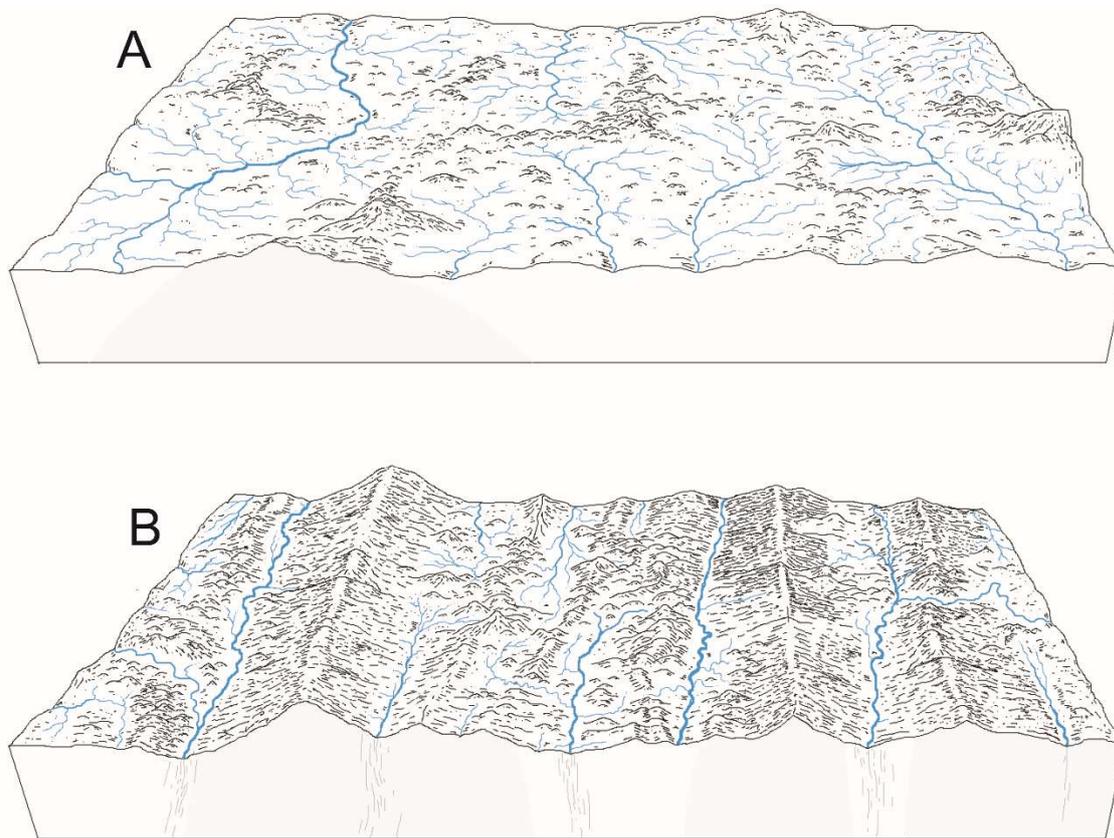


Figura 14 - Exemplos de padrões de drenagem sem e com controle estrutural. A: Padrões de drenagem dendrítico, típicos de áreas como a depressão sertaneja onde não se observa controle estrutural. B: Padrões de drenagem majoritariamente paralelos, com canais retilíneos encaixados entre cristas.

E o padrão paralelo (Figura 8D), destacado no contato do cristalino com o sedimentar, em uma transição dendrítico-paralelo. Essa arquitetura apresenta os canais uns paralelos aos outros e geralmente indica inclinação regular do terreno, médio a forte (topográfico ou estrutural), principalmente em rochas sedimentares (HOWARD, 1967; LIMA, 2006), bem como a orientação de feições lineares positivas e negativas dispostas paralelamente (Figuras 10 e 11). No caso da área de estudo, o avanço dos canais se dá a partir da bacia sedimentar do Araripe e acabam dissecando parte da vertente norte da chapada do Araripe. A disposição dos canais paralelamente também pode estar relacionada com o condicionamento de lineamentos estruturais positivos e negativos mapeados e disposto de direção N-S.

Além dos padrões de drenagem sugerirem relações

com feições estruturais, podem-se notar as mudanças bruscas entre os padrões em uma mesma bacia hidrográfica, com destaque para o padrão dendrítico que tem maior representatividade na área e à medida que a drenagem avança mais ao sul da área, apresenta uma ruptura para o padrão treliça. E ainda mais ao sul da área, o padrão treliça retorna ao dendrítico e este assume o padrão paralelo quando ultrapassa o contato do cristalino para o sedimentar.

A mudança de padrões de drenagem na sub-bacia pode ser exemplificada quando comparada com a distribuição da densidade dos lineamentos estruturais na área, sobretudo, para a transição dendrítico-treliça-dendrítico (Figuras 8, A e 12). Esta, está diretamente ligada também a setores transicionais de densidade baixa a média para alta a muito alta e novamente baixa a média. Nota-se, justamente nos setores

com densidade de lineamentos alta a média, a presença do padrão treliça, ao passo que o padrão dendrítico, que antecede e sucede o padrão treliça, corresponde a setores onde a presença dos lineamentos toma menos significado.

No que diz respeito ao comportamento dos canais, a rede de drenagem da área apresenta pequenos trechos retilíneos em determinados setores dos canais e segundo Christofolletti (1981) e Leopold e Wolman (1957), os canais retilíneos são muito raros na natureza, e a existência desses se dá quando os mesmos são controlados por linhas tectônicas, como no caso de cursos de água acompanhando linhas de falhas além de sua presença exige embasamento rochoso homogêneo (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Na faixa atlântica nordestina, os rios apresentam em geral segmentos retilíneos intercalados por sinuosos, e essa característica pode denotar a adaptação a estrutura geológica pré-existente, como falhas e zonas de cisalhamento regionais onde essas estruturas e conseqüentemente os vales encaixados, apresentam direção preferencial NE-SW e E-W (BEZERRA *et al.*, 2001; MAIA e BEZERRA, 2011; 2013). Assim, chama-se atenção para um canal de 7° ordem (Figura 15) que recebe a denominação de rio dos Bastiões, que sugere apresentar seu traçado seguindo a falha Tatajuba.

O rio dos Bastiões (Figura 15) assume na rede de drenagem da área, a classificação quanto aos tipos de rios

em relação à estrutura geológica de subsequente ou ortoclinal. O canal apresenta seu curso desenvolvido ao longo da Zona de Cisalhamento Tatajuba, confinado por cristas estruturais (Figura 5).

A compatibilidade entre as estruturas tectônicas regionais e os lineamentos estruturais extraídos da imagem SRTM reforça a importância desta ferramenta na análise morfoestrutural da área.

Ao analisar a relação da rede de drenagem com os lineamentos estruturais e as zonas de cisalhamento presentes na área, nota-se que apesar da rede de drenagem apresentar canais dispersos em todas as direções tem-se um predomínio de canais com orientações NE-SW e E-W. Tal constatação permite estabelecer um comparativo com as orientações preferenciais dos lineamentos e das principais zonas de cisalhamento pré-cambrianas e evidenciar compatibilidade entre tais feições, sugerindo que canais de drenagem apresenta-se condicionados por feições estruturais, como por exemplo, o confinamento em seqüências de cristas e vales e encaixe em linhas de falhas.

A disposição das cristas e vales na área de estudo permite claramente demonstrar o controle estrutural da drenagem na área. A drenagem apresenta-se fortemente orientada por essas feições estruturais, confinando e desviando canais para se adequarem a suas disposições na área.

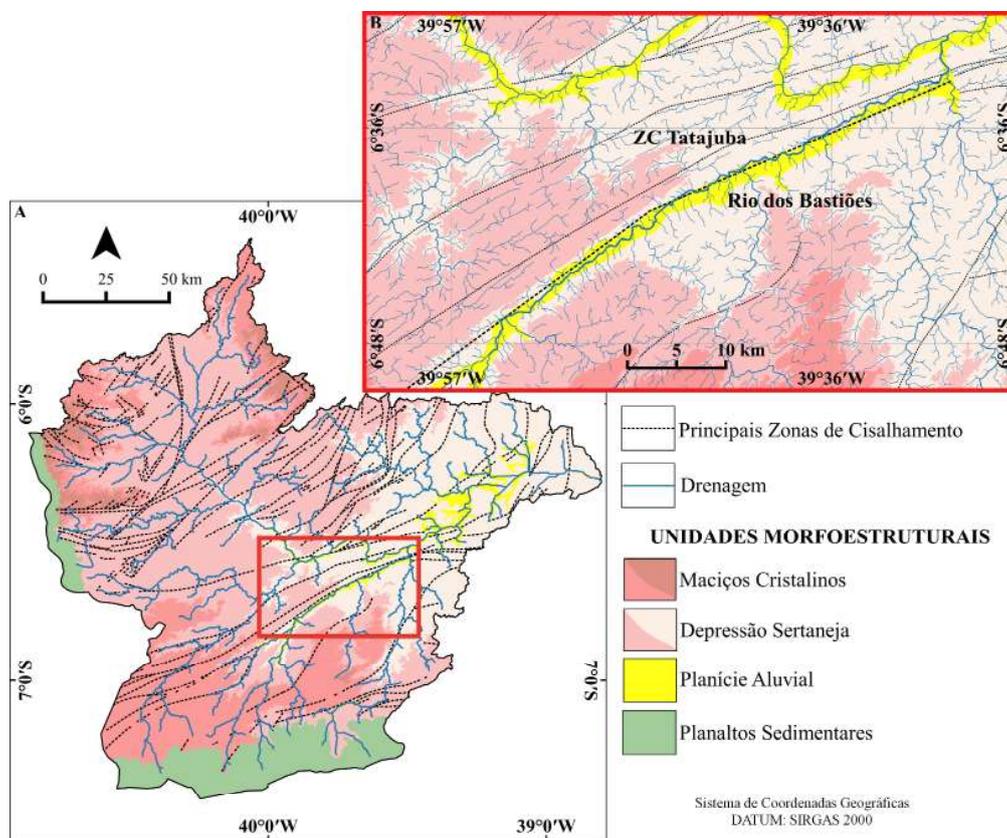


Figura 15 - Contexto morfoestrutural da área de estudo (A) e o setor onde o rio dos Bastiões apresenta-se controlado pela falha Tatajuba (B).

## Conclusões

Constatou-se, com base na análise da geometria e arquitetura da rede de drenagem, com ênfase na quantificação dos padrões de drenagem, que a maior parte da área, caracterizada pelo embasamento cristalino, apresenta como padrão o dendrítico (66%) sobre a depressão sertaneja e os maciços cristalinos, explicado pela fraca permeabilidade do substrato rochoso e pelas condições climáticas semiáridas e topográficas pouco acidentadas.

Mesmo reconhecendo a influência do clima e da litologia nos padrões de drenagem, o controle estrutural e tectônico no desenvolvimento e configuração da rede de drenagem materializa-se na área pela existência de padrões em treliça (26%), caracterizado por alinhamento de cristas estruturais com direção predominantemente NE-SW e E-W, ressaltadas pela erosão diferencial do substrato rochoso e o padrão paralelo (8%) que avança a partir da bacia do Araripe, obedecendo a seu caimento topográfico.

Tais constatações permitem considerar que a geometria e a arquitetura dos canais fluviais na área apresentam uma complexa interação entre suas características, por se tratar de um sistema fluvial no seu alto curso e características relacionadas à estrutura geológica e a atividade tectônica.

Demonstrou-se por meio dos lineamentos estruturais extraídos de imagens SRTM que a área apresenta-se fortemente marcada por deformações, tanto no embasamento cristalino como no sedimentar, que se compatibiliza com as principais zonas de cisalhamento pré-cambrianas. A dissecação marcante da área evidenciou estruturas tectônicas dúcteis e rúpteis onde ocorrem principalmente os alinhamentos de cristas e vales orientando *trends* de lineamentos positivos e negativos NE-SW e E-W. Tais estruturas sugerem um condicionamento estrutural dos canais de drenagem nas áreas dos maciços cristalinos e na depressão sertaneja.

## Referências Bibliográficas

ABDULLAH, A., AKRIN, J. M., ABDULLAH, A. Comparison of Landsat TM and SPOT Data for Lineament Mapping in Hulu Lepar Area, Pahang, Malaysia. **European Journal of Scientific Research**. V. 34, n. 3, pp. 406-415, 2009.

ANDRADE-FILHO, C. O.; ROSSETTI, D. F. Caracterização Morfoestrutural da Porção central emersa da Bacia Paraíba (PB). **Geociências**, São Paulo, v.31, pp. 13-39, 2012a.

ARIMA, N. **Análise Estratigráfica da Bacia do Iguatu, Ce.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**. Rio de Janeiro, v.15, pp. 371-389, 2007.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.

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

BEZERRA, F. H. R. *et al.* Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v.14, pp. 61-65, 2001.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: Folha SB. 24/25 Jaguaribe-Natal. Rio de Janeiro, 1982.

BRITO NEVES, B. B. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário andino. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, p. 11-13, 1999.

CASTRO, D. L., BEZERRA, F. H. R., FUCK, R.A. Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on gravity and magnetic data. **Journal of Geodynamics**, v.54, pp. 29-42, 2012.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe** / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CLAUDINO-SALES, V.; LIRA, M. V. Megageomorfologia do Nordeste do estado do Ceará, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.12, pp. 200-209, 2011.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SILVA, A, Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto– SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto– SBSR**, Foz do Iguaçu, 2013. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/capa.html>. Acesso: 23 out. 2015.

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.
- COUTO, E.V. **Influência morfotectônica e morfoestrutural na evolução das drenagens nas bordas planálticas do alto Ivaí – Rio Alonzo – sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.
- DEFFONTAINES, B.; CHORWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, Amsterdam, v.194, p.237-263, 1991.
- FONSECA, V. P. **Estudos morfo-tectônicos no baixo curso do rio Açu (Açu-Macau, RN)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.
- FUCK JÚNIOR, S. C. F. **Subsídio à gestão ambiental: Descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará**. Geoambiente on-line. Jataí, n.10, pp.41-71, 2008.
- FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa 1:100.000. 2007**. 213f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GOMES, J. R. de C.; VASCONCELOS; A. M.; TORRES, P. F. M. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Jaguaribe SW, Folha SB.24-Y**, Escala 1:500000, Carta Geológica MME-SMM, CPRM-REFO, Fortaleza, 2000.
- HOLBROOK, J.; SCHUMM, S. A. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing, subtle tectonic deformation in modern and ancient settings. **Tectonophysics**, v.305, pp. 287-306, 1999.
- HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. **AAPG Bulletin**, v. 51, p. 2246-2259, 1967.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. River channel patterns; braided, meandering and straight. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, Washington, D.C., v.282B, p.29-84, 1957.
- LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém, Pará, UFPA, 2006.
- MADANI, A. A. Selection of the Optimum Landsat Thematic Mapper Bands for Automatic Lineaments Extraction, Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. **Asian Journal of Geoinformatics** 3(1): 71–76, 2001.
- MAIA, R. P; BEZERRA, F. H.R. Neotectônica, geomorfologia e ambientes fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v.12, pp. 37-46, 2011.
- MAIA, R. P; BEZERRA, F. H.R. Tectônica pós-miocênica e controle estrutural de drenagem no Rio Apodi-Mossoró, Nordeste do Brasil. **Boletim Geográfico**, Maringá, v.11, pp. 57-68, 2013.
- MAIA, R. P; BEZERRA, F. H.R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural: Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014.
- MOURA-LIMA, E. N. **Liquefação em sedimentos aluvionares no rio Açu**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- NASA. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em 1 de abril de 2015.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989.
- NOGUEIRA, J.F. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu - Ceará Central** Tese (Doutorado em Geologia)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2004.
- PEULVAST, J. P; CLAUDINO-SALE, V. Mapa Morfoestrutural do Estado do Ceará e regiões adjacentes do Rio Grande do Norte e Paraíba. Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará, CPRM, 2003.
- QARI, M.H.T., MADANI, A.A., MATSAH, M.I.M., Z. HAMIMI. Utilization of Aster and Landsat Data in Geologic Mapping of basement rocks of Arafat Area, Saudi Arabia. **The Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 33, n. 1C, pp. 99-116, 2008.
- QUEIROZ, G.L., SALAMUNI, E., NASCIMENTO, E., R. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. **Geologia USP, Série Científica**, v. 14, pp. 69-80, 2014.
- SCHUMM, S. A. River response to baselevel change: Implications for sequence stratigraphy. **Journal of Geology**, v. 101, p. 279-294, 1993.
- SCHUMM, S.A.; DUMONT, J.F.; HOLBROOK, J.M. **Active tectonics alluvial rivers**. Cambridge: Cambridge University Press, 276 p., 2000.
- SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia**. UFC, v.1, p. 73-91, 1988.