



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**FRANCISCO RÉGIS BARBOSA CAPISTRANO**

**EVIDÊNCIAS DE CONTROLE ESTRUTURAL NA SUB-BACIA DO ALTO  
ACARAÚ - CE**

**FORTALEZA  
2018**

**FRANCISCO RÉGIS BARBOSA CAPISTRANO**

**EVIDÊNCIAS DE CONTROLE ESTRUTURAL NA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ  
- CE**

Monografia apresentada ao curso de Geografia Bacharelado do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção de Título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia.

**FORTALEZA**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C242e Capistrano, Francisco Régis Barbosa.

Evidências de Controle Estrutural na Sub-Bacia do Alto Acaraú - CE / Francisco Régis  
Barbosa Capistrano. – 2018.

91 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências, Curso de Geografia, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia.

1. Controle estrutural. 2. Rede de drenagem. 3. Geomorfologia. I. Título.

CDD 910

---

FRANCISCO RÉGIS BARBOSA CAPISTRANO

EVIDÊNCIAS DE CONTROLE ESTRUTURAL NA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ -  
CE

Monografia apresentada ao curso de Geografia Bacharelado do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção de Título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia.

Aprovado em: 26 / 06 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Mestranda Larissa Neris Barbosa  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Mestrando Henrique Sampaio de Castro  
Universidade Federal do Ceará - UFC

*À minha família que desde a minha infância sempre me incentivou a estudar, que sempre acreditou que a educação vai além da escola, pois ela pode e consegue mudar a realidade não apenas uma, mas muitas vidas.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por todas as graças, bênçãos e oportunidades concedidas a mim na minha trajetória de vida.

À minha família Geraldina, Silvia, Sérgio, José Tarcísio, Carlos e Carmelita, estes são os mais presentes, que sempre acreditaram em mim, me incentivaram, me apoiaram e que eu espero poder contar sempre.

Ao meu amigo Daniel Borges que aceitou ir comigo nas duas visitas a campo, andar cerca de 40 km no sol quente do período de estiagem do semiárido nordestino.

Ao sr. Manuel Teodósio, à dona Lúcia, à Daniela, à Manu e ao sr. Ambrósio, pessoas maravilhosas que nos receberam de braços abertos, concedendo hospedagem, alimentação, carona, enfim, tudo o que foi necessário para nossa estadia.

À minha namorada linda, Shayanne, que me apoiou, ajudou, corrigiu a minha escrita, atípica aos padrões de compreensão das pessoas e esteve sempre comigo na reta final desse trabalho.

À Brenna Lima, por ter me aconselhado em algumas decisões importantes nos últimos semestres com disciplinas.

Aos gentis e receptivos moradores de Grota Verde, Tamboril, pelo acolhimento, pela amizade e ajuda. Um laço de amizade e carinho que foi além da pesquisa. Destaque para Mariele Torres, Diana Araújo, Marcus Vinícius e Marcelo. Obrigado a todos, sem exceção.

Ao meu professor orientador, Rúbson, pelas importantes contribuições na minha formação acadêmica, por aceitar a orientação, e peço desculpas por ter sumido por um tempo do laboratório.

À Larissa Neris e ao Henrique Sampaio, ambos mestrados, por terem aceitado participar da minha banca de graduação.

Às professoras Marta Celina, Adryanne Gorayeb e Clélia Lustosa, e aos professores Paulo Thiers, Raimundo Castelo, Lidemberg Lopes e Levi Sampaio pelas muitas contribuições na minha formação acadêmica.

Aos meus amigos e colegas da minha turma que atravessaram todos os semestres do curso comigo. Destaque para Daniel Borges, Welson, Romero, Larissa, Gabriel, Almir, Vitor, Brenno, Augusto, Thiago, Jéssica, Juliana, Gleilson, Mairla,

Beatriz, Cláudio e Daniel Guimarães, todos tiveram participação importante na minha vida, seja acadêmica ou pessoal.

À Grayce Cavalcante, Fernanda Oliveira, Juliana Bandeira, Carla Kemille, Yasmim Cardoso, Ana Gabriela, Gabi e suas respectivas famílias que eu tive a felicidade de conhecer nas minhas viagens/aventuras, pelas muitas aventuras, conversas, risos, momentos, entre outros.

Ao Wasley, meu amigo de todos os momentos, que deu importantes contribuições na minha vida acadêmica, pessoal e profissional.

À Alessandra Lemos, pela amizade, carinho e contribuições que inspiraram a minha vida.

À Natyara Arruda pelas muitas conversas, conselhos, incentivo, mensagens diárias para motivar, refletir, sobre a vida e o apoio nas decisões na minha vida acadêmica.

À Paula Tomaz e ao Paulo pelas muitas trocas de conhecimento, a cada dia aprendemos algo novo que nos ajuda a superar os desafios.

À Ana Alves por ter me incentivado muito nos difíceis caminhos acadêmicos, uma das pessoas que eu mais me inspirei devido seu foco e dedicação.

Aos atuais e ex integrantes dos laboratórios de Geomorfologia (LAGECO), de Climatologia (LCGRH) e de Cartografia (LABOCART) nos quais pude adquirir muito conhecimento teórico e prático, além do companheirismo e amizade de seus respectivos integrantes.

Aos atuais e ex integrantes da Empresa Júnior da Geografia GeoMaps Consultoria, a qual eu tive o orgulho de fazer parte da equipe de sua fundação, portanto destaque nesta homenagem Anthenor Pinheiro, Raina Cândido, Letícia Freitas, Ana Nery, Ananda Rodrigues e Ana Larissa.

Aos meus amigos e colegas do SEPLAN/PGVI da Secretaria das Finanças de Fortaleza - SEFIN pelas oportunidades, conhecimento, incentivo, crescimento pessoal e profissional.

À todas as pessoas que contribuíram na minha vida acadêmica, pessoal e profissional, grandes amizades presentes ou distantes, de anos ou de dias, meu agradecimento, carinho e homenagem a todos vocês.

*“E sabemos que todas as coisas contribuem juntamente para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito. Porque os que dantes conheceram também os predestinou para serem conformes à imagem de seu Filho [...] E aos que predestinou a estes chamou; e aos que chamou a estes também justificou; e aos que justificou a estes também glorificou. Que diremos, pois a estas coisas? Se Deus é por nós, quem será contra nós?” (Romanos 8:28-31).*

*“[...] Perguntou-lhe o pequeno príncipe. - Que faz o senhor aqui? - Sou geógrafo – respondeu-lhe o velho. - Que é um geógrafo? – perguntou-lhe o príncipezinho. - É um especialista que sabe onde se encontram os mares, os rios, as cidades, as montanhas, os desertos. - Isto é bem interessante – disse-lhe o pequeno príncipe. - Eis, afinal, uma verdadeira profissão!” (Antoine de Saint-Exupéry).*



## RESUMO

O relevo do Nordeste do Brasil expõe à níveis superficiais inúmeras evidências de atividades tectônicas, morfologias controladas estruturalmente e da ocorrência de epirogenias pós-cretáceas, acompanhadas por fases de dissecação e pediplanação. Estas características estruturais sobrepõem-se sobre a rede de drenagem controlando a configuração de sua disposição. A presente pesquisa buscou analisar evidências de controle estrutural na configuração da rede de drenagem da Sub-bacia do Alto Acaraú com foco no recorte do canal principal do Rio Acaraú entre o Maciço Cristalino da Serra das Matas e o Açude Araras, a partir dos componentes do relevo. O desenvolvimento desta pesquisa contou com a análise da rede de drenagem através da aplicação de cálculos de índices para a determinação da densidade de drenagem, da densidade hidrográfica e da sinuosidade, também a observação do comportamento dos canais, através do cruzamento do modelo de elevação com a camada de hidrografia da área em estudo, gerando um mapeamento temático. A análise da interpolação dos dados geológicos com a imagem SRTM evidenciou a influência estrutural na disposição espacial dos canais fluviais. Estes elementos mapeados foram fundamentados por diversos estudos publicados sobre as unidades da compartimentação geológica que abrangem a área em estudo. As aplicações de ferramentas de geoprocessamento, como o sensoriamento remoto, foram fundamentais para a elaboração dos produtos que serviram de base para os resultados. Ao final da pesquisa, pode-se concluir que fatores condicionantes, como a diferença litológica, associada à configuração estrutural e ao clima, apresentam evidências marcantes de controle estrutural, importante para a compreensão da evolução geomorfológica e da disposição dos canais na rede de drenagem da sub-bacia do Alto Acaraú.

**Palavras-chave:** Controle estrutural, Rede de drenagem, Geomorfologia.

## ABSTRACT

The relief of the Northeast of Brazil exposes to superficial levels several evidences of tectonic activities, structurally controlled morphologies and the occurrence of post-Cretaceous epirogenesis, succeeded by phases of dissection and pediplanation. These structural characteristics overlap the drainage network by controlling the configuration of its arrangement. The present research pursued analyze structural control evidences in the configuration of the drainage network of the Upper Acaraú Sub-basin, focusing the profile of the main channel of Acaraú River among the Serra das Matas Crystalline Massif and Açude Araras, as from the components of the relief. The development of this research assayed an analysis of the drainage network through the application of index calculations to determining of the drainage density, the hydrographic density and the sinuosity, furthermore the observation of channels management, through the crossing of the elevation model with the studied area hydrography layer, generating a thematic mapping. The analysis of interpolation of the geological data using SRTM image evidenced the structural influence in the spatial arrangement of the fluvial channels. These mapped elements were supported by several published studies on the geological compartmentation units that cover the study area. The application of geoprocessing tools, such as remote sensing, were fundamental for the elaboration of the products that resulted in the basis of the outcomes. At the end of the research, it is concluded that conditioning factors, such as the lithological difference, associated with the structural configuration and the climate, display conspicuous evidences of structural control, important to understanding the geomorphological evolution and channel arrangement in the drainage network of the Upper Acaraú Sub-basin.

**Keywords:** Structural control, Drainage network, Geomorphology

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Feições de anomalias de drenagem. ....	37
Figura 2 - Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Zonas de Cisalhamento: Sobral–Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós–Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Piauí–João Câmara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo–Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá–Itaíba (JI), Macururé–Riacho Seco (MR), Belo Monte–Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); Nappes da Faixa Riacho do Pontal (RP).....	52
Figura 3 - Diagrama de roseta da frequência absoluta de lineamentos de relevo na sub-bacia do Alto Acaraú. ....	80

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Mapa de localização da sub-bacia do Alto Acaraú.....	19
Mapa 2 - Mapa de hierarquia dos canais da sub-bacia do Alto Acaraú. ....	65
Mapa 3 - Mapa hidrográfico da sub-bacia do Alto Acaraú.....	68
Mapa 4 - Mapa geológico da sub-bacia do Alto Acaraú. ....	70
Mapa 5 - Mapa hipsométrico da sub-bacia do Alto Acaraú. ....	73
Mapa 6 - Mapa geomorfológico da sub-bacia do Alto Acaraú. ....	75
Mapa 7 - Mapa dos lineamentos da sub-bacia do Alto Acaraú. ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de entrada (Input) aplicados ao algoritmo LINE para extração automática de lineamentos de relevo.....	28
Tabela 2 - Categorização da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia, segundo Horton (1945).....	30
Tabela 3 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia, segundo Beltrame (1994).....	30
Tabela 4 - Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de uma bacia, segundo Lollo (1995).....	31
Tabela 5 - Classificação do índice de sinuosidade (Is) de uma bacia, segundo Freitas (1952).....	32
Tabela 6 - Exposição geral dos dados correlacionais entre a quantidade de trechos de canais por ordem e seus respectivos comprimentos totais e médios.....	67
Tabela 7 - Resultados da aplicação dos índices de análise morfométrica. ....	67
Tabela 8 - Tabulação das Unidades Geomorfológicas e suas respectivas formas categorizadas pelas dimensões interfluviais e aprofundamento da drenagem. ....	77

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Características principais dos tipos de morfologia dos canais fluviais. ....	33
Quadro 2 - Padrões básicos da rede de drenagem.....	35
Quadro 3 - Propriedades da rede de drenagem, compilado de Soares e Fiori (1976). .....	38
Quadro 4 - Padrões de drenagem básico, modificado e as formas de relevo associadas, por Lima (2006). ....	41
Quadro 5 - Tipos de anomalias de drenagem e seus respectivos significados.....	42
Quadro 6 - A evolução dos padrões de drenagem a partir dos fatores morfológicos que a afetam, de acordo com Deffontaines e Chorowicz (1991).....	45
Quadro 7 - Litologias da sub-bacia do Alto Acaraú por unidade litoestratigráfica. ....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMSQ	Arco Magmático de Santa Quitéria
ASI	<i>Agenzia Spaziale Italiana</i>
CC	<i>Creative Commons</i>
cm	Centímetros
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
CTSQ	Complexo Tamboril-Santa Quitéria
DCC	Domínio Ceará Central
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DRL	<i>Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt</i>
E	Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERST	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute, Inc.</i>
FMBF	Fase Magmática Bimodal Final
FMQ	Fase Magmática Quixeramobim
FMS	Fase Magmática Seridó
FMSQ	Fase Magmática Santa Quitéria
FMT	Fase Magmática Tamboril
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Ga	Giga anos
GPS	<i>Global Position System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
km	Quilômetros
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
LTR	<i>Long Term Repositories</i>
m	Metros
Ma	Milhões de anos
MDE	Modelo Digital de Elevação
mm	Milímetros

MMA	Ministério do Meio Ambiente do Brasil
MMS	<i>Multispectral Scanner System</i>
MS	Multiespectrais
N	Norte
NAS	<i>Network-Attached Storage</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
NNW	Nor-Noroeste
PAN	Pancromática
PB	Província Borborema
PLANERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
QPC	Quartzitos-pelitos-carbonatos
Rb-Sr	Rubídio-Estrôncio (Método de datação em determinados minerais e/ou rochas)
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
SIG/GIS	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
Sm-Nd	Samário-Neodímio (Método de datação em terrenos metamórficos)
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSE	Sul-Sudeste
SSW	Sul-Sudoeste
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TTG	Tonalito-trondhjemito-granodiorito
TM	<i>Thematic Mapper</i>
U-Pb	Urânio-Chumbo (Método de datação de determinados minerais)
USDD	<i>United States Department of Defense</i>
USGS	<i>United States Geological Service</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
W	Oeste
WGS84	<i>World Geodetic System</i>

ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCT	Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral de Tauá
°C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Área em Estudo: Caracterização e Localização.....	18
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo Geral.....	21
1.2.2. Objetivos Específicos.....	21
1.3 Justificativa.....	21
1.4 Procedimentos Metodológicos.....	22
1.4.1 Levantamento Bibliográfico, Cartográfico e Práticas de Campo.....	22
1.4.2 Aplicação do geoprocessamento e sensoriamento remoto.....	24
1.4.3 Análise da Rede de Drenagem.....	25
1.4.4 Extração dos Lineamentos do Relevo.....	27
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1 A Rede de Drenagem.....	29
2.2 A Geomorfologia Estrutural.....	38
2.3 O Contexto Geológico-Geomorfológico.....	46
2.3.1 A Província Borborema.....	48
2.3.2 O Domínio Ceará Central.....	53
2.3.3 O Complexo Plutônico Tamboril-Santa Quitéria.....	55
2.4 O Uso das Geotecnologias.....	58
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.1 A Hidrografia.....	64
3.2 A Geologia.....	70
3.3 A Geomorfologia.....	73
3.4 O Controle Estrutural e Tectônico.....	78
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O relevo do Nordeste do Brasil expõe à níveis superficiais inúmeras evidências de atividades tectônicas, morfologias controladas estruturalmente e da ocorrência de epirogenias pós-cretáceas, acompanhadas por fases de dissecação e pediplanação, durante climas secos, que guiaram trabalhos clássicos sobre a sua evolução geomorfológica.

A configuração da disposição da rede de drenagem pode evidenciar características estruturais através do controle exercido por esta, sendo uma maneira simplificada de compreender a dinamicidade entre os elementos internos e externos que caracterizam àquele ambiente. Suguio e Bigarella (1990) destacam que além da estrutura, a litologia, topografia, tipos de solos, cobertura vegetal e o regime pluviométrico são aspectos importantes para sua análise.

Buscando analisar a configuração da rede de drenagem a partir os componentes do relevo, afim de compreender a atuação dos agentes condicionantes desenvolveu-se a seguinte pesquisa na sub-bacia do Alto Acaraú, cujo recorte espacial compreende entre as nascentes do canal principal do Rio Acaraú no Maciço Cristalino da Serra das Matas e o Açude Araras.

O referencial teórico sobre a rede de drenagem abordará teorias, definições e metodologias que caracterizarão e classificarão a sub-bacia conforme critérios de densidade de drenagem e hidrográfica, e morfologia, hierarquia e padrão dos canais, através da aplicação de cálculos, categorizações, técnicas de geoprocessamento e definições propostas por autores clássicos como Christofletti (1980), Horton (1945), Strahler (1952), Andrades Filho (2010), Howard (1967), Hugget (2007), Suertegaray et al. (2003), Guerra (1989), Freitas (1952), Beltrame (1994) e Lollo (1995), entre outros.

Sobre o controle exercido pela estrutura na rede de drenagem será apresentada a susceptibilidade da rede de drenagem às variações superficiais, como a verificação de traços, significativamente diferentes, do padrão predominante, denominadas de anomalias; a desconformidade assumida pela drenagem em relação à estrutura; e a epigenia fluvial, correlacionando suas respectivas teorias e definições de acordo com autores clássicos como Howard (1967), Hack (1973), Penteadó (1980), Hare e Gardner (1985), Saadi e Torquato

(1992), Peulvast e Claudino-Sales (2004), Press et. al (2006), Lima (2006) e Camolezi (2013).

No contexto geológico-geomorfológico, será abordada uma linha cronológica com eventos geológicos significativos e a evolução geomorfológica da área, partindo da Província Borborema, maior divisão, para o Domínio Ceará, recorte intermediário, até o Complexo Tamboril-Santa Quitéria, subdivisão mais específica onde se localiza à área em estudo. Cada divisão será detalhada com base em estudos clássicos e recentes, descrevendo os eventos geológicos ocorridos, suas respectivas consequências nos diferentes estágios e níveis da crosta e as respostas exumadas na paisagem nos dias atuais.

O uso das geotecnologias abordará teorias, definições sobre as técnicas e *softwares* utilizados no processamento dos dados coletados ao longo da pesquisa, a especialização e o cruzamento dessas informações, oriundas de diferentes fontes, com a finalidade de gerar novas informações que serão plotadas em mapas, subsidiando análises e discussões.

### **1.1 Área em Estudo: Caracterização e Localização**

A Bacia Hidrográfica do Acaraú, situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará, sendo limitada à noroeste pela Bacia do Coreauú, à sudoeste pela Bacia do Poti Longá, à sudeste pela Bacia do Banabuiú, à leste pelas bacias do Curú e Litoral, e ao norte, pelo Oceano Atlântico (COGERH, 2010). Ocupa uma área de 14.423,00 km<sup>2</sup>, abrangendo integralmente 11 municípios e, parcialmente, outros 17 municípios (CEARÁ, 2005). Está dividida em 8 sub-bacias entre elas, a do Alto Acaraú.

A presente pesquisa foi realizada na Sub-bacia do Alto Acaraú, trecho que compreende as nascentes do canal principal do Rio Acaraú no Maciço Cristalino da Serra das Matas e o Açude Araras. O recorte espacial abrange parte de municípios da macrorregião do Sertão dos Inhamuns, tais como Monsenhor Tabosa, Tamboril, Russas, Ipueiras e de municípios da macrorregião de Sobral/Ibiapaba: Ipu e Hirdolândia (IPECE, 2014).

A região possui aspectos climáticos típicos do semiárido nordestino (quente e seco), com pouca ocorrência de chuva, mesmo no período da quadra

chuvosa, como aponta IPECE (2014). Sua precipitação anual é em média 685,7 mm, concentrada entre os meses de janeiro a maio, período de atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principais massas de ar ocasionadoras de precipitação.

O reflexo do regime chuvoso na drenagem se dá com o ressurgimento de rios temporários que escoam superficialmente, aproveitando encaixes naturais observados em escala local, que para Maia e Castro (2017), ocorrem na mesma unidade litológica devido às variações faciológicas ou à sua composição, comum em relevos graníticos. O padrão dendrítico se apresenta como o mais comum no alto e médio curso do Rio Acaraú, em virtude de a bacia estar em sua maior parte assentada sobre rochas cristalinas, onde o escoamento superficial é bastante significativo (COGERH, 2010).

A caracterização geomorfológica da pesquisa busca correlacionar a geologia e litologia do embasamento ao comportamento apresentado pelo canal principal do rio Acaraú nos primeiros quilômetros a partir da sua nascente, para isso, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto.

Ab' Saber (1967) classifica a geomorfologia da região onde se encontra a Serra das Matas como Domínio das Depressões Intermontanas e Interplanálticas Semiáridas, já Souza; Lima e Paiva (1979) classificam como Maciços Residuais Cristalinos. A Serra das Matas apresenta o maior desnível topográfico da sub-bacia, com cerca de 400 metros de diferença de cota nos 30 quilômetros à jusante da nascente do rio Acaraú, passando a apresentar uma rampa mais suave na sequência.

Os aspectos topográficos, bem como a litologia e o clima, influenciam na pedogênese. Diante disso, de acordo com a SUDENE (1973), os processos relacionados com intemperismo físico são os principais agentes formadores dos solos, classificados como Argissolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos predominantemente eutróficos.

A vegetação predominante é arbustiva densa. Próximo aos canais de fluviais, possuem porte reduzido e raízes pouco profundas. Segundo Figueiredo (1997), a vegetação é classificada como Caatinga Arbustiva Aberta, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial.

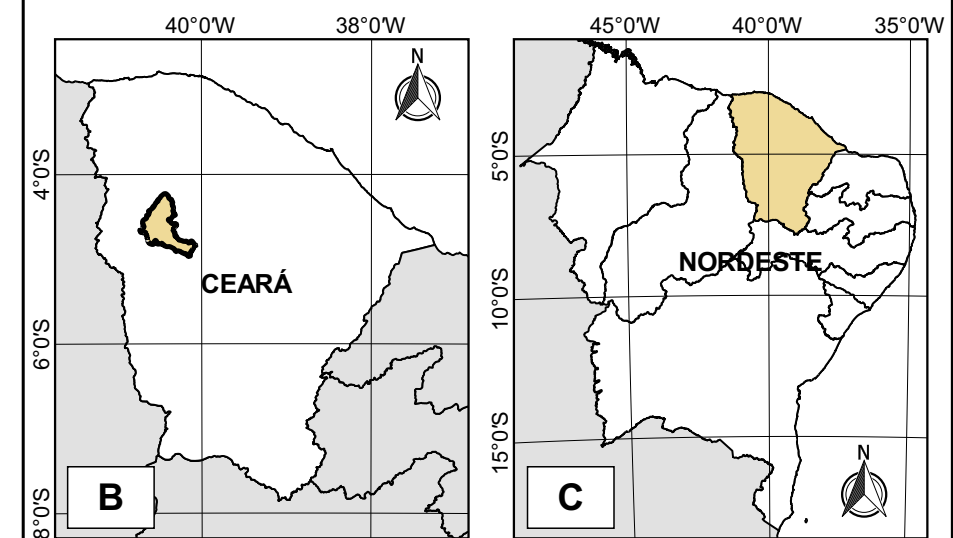


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

**Mapa 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

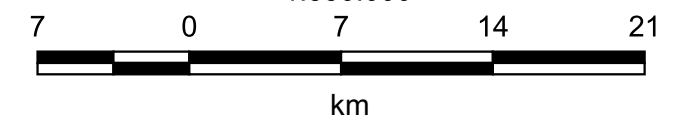
- Legenda**
- Sedes Municipais
  - Rios
  - ▭ Limites Municipais
  - ▭ Bacias Hidrográficas
  - ▭ Corpos d'água
  - ▭ Sub-bacia do Alto Acaraú

**Mapa Situacional**



**Escala**

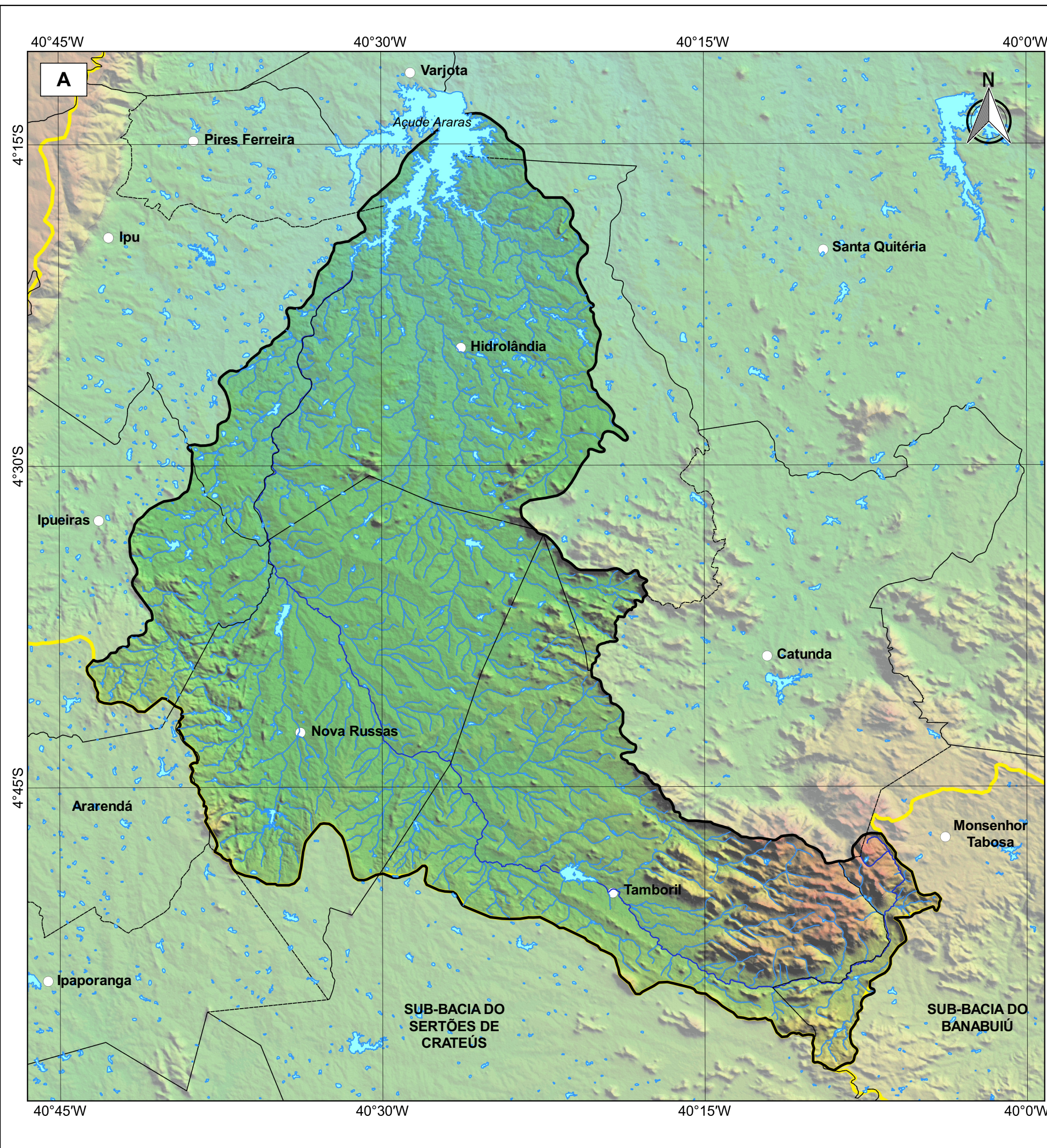
1:350.000



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000

Fontes: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Rios, Corpos d'água e Sub-bacias), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE (Limites municipais 2017) e CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú).

Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018



## 1.2 Objetivos

### 1.2.1. Objetivo Geral

- Caracterizar a configuração da rede de drenagem da Bacia do Alto Acaraú com foco na análise geomorfológica buscando compreender evidências de controle estrutural.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Levantar dados secundários para delimitação da área de estudo bem como as feições do relevo nela presentes;
- Realizar a espacialização da interpretação dos dados coletados em primeiro momento através do mapeamento e compartimentação da área;
- Compreender/Identificar evidências de controle estrutural na sub-bacia hidrográfica do Alto Acaraú, a partir da configuração da rede de drenagem com foco na análise geomorfológica.

## 1.3 Justificativa

A busca por uma explicação científica que justificasse as características expressas no relevo pela disposição do canal principal do Rio Acaraú. Por ser um rio importante para o estado do Ceará, em termos de abastecimento hídrico e histórico, o detalhamento em estudos de todos os trechos da bacia seria de fácil acesso, porém Silva (2017) relata sobre a ausência de estudos que abordem sua geomorfologia ressaltando os seus aspectos tectono-estruturais de sub-bacias como por exemplo a do Alto Curso da Bacia do Rio Jaguaribe. O mesmo desafio foi identificado na área em estudo.

O escoamento superficial das águas oriundas de precipitações e/ou fontes naturais, popularmente chamadas de olho d'água, são indicadores topográficos primordiais para a identificação de falhas, fraturas e litologias menos resistentes ao intemperismo, assim, a rede de drenagem se modifica apresentando padrões e formas de acordo com estruturas do modelado do relevo, apresentando um significado litoestrutural, morfoestrutural e morfotectônico (HOWARD, 1967).

Maia e Bezerra (2014) afirmam que as alterações no nível de base regional podem exumar feições formadas em épocas pretéritas durante eventos tectônicos intracrustais. O condicionamento por falhamentos e zonas de deformação dúcteis, de bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional, como as drenagens o rio Acaraú (Ceará), cuja parte do vale encaixa na Zona de Cisalhamento de Tauá e falhas ou fraturas indiscriminadas controlando-o assim sua dinâmica e seus padrões de drenagem.

Justifica-se, então, esta pesquisa como sendo um elemento científico importante para compreender a atuação do controle estrutural e assim explicar a configuração atual da rede de drenagem da Bacia do Alto Acaraú.

#### **1.4 Procedimentos Metodológicos**

Os primeiros passos para o desenvolvimento da seguinte pesquisa foram a determinação e delimitação espacial do objeto de estudo. Buscou-se, através do uso de imagens de satélite e levantamento bibliográfico, uma área com particularidades a serem estudadas e que tivesse, além da viabilidade de acesso e logística para a realização das atividades em campo, resultados que pudessem gerar contribuições para a comunidade local e científica.

Após a etapa inicial efetuaram-se os levantamentos bibliográficos complementares e cartográficos, a viagem de campo e, posteriormente, a utilização das práticas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, na qual foram espacializados os dados coletados e realizadas as análises dos produtos gerados.

##### **1.4.1 Levantamento Bibliográfico, Cartográfico e Práticas de Campo**

A busca por materiais teóricos foi realizada em artigos, livros, monografias, teses e dissertações em arquivos físicos e digitais. O material bibliográfico pesquisado divide-se em três fases: a primeira descreve a rede de drenagem por meio de cálculos, tabelas, bloco diagramas, interpretação das

informações geradas de acordo com os autores referenciados e compara as análises, quando há outras sugestões.

A segunda fase apresenta materiais bibliográficos referentes à geomorfologia estrutural, trazendo definições clássicas de diversos autores que buscam explicar a relação entre agentes internos e externos como condicionantes a determinado tipo de disposição de relevo e, conseqüentemente, do que está sobre ele. A partir de então dialogam-se com os dados pesquisados na caracterização da rede de drenagem com o referencial sobre estrutura geomorfológica, extraíndo a consequência dessa relação.

A terceira fase, busca aspectos importantes sobre o local em estudo, tais como literaturas específicas, seu contexto geológico-geomorfológico, principais eventos tectônicos e a relação das estruturas exumadas atualmente com acontecimentos pretéritos.

O levantamento cartográfico se deu com a busca de cartas, mapas, imagens de satélite e materiais básicos para a confecção de produtos elementares de sensoriamento remoto e geoprocessamento que, posteriormente, seriam reanalisados, incrementados e finalizados, gerando parte dos resultados da pesquisa.

A ida ao campo contou com o reconhecimento da área baseado no material cartográfico previamente levantado, coletou dados básicos e amostras, e realizou o registro fotográfico. Duas visitas foram realizadas, sendo percorridos cerca de 40 km a pé, e outros trechos percorridos de moto com a finalidade de fotografar, identificar e analisar, *in loco*, feições e estruturas que condicionam tal disposição do relevo e do canal fluvial.

Além dos estudos sobre a geomorfológica do rio Acaraú, foram realizadas conversas informais acerca da percepção da comunidade local com o canal fluvial, destacando-se relatos dos moradores mais antigos sobre a influência da variação do regime pluvial e da estiagem que condiciona a ocupação e o uso do solo no vale e nas vertentes do canal principal e de seus tributários.

### 1.4.2 Aplicação do geoprocessamento e sensoriamento remoto

Os produtos confeccionados a partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram mapas temáticos na escala 1:350.000 e 1:400.000 que abrangem a totalidade da área em estudo e parte do seu entorno. Para isso foram utilizados os *softwares* de geoprocessamento QGIS (Versão 2.18.16 - Las Palmas de Gran Canaria), de código aberto (*open source*), e seus Complementos (*Plugins*), como o Análise de Terreno e outras ferramentas disponibilizadas na aba Raster, na qual ficam os componentes que auxiliam na edição matricial e funções de processamento avançados, encontrados na aba Processamento, no qual foram realizados os processamentos de imagens SRTM e Landsat 8 para respostas espectrais, como ajustes de sombreamento, determinação de unidades geomorfológicas, extração de curvas de nível e lineamentos; e Global Mapper (Versão 13), no qual foram realizados os tratamentos da imagem SRTM para o mapa de localização, aplicando o recurso Banda Simples Falsa-Cor Invertida para contrastar a variação de elevação do relevo, utilizando cores frias para baixas altitudes e tonalidades quentes para pontos mais elevados, permitindo assim a fácil leitura e compreensão do comportamento do relevo e da disposição dos canais fluviais sobre o mesmo.

Para a base matricial (raster) foram utilizadas imagens de satélite RapidEye, com resolução de 5 metros, extraídas do banco de dados do Ministério do Meio Ambiente do Brasil – MMA; imagens *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (Missão Topográfica de Radar Transportado), com resolução de 30 metros, disponíveis no site da *National Aeronautics and Space Administration* - NASA e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA; e imagens Landsat 8, com resolução de 30 metros, extraídas a partir do site Libra Development Seed, que segundo Development Seed (2017) Libra é um projeto alimentado por imagens do API Sat e do USGS Earth Explorer. Os downloads foram fornecidos pelo do USGS, Google Earth Engine e Amazon Web Services, sendo cortesia de Laurent Patain, Arthur Shlain, NAS e iconsmind.com via CC por 3.0.

A base vetorial (*shapefiles*) foi obtida a partir do banco de dados dos seguintes órgãos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e Instituto



de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE (Limites municipais); Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH (Rios, corpos d'água, bacias e sub-bacias hidrográficas do Ceará); Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (Malha Rodoviária) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (Dados Geológicos).

Os mapas foram confeccionados utilizando a projeção plana Universal Transversa de Mercator, o sistema de coordenadas Geográficas (angulares) e o *datum* geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), *datum* adotado oficialmente no Brasil.

### 1.4.3 Análise da Rede de Drenagem

A análise da rede de drenagem realizada nesta pesquisa buscou ir além da dicotomia bem drenado ou mal drenado, que para Christofolletti (1969) são bons indicadores de infiltração e estruturação dos canais, sempre correlacionados com outras características. Porém, diante da necessidade de se explorar mais detalhadamente um rio ou uma bacia, autores como Horton (1945), Strahler (1952), Freitas (1952), Christofolletti (1969), Beltrame (1994) e Lollo (1995), entre outros, desenvolveram pesquisas que geraram fórmulas matemáticas e tabelas qualitativas a fim de aperfeiçoar a análise e classificação de uma bacia.

Horton (1945) propõe o incremento da densidade de drenagem (Dd), no qual através da fórmula  $Dd = (\sum L) / A$  (em que "Dd" é a densidade de drenagem; " $\sum L$ " o comprimento total dos canais e "A" a área da bacia) é possível extrair informações sobre a permeabilidade do embasamento a qual a bacia está assentada. Para isso, Horton (1945) e Beltrame (1994) propuseram, de acordo com o resultado obtido através da equação citada, uma classificação qualitativa referente à competência da drenagem.

Para compreender a grandeza de uma rede hidrográfica de determinada bacia, a partir de sua capacidade de gerar novos cursos d'água, Christofolletti (1969) sugere o cálculo do índice da densidade hidrográfica (Dh), representado pela equação  $Dh = N/A$  (em que "Dh" é a densidade hidrográfica; "N" o número

de rios ou canais e “A” a área da bacia em km<sup>2</sup>) e a classificação proposta por Strahler (1952).

De significativa importância para esta pesquisa, visando que o comportamento do canal principal e de seus tributários foram um dos alvos dessa investigação científica, o índice de sinuosidade (Is), obtido através da equação  $Is = Lc/Lv$  (em que “Is” é o índice de sinuosidade (adimensional); “Lc” o comprimento do canal principal em km e “Lv” o comprimento vetorial do canal principal em km ) é definido por Santos; Targa; Batista; Dias (2012) como sendo a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal. Para esta análise, Freitas (1952) sugere que a classificação indique se há retilinearidade, ou sinuosidade, ou se as feições apresentam características transicionais.

Outro método de análise aplicado nesta pesquisa foi o de hierarquização dos canais de drenagem, definida por Lima (2006), com base na proposta de Horton (1945), como sendo o estabelecimento do posicionamento (ordem) de um determinado canal de drenagem no conjunto total da bacia em que se encontra, na qual a ordenação dos cursos de água tem início naqueles canais que não têm tributários e dão início a uma nova ordem na confluência de, no mínimo, dois rios de um mesmo nível de ordenamento.

A análise do padrão do arranjo espacial assumido pelo leito de canais fluviais ao longo do seu percurso foi outro método trabalhado nesta pesquisa, para tanto, foram utilizados conceitos e classificações definidas por autores como Leopold & Woman (1957), Christofletti (1980), Knighton (1998), entre outros. Nesta aplicação foram abordados os padrões de canais de forma clássica em três tipos básicos de canais aluviais (retos, meandricos e entrelaçados) e os sistemas de classificação enriquecido com outras subdivisões, atualmente mais utilizados na literatura científica, sendo considerados os padrões anastomosado, anabranche, deltaico, ramificado, reticulado e irregular.

A aplicação do método de análise dos padrões de drenagem foi baseada na literatura de autores como Christofletti (1980), Horton (1945), Strahler (1952), Andrade-Filho (2010), Howard (1967), Hugget (2007), Suertegaray et al. (2003) e na definição de Guerra (1989) nos quais os padrões de drenagem são arranjos espaciais de canais fluviais que podem ser influenciados pela geologia, litologia e pela evolução geomorfológica da região em que se instalam.

#### 1.4.4 Extração dos Lineamentos do Relevo

Os procedimentos para extração dos lineamentos do relevo foram realizados através de dois *softwares*, tais como PCI Geomática e QGIS de modo automático supervisionado, onde o produto gerado automaticamente foi verificado e corrigido manualmente, quando necessário.

Os lineamentos são definidos como feições topográficas ou tonais lineares, cuja observação é possível através de imagens de satélite ou SRTM, que podem representar discontinuidades estruturais expressas na topologia por meio da morfologia de vales, cristas, seguimentos de drenagem e anomalias tonais, controladas estruturalmente por foliações, juntas/fraturas e falhas (SABINS, 1978; ETCHEBEHERE; SAAD; FULFARO, 2007).

Os esforços tectônicos refletem, em níveis superficiais e subsuperficiais, lineamentos de relevo gerados em regime rúptil, quando os esforços se acumulam em níveis que excedem o limite local de resistência à ruptura da crosta e em regime dúctil, quando a deformação é apenas plástica (FOSSEN, 2012; ANDRADE-FILHO, 2014).

Para analisar o comportamento dos lineamentos na sub-bacia do Alto Acaraú foi utilizado ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para ajustar a imagem SRTM de forma que a mesma apresentasse melhor as disposições das feições e posteriormente a extração das mesmas.

De posse da imagem SRTM, realizou-se o tratamento do modelo de elevação, utilizando o *software* QGIS, utilizando a funcionalidade MDE (Raster > Análise > MDE (Modelos de Terreno)) e preenchendo os campos Azimute de insolação e Altitude de insolação. Foram realizados testes de sombreamento em 4 angulações azimutais diferentes, 45°, 135°, 225° e 315°. Destes os melhores resultados foram obtidas com azimute de insolação igual a 45° e igual a 315°, e altitude de insolação igual a 45° em ambas imagens.

A extração automática dos lineamentos seguiu o modelo aplicado por Silva (2017), utilizando no *software* PCI Geomatica, o módulo Focus, acessando o algoritmo LINE (Tools > Algorithm Librarian > LINE: Lineament Extration) e inserindo os parâmetros de Abdullah *et al.* (2009) e de Conceição e Silva (2013) a fim de verificar qual delas retornaria a resposta mais satisfatória. Os parâmetros são os seguintes:

Tabela 1 - Parâmetros de entrada (Input) aplicados ao algoritmo LINE para extração automática de lineamentos de relevo.

<b>Parâmetros</b>	<b>Abdullah et al.(2009)</b>	<b>Conceição e Silva (2013)</b>
<i>Filter Radius (Pixel)</i>	12	15
<i>Edge Gradient Threshold</i>	90	60
<i>Curve Length Threshold</i>	30	10
<i>Line Fitting Error Threshold</i>	10	5
<i>Angular Difference Threshold</i>	30	15
<i>Linking Distance Threshold</i>	20	30

As definições de cada parâmetro, segundo Silva (2017) são as seguintes:

*Filter Radius (FR)*: especifica o raio do filtro de detecção de borda, em pixels. Este parâmetro determina o nível até o qual o algoritmo detecta a informação como um lineamento. Um grande valor de *Filter Radius* indica que menos detalhes podem ser detectados, e também menos ruído. O valor padrão é 10, sendo que o intervalo de valores deste parâmetro é de 0 até 8192.

*Edge Gradient Threshold (EGT)*: especifica o limite do nível de gradiente mínimo de um pixel de borda para obter uma imagem binária. Os pixels acima do limiar representarão na imagem binária um elemento de borda. Este valor deve estar na faixa de 0 a 255, sendo que o valor padrão é 100.

*Curve Length Threshold (CLT)*: especifica o comprimento mínimo de curva, em pixels, para ser considerado como lineamento.

*Line Fitting Error Threshold (LFET)*: especifica, em pixels, o erro máximo permitido ao sobrepor uma linha sobre uma curva. Os valores mais baixos proporcionam um melhor ajuste, mas também segmentos mais curtos na linha.

*Angular Difference Threshold (ADT)*: especifica o ângulo máximo, em graus, entre segmentos de uma linha. Se o ângulo excede o máximo especificado, a linha é dividida em dois ou mais vetores. Este ângulo também define o ângulo máximo entre dois vetores para serem ligados. O valor padrão é 30.

*Linking Distance Threshold (LDT)*: especifica a distância mínima, em pixels, entre os pontos finais de dois vetores para serem ligados. O valor padrão é de 20.

Os parâmetros de Conceição e Silva (2013) foram adotados por representar melhor os lineamentos existentes, estes foram verificados manualmente com o software QGIS, após a extração.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A Rede de Drenagem

A rede de drenagem é definida como sendo o sistema formado pelo curso d'água principal e seus afluentes, todos internos a uma determinada bacia hidrográfica (ANA, 2015). As drenagens são agrupadas em bacias, porém para Faustino (1996) bacias com áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup> e Rocha (1997, *apud* Martins et al., 2005), bacias com áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km<sup>2</sup> a 300 km<sup>2</sup>) podem ser definidas como sub-bacias. A partir daí, partem análises que vão caracterizar e classificar a sub-bacia conforme critérios de densidade, comprimento, hierarquia e padrão dos canais.

Ao analisar a densidade de canais de uma bacia, algumas literaturas trazem termos como bem drenado ou mal drenado, classificando-a qualitativamente. Esse tipo de classificação pode indicar, segundo Christofolletti (1969), reflexos nos índices de infiltração e na estruturação dos canais, relacionados com as características litológicas do embasamento, configuração do relevo entre outras.

Visto que estas classes se tornaram insuficientes para a caracterização do desenvolvimento de uma drenagem, Horton (1945) propõe que seja incrementada a densidade de drenagem (Dd), que é o comprimento médio dos riachos dentro da bacia por unidade de área, sendo considerado nesse cálculo, todos os rios, tanto os perenes como os temporários. Essa relação gera a (Equação 1):

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

[1]

Sendo "Dd" a densidade de drenagem; " $\sum L$ " o comprimento total dos canais e "A" a área da bacia. O resultado obtido a partir da seguinte equação gera três classes (Tabela 2), a qual pode-se categorizar uma bacia.

Tabela 2 - Categorização da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia, segundo Horton (1945).

Dd (unidade de área)	Classificação
<b>2,74</b>	Má drenagem
<b>0,73</b>	Boa drenagem
<b>0,25</b>	Ótima drenagem

Beltrame (1994), adotando como unidades o km e o km<sup>2</sup> para medidas do comprimento do canal e para área da bacia, respectivamente, sugeriu que a classificação da densidade de drenagem tivesse quatro faixas, estas não utilizando os termos propostos por Horton (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia, segundo Beltrame (1994).

Dd (km/km <sup>2</sup> )	Classificação
<b>&lt; 0,50</b>	Baixa
<b>0,50 - 2,00</b>	Mediana
<b>2,01 - 3,50</b>	Alta
<b>&gt; 3,50</b>	Muito Alta

Outra análise importante para detalhar a configuração de uma bacia hidrográfica é feita através da relação entre o número de rios ou canais com a área da bacia. Diante disso, surge o índice da densidade hidrográfica (Dh), proposto por Christofolletti (1969), que expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'água.

A determinação da densidade hidrográfica é gerada a partir da seguinte (Equação 2):

$$Dh = \frac{N}{A}$$

[2]

Sendo “Dh” a densidade hidrográfica; “N” o número de rios ou canais e “A” a área da bacia em km<sup>2</sup>. Na definição da variável “N”, Christofolletti (1969) adota a classificação de Strahler (1952), sugerindo que seja utilizado o número

de canais de primeira ordem, sob o argumento de que isso conduz a resultados mais realistas sobre o comportamento hidrológico da bacia.

A partir dos valores extraídos com auxílio da equação proposta por Christofolletti, Lollo (1995) classifica a densidade hidrográfica nas seguintes faixas de valores (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de uma bacia, segundo Lollo (1995).

Dh (canais/km <sup>2</sup> )	Classificação
<b>&lt; 3</b>	Baixa
<b>3 - 7</b>	Mediana
<b>7 - 15</b>	Alta
<b>&gt; 15</b>	Muito Alta

No estudo da morfometria da bacia, o índice de sinuosidade (Is) apresenta-se como uma importante análise, apontando características do padrão de drenagem e a velocidade de escoamento. O índice de sinuosidade (Is) é definido por Santos; Targa; Batista; Dias (2012) como sendo a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal.

Através desse índice é possível verificar a velocidade de escoamento do canal principal. A sinuosidade do canal principal pode apontar características estruturais do relevo, como a presença de falhas ou fraturas, que geralmente encaixam a drenagem tornando-a retilínea, e/ou o afloramento de um corpo litológico mais resistente, que gera um obstáculo no qual o curso do rio tende a desviar.

O escoamento superficial é influenciado pela declividade e pela sinuosidade do canal, que quanto maior, menor sua velocidade, pois maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal. Para obter os valores que determinam o índice de sinuosidade de um canal utilizou-se a (Equação 3):

$$Is = \frac{Lc}{Lv}$$

[3]

Sendo “Is” o índice de sinuosidade (adimensional); “Lc” o comprimento do canal principal em km e “Lv” o comprimento vetorial do canal principal em km. A partir do valor obtido, Freitas (1952) classifica assim (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação do índice de sinuosidade (Is) de uma bacia, segundo Freitas (1952).

Is (adimensional)	Classificação
<b>Próximo a 1</b>	Canais retilíneos
<b><math>1 &lt; X &lt; 2</math></b>	Formas transicionais
<b>Superiores a 2</b>	Canais sinuosos

Em uma rede de drenagem, os canais fluviais se diferem quanto a sua extensão, largura, profundidade, aporte, sazonalidade, entre outras características. O canal principal da bacia se encontra o mais próximo do nível de base regional, essa configuração possibilita que outras drenagens o busquem para desaguar.

Como um dos métodos auxiliares à análise da rede de drenagem, a hierarquização fluvial consiste, segundo Lima (2006), baseada na proposta de Horton (1945), que estabelece do posicionamento (ordem) de um determinado canal de drenagem no conjunto total da bacia em que se encontra, no qual a ordenação dos cursos de água tem início naqueles canais que não têm tributários, denominados de canais de primeira ordem. Os de segunda ordem se iniciam na confluência de, no mínimo, dois de primeira ordem; os de terceira ordem partem da convergência entre, no mínimo, dois de segunda ordem, podendo receber também os de primeira ordem; os de quarta ordem iniciam-se a partir do encontro entre no mínimo dois tributários de terceira ordem, porém também pode receber de afluentes de ordem inferior e assim sucessivamente.

Nesta pesquisa foram classificados hierarquicamente todos os canais de acordo com o *shapefile* disponibilizado pelo Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, na escala de detalhamento de 1:100.000, sendo possível a identificação de anomalias, o cálculo de índices morfométricos para caracterização da drenagem e as relações entre o comportamento da drenagem e as análises de dados morfoestruturais. O *shapefile* com o curso dos canais foi conferido e corrigido, quando necessário, com base nas imagens de satélite RapidEye e nas imagens disponibilizadas pela Google Satellite através dos



complementos do *software* QGIS 2.18 tais como, OpenLayers plugin e QuickMapService.

O padrão do arranjo espacial apresentado pelo leito dos canais fluviais ao longo do seu percurso define seu tipo que, para Christofolletti (1980), pode ser classificado a partir de parâmetros relativos ao tamanho dos grãos transportados ou a sua morfologia. Para Knighton (1998) os estudos sobre a morfologia dos canais fluviais devem considerar válida a proposta por Leopold e Woman (1957) que divide em três tipos básicos de canais aluviais (retos, meandricos e entrelaçados), porém quando relacionada com o conceito de *continuum*. Mesmo que atualmente na literatura científica sobre os sistemas de classificação tenha sido enriquecida com outras subdivisões de padrões, como anastomosado, anabranch, deltaico, ramificado, reticulado e irregular, considerado por alguns autores. No (Quadro 1) destacam-se as principais características dos tipos de morfologia dos canais fluviais.

Quadro 1- Características principais dos tipos de morfologia dos canais fluviais.

		Retilíneo	Meandrante	Entrelaçado	Anastomosado
Formas	Canais	Único com <i>pools</i> e <i>riffles</i> , talvegue meandrante	Único	Dois ou mais canais com barras e pequenas ilhas	Dois ou mais canais com ilhas largas e estáveis
	Sinuosidade	Menor que 1,5	Maior que 1,3	Menor que 1,3	-
	Tipos de barras	Laterais, submersas	Em pontal, laterais	Longitudinais, transversais, compostas	Em pontal, laterais, submersas
	Planícies	Bem desenvolvida	Bem desenvolvida	Sem planície ou pouco desenvolvida	Bem desenvolvida
	Formas de planícies	Crevasses	Meandros abandonados, cordões marginais convexos inativos	-	Canais abandonados crevasses
	Diques marginais	Contínuos e bem desenvolvidos	Descontínuos	Sem diques ou pouco desenvolvidos	Contínuos e bem desenvolvidos
	Declividade (cm/km)	Menor que 200	Menor que 500	7 a 1800	Menor que 15
	Seção transversal	Simétrica	Assimétrica	Simétrica sem margens def.	Simétrica
	Largura / Profundidade (m)	Menor que 40	De 10 a 40	Maior que 40	Menor que 10

Processos Hidromorfodinâmicos	Comportamento erosivo	Incisão e formação de canais secundários	Erosão da margem côncava	Erosão das margens, alargamento do canal	Avulsão
	Comportamento deposicional	Formação de barras laterais	Formação de cordões marginais convexos	Formação de barras centrais	Acreção lenta
	Mobilidade	Baixa	Alta	Talvegue móvel	Baixa
	Velocidade máxima (m/s)	Menor que 1,5	Menor que 2,0	0,4 a 6,0	Menor que 1,5
	Potência específica da corrente	Menor que 10 Wm <sup>2</sup>	10 a 60 Wm <sup>2</sup>	50 a 300 Wm <sup>2</sup>	Menor que 10 Wm <sup>2</sup>
Materiais	% de finos no perímetro	Maior que 20	5 a 20	Menor que 5	Maior que 20
	Tipo de carga	Suspensa, mista ou de fundo	Suspensa ou mista	De fundo	Suspensa
	Carga de fundo	Areia fina	Arenosa	Seixosa e arenosa	Areia fina
	% de carga de fundo	Menor que 11	Menor que 11	Menor que 3	Maior que 11
	Composição dos diques	Argilosos coesivos	Arenoso e argiloso não coesivo	Arenoso não coesivo	Argiloso coesivo

Fonte: Miall (1977), Richards (1982), Nanson e Croke (1992), Morisawa (1995), Knighton e Nanson (1993), Sousa Filho (1993) *apud* Silva (2006).

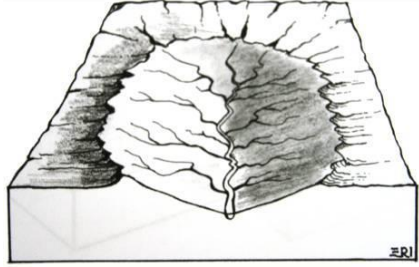
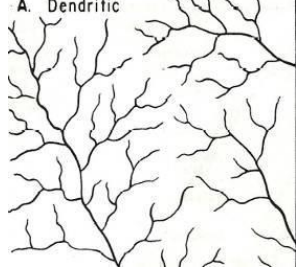

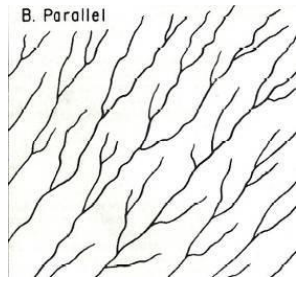
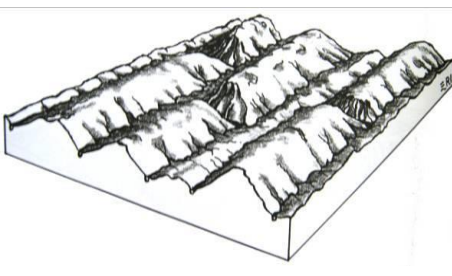
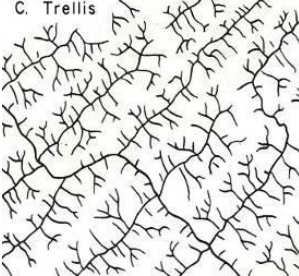
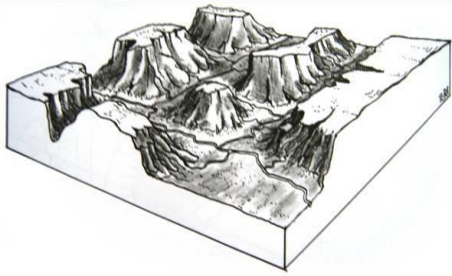
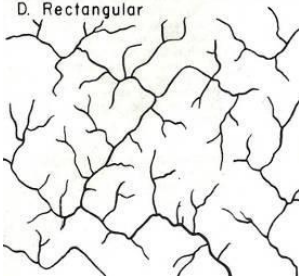
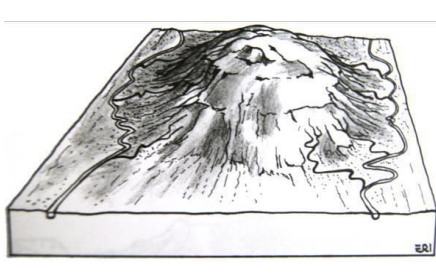
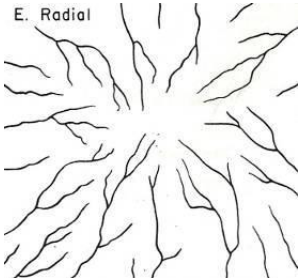
Organização: CAPISTRANO, F. R. B., 2017.

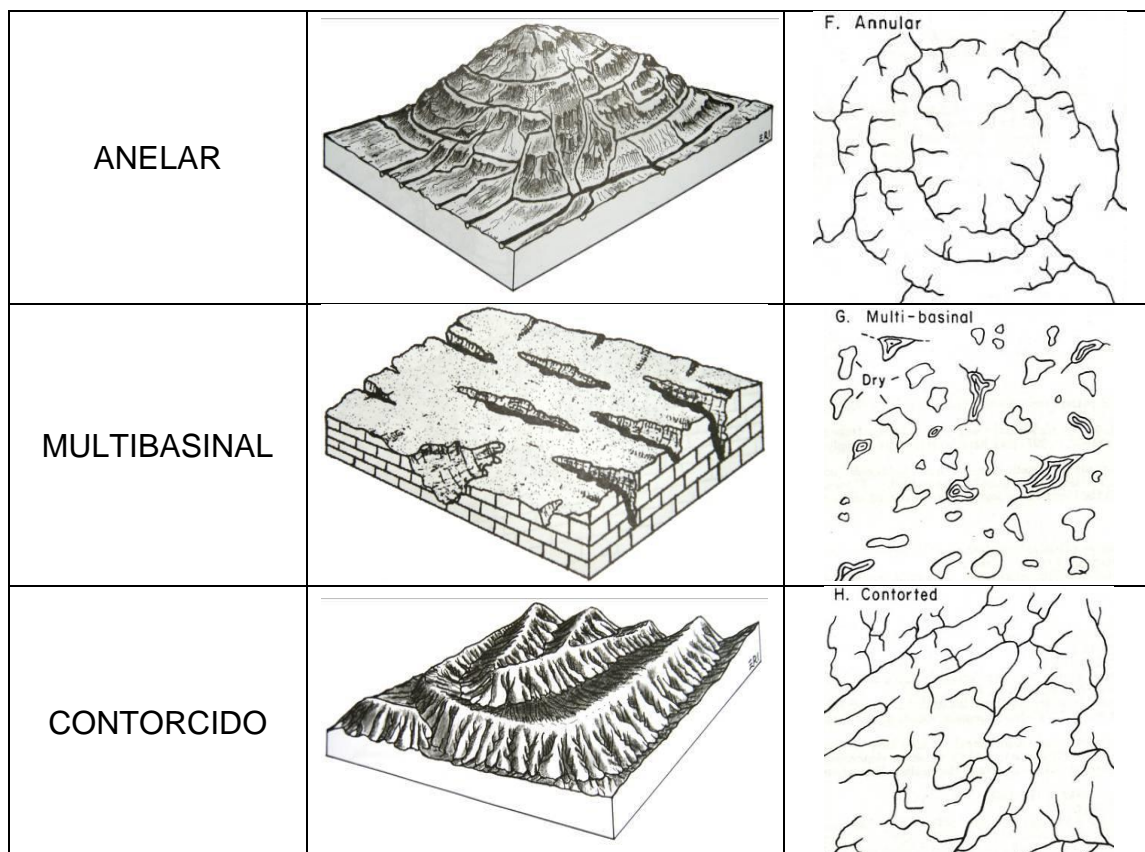
A configuração espacial da rede de drenagem, que se dá a partir das análises morfométrica e morfoestruturais, possibilita a classificação da bacia de acordo com os seus padrões predominantes. Guerra (1989) define padrões de drenagem como sendo o arranjo espacial dos canais fluviais que podem se influenciar em seus trabalhos morfogenéticos pela geologia, litologia e pela evolução geomorfológica da região em que se instalam.

Com base na literatura, (CHRISTOFOLETTI, 1980; HORTON, 1945; STRAHLER, 1952; ANDRADE-FILHO, 2010; HOWARD, 1967; HUGGET, 2007; SUERTEGARAY et al., 2003) geraram o (Quadro 2), no qual apresentam os principais padrões da rede de drenagem e sua representação tridimensional e bidimensional que permite inferir sobre o condicionamento topográfico, litológico

e estrutural da área onde se assentam os canais facilitando, assim a identificação dos padrões da rede de drenagem encontrado na área em estudo.

Quadro 2 - Padrões básicos da rede de drenagem.

PADRÕES DE DRENAGEM	MORFOLOGIA DO TERRENO	REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL
DENDRÍTICO		
PARALELO		
TRELIÇA		
RETANGULAR		
RADIAL		



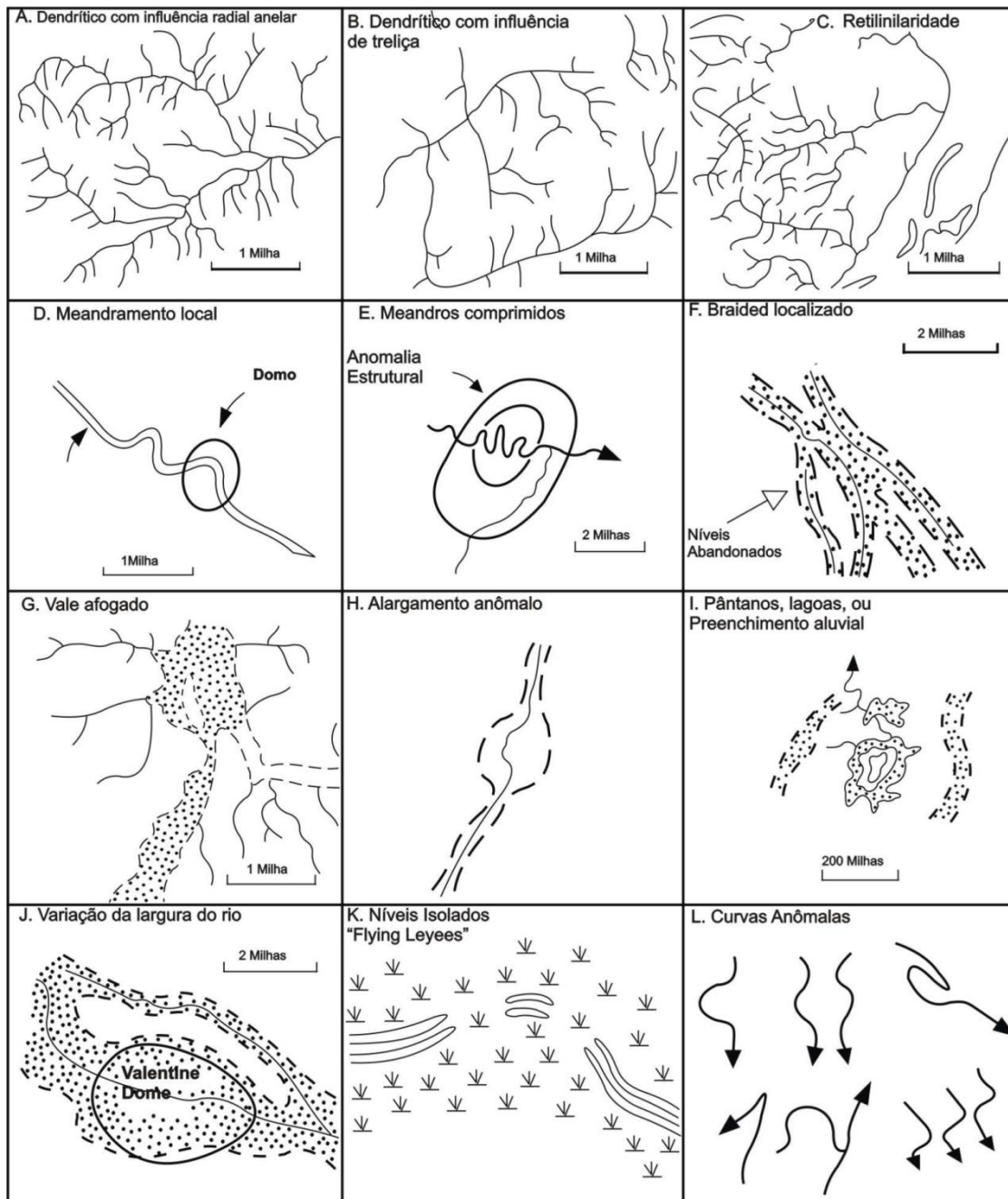
Fonte: Bases adaptado de Shumm (1971), Howard (1967), Suertegaray et al. (2003) e Andrade-Filho (2010) por Camolezi (2013).

Quando os canais sob um padrão definido passam a apresentar um comportamento diferente, como desvios bruscos, feições de alinhamento de meandros, terraços fluviais assimétricos, por exemplo, assumindo essa nova configuração em escala local de um recorte espacial, em que nele outras drenagens também são influenciadas, a literatura geomorfológica os define de acordo com Gontijo (1999) como sendo feições de anomalias locais da drenagem que, segundo Howard (1967), pode ser compreendida como uma discordância local da drenagem regional ou dos padrões de canais, sugerindo desvios topográficos ou estruturais.

As anomalias de drenagem são importantes indicadores para a análise estrutural, fornecendo subsídios à identificação de fatores de origem tectônica, além de indicar zonas de soerguimento, subsidência, basculamento ou simplesmente de rochas mais resistentes à erosão (SUMMERFIELD, 1991; GONTIJO, 1999; BEZERRA, 2003). Quando identificadas ao longo de uma rede

de drenagem, as feições anômalas podem apresentar os seguintes comportamentos contidos na (Figura 1).

Figura 1 - Feições de anomalias de drenagem.



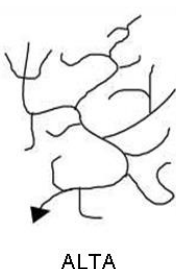
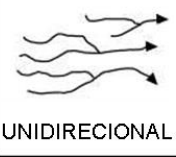
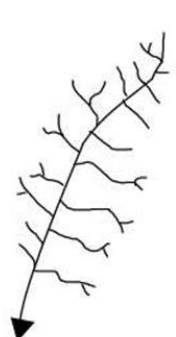
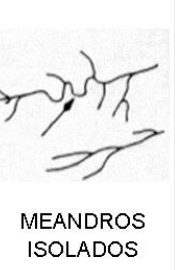

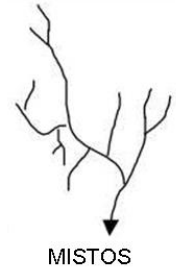
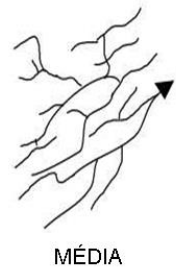
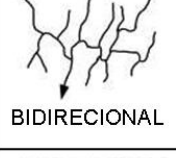
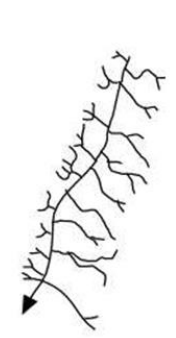
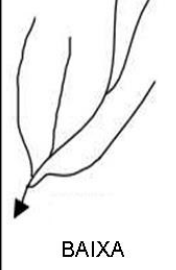
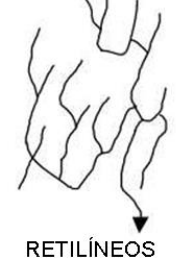
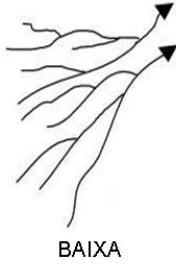
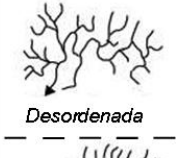
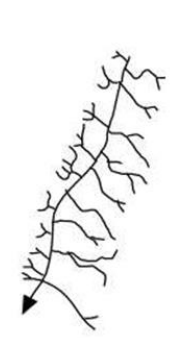



Fonte: Adaptado de Howard (1967).

Um compilado da análise da bacia de drenagem, proposto por Soares e Fiori (1976) é apresentado no (Quadro 3), nas quais estão expostas as propriedades da rede de drenagem dividida em seis blocos, sendo estes

subdivididos em categorias específicas a fim de tornar prática e rápida a assimilação das informações.

Quadro 3 - Propriedades da rede de drenagem, compilado de Soares e Fiori (1976).

DENSIDADE	SINUOSIDADE	ANGULARIDADE	TROPIA	SIMETRIA	FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	 UNIDIRECIONAL	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTOS	 MÉDIA	 BIDIRECIONAL		 FORTE
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	 <i>Desordenada</i>	 FORTE	
			 <i>Ordenada</i> MULTIDIRECIONAL		

Organização: Capistrano, F. R. B. (2018).

## 2.2 A Geomorfologia Estrutural

A Geomorfologia é o ramo da ciência que estuda as formas de relevo. Estas são influenciadas pelos elementos que a compõem e pelas leis que determinam sua gênese e evolução. Diante disso, a Geomorfologia subdivide-se em áreas específicas a fim de obter respostas mais seguras e embasadas sobre os fenômenos que a todo o momento modificam a superfície da Terra, mesmo que minimamente.

Um dos ramos da Geomorfologia trata da vertente estrutural, na qual a atuação de agentes internos (intracrustais) e externos (superficiais) deve ser

analisada a fim de serem estabelecidas relações entre si, como definida por Peulvast e Vanney (2002).

Em sua análise, a geomorfologia estrutural (ou morfoestrutural) atribui às formas de relevo da superfície, seja da Terra ou de outros planetas, uma dependência das estruturas geológicas, ou seja, sua existência, aspecto ou geometria, estão diretamente ligados às condições geológicas. Peulvast e Vanney (2002) também destacam que o objetivo desse campo da Geomorfologia busca, além da descrição estática do relevo, o entendimento e explicação do conjunto de inter-relações estabelecidas nas dinâmicas internas, relevos estruturais e dinâmica externa, configurando-se como instrumento fundamental para a compreensão das paisagens e dos fatos topográficos.

Através da análise geomorfológica com enfoque estrutural, as formas de relevo podem ser divididas em morfoestruturas produzidas pela interação de forças endógenas e exógenas (GERASIMOV e MESCHERIKOV, 1968). Os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura propostos por Mescherikov e Gerasimov (entre as décadas de 1940 e 1970) foram usados por Ross (2000) na compreensão do modelado da terra. O termo morfoestrutura diz respeito à estrutura mórfica e geológica do terreno, equivalendo às feições geomorfológicas, correlacionadas exclusivamente à estrutura geológica, tais como bacias sedimentares, cadeias orogênicas menores e plataformas.

Para Saadi (1998), o foco da abordagem morfoestrutural está no controle exercido sobre a morfologia pelo arcabouço litoestrutural, como a natureza litotípica, o arranjo de camadas e as rupturas crustais. Saadi (1998) ressalta que não havendo uma correlação entre os fatos geomorfológicos e as ações geológicas e climáticas nele atuantes, a análise do relevo seria impossível. O principal objetivo da análise morfoestrutural é a obtenção de informações a respeito de estruturas, uma vez que se espera, com a aplicação desta técnica, que a morfologia da superfície de uma bacia reflita, embora de modo atenuado, nas condições estruturais do embasamento (LIMA, 2006; SOARES et al. (s.d) *apud* CREPANI, 1988).

Relacionado às morfoestruturas, a morfoescultura corresponde às feições associadas às influências climáticas atuais e pretéritas, como as depressões, os planaltos e planícies. São representadas pelo modelado ou tipologias de formas, geradas sobre diferentes morfoestruturas através do desgaste erosivo

promovido por ambientes climáticos diferenciados, tanto no tempo quanto no espaço, que imprimiram e continuam a imprimir suas marcas no relevo (SAADI, 1998).

Diversos trabalhos contribuíram de maneira relevante para uma abordagem analítica e para o entendimento da evolução da paisagem. Utilizando a rede de drenagem como base, destacam-se os trabalhos pioneiros de Horton (1945); Strahler (1952); Howard (1967); Hack (1973); Rust (1978); Cox (1994); Bishop (1982); Wolman e Leopold (1957).

O relevo pode expor no presente, eventos pretéritos relacionados com o clima, a litologia ou tectonismo. No Nordeste do Brasil, importantes episódios de evolução morfotectônica se encontram documentados no relevo, compondo assim, um complexo sistema morfoestrutural organizado em torno de paleosuperfícies. A região apresenta diversos compartimentos geomorfológicos derivados de eventos, como o Ciclo Brasileiro e a separação Brasil/África (rompimento da Gondwana que separou a América do Sul da África). Ambos os eventos geraram várias morfologias controladas estruturalmente, podendo ser destacados os maciços cristalinos alinhados de acordo com as principais zonas de cisalhamento. Outras formas estão associadas a lineamentos estruturais orientando a drenagem e a dissecação. Um terceiro exemplo são as bacias sedimentares cenozoicas afetadas por soerguimentos (MAIA; BEZERRA, 2014).

As análises da rede de drenagem e dos padrões de canais, bem como capturas de drenagens, as formas das nascentes, a assimetria das bacias e assimetria de depósitos fluviais, entre muitos outros, são métodos apontados pelos autores Etchebehere (2000); Howard (1967); Schumm et al. (2000) para comprovar que as respostas mais significantes às alterações crustais podem ser obtidas quando avaliado o conjunto das drenagens. Já o uso de variáveis morfométricas para essas análises passa a ter mais espaço na literatura a partir da década de 1970 com importantes pesquisas como os trabalhos desenvolvidos por Hack (1973) e Hare; Gardner (1985).

O entendimento do comportamento da rede de drenagem é essencial para pesquisas que envolvam análise fisiográfica da paisagem, como análises morfotectônicas (VARGAS, 2012), principalmente o controle exercido pela estrutura, através da relação entre a drenagem e a estrutura geológica (LIMA, 2006). Estas estruturas como, por exemplo, fraturas, juntas, falhas,



discordâncias, eixo e flanco de dobras, interface litológica, acamamento, foliação, lineação, lineamentos, relacionados às atividades tectônicas, sendo em faixas próximas às bordas de placas ou em zonas intraplacas, são imediatamente refletidas na disposição espacial das drenagens e possibilitam a compreensão das configurações litoestruturais, morfoestruturais e morfotectônicas, pois, segundo Howard (1967), a rede de drenagem modifica seu curso, adapta-se às formas e apresenta padrões de acordo com as estruturas do modelado do relevo.

Lima (2006) organiza no Quadro 4 um compilado que correlaciona o padrão de drenagem mais comum para determinada forma de relevo, de modo genérico, além de subdividir alguns padrões básicos em categorias específicas, denominado pelo autor de padrão de drenagem modificado.

Quadro 4 - Padrões de drenagem básico, modificado e as formas de relevo associadas, por Lima (2006).

PADRÃO DE DRENAGEM BÁSICO	PADRÃO DE DRENAGEM MODIFICADO	FORMAS DE RELEVO
DENDRÍTICO	Subdendrítico	Chapadões com zonas dissecadas e morros de topo convexo com alto a médio grau de dissecção
	Pinado	Morros com variável grau de dissecção
	Distributário	Leques aluviais e deltas. Sopé de montanhas e zonas costeiras
PARALELO	Subparalelo	Terreno plano com caimento médio a fraco. Cuesta.
	Colinear	Dunas do tipo <i>Seif</i> . Planícies costeiras
TRELIÇA	-	Relevo em cristas ou em morros de topo agudo. <i>Hog back</i> .
RETANGULAR	-	Terrenos intensamente fraturados.
RADIAL	-	Cratera, caldeira, astroblema, etc.
ANELAR	-	Morros com formato circular, vulcões, etc.
MULTIBASINAL	-	Terrenos cársticos, glaciais, planície costeira e deltas.

As anomalias de drenagem, configuram-se quando há um desvio inesperado de uma ou mais drenagens em relação ao seu padrão (LIMA, 2006). Homes *apud* Howard (1967) destaca as seguintes feições: retilinearidade;

aparecimento abrupto e localizado de meandros; meandros comprimidos; desenvolvimento abrupto e localizado do canal anastomótico; estreitamento anômalo de vales ou canais; *levées* (diques marginais) isolados; e curvas anômalas. Lima (2006) adiciona a ausência de divisor de águas com o desenvolvimento de lagos, o aparecimento brusco de canal do tipo entrelaçado, a grande incidência de terraços e a assimetria distinta com relação ao comprimento dos seus afluentes. No Quadro 5, Camolezi (2013) busca, de forma simplificada, apresentar os tipos de anomalias e seus respectivos significados.

Quadro 5 - Tipos de anomalias de drenagem e seus respectivos significados

<b>TIPO DE ANOMALIA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b><u>Influência de Padrão Radial Anelar em Padrão Dendrítico</u></b>	A influência de padrão radial anelar em outros padrões da rede de drenagem pode indicar a ocorrência de soerguimento ou subsidência de um bloco, como domos e crateras respectivamente, fazendo com que a rede de drenagem se adapte a estas alterações.
<b><u>Influência de Padrão de Treliça em Padrão Dendrítico</u></b>	Este tipo de anomalia está relacionado à erosão diferencial nas camadas que afloram paralelamente em faixas estreitas, sendo característicos de áreas com dobramento, ou em zonas cuestasiformes.
<b><u>Retilinearidade</u></b>	Os canais retilíneos naturais são raros, a ocorrência dessas anomalias geralmente indica que o canal está associado a falhas, juntas, veios e outros elementos estruturais.
<b><u>Meandramento Local</u></b>	A ocorrência de meandros localizados pode estar ligada à presença de domos.
<b><u>Compressão de Meandros</u></b>	Os meandros comprimidos podem estar relacionados a um soerguimento que ocasionou um aumento na erosão e conseqüente aprofundamento do canal, fazendo com que o meandro fique controlado pela resistência litológica.
<b><u>Braided Localizado</u></b>	O aparecimento de entrelaçamento localizado pode indicar um aumento na concentração de carga de fundo do canal e conseqüentemente a diminuição do gradiente do canal. O motivo para esta anomalia pode estar relacionado a movimentos tectônicos em pequenas áreas.
<b><u>Vale Afogado</u></b>	Os vales afogados podem estar relacionados à movimentação tectônica, mudanças climáticas e até ação antrópica. Atividades tectônicas podem ocasionar um soerguimento no nível de base, represando assim os afluentes de um canal. Quanto às mudanças climáticas e ações antrópicas, podemos citar a subida do nível do mar e construção de barragens, respectivamente.

<b><u>Pântanos, Lagos ou Preenchimento Aluvial</u></b>	Podem indicar o soerguimento ou subsidência do canal.
<b><u>Variações na Largura do Canal</u></b>	O canal fluvial pode sofrer um alargamento ou um estreitamento ( <i>knickpoint</i> ). Essas variações na largura do canal indicam ou uma diferença de resistência à erosão ou níveis de base elevados ou rebaixados.
<b><u>Níveis Isolados do Canal</u></b>	Os níveis isolados do canal podem indicar soerguimento ou subsidência de blocos. Um exemplo desses níveis isolados do canal são lagos remanescente em padrões de palimpsestos.
<b><u>Curvaturas Anômalas</u></b>	As curvas anômalas em canais fluviais podem representar antigos processos de captura fluvial ou ainda, controle estrutural por meio de juntas ou falhas.
<b><u>Drenagens Colineares</u></b>	As drenagens colineares podem ser formadas pelo soerguimento de uma área fazendo com que a drenagem seja desconectada, com os canais fluindo em sentidos opostos. A erosão remontante nessas drenagens pode evoluir ao ponto de causar uma captura fluvial.
<b><u>Capturas Fluviais</u></b>	As capturas fluviais são processos em que um canal sofre uma mudança de direção que façam com que o seu fluxo seja direcionado para outro canal. Esse tipo de anomalia pode ocorrer por absorção, recuo de cabeceiras, transbordamento e eventos tectônicos.
<b><u>Desvio de Canais</u></b>	Quando os canais fluviais estão deslocados do eixo central da bacia. Podem estar associados à erosão diferencial, quanto a controles tectônicos. A evolução de um desvio de canal também pode gerar uma captura fluvial.
<b><u>Assimetria de Bacias</u></b>	Quando o canal fluvial de uma bacia hidrográfica está deslocado em relação ao seu eixo central classifica-se como uma bacia assimétrica. Difere-se do desvio de canal, pois este leva em consideração a bacia como um todo e não somente o canal.

Adaptado de Fornaciari (2009) e Vargas (2012) por Camolezi (2013).

Em casos específicos, na qual a discordância está na desconformidade assumida por um canal fluvial em relação à estrutura que deveria condicioná-lo, por exemplo, rios cortando transversalmente cristas em estruturas rochosas, resistentes à erosão, para formar desfiladeiros e gargantas de paredes escarpadas (PRESS et. al, 2006), aplica-se a teoria da epigenia fluvial (PENTEADO, 1980), que corresponde a uma inadaptação de uma rede hidrográfica a um controle geológico de âmbito regional, que ocorre sob duas

condições tais como, por antecedência, ou superimposição a estrutura geológica (PENTEADO, 1980; DAVIS, 1954; PRESS et. al, 2006).

Silva (2017) relata que a primeira condição, em que o rio é considerado antecedente, ocorre quando em um determinado ambiente atividades tectônicas provocam alterações significativas, enquanto que um rio já existente passa a entalhar esse relevo numa velocidade mais rápida que a ocorrência das transformações superficiais mantendo seu curso original, apesar das mudanças nas rochas e no relevo e fluindo sobre uma garganta que ele mesmo escavou (PRESS et. al, 2006).

A segunda condição de epigenia fluvial se dá pela superimposição da rede de drenagem (PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2004; SAADI; TORQUATO, 1992). Essa condição se configura quando o canal fluvial é mais jovem que as deformações tectônicas nas quais a área foi submetida, porém estas alterações ocorridas no interior da crosta são exumadas posteriormente ao estabelecimento natural do rio, dessa forma, Silva (2017) explica que o rio se desenvolve sobre camadas horizontais discordante com camadas que foram deformadas em caráter dúctil, removendo por consequência, as camadas expostas à erosão. Ao passo que a erosão evidencia as camadas dobradas, o rio continua também seu processo erosivo e escava uma garganta através de camadas resistentes de uma dobra anticlinal soterrada (PRESS et. al, 2006).

No Nordeste do Brasil é possível identificar a condição de superimposição, apresentando feições como cânions (Canyons) e boqueirões (Watergaps), que segundo Peulvast; Claudino-Sales (2004); Saadi; Torquato (1992), também dinamizam as paisagens semiáridas e sua rede de drenagem.

Os fatores morfológicos envolvidos no desenvolvimento de uma rede de drenagem são complexos e exigem que sejam considerados não apenas os elementos de modo isolado, mas também a interpolação dos mesmos. Assim, Deffontaines e Chorowicz (1991) agrupam os principais fatores, organizados no Quadro 6 que devem ser observados: Interna (estrutura e litologia), Externa (clima, vegetação e antropogênios) e Fatores Compostos (que são eles mesmos em uma combinação dos fatores precedentes (DEFFONTAINES, 1985, 1986, 1987, 1988)). Estes diferentes fatores estão sempre inter-relacionados no espaço e no tempo e atuam em diferentes escalas.

Quadro 6 - A evolução dos padrões de drenagem a partir dos fatores morfológicos que a afetam, de acordo com Deffontaines e Chorowicz (1991).

<b>FATORES INTERNOS</b>		
<b>LITOLOGIA</b>	Parâmetros Físicos	Presença ou não de cimento, porosidade, permeabilidade, resposta à erosão, competência e dureza.
	Parâmetros Químicos	Dissolução química da água subterrânea, (re)cristalização e diagênese
<b>ESTRUTURA</b>	Disposição das Camadas	Espessura das camadas, direção e mergulho da camada, alternância de litologias, discordância e compactação diferencial.
	Neotectônica	Movimentos horizontais e verticais, vulcanismo e plutonismo, geodinâmica, levantamento e abaixamento, subsidência, zona de deslocamento horizontal, dobra, falha, juntas ou fratura, e colocação de corpos magmáticos.
	Tectônica	Riftes, bacias, domos, áreas de vulcanoplutonismo, discordância, dobras (antiforme e sinforme), falhas e juntas.
<b>FATORES EXTERNOS</b>		
<b>CLIMA</b>	Precipitação (quantidade, tipo, estação, neve ou chuva), temperatura (variação, estação) e paleoclima (glacial e periglacial).	
<b>VEGETAÇÃO</b>	Tipo, presença ou ausência e formação florestal.	
<b>AÇÃO ANTRÓPICA</b>	Drenagem na, irrigação, canais, edifícios estradas, etc.	
<b>FATORES COMPOSTOS</b>		
<b>TOPOGRAFIA</b>	Pendente regional e local, curva de nível, paleotopografia e paleossuperfície.	
<b>VARIAÇÃO EUSTÁTICA</b>	Erosão, sedimentação e nível de base.	
<b>FATORES HIDROLÓGICOS</b>	Padrão dos canais, vazão, carga e confluência.	
<b>HERANÇA</b>	Padrão da paleodrenagem, outros tipos de talvegues (glacial, oceânico), evolução da drenagem (superimposta, antecedente, captura).	

Dessa forma, Deffontaines e Chorowicz (1991) afirmam, resumidamente, que os fatores internos derivam do comportamento da rocha controlados pela sua litologia e estrutura, sendo que a litologia influencia nas propriedades físicas e químicas das rochas, enquanto que os aspectos estruturais se manifestam da seguinte forma.

(1) Influência direta através da geometria original da unidade de rocha, incluindo a espessura da camada, alternância litológica e compactação diferencial, bem como através de deformação que produz falhas, dobras e inconformidades.

(2) Deformação recente, ou neotectônica. Podem ter influência a nível regional ou local. Movimentos de placas laterais e/ou verticais afetam toda a litosfera e modificar a superfície topográfica. Isto tem um efeito considerável na drenagem (DEFFONTAINES e CHOROWICZ, 1991).

Para os fatores externos, Deffontaines e Chorowicz (1991) associam a influência do clima, da vegetação e das alterações humanas. Os fatores climáticos, tais como precipitação e temperatura, são os principais elementos no ciclo da erosão. Destaca-se a importância dos estudos paleoclimáticos que apontam a atuação do clima pretérito na meteorização das rochas. A influência da vegetação está estreitamente relacionada ao clima, porém sua atuação é melhor percebida em escala local, com exceção das grandes florestas. Por sua vez, a ação humana pode ser igualmente importante e responsável por modificar a rede local e até mesmo uma região inteira (NIR, 1983).

Segundo Deffontaines e Chorowicz (1991) a combinação dos efeitos dos fatores internos e externos resulta nos fatores compostos. A configuração topográfica de determinado relevo é decorrente de diversos fatores, que por sua vez, passam a atuar como aspecto condicionante do comportamento de elementos diretamente associados, como o declive regional (Deffontaines, 1985, 1986, 1987, 1988), que nas suas diferentes manifestações, é um elemento crucial na orientação dos cursos d'água (direção do fluxo). Outras características resultantes dos fatores compostos são as rupturas de declividade em perfis longos, as mudanças eustáticas que causam variações no nível de base geral, mudanças na morfologia, características hidráulicas de um curso de água que podem modificar o padrão de canal, entre outras.

### **2.3 O Contexto Geológico-Geomorfológico**

A bacia do Alto Acaraú localiza-se na Província Borborema, no Domínio Ceará, no Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Na área, as altitudes variam em torno da média de 400 metros na unidade da Depressão Sertaneja, aumentando

suas amplitudes em direção aos maciços cristalinos, dentre eles o da Serra das Matas, no qual seu topo atinge cotas superiores a 1000 metros. Analisando sua estrutura geomorfológica podemos identificar diversas falhas e fraturas no sentido E-W e outros lineamentos no sentido NW-SE e NE-SW.

O elemento estrutural mais expressivo na área em estudo é o alinhamento retilinizado com orientação geral NNW-SSE, denominado como Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral de Tauá (ZCT). Braga et al. (2009) destaca que esta estrutura nitidamente delimita tectonicamente o Granitóide Nova Russas com as rochas do Complexo Ceará - Unidade Canindé, além de afetar, com menos intensidade, as rochas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

De acordo com os dados mapeados, na escala 1:500.000, pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM (2003) e publicado no Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará, as litologias do complexo migmatítico-granítico expõem evidências de eventos ligados ao tectonismo plástico e ruptural de litoestratigrafias do Pré-Cambriano Superior (Complexo Nordeste), do Quaternário (Sedimentos Aluviais/Coluviais), porém o material do Pré-Cambriano Inferior a Médio (Complexo Tamboril-Santa Quitéria) é o mais expressivo pela extensão mais abrangente.

Além do maciço cristalino da Serra das Matas, onde se encontram as nascentes do rio Acaraú, a área em estudo também está inserida na unidade da Depressão Sertaneja, esta, com altitude média de 400m, constitui na área de aplainamento resultante do trabalho erosivo em que, indistintamente, diferentes litologias, põem em destaque as rochas mais resistentes (FALCÃO SOBRINHO; ROSS, 2009).

Estruturas deformacionais dúcteis e rúpteis marcam as morfologias do relevo do Nordeste brasileiro, uma vez que sob zonas de falhas do embasamento cristalino, de idade pré-cambriana, desenvolveram-se um conjunto de estruturas, como extensas zonas de cisalhamento de direção predominantemente NE-SW e E-W. Essas zonas de cisalhamento foram reativadas de forma rúptil no cretáceo originando *trends* de falhamentos também de direção NE-SW e E-W. (CASTRO et al., 2008, 2012).

O controle estrutural das zonas de cisalhamento sobre morfologias, como maciços estruturais, cristas lineares e vales incisivos que compõem altos e baixos topográficos são orientados segundo a direção dos seus *trends* estruturais.

Classicamente, Ab' Sáber e Bigarella (1961), Bigarella (1994, 2003), Andrade e Lins (1965), Mabessone e Castro (1975) interpretaram essa morfologia como resultante de sucessivos ciclos de aplainamentos induzidos por rebaixamentos do nível de base, e estes, por sua vez, derivados de processos epirogênicos pós-cretáceos (MAIA et al., 2010).

A evolução geomorfológica do Nordeste brasileiro baseou-se na adaptação do modelo de King (1956). Nessa linha, os trabalhos de Ab' Sáber e Bigarella (1961), Bigarella (1994, 2003), Andrade e Lins (1965), Mabesoone e Castro (1975), entre outros, guiaram-se na ocorrência de epirogenias pós-cretáceas acompanhadas por fases de dissecação e pediplanação ocorridas em climas secos. Estes autores reconheceram a existência de várias superfícies escalonadas resultantes de fases de aplainamento decorrentes de processos erosivos, dados a partir do soerguimento de um núcleo continental. Nesses trabalhos, de acordo com Maia e Bezerra (2014), as sequências sedimentares do Mesozóico e do Cenozoico são apresentadas como sendo resultado de erosão decorrente do soerguimento e, conseqüentemente, rebaixamento do nível de base regional.

### **2.3.1 A Província Borborema**

A Província Borborema, que Almeida et al. (1977) a denomina por domínio geológico-estrutural localizado no Nordeste Oriental do Brasil, situa-se na região nordeste da plataforma Sul-Americana (Nordeste do Brasil), assim definida por Almeida et al. (1981), que também a delimita ao sul pelo Cráton do São Francisco, a oeste, pela Bacia do Parnaíba, e por bacias sedimentares da margem costeira ao norte e a leste. O embasamento Pré-Cambriano aponta, aproximadamente, a época de sua origem, que para Mabessone (2002), talvez tenha sido no Arqueano, mas com certeza no Paleoproterozóico.

Almeida et al. (1977); Almeida et al. (1981); Santos et al. (2010) destacam que os processos deformacionais dúcteis, metamórficos e magmáticos, características essas refletidas na configuração dos terrenos cristalinos, segundo Brito Neves (1975); Caby et al. (1990) e que deram origem a esse complexo sistema orogênico, ocorreram durante o ciclo Brasileiro/Pan-Africano.



A idade de origem da província pode ser constatada através da composição dos terrenos arqueanos e proterozóicos que agrupam litologias metamórficas e ígneas, apresentando sobre esse substrato, a ocorrência de diversas bacias sedimentares paleozoicas e mesozoicas (MAIA; BEZERRA, 2014). Outra característica predominante da província está nas diferentes litologias separadas por falhas e lineamentos, apresentando para estas estruturas, direção predominantemente NE-SW e E-W (BRITO NEVES et al., 2000; VAUCHES et al., 1995).

A Província Borborema é subdividida em cinco domínios tectônicos que são separados por zonas de cisalhamentos ou lineamentos (JARDIM DE SÁ et al., 1992; CAMPELO, 1999; SANTOS E MEDEIROS, 1999; OLIVEIRA, 2012). Essa subdivisão tectono-estratigráfica (CPRM, 2000) se dá devido à diversidade dos blocos crustais, que, segundo Almeida (2014), apresentam contrastes em suas propriedades geológicas e geofísicas, baseadas, de acordo com Brito Neves et al. (1995, 2000), em evidências geocronológicas apoiadas em assinaturas crustais de Nd e diferenças de idades U-Pb em zircão.

Os primeiros ensaios sobre a compartimentação da Província Borborema se encontram nos trabalhos de Brito Neves (1975; 1978); Santos & Brito Neves (1984) e Santos et al. (1984), onde:

Foram individualizadas extensas faixas de dobramentos marginais (Sergipana e Médio Coreaú), interiores (Riacho do Pontal, Piancó-Alto Brígida, Seridó, Pajeú-Paraíba, Jaguaribeano, Rio Curu-Independência), desenvolvidas durante o Ciclo Brasileiro. Estas faixas se alternam com expressivos “maciços” gnáissico-migmatítico-graníticos, de idades radiométricas (Rb/Sr) paleoproterozóicas a arqueanas, exibindo retrabalhamento no Neoproterozóico (Pernambuco-Alagoas, Caldas Brandão, Rio Piranhas, Tauá, Santa Quitéria e Marginal do Cráton São Francisco) (CPRM, 2000).

Oliveira (2012) define, então, a seguinte delimitação para os domínios: entre o Domínio Sul (ou Extremo) e o Central (ou Zona Transversal) está o Lineamento Pernambuco, separando-os. O limite entre o Domínio Rio Grande do Norte e o Domínio Central (ou Zona Transversal) é determinado pelo Lineamento Patos. O Lineamento Transbrasileiro (Lineamento Sobral-Pedro II)

é o marco divisor entre o Domínio do Ceará Central e o Domínio Médio Coreaú. Por fim, o Domínio Ceará Central está separado do Domínio Rio Grande do Norte pelo Lineamento Jaguaribe-Tatajuba.

A história geológica da Província Borborema registra dois importantes eventos tectônicos de significativa influência na sua estruturação. O primeiro ocorreu durante a formação do megacontinente Pannotia (600 e 540 Ma) (DALZIEL, 1997), sucessor do Rodínia e predecessor do Pangeia (Laurásia, Gondwana e Báltica) (DALZIEL, 1991), na qual a convergência dos continentes brasileiro/pan-africano deu origem, na América do Sul, à Orogênese Brasileira Neoproterozoica (BRITO NEVES, 1999), o mais importante evento tectônico da evolução geológica do Brasil (CABY et al., 1995) e último evento importante de deformação dúctil, tendo sido precedido, em cada domínio, por eventos mais antigos, principalmente de idade Meso ou Paleoproterozoica (JARDIM DE SÁ, 2000).

Essa orogênese foi responsável pela formação de uma cadeia de montanhas do tipo himalaiana entre Brasil e África, denominada de “Cadeia Brasileira” (CABY et al., 1995) que existiu há cerca de 500 e 400 milhões de anos. Sua principal marca era um importante plutonismo granitóide, metamorfismo de média a altas temperaturas e extensas zonas de cisalhamento transcorrentes, com dobramentos lateralmente associados. Ao final desse evento, estruturas frágeis superpostas registram a exumação tectônica do terreno (JARDIM DE SÁ, 2000).

O segundo evento importante refere-se à fragmentação do continente Gondwana (Jurássico superior a Cretáceo inferior), na qual a dinâmica divergente das placas, parte do processo de rifteamento e deriva continental que separou a América do Sul da África, controlou a abertura do Oceano Atlântico e provocou as reativações tectônicas cenozoicas. Os esforços que produziram o afastamento dos continentes agiram através da ascensão do magma em direção à superfície, a qual consumiu gradativamente a crosta continental, dando origem aos riftes (ALMEIDA, 1977; MATOS, 1992; BRITO NEVES et al., 2000).

No Nordeste do Brasil, esse processo foi responsável pelas reativações de antigas zonas cisalhamento pré-cambrianas dúcteis e rúpteis (SILVA, 2017). Essa deformação extensional caracteriza-se por três principais eixos de rifteamento: (1) o *trend* de Gabão-Sergipe Alagoas (GSA), (2) o *trend*

Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) e (3) o *trend* Cariri-Potiguar (CP) (MATOS, 1992). O cessar do rompimento nos eixos fissurais anteriormente citados, resultou no surgimento de uma série de bacias sedimentares interiores, como a do Recôncavo, Tucano, Jatobá, Araripe, Rio do Peixe, Iguatu e bacias costeiras da margem Atlântica (Ceará, Potiguar, Pernambuco, Paraíba e Sergipe-Alagoas) (MATOS, 1992).

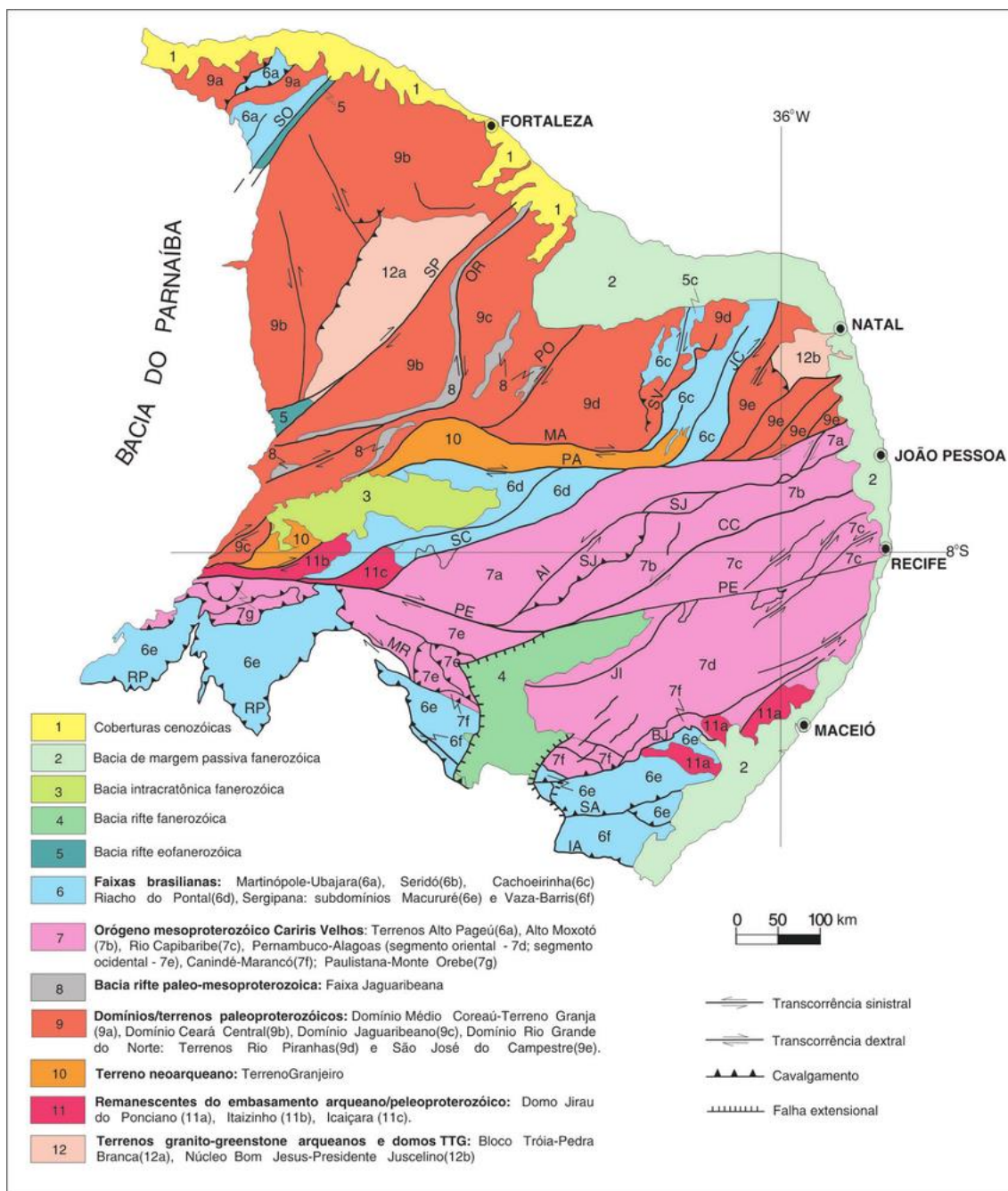
Para Maia e Bezerra (2014), um terceiro evento tectônico deve ser considerado, são as reativações tectônicas cenozoicas (BEZERRA; VITA FINZI, 2000) que condicionam a evolução geomorfológica através das alterações dos níveis de base, induzindo a dissecação e agradação (MAIA et al., 2010). A sequência desses três eventos tectônicos é a principal responsável pelas linhas mestras do relevo que condicionam a evolução geomorfológica atual, marcada pelo controle exercido sobre os processos denudacionais cenozoicos, principalmente nas áreas de deformações tectônicas como nas zonas de cisalhamento.

Guerra (1989) define cisalhamento como fraturação das rochas na qual aparecem abruptos, produzidas pelos esforços tectônicos e Trindade et al., (2008) completam afirmando que as zonas de cisalhamento são condutos por onde pode circular um grande volume de fluidos, constituindo assim, áreas que foram afetadas por deformação dúctil (PASSCHIER et al., 1993).

Devido a heterogeneidade das configurações litológicas nessas zonas, considerando a disposição em faixas paralelas direcionadas segundo os planos de deformação e os sistemas de falhas e fraturas, os processos erosivos são condicionados, passando a expressar no relevo as direções da foliação metamórfica e dos *trends* estruturais (MAIA; BEZERRA, 2014).

A Província Borborema com seu arcabouço tectônico (Santos, 1996) e os vários modelos de compartimentação por (Jardim de Sá, 1994; Van Schmus et al., 1995a; Brito Neves et al., 2000; Santos et al., 2000) são apresentadas a seguir (Figura 2).

Figura 2 - Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Zonas de Cisalhamento: Sobral–Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós–Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Piauí–João Câmara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo–Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá–Itaíba (JI), Macururé–Riacho Seco (MR), Belo Monte–Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); Nappes da Faixa Riacho do Pontal (RP)



Fonte: Delgado et al. (2003).

### 2.3.2 O Domínio Ceará Central

A unidade geotectônica denominada Domínio Ceará Central (DCC) compreende a maior parte do estado do Ceará, estando limitada, segundo Delgado et al. (2003) e Mengal (2016), a noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral–Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), que o separa do Domínio Médio Coreau; ao norte pela Província Costeira; a oeste, pela Província Sedimentar do Parnaíba; a leste e ao sul faz fronteira com a Faixa Orós–Jaguaribe por meio da Zona de Cisalhamento Orós Oeste-Aiuaba e Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.

Delgado et al. (2003) divide o Domínio Ceará Central em Bloco Tróia–Pedra Branca e Faixa Ceará Central, enquanto Fetter et al. (2000) divide em quatro unidades litoestruturais principais, são eles o Núcleo Arqueano, o embasamento gnaissico juvenil Paleoproterozoico, a cobertura supracrustal vulcanossedimentar Neoproterozóica e o complexo plutônico Tamboril-Santa Quitéria. Como a área em estudo encontra-se, por completo, inserida na unidade litoestrutural do complexo plutônico Tamboril-Santa Quitéria, este terá mais destaque, sendo as unidades brevemente apresentadas.

O Núcleo Arqueano é representado pelo Complexo Cruzeta, que compreende o Bloco Tróia–Pedra Branca, também denominado Maciço Tróia–Tauá (BRITO NEVES, 1975), os quais estão representados os terrenos arqueanos granito-*greenstone* e granito-gnáissico, envolvidos na colagem orogênica paleoproterozóica (DELGADO et al., 2003). É constituído por três unidades litoestratigráficas que são: Unidade Tróia, com idade U-Pb de 2,77 Ga; Unidade Pedra Branca, com idade U-Pb entre 2,77 e 2,85 Ga; e Unidade Mombaça, de idade U-Pb entre 2,13 e 2,23 Ga.

A Unidade Tróia, segundo Fetter (1999), trata-se de um terreno juvenil desenvolvido em um domínio oceânico isolado, posteriormente aglutinado aos outros constituintes do bloco. A Unidade Pedra Branca é distinguida da Unidade Tróia com base na predominância de litótipos e resultados U-Pb e Sm-Nd. Constitui-se basicamente de ortognaisses TTG (tonalito-trondhjemitogranodiorito) primitivos, característicos de crosta juvenil gerada em ambiente de arco magmático (FETTER, 1999). A Unidade Mombaça é distinguida da Unidade Pedra Branca por envolver acreção crustal juvenil e retrabalhamento de

material crustal prévio (MARTINS, 2000). O complexo aflora na porção sudeste do DCC, limitado pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (MENGAL, 2016) e formado por ortognaisse granodiorítico a granítico, gnaisses diversos, migmatito e restos de rochas paraderivadas em alto grau metamórfico (DELGADO et al., 2003).

A maior extensão da área do DCC compreende à Faixa Ceará Central, segundo Delgado et al. (2003) é ocupada por complexos de rochas metassedimentares proterozóicas e compreendem os complexos Ceará (Unidades Canindé, Independência, Quixeramobim e Arneiroz) e Acopiara, Grupo Novo Oriente e Unidade Choró. No trabalho desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em 2003, detalhou-se que as unidades litoestratigráficas da Faixa Ceará Central, excetuando-se a Unidade Canindé, são associações de rochas do tipo QPC (quartzitos-pelitos-carbonatos), portanto:

Típicas de ambiente plataformal de margem passiva, constituídas por metaconglomerado, quartzito, xisto, paragnaisse aluminoso, mármore e, subordinadamente, por anfibolito e ortognaisse granítico. Apresentam metamorfismo da fácies anfibolito alto, zona da sillimanita, e atingem, localmente, o estágio de fusão parcial e migmatização, principalmente na Unidade Canindé (DELGADO et al, 2003).

Correspondendo à unidade mais inferior do Complexo Ceará, com base, segundo Fetter (1999), na idade U-Pb entre 2,15–2,10 Ga, os ortognaises granítico-granodioríticos e migmatitos dessa unidade foram formados e metamorfizados no Paleoproterozóico.

A unidade litoestrutural do Embasamento Gnáissico Paleoproterozoico Juvenil está inserida na Faixa Ceará Central e é constituída por ortognaises e migmatitos, com assinatura geoquímica de suítes TTG, e por vezes, paragnaises e rochas metamáficas metamorfizadas em fácies anfibolito (Ancelmi et al., 2013). Martins (2000) definiu o agrupamento dessas rochas como parte componente da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, e partindo de dados geocronológicos em U-Pb e Sm-Nd, Fetter (1999) e Fetter et al. (2003) sugeriram para a região um regime de sucessivas colagens de arcos de ilha em torno do núcleo Arqueano. O modelo proposto por Martins et al. (2009) sugere que na

região ocorreu um regime de sucessivas colagens de arcos de ilhas em torno do núcleo Arqueano, apresentando assim, similaridades com platôs oceânicos e basaltos gerados em ambientes de *back-arc*.

A unidade litoestratigráfica definida por Fetter et al. (2000) das Coberturas Supracrustais Neoproterozoicas ocorre, principalmente, bordejando o Arco Magmático de Santa Quitéria (AMSQ) e, segundo Cavalcante et al. (2003), Fetter et al. (2003), e Arthaud (2008) é caracterizada pela ocorrência de rochas predominantemente metapelíticas e metapsamíticas, representadas por cianita-muscovita-biotita gnaiss, sillimanita granada gnaiss, quartzitos, anfibolitos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e metariolitos.

A análise de metapelitos e idades de cristalização U-Pb em zircão obtidas em anfibolitos intercaladas no Complexo Ceará, de acordo com Arthaud et al. (2008), sugerem que a sedimentação dessa unidade teve início a cerca de 750 Ma a partir do rifteamento do embasamento Arqueano/Paleoproterozoico. A partir de então, propõe-se que os sedimentos que deram origem às rochas metassedimentares do Complexo Ceará foram depositados em uma bacia do tipo retro-arco relacionada ao AMSQ (ARTHAUD et al., 2008 *apud* MENGAL, 2016, p. 20).

### **2.3.3 O Complexo Plutônico Tamboril-Santa Quitéria**

O Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ) ou Arco Magmático de Santa Quitéria (AMSQ) (FETTER et al., 2003) é uma das maiores manifestações plutônicas do Neoproterozóico na porção norte da Província Borborema (COSTA et al., 2010). Caracteriza-se como um conjunto anatóxico-ígneo formado principalmente por diatexitos e metatexitos (ARTHAUD, 2007) no qual uma sequência de rochas, em grande parte supracrustais, sofreu uma intensa fusão, preservando-se, de acordo com CPRM (2007), apenas mega-enclaves de rochas calcissilicáticas e anfibolitos (prováveis metabasaltos). Para Arthaud (2007), esses migmatitos foram intrudidos por grande volume de magmas tonalíticos a graníticos, apresentando granulação variável, geometrias e dimensões diversas.

A CPRM (2007), ao mapear o DCC, revelou que a continuidade do magmatismo Tamboril-Santa Quitéria para SW se estende por cerca de 300 km em seu *trend* NE-SW. Questionamentos relacionados às características deste plutonismo, como a distribuição linear, o paralelismo com o Lineamento Transbrasiliano e a proximidade (tempo-espaço) com rochas metamórficas de alta pressão (CPRM, 2007), têm gerado discussões acerca de sua evolução tectônica e o interesse pela área entre alguns pesquisadores.

Os testes utilizando o método de datação U-Pb em zircão revelaram que a idade dos granitóides do CTSQ varia entre 660 e 614 Ma (FETTER et al., 2003; BRITO NEVES et al., 2003) e apresentando, segundo Fetter et al. (2003), valores de  $\epsilon_{Nd}$  (600) levemente negativos a positivos, variando entre -3 e +3, concluindo que as suas idades modelo  $T_{DM}$  são geralmente meso- a neoproterozóicas. Através dos dados e aspectos petrográficos obtidos nos testes supracitados, Fetter et al. (2003) sugerem um ambiente de arco magmático continental para a formação dessa unidade, embasando a interpretação mais aceita, atualmente, para esta atividade plutônica.

A caracterização de retroeclogitos e granada anfíbolitos na borda leste do Arco Magmático Santa Quitéria (AMSQ), nos arredores de Itataia e Pentecostes, respectivamente (CASTRO, 2004; GARCIA e ARTHAUD, 2004; AMARAL e SANTOS, 2008) serviu de base para novas interpretações quanto à polaridade da zona de subducção que teria dado origem ao AMSQ, como a discussão de Castro (2004) que sugeriu o sentido NNW para o fechamento oceânico, Padilha et al. (2014) que apresentam indicativos de subducção de dupla convergência, considerando a concordância com os dados em ambos os lados do arco e, divergentemente, Fetter et al. (2003), que tendo por base a posição atual do AMSQ e nas anomalias gravimétricas positivas no extremo NW da Província Borborema (LESQUER et al., 1984, TROMPETTE 1994; EL-HADJ et al., 1997), propuseram o sentido SE para o processo de subducção.

Santos et al. (2009) corroboram com polaridade para SE devido à descoberta de uma faixa N-S de rochas metamórficas de alto grau ( $P \sim 17.4$  kbar e  $T \sim 750$  °C) na borda oeste do AMSQ, o que não invalida a existência de mais de uma zona de sutura neste domínio, com idades distintas.

Outra hipótese, trabalhada por Costa et al. (2010) e Araújo et al. (2010) é que o magmatismo pré-colisional seja mais antigo, em torno de 795 a 650 Ma



registrado por alguns plutons do CTSQ, e também por metavulcânicas e zircões detriticos encontrados em metasedimentos neoproterozóicos do Domínio Ceará Central (COSTA et al., 2010), além de testes de idade U-Pb em zircão em gnaisses granodioríticos na borda leste do complexo, sugerem que possam representar a fase cordilherana (pré-colisional) e arcos intraoceânicos associados à orogênese Pan-Africana/Brasiliana (ARAÚJO et al., 2010).

O ambiente sugerido por Costa et al. (2010) para a ocorrência do o grande pulso do magmatismo do CTSQ (640-620 Ma) era sin-colisional, relacionado ao processo de ruptura da placa, ou segundo Davies e von Blanckenburg (1995) *Slab Breakoff*, definido como sendo o destino natural da parte oceânica de uma margem continental passiva que entra em subducção sob uma placa continental.

Zincone (2011) considera que o AMSQ é composto por várias fases magmáticas. A primeira, de idade entre 658 – 606 Ma, é denominada de Fase Magmática Santa Quitéria (FMSQ), sendo pré- a sin- empurrão. A segunda, Fase Magmática Tamboril (FMT), é tardi-empurrão a sin-transcorrência e compreende: a) uma unidade epizonal de granitos equigranulares rosa, ferroso, cálcio-alcalina de alto-K e shoshonítico e, b) outra de migmatitos de injeção. As demais seriam as fases magmáticas Quixeramobim (FMQ), Seridó (FMS) e Bimodal Final (FMBF) que transgridem os limites do arco (PARENTE et al., 2015).

Ganade de Araújo et al. (2014) consideram que a evolução do AMSQ se deu em diferentes períodos, sendo o primeiro entre 880 e 800 Ma, no qual foi formado um arco juvenil; posteriormente, entre 660 e 630 Ma, a formação de um arco magmático maturo, na qual componentes crustais e mantélicos compõem um magmatismo híbrido; e entre 625 e 618 Ma, em regime colisional himalaiano, teria se formado a anatexia crustal que continuou até 600 Ma.

Para Parente et al. (2015), por mais que o AMSQ apresente volumosos magmas de origem crustal, há importantes participações de magmas de origem mantélica. Isso é observado tanto nos granitoides híbridos de Costa et al. (2013) quanto nos granitoides da unidade Caiçaras e Boi de Ganade de Araújo et al. (2014), característicos de granitos de arco magmáticos.

As unidades litoestratigráficas identificadas na sub-bacia do Alto Acaraú apresentam idades variando entre o período Riciano da era Paleoproterozóica até o período Neoproterozóico III na era Neoproterozóica.

Quadro 7 - Litologias da sub-bacia do Alto Acaraú por unidade litoestratigráfica.

<b>Unidade Litoestratigráfica</b>	<b>Litologia</b>	<b>Definição</b>
Complexo Tamboril-Santa Quitéria	NP(PP)ts	Períodos Criogeniano e Neoproterozóico III, 650 Ma. Associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfiríticos, gnaissificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas (relacionadas, no geral, ao Complexo Ceará e sendo, as primeiras, frequentes como enclaves dos granitóides);
	tsy	granitóides dominantes (corpos menores fotointerpretados);
	tsy0	ortognaisse facoidal milonítico.
Complexo Ceará - Unidade Canindé	PPcc	Período Riciano, > 2050 Ma. Paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos (p.ex: em cogn) e rochas metabásicas
	c1	$\beta$ metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), entre outros
	caf	anfíbólio gnaisses e/ou anfibolitos
	PP(NP)cc	tratos onde são comuns os jazimentos estratóides e diqueformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte, facoidais.
Granitóide Nova Russas	NP $\gamma$ 0	Período Criogeniano, > 650 Ma. Augenortognaisses graníticos; Ortognaisses facoidais, cinzentos e nacarados, de composição granítica dominante.

## 2.4 O Uso das Geotecnologias

O uso de tecnologias voltadas para análise espacial proporciona a confecção de materiais que podem trazer significativas contribuições para a academia e à ciência em geral, partindo de mapas básicos a produtos mais complexos, a aplicação da geotecnologia se tornou imprescindível. Segundo

Carvalho (2007) as metodologias empregadas em análises espaciais tiveram considerável revolução desde 1970, com o advento das novas geotecnologias proporcionando uma maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na obtenção de bases de dados para fins de tomada de decisões geoespaciais.

Os resultados obtidos com as pesquisas alimentam cadeias automatizadas de informações que partem de uma base de dados geográficos para realizar diferentes análises e obter resultados significativos do ponto de vista territorial, assim, define Usbeck et al. (1987), o sistema de informações geográficas (SIG), que por sua vez é resultado da integração entre o usuário, os procedimentos, os dados, o *hardware* e o *software*. Os bancos de dados são fundamentais para os SIGs, pois neles, dados espaciais e informações alfanuméricas são armazenados em tabelas, cujo manuseio, alterações em massa e a transferência do material se torna mais fácil, além de evitar problemas de conflitos de informações entre usuários do mesmo sistema.

Os estudos para compreensão do relevo não se limitam à coleta de dados que descrevam o ambiente em períodos pretéritos, Kugler (1976, *apud* CASSETI, 2001) ressalta a importância do mapeamento geomorfológico como sendo um produto científico de grande valor para esta interpretação. Atualmente, os estudos geomorfológicos estão amparados por um cenário geotecnológico, destacam Santos et al. (2014), referindo-se aos produtos orbitais, tais como imagens de radar, imagens de satélites, aerofotografias e *softwares* de geoprocessamento que se apresentam como subsídios para o mapeamento geomorfológico.

Durante o desenvolvimento da seguinte pesquisa, o uso das geotecnologias se apresentou como ferramenta de significativa importância para obtenção dos resultados. Algumas das aplicações foram feitas em imagens SRTM, cujo uso tem se tornando mais frequente em estudos que trabalham com o relevo da Terra. Delimitando aos estudos sobre a geomorfologia do Nordeste do Brasil, temos como exemplos os trabalhos de Andrade-Filho (2014) em publicações com que destacam a área da Província Borborema (OLIVEIRA; MADEIROS, 2012); na faixa costeira do Rio Grande do Norte e da Paraíba (BEZERRA et al., 2014); na Bacia Paraíba (ANDRADE-FILHO; ROSSETI, 2012a, b; BARBOSA; FURRIER, 2012 e FURRIER et al., 2006); na Bacia Potiguar (MAIA, 2012) e em sistemas fluviais (MAIA; BEZERRA, 2011, 2012).

Löbler et al. (2013) relatam que o desenvolvimento da missão, cujos principais produtos são conhecidos como imagens SRTM, tinha como o objetivo a obtenção de informações altimétricas da superfície terrestre e para descrevê-la tendo sua aplicação principal no campo da hidrologia, geologia, geomorfologia e muitas outras que possuam enfoque no meio ambiente. A utilização dessa ferramenta garante a geração de produtos consideravelmente fidedignos à realidade quando comparado a outras bases cartográficas, como apresentados em estudos recentes de Löbler et al. (2013), por exemplo.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) advém da cooperação entre instituições de mapeamento e defesa de três países: NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) e o USDD (*United States Department of Defense*) dos Estados Unidos, a DRL (*Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt*) da Alemanha e a ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*) da Itália (VALERIANO, 2004; COSTA, 2008), além da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), e se concretizou com o sobrevoo da nave espacial *Endeavour* de aproximadamente 80% da superfície terrestre (região contida entre as latitudes 56°S e 60°N) no período, segundo Debiasi (2008), de 11 dias do mês de fevereiro de 2000.

Grohmann et al. (2008) e Valeriano (2004) relatam que a resolução espacial obtida na missão foi de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m no equador), porém este nível de detalhe está disponível apenas para a área dos Estados Unidos, enquanto que para os demais países, houve uma reamostragem dos dados para 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m) de resolução espacial. Quanto a precisão global do produto final, Rabus et al. (2003) apontam cerca de 16 metros para os valores na vertical e de 20 metros na horizontal, enquanto que para a América do Sul, Rodriguez et al. (2006) afirmam possuir cerca de 6,2 metros de precisão vertical e de 9,0 metros na horizontal. Considerando o uso global do produto, o seu georreferenciamento se deu utilizando o *datum* geocêntrico WGS84 (*World Geodetic System*) e o sistema de coordenadas geográficas.

Outros tipos de imagens foram utilizados ao longo do desenvolvimento da seguinte pesquisa, como as imagens RapidEye, de resolução espacial de 5 metros, utilizada para realizar ajustes de informações como a correção da base vetorial e a comparação com as imagens Landsat 8, de alguns aspectos.

O RapidEye é um sistema alemão de geração de imagens multiespectrais coloridas que opera com uma constelação de 5 satélites lançados em agosto de 2008, conjuntamente, capazes de cobrir cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup> diariamente. A constelação de satélites está disposta em uma órbita circular, heliosíncrone, descendente, com 97.8° de inclinação e altitude de 630 km. Sua resolução espacial é de 6,5 metros (nível 1B) quando apenas imageado e de 5 metros quando reamostrado e ortoretificado (nível 3A). Quanto à sua resolução radiométrica, o valor original do produto é de 12 bits por pixel, porém Costa et al. (2016) afirmam que é possível aproveitar melhor a capacidade radiométrica do sensor quando reprocessada a refletância da superfície obtendo valores de 0 a 1 multiplicada por 10.000, gerando assim, o armazenamento de imagens com 16 bits. Costa et al. (2016) também relatam que embora o Landsat 8 apresente resolução radiométrica e espectral melhoradas, o RapidEye proporciona as melhores resoluções espacial e temporal. No aspecto espacial, a avaliação da ortorretificação da imagem se enquadra na classe C da escala de 1:20.000 do Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC para áreas de relevo irregular.

O Programa Landsat foi iniciado em 1967 sob a denominação de ERST (*Earth Resources Technology Satellite*). Teve o primeiro satélite lançado em 1972 e passou a ser chamado Landsat em janeiro de 1975, antes do segundo lançamento. Constitui-se em uma série de satélites desenvolvidos e lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pela USGS (*United States Geological Survey*), resultou, segundo Jensen (2009), no lançamento de sete satélites com uma diversidade de sistemas de sensoriamento remoto a fim de adquirir informações dos recursos terrestres.

Fernandes (2012) relata que os três primeiros satélites fazem parte da primeira geração, tendo como principais sensores o MSS (*Multispectral Scanner System*) e o RBV (*Return Beam Vidicon*), sendo que a técnica do primeiro instrumento era superior, do ponto de vista espectral e radiométrico, à do RBV e, por isso, foi muito pouco utilizado. A segunda geração da série Landsat traz como novidade outro sensor, o TM (*Thematic Mapper*), mantendo o MSS com algumas modificações (MOREIRA, 2011; NOVO, 2010), porém o mesmo foi desligado em agosto de 1995 por razões técnicas.

Disponível desde fevereiro de 2013, o Landsat 8 apresenta resolução espacial de 15 metros na banda PAN (Pancromática), de 30 metros nas bandas

MS (Multiespectrais) e de 100 metros nas bandas Termiais. Possui órbita circular, heliosíncrone, descendente, com 98,2° de inclinação e altitude de 705 km. A resolução radiométrica é de 16 bits por píxel, podendo ser reamostrado a 8 bits, a largura de faixa imageada é de 185 km e ao total são capturadas imagens através de 11 bandas espectrais, sendo 8 multiespectrais, 1 pancromática e 2 termiais.

A representação matricial da superfície terrestre, a qual se encaixam as imagens de satélite, por mais detalhada que sejam, em determinado nível de zoom, pode sofrer distorções e prejudicar na compreensão de alguma feição menor ao tamanho da área do píxel da imagem em análise. Um exemplo aplicado de tal afirmação está na impossibilidade da análise de casas populares de uma rua utilizando uma imagem Landsat 8, pois este satélite captura em um píxel a área 30 metros por 30 metros (30x30), sendo recomendado para tal análise um imageamento onde o tamanho do píxel seja centimétrico.

Para que a representação cartográfica seja mais fidedigna e não sofra distúrbios durante o manuseio, utiliza-se a técnica da vetorização, que transforma linhas e contornos de uma fonte matricial, ou seja, a imagem em qualquer formato, em representações numéricas para ser lida em computador. As formas básicas da matriz vetorial são o ponto, a linha e o polígono, que podem ser decifrados por diferentes *softwares* ou de forma restrita. No geoprocessamento, o formato mais comum é o *shapefile* (.shp), porém outras extensões vetoriais também populares são o *Keyhole Markup Language* (.kml), *GPS eXchange Format* (.gpx) e o *GeoPackage* (.gpkg). O desenvolvimento da seguinte pesquisa coletou, editou, corrigiu e gerou informações espaciais representadas de forma vetorial utilizando-se do formato *shapefile* (.shp).

O formato *shapefile* foi desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute, Inc.* (ESRI), porém com especificação aberta para a interoperabilidade de dados entre a desenvolvedora e outros produtos de softwares diversos que também trabalham com geoprocessamento. É definido pela ESRI (1998) como sendo um arquivo vetorial que armazena geometrias não-topológicas e informações de atributos para os recursos espaciais em um conjunto de dados georreferenciados.

Os *shapefiles* têm vantagens sobre outras fontes de dados, como por exemplo a velocidade de desenho ser mais rápida e a habilidade de edição, uma

vez que seu processamento não sofre com a sobrecarga de uma estrutura de dados topológica, além disso requerem menos espaço em disco e são mais fáceis de ler e gravar (ESRI,1998).

A representação vetorial no formato *shapefile* gera, no mínimo, 3 arquivos, sendo eles: um arquivo principal (.shp), um arquivo de índice (.shx) e uma tabela do dBASE (.dbf). O acesso ao arquivo principal é direto, com comprimento de registro variável, no qual cada um descreve uma forma com uma lista de seus vértices. O arquivo de índice permite ao usuário manipular e identificar a escala, rotação e localização do arquivo principal sem alterar o registro inicial. A tabela do dBASE contém os atributos dos registros, onde a correlação um-para-um entre geometria e atributos é baseado no número de identificação do mesmo.

No desenvolvimento da seguinte pesquisa, durante a fase de elaboração dos produtos cartográficos, foram realizados o processamento das imagens e o manuseio dos arquivos vetoriais utilizando o *software* QGIS versão 2.18 LTR (*Long Term Repositories*), apropriado para aplicações em geoprocessamento, pois suportam inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados, além de apresentar funcionalidades eficientes e práticas. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código-Fonte Aberto (*Free and Open Source Software - FOSS*) licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, sendo um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) (QGIS, 2018). Suas funcionalidades podem ser estendidas pelo usuário, pois apresenta integração com outros pacotes GIS *free/open-source* como PostGIS, GRASS, MapServer e plugins escritos em linguagens de computação Python e/ou C++.

O desenvolvimento do QGIS começou em 2002 denominado Quantum GIS, por Gary Sherman. Posteriormente, no ano 2007, tornou-se um projeto do *Open Source Geospatial Foundation*, sendo lançado sua primeira versão em janeiro de 2009. Atualmente, o software está na versão 3.0 e mais de 40 lançamentos, sendo executável em múltiplos sistemas operacionais como Mac OS X, Linux, UNIX e Microsoft Windows.

O QGIS é mantido por um grupo ativo de desenvolvedores voluntários que regularmente lançam *updates* e correção de bugs. O trabalho realizado por estes desenvolvedores, desde 2012, possibilitou a tradução total ou parcial do *software* e de documentos relacionados a ele em 48 línguas e a aplicação é usada internacionalmente em ambientes acadêmicos e profissionais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 A Hidrografia

O rio Acaraú tem suas nascentes na Serra das Matas, um maciço cristalino modelado por processos de erosão diferencial em uma das maiores manifestações plutônicas do Neoproterozóico (COSTA et al. 2010), localizado entre os municípios de Monsenhor Tabosa, Tamboril e Catunda. Segundo Souza (1988), está inserido no Domínio dos Escudos e Maciços Antigos, expondo-se como compartimentos ilhados e contribuindo para as diferenciações fisiográficas e ecológicas no semiárido cearense.

Por estar localizado no trecho do semiárido nordestino, que apresenta valores médios de pluviosidade anual em torno de 685,7 mm segundo IPECE (2014), sendo essa incidência de chuvas concentradas em apenas 5 meses (de janeiro a maio), os rios da área em estudo, em sua maioria, apresentam características intermitentes ou efêmeros. Em alguns anos, registra-se a ocorrência de estiagem, período em que o volume de chuvas é inferior à média, então o escoamento superficial é ainda menor e muitas vezes os rios efêmeros não aparecem.

Devido ao regime climático, a população de muitos locais por onde os rios da sub-bacia do Alto Acaraú correm não costumam depender deles para fins de abastecimento e lazer, sendo seus leitos muitas vezes utilizados para plantação, por ser uma área onde o solo é mais profundo e úmido, mesmo em períodos estios. Em determinados locais, a própria morfologia do terreno facilita a construção de barramentos de pequeno à médio porte que amenizam os efeitos da seca na região.

Mesmo que em poucos períodos do ano as chuvas façam ressurgir os rios, notou-se que a maioria das residências, exceto nas zonas urbanas, estavam construídas em altos topográficos ou a uma distância do canal fluvial suficiente para que a mesma não fosse atingida diante de um evento extremo de precipitação. Após investigar o motivo, encontrou-se a resposta no que Hétu (2003) chama de memória coletiva de catástrofes, já que a maior parte das



peças que moram na região em estudo estão alocadas ali há várias gerações, conhecendo, portanto, a dinâmica natural local.

“Nas sociedades pré-industriais, as pessoas não abandonavam a terra de seus ancestrais, dado que a permanência favorecia, ao longo das gerações, a consubstanciação de sólida memória coletiva. A memória das catástrofes anteriores, cruelmente adquirida, permitia fazer triagem entre as áreas construtíveis e as de risco (HÉTU, 2003)”.

As características das formas, altitudes e litologias que compõem o relevo onde se encontra a sub-bacia do Alto Acaraú são refletidas, por exemplo, em padrões de drenagem e morfologias dos canais, cuja análise mais detalhada utilizou métodos desenvolvidos pelos autores Horton (1945), Strahler (1952), Freitas (1952), Christofolletti (1969), Beltrame (1994) e Lollo (1995).

O levantamento cartográfico da rede de drenagem da área em estudo, bem como a busca por literaturas que descrevessem comportamentos e delimitações da bacia, embasaram esta etapa. Os arquivos vetoriais provêm da malha de rios da COGERH, na escala 1:100.000 e foram conferidos manualmente utilizando imagens de satélite RapidEye e as disponibilizadas pelo Google Satellite, ambos na mesma projeção e sistema de coordenadas do material vetorial para evitar distorções. Tendo por base o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH) de 2005, delimitou-se a sub-bacia do Alto Acaraú e, a partir de então, foram realizadas as demais análises.

Inicialmente foi feita a classificação hierárquica dos canais fluviais, definido por Lima (2006) como sendo o posicionamento de um determinado canal de drenagem no conjunto total da bacia em que se encontra, baseado no método de Horton (1945), no qual os canais de primeira ordem são aqueles que não têm tributários e as demais ordens se iniciam na confluência de, no mínimo, dois canais da ordem anterior.



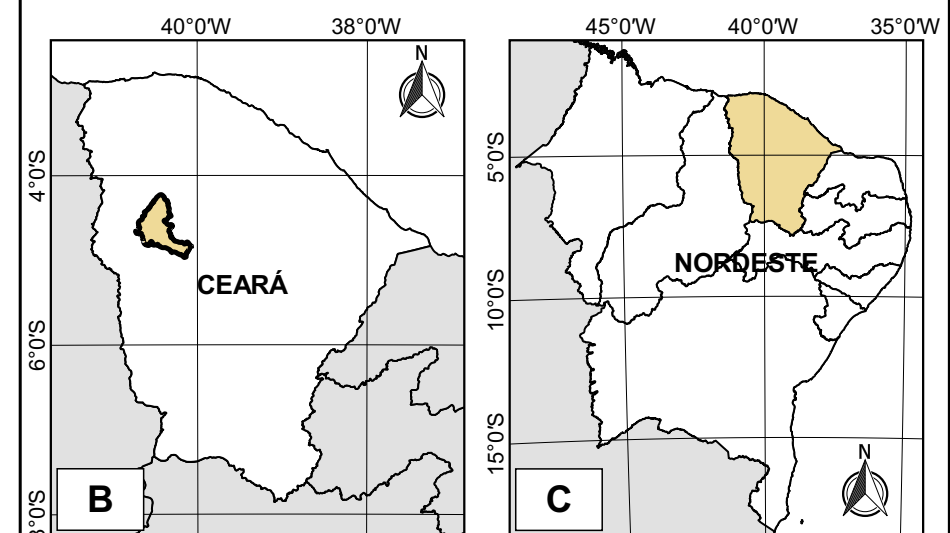
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

**Mapa 2. MAPA DA HIERARQUIA DOS CANAIS DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

**Legenda**

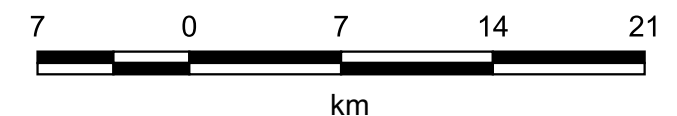
- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| ○ Sedes Municipais     | <i>Hierarquia de Canais</i> |
| ▭ Limites Municipais   | — 1ª Ordem                  |
| ■ Corpos d'água        | — 2ª Ordem                  |
| ▭ Alto Acaraú          | — 3ª Ordem                  |
| ▭ Bacias Hidrográficas | — 4ª Ordem                  |
|                        | — 5ª Ordem                  |

**Mapa Situacional**

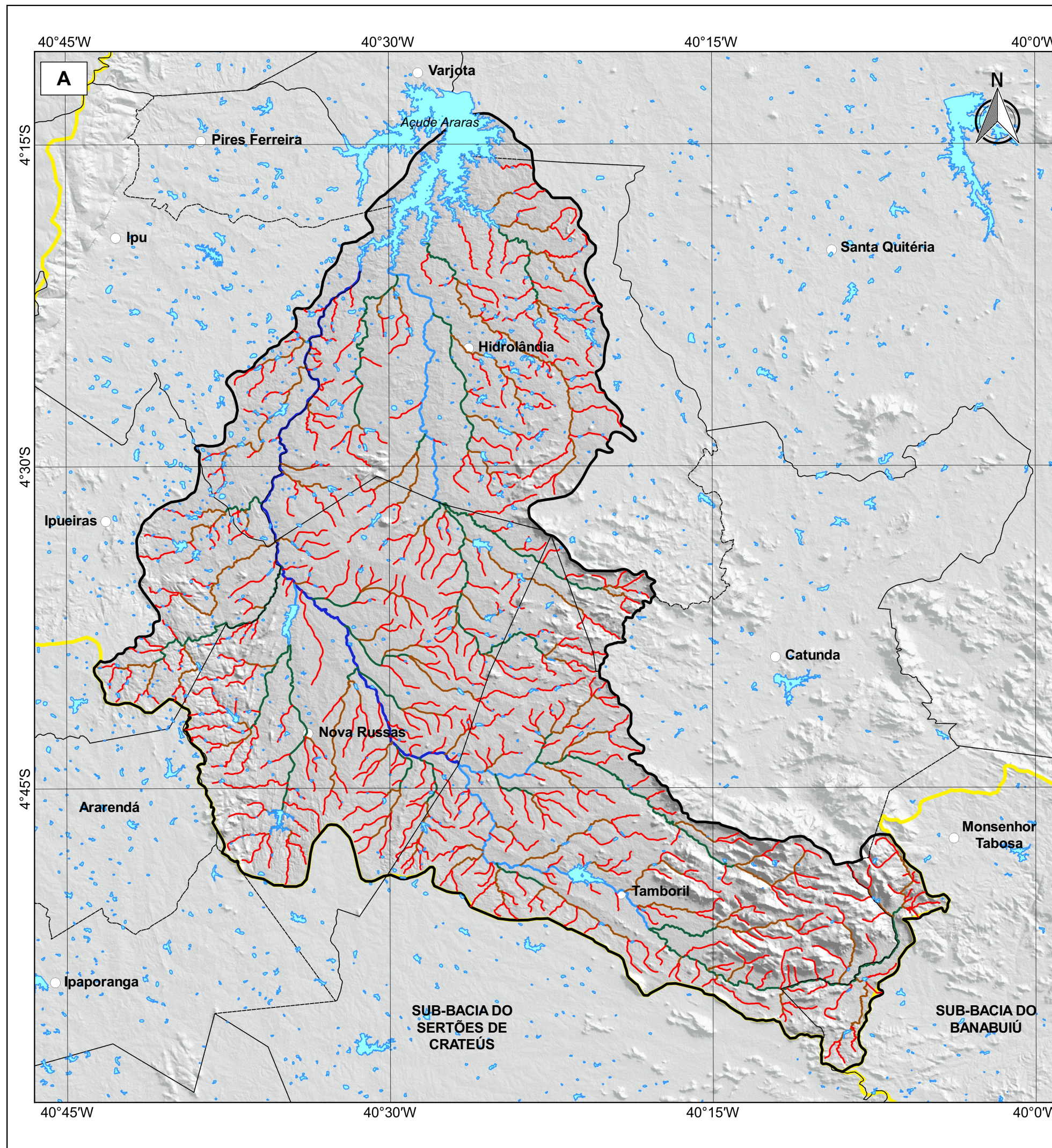


**Escala**

1:350.000



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Rios),  
 Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH  
 (Corpos d'água e Sub-bacias), Instituto de Pesquisa e Estratégia  
 Econômica do Ceará - IPECE (Limites municipais 2017) e  
 CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018



A sub-bacia do Alto Acaraú apresenta uma área total de 2455,48 km<sup>2</sup>, perímetro de 316,05 km e 590 trechos de canais, na escala 1:100.000, adotada para esta pesquisa, medindo no total 1957,13 km.

Tabela 6 - Exposição geral dos dados correlacionais entre a quantidade de trechos de canais por ordem e seus respectivos comprimentos totais e médios.

<b>Ordem</b>	<b>Quantidade de trechos de canais</b>	<b>Comprimento total (km)</b>	<b>Comprimento médio (km)</b>
1	454	1161,73	5,12
2	106	405,59	3,79
3	25	268,18	20,63
4	4	42,50	17,00
5	1	79,13	79,13
<b>TOTAL</b>	<b>590</b>	<b>1957,13</b>	<b>25,13</b>

Uma característica marcante em parte do semiárido nordestino, e que dificulta a infiltração da água, são os solos rasos e degradados, tanto naturalmente, quando ocorre o efeito *splash* (que é a ruptura dos agregados de solo quando impactados pela gota d'água da chuva), como pela ação humana, com o desmatamento para o plantio. Outro fator condicionante é o substrato litológico, composta por rochas ígneas, coesas, com baixa porosidade, com isso, o acúmulo de água se dá, basicamente, em zonas de falhas e fraturas geológicas.

Tabela 7 - Resultados da aplicação dos índices de análise morfométrica.

<b>Índices calculados</b>	<b>Resultados</b>	<b>Classificações</b>
Densidade de drenagem (Dd)	0,80 km/km <sup>2</sup>	Mediana (Beltrame, 1994) e Boa, (Horton, 1945)
Densidade hidrográfica (Dh)	0,18 canais/km <sup>2</sup>	Baixa densidade (Lollo, 1995)
Índice de sinuosidade (Is)	2,16 (valor adimensional)	Canal sinuoso (Freitas, 1952)

Os resultados apresentados pelos índices de densidade de drenagem e de densidade hidrográfica apontam que, além das características pedológicas e litológicas, favoráveis que a drenagem seja muito boa e existam uma grande quantidade de canais, as características climáticas sejam consideradas uma variável importante para a compreensão realista dos valores. O baixo índice pluviométrico que apresenta o semiárido, contribui desfavorecendo a alimentação dos canais tornando-os rasos e diminuindo a capacidade de o sistema hidrográfico gerar novos canais (LIMA *et. al*, 2016).

No trecho pesquisado, o Rio Acaraú rotaciona seu sentido de escoamento, partindo de suas nascentes no sentido preferencial NE-SW para NW-SE a jusante e, posteriormente, a NE-SW novamente, seguindo nessa orientação até o limite do recorte espacial. Para investigar o comportamento do principal canal da sub-bacia em estudo, bem como características do padrão de drenagem e sua velocidade de escoamento, aplicou-se o índice de sinuosidade (Is). Este índice foi aplicado aos demais canais de ordem inferiores, apresentando a característica predominante de pouca sinuosidade.

O padrão de drenagem predominante na sub-bacia é o dendrítico, característico de áreas que apresentam, segundo Silva (2017), solos rasos, pedregosos e pouco desenvolvidos, sob condições climáticas semiáridas, resultando num quadro de maior dificuldade de permeabilidade. O padrão dendrítico caracteriza-se na área por apresentar ramos irregulares em todas as direções onde o canal principal se junta os tributários em ângulos variados, reflexos de causas como a declividade da área e resistência das rochas (DEFFONTAINES; CHOROWICZ, 1991).

Ao analisar o padrão do arranjo espacial apresentado pelos canais fluviais da sub-bacia, pela aplicação dos índices e pela análise visual é possível determinar que em geral os canais tendem a apresentar características de retilinearidade. Os canais mais longos apresentam maior sinuosidade, porém não é suficiente para caracterizá-los como meandrante quando analisado os aspectos teóricos que o definiriam assim, mesmo que os padrões apresentem características diversas ao aumentar a escala de análise. Essa variação local de padrão deve-se às influências como geologia, litologia e pela evolução geomorfológica da região em que se instalam (GUERRA, 1989).

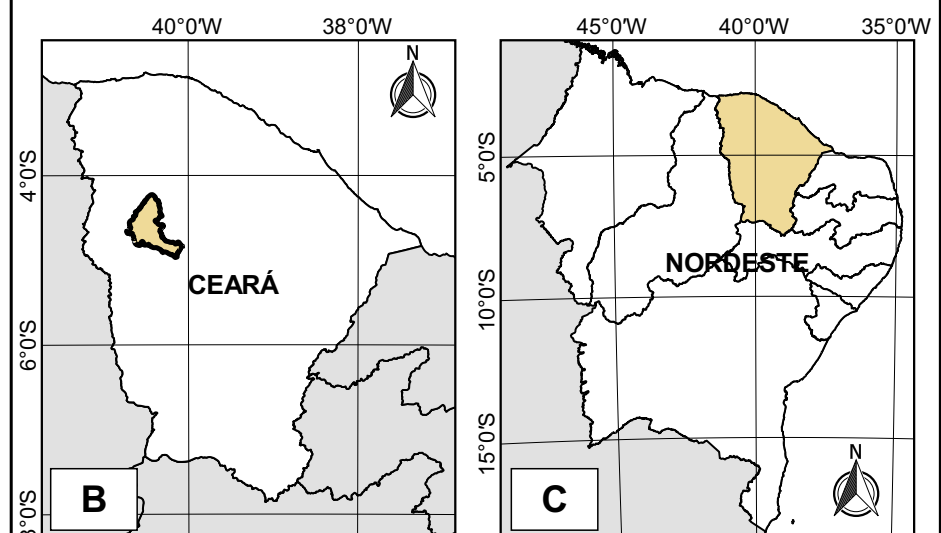


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

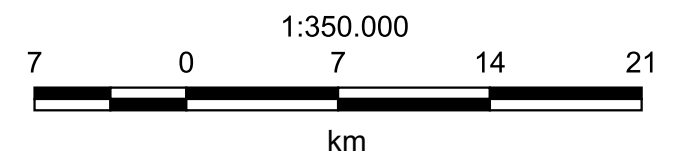
**Mapa 3. MAPA HIDROGRÁFICO DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

- Legenda**
- Alto Acaraú
  - Rede Hidrográfica
  - Rio Acaraú
  - Corpos d'água

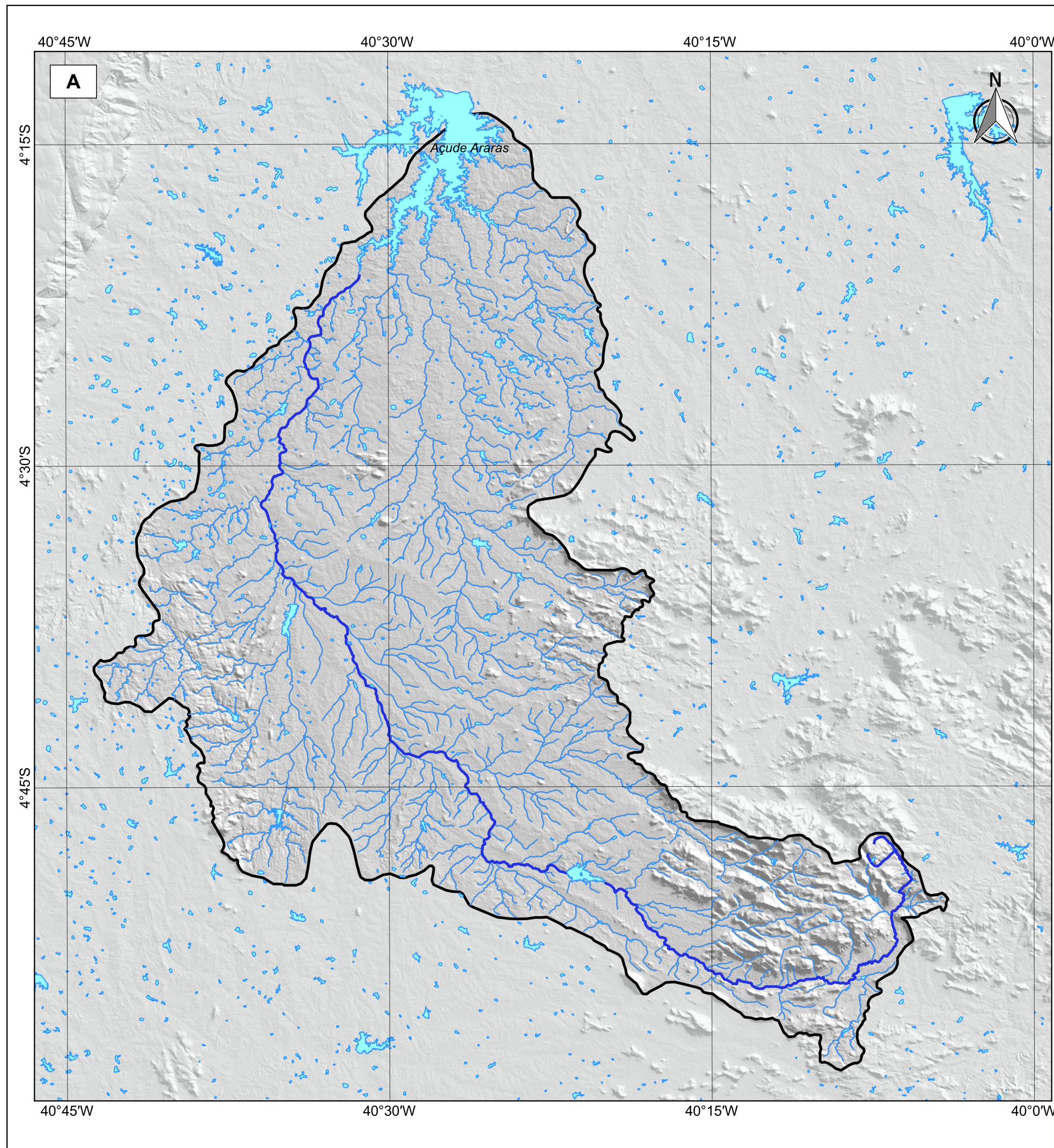
**Mapa Situacional**



**Escala**



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Rios),  
 Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH  
 (Corpos d'água e Sub-bacias), Instituto de Pesquisa e Estratégia  
 Econômica do Ceará - IPECE (Limites municipais 2017) e  
 CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018



Soares e Fiori (1976) compilaram as propriedades da rede de drenagem com a finalidade de tornar prática e rápida a assimilação das informações obtidas com a análise de bacias. Para a sub-bacia em estudo, as principais características encontradas com base na análise visual e pela aplicação dos índices outrora citados são: baixa densidade, sinuosidade mista, angularidade entre alta e média, tropia unidirecional, fraca simetria e formas anômalas em arco e cotovelo.

Os rios se apresentam em direções variadas, porém é bastante expressivo o sentido preferencial dos canais de primeira ordem, NE-SW e dos canais que estão em 4ª e 5ª ordens, no posicionamento hierárquico, ou seja, recebem mais tributários, que estão dispostos principalmente nos sentidos NW-SE e NNW-SSE.

### 3.2 A Geologia

A geologia predominante na sub-bacia do Alto Acaraú apresenta pouca variedade de classes litológicas, sendo uma pequena porção à oeste da Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral de Tauá (ZCT) de rochas metamórficas do Complexo Ceará – Unidade Canindé, enquanto que o substrato da maior parcela da área são rochas ígneas, principalmente do Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

O aplainamento resultante do trabalho erosivo indistinto rebaixou o nível de base regional da depressão sertaneja a altitudes inferiores a 400 metros, enquanto que alguns enclaves nesta unidade se destacam no relevo apresentando altitudes em torno de 1000 metros, o que caracteriza a presença de rochas mais resistentes.

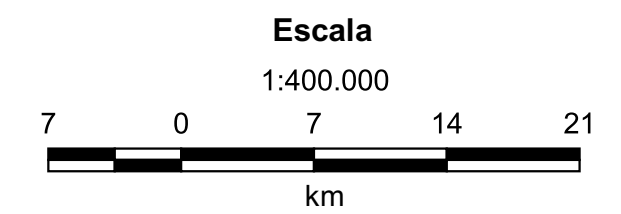
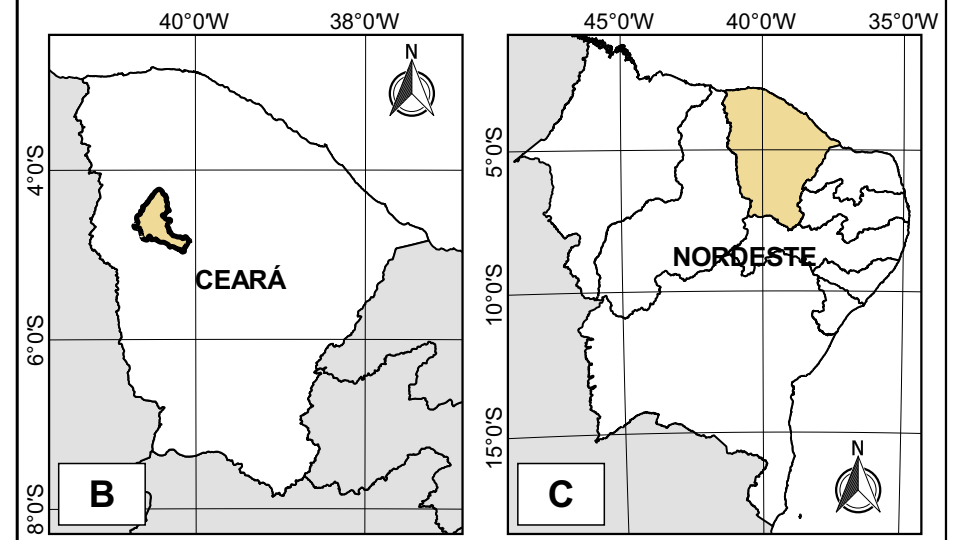
As litologias do Complexo Tamboril-Santa Quitéria expõem evidências de eventos ligados ao Pré-Cambriano Inferior a Médio e apresentam estruturas deformacionais dúcteis e rúpteis como a Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral de Tauá (ZCT), falhas e fraturas, que marcam as morfologias do relevo e compõem altos e baixos topográficos e são orientados segundo a direção dos seus *trends* estruturais.



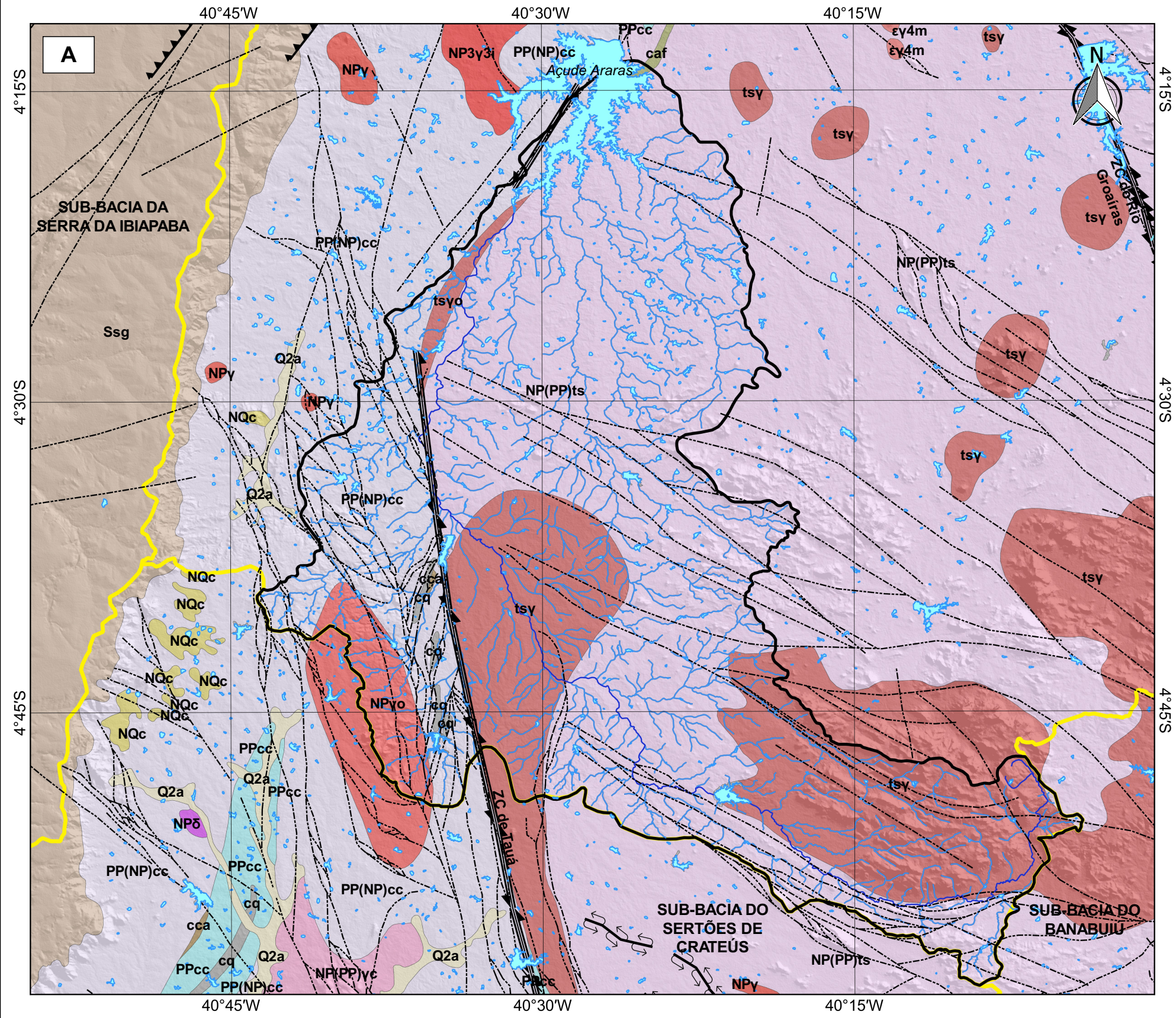
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

**Mapa 4. MAPA GEOLÓGICO DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

**Mapa Situacional**



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Rios, Corpos d'água e Sub-bacias), Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM (Dados geológicos) e CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018



**Legenda**

- Sub-bacia do Alto Acaraú
- Bacias Hidrográficas
- Rios
- Corpos d'água

**Convenções Geológicas**

- Litologia**
- εγ4m
  - caf
  - cca
  - cq
  - NP(PP)γc
  - NP(PP)ts
  - NPδ
  - PPcc
  - Q2a
  - Ssg
  - tsy
  - tsyo

**Elementos estruturais**

- Falha extensional (normal)
- Falha indiscriminada
- Falha ou fratura
- Falha ou zona de cisalhamento indiscriminada
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- Lineamentos estruturais: traços de superfícies S

O embasamento geológico da sub-bacia do Alto Acaraú apresenta duas unidades litoestratigráficas principais, Complexo Tamboril-Santa Quitéria e Complexo Ceará - Unidade Canindé, com idades variando entre o período Riciano da era Paleoproterozóica até o período Neoproterozóico III na era Neoproterozóica.

Inserida no Complexo Ceará, encontra-se o corpo granítico do Período Criogeniano que constitui o Granitóide Nova Russas. Esta unidade, por ser cronologicamente mais recente (> 650 Ma. e < 850 Ma.) que o complexo onde está encaixada (> 2050 Ma.) aponta a existência de atividade tectônica rúptil que possibilitou esta intrusão.

Dentre as estruturas deformacionais observadas na área em estudo, a mais expressiva é a Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral de Tauá (ZCT), que compreende uma faixa milonítica subvertical com mais de 5 km de largura, cuja evolução teve início no final do Ciclo Brasileiro, marcando a passagem de uma tectônica tangencial para uma tectônica transcorrente (NEVES, 1991). A ZCT se estende aproximadamente na direção NNW e apresenta, através de indicadores cinemáticos, um sentido sinistral para o cisalhamento, com rejeito estimado de 30 a 35 km, segundo Neves (1991), que também interpreta as principais feições da zona como produtos de deformação progressiva.

Durante sua evolução, ocorreram diferentes estágios de deformação a medida que o nível crustal ficava mais raso, partindo de um regime dúctil (todos os minerais deformam-se plasticamente) para um semifrágil (predomínio de cataclase sobre recristalização dinâmica; produção de pseudotaquilitos). Entre esses estágios, ocorreram intrusões de magmas graníticos encaixando-se nas estruturas verticalizadas que, por sua vez, sofreram diferenciação por fluxo e originaram os granitóides sintectônicos. Falhas de caráter absolutamente frágil expõem evidências de que as deformações prosseguiram até o regime rúptil.

Neves (1991) relata que o padrão estrutural da ZCT sugere uma evolução tectônica anterior à do Complexo Ceará, mesmo que não exista evidências diretas de relação temporal. A ZCT também é caracterizada pela presença de *sheets* graníticos ao longo de quase todo o seu comprimento e pela heterogeneidade da distribuição interna da sua deformação que a difere dos



casos de zonas de cisalhamento teóricas por não haver, segundo Neves (1991), um aumento contínuo do *strain* cisalhante em direção ao centro.

### 3.3 A Geomorfologia

As feições geomorfológicas encontradas no Nordeste brasileiro estão relacionadas a estruturas derivadas de eventos tectônicos, a exemplo do Ciclo Brasileiro e separação da América do Sul e África (MAIA; BEZERRA, 2014), expondo, no nível superficial, suas formas e disposições ao controle estrutural. A evolução do relevo, de acordo com a interpretação clássica, parte da ocorrência de processos epirogênicos pós-cretáceos que posteriormente seriam dissecados por sucessivos ciclos de aplainamentos induzidos pelo rebaixamento do nível de base regional.

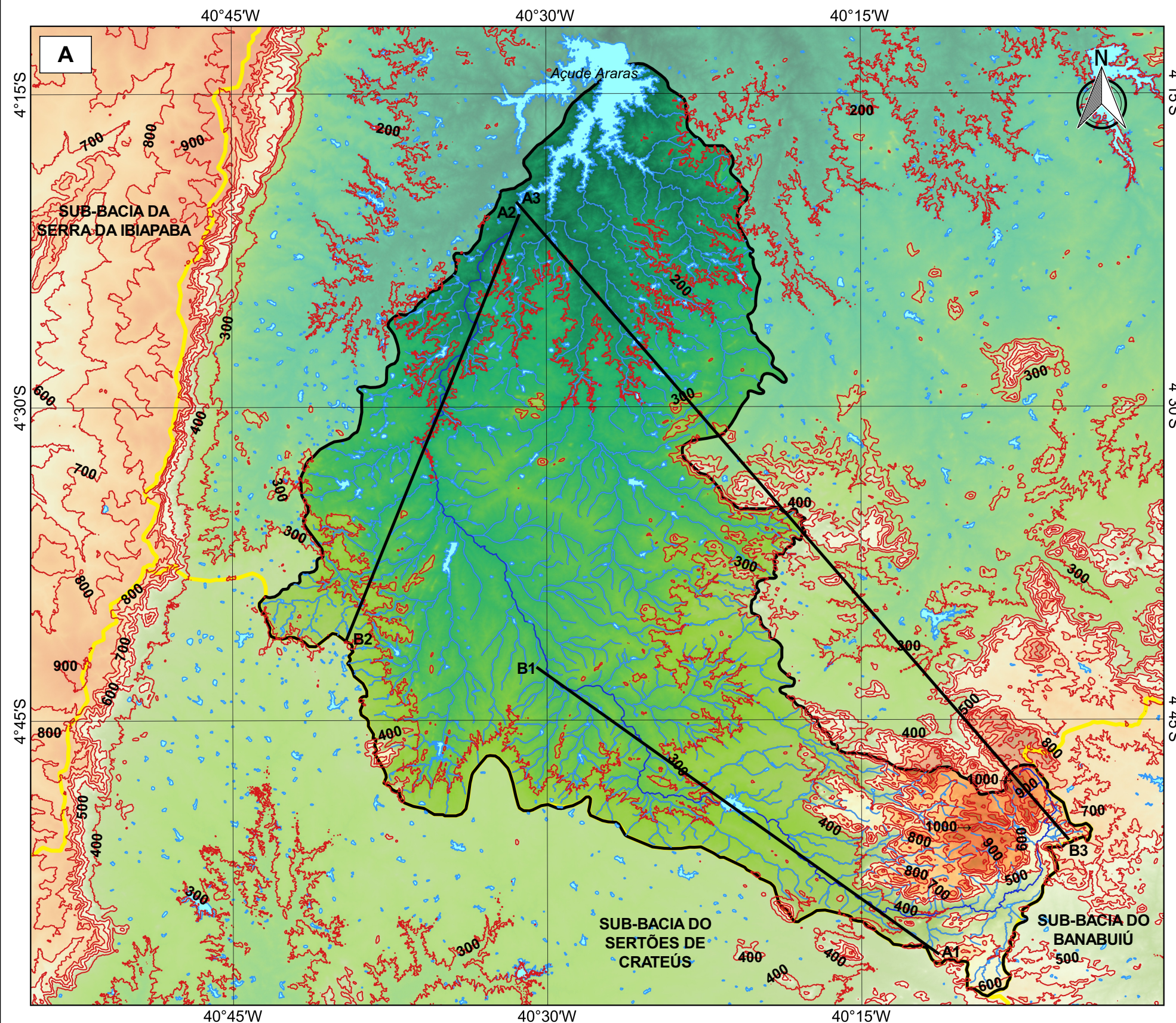
O cruzamento entre informações planialtimétricas e o mapeamento de falhas, fraturas, zonas de cisalhamento e litologia é de significativa importância para a compreensão do relevo, pois tal compilado expõem evidências de eventos tectônicos ocorridos no interior da crosta, como deformações dúcteis provocados por intrusões que fluíram entre os condutos das zonas de cisalhamento e a heterogeneidade das configurações litológicas, que segundo Maia e Bezerra (2014), expressam no relevo suas disposições direcionadas pelos planos deformacionais e pelos *trends* estruturais.

Na sub-bacia do Alto Acaraú, fatores como a diferenciação de resistência litológica e os *trends* estruturais contrastam relevos aplainados característicos da Depressão Sertaneja, com altitudes a partir de 200 metros, superfícies elevadas, cuja litologia é mais resistente, como *inselbergs* e maciços cristalinos, e vales fluviais entalhados condicionados por pontos de fraqueza entre diferentes litologias, falhas ou fraturas e pela Zona de Cisalhamento de Tauá.

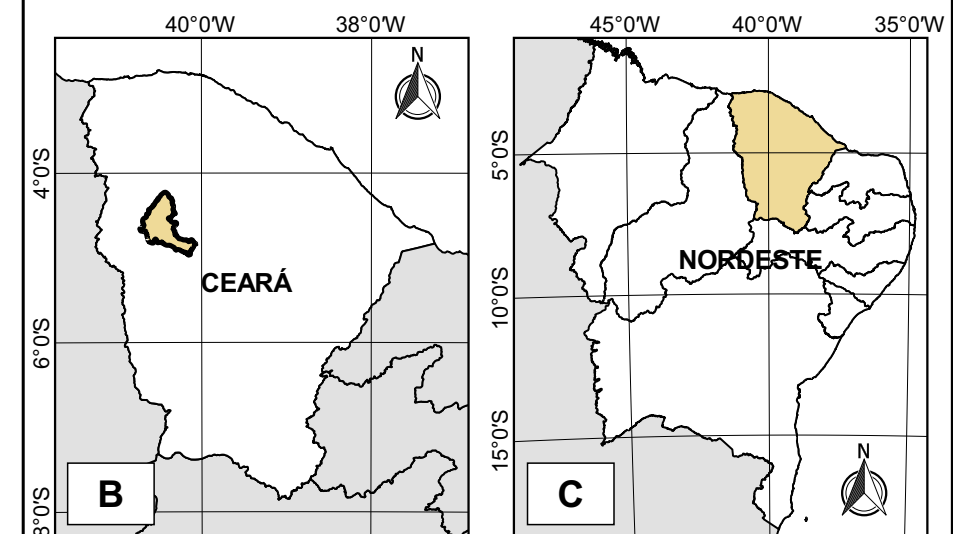


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

**Mapa 5. MAPA HIPSOMÉTRICO DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

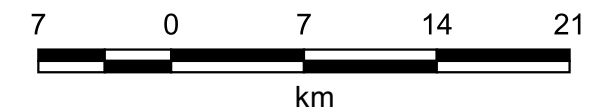


**Mapa Situacional**



**Escala**

1:400.000



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Rios, Corpos d'água e Sub-bacias), United States Geological Survey - USGS (Imagem SRTM) e CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú e Curvas de nível).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018

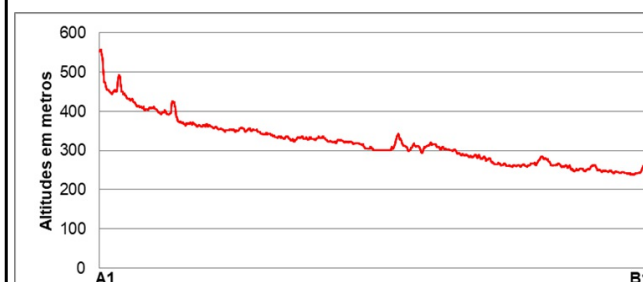
**Legenda**

- Sub-bacia do Alto Acaraú
- Bacias Hidrográficas
- Rios
- Corpos d'água
- Curvas de nível
- Perfis topográficos

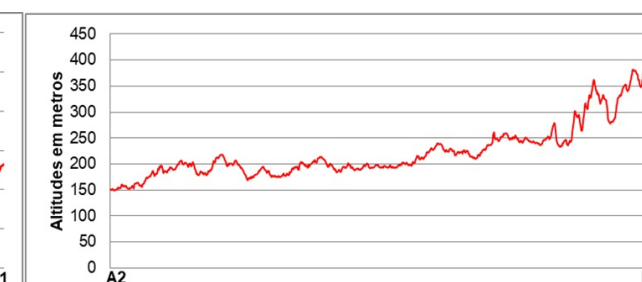
**Altitudes - em metros**

- |  |           |  |             |
|--|-----------|--|-------------|
|  | 100 a 200 |  | 600 a 700   |
|  | 200 a 300 |  | 700 a 800   |
|  | 300 a 400 |  | 800 a 900   |
|  | 400 a 500 |  | 900 a 1000  |
|  | 500 a 600 |  | 1000 a 1140 |

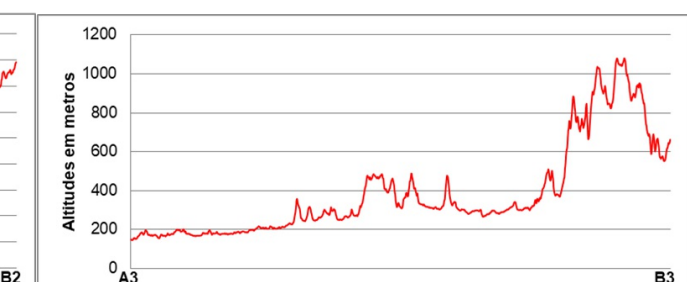
**Perfil 1**



**Perfil 2**



**Perfil 3**



O mapa hipsométrico foi confeccionado utilizando informações obtidas com o tratamento da imagem SRTM e extração de curvas de nível equidistantes a 100 metros de variação altimétrica. Para a elaboração dos perfis topográficos, foram definidos dois critérios, no primeiro (Perfis 1 e 2), buscou-se uma orientação que tangenciasse mais vezes o Rio Acaraú, enquanto que no segundo (Perfil 3), o objetivo foi mostrar a variação entre a região das nascentes e o ponto final do rio em estudo no recorte de análise.

Pode-se observar que quase a totalidade da área da sub-bacia apresenta valores altimétricos de até 400 metros, caracterizando uma extensa rampa de baixa declividade com pequenos enclaves de maior altitude, porém pouco expressivos. Na região onde se encontra o maciço cristalino da Serra das Matas, verifica-se as maiores altitudes, ultrapassando a cota de 1000 metros, e declividades acentuadas, como exemplo a variação altimétrica no leito do Rio Acaraú que supera os 400 metros nos 30 km a jusante de suas nascentes. Com isso, destacam-se duas unidades geomorfológicas na sub-bacia, tais como a Depressão Sertaneja e o Maciço Cristalino.

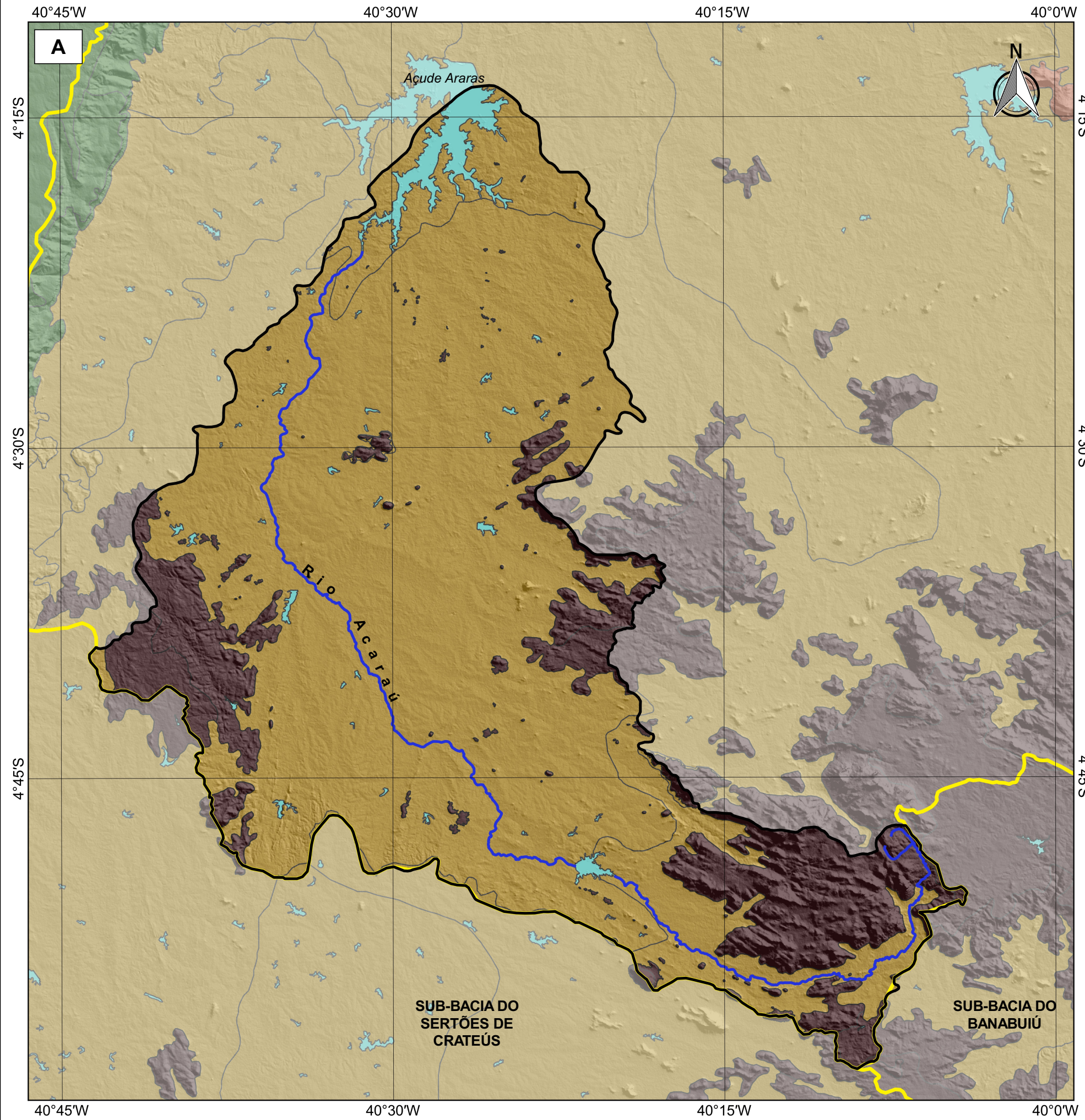
O comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias são tomados como referencial na medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas (IBGE, 1995). Estas formas fisionomicamente semelhantes em seus tipos de modelado correspondem às unidades geomorfológicas, que segundo Barbosa *et al.* (1984), mostram tipos de modelado, processos originários e formações superficiais diferenciadas de outras.

Para este trabalho, foi utilizada a delimitação definida pela Diretoria de Geociências (IBGE/DGC) com base nos dados levantados pelo Projeto RADAMBRASIL, que retratam as unidades, através das características geomorfológicas da Folha Jaguaribe, na escala 1:250.000, conforme metodologia contida no Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE. Os resultados apresentados são as formas, com seus respectivos índices que identificam a dimensão interfluvial e o aprofundamento da drenagem.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

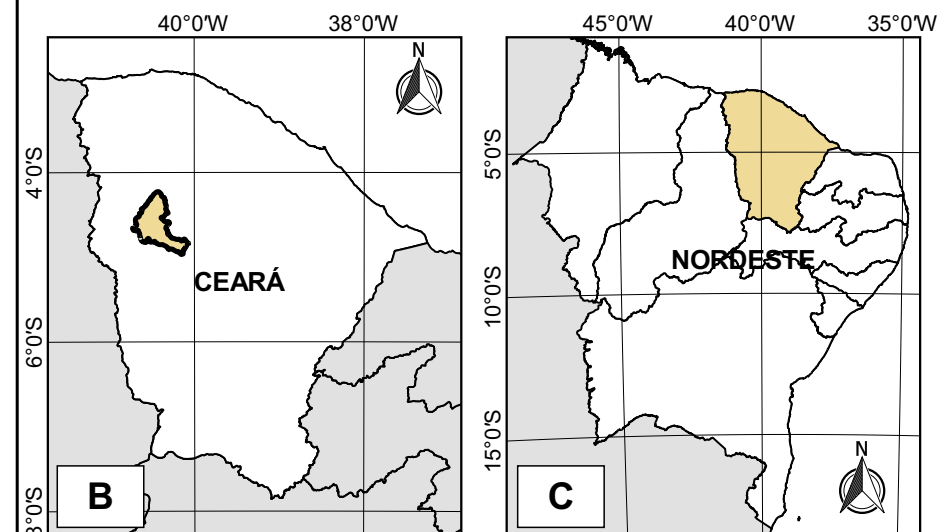
**Mapa 6. MAPA GEOMORFOLÓGICO DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**



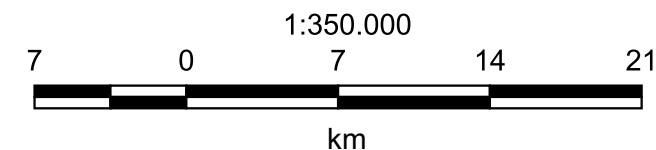
**Legenda**

- |                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| Alto Acaraú          | <i>Unidades Geomorfológicas</i> |
| Rio Acaraú           | Depressão Sertaneja             |
| Corpos d'água        | Maciços Cristalinos             |
| Bacias Hidrográficas | Planalto da Ibiapaba            |

**Mapa Situacional**



**Escala**



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Rios e Compartimentação Geomorfológica), Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (Corpos d'água e Sub-bacias), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE (Limites municipais 2017) e CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto Acaraú).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018

Analisando o mapa e correlacionando com as informações contidas no levantamento do Projeto RADAMBRASIL, verifica-se que o relevo na área em estudo apresenta formas ligadas à dissecação, no qual estão evidenciados os modelados tabulares, convexos e aguçados.

O relevo está inserido no Domínio Morfoestrutural Cinturões Móveis Neoproterozóicos e é dividido em duas Regiões Geomorfológicas, tais como Depressão Sertaneja e o Maciços Residuais Sertanejos. Quanto às Unidades Geomorfológicas, realizou-se uma alteração na nomenclatura da Serra do Machado e das Matas para Maciços Cristalinos adaptando ao padrão adotado pela pesquisa.

Tabela 8 - Tabulação das Unidades Geomorfológicas e suas respectivas formas categorizadas pelas dimensões interfluviais e aprofundamento da drenagem.

<b>Unidade Geomorfológica</b>	<b>Formas</b>	<b>Dimensões Interfluviais</b>	<b>Aprofundamento da drenagem</b>
Depressão Sertaneja Setentrional	Tabulares	$250m < X < 750m$	Muito fraco
		$3.750m < X < 12.750m$	Fraco
	Convexas	$\leq 250m$	Muito fraco
		$250m < X < 750m$	Fraco
	Aguçadas	$250m < X < 750m$	Fraco
		$750m < X < 1.750m$	Mediano
Maciços Cristalinos	Tabulares	$250m < X < 750m$	Muito fraco
		$3.750m < X < 12.750m$	Fraco
	Convexas	$250m < X < 750m$	Fraco
		$\leq 250m$	Muito fraco
	Aguçadas	$250m < X < 750m$	Fraco
		$750m < X < 1.750m$	Mediano

Na unidade dos maciços cristalinos identifica-se também relevos de topo aguçado por dissecação estrutural e pediplanos degradados inumados. Na área, predomina o aprofundamento de drenagem é classificado como muito fraco a fraco o que restringe a representação da unidade geomorfológica da planície fluvial a escalas maiores.

Peulvast e Claudino Sales (2002) relatam que os maciços cristalinos estão situados sobre uma vasta superfície aplainada no formato de um anfiteatro em direção ao mar, apresentam um relevo dissecado e orientado de acordo com as principais zonas de cisalhamento, caracterizadas pela forte diversidade

litológica, que implicam em modos diferenciados de erosão. Tavares (2017) ressalta que nestas superfícies de aplainamento há outras feições de diferentes origens (morfotectônicas ou morfoclimáticas) que compõem a paisagem, caracterizando a evolução do relevo regional como poligênica.

A Depressão Sertaneja corresponde a uma superfície de aplainamento, predominantemente plana a suave ondulada, desenvolvida sobre as rochas cristalinas, resultante do trabalho erosivo atuante em variados tipos litológicos, indistintamente. É representada por extensas rampas pedimentadas que se iniciam na base dos maciços residuais e se inclinam suavemente em direção aos fundos de vales e ao litoral (CEARÁ, 2005).

### **3.4 O Controle Estrutural e Tectônico**

A disposição espacial da rede de drenagem está susceptível ao condicionamento imposto pela estrutura geológica, como fraturas, juntas, falhas, discordâncias, eixo e flanco de dobras, interface litológica, acamamento, foliação, lineamentos, entre outros. Na sub-bacia do Alto Acaraú, são mapeados, através dos dados de campo e sensoriamento remoto, estruturas deformacionais que caracterizam o controle do relevo por zonas de cisalhamento dúcteis e suas reativações (MAIA; BEZERRA, 2014).

A diferença de resistência litológica, inclusive na mesma unidade litológica, também contribui para o controle exercido sobre os padrões assumidos pelos canais fluviais. A atuação da erosão diferencial resulta em relevos pediplanados, predominantes na Depressão Sertaneja, e altos topográficos, como inselbergues e serras.






As rochas do embasamento de idade Paleoproterozóico, passaram por diferentes estágios de deformação evidenciadas características de regimes dúctil e semifrágil, através de feições no relevo. Já as rochas de idade Neoproterozóica, predominante na área, estão relacionadas com intrusões de magmas, principalmente graníticas, que ocorreram ao longo das atividades tectônicas anteriormente citada.



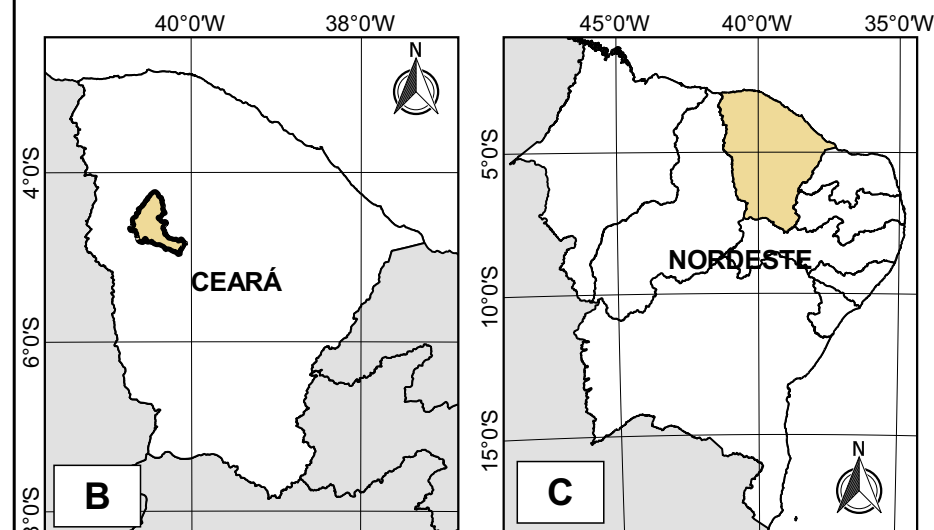
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**LABORATÓRIO DE GEOMORFORLOGIA**

**Mapa 7. MAPA DOS LINEAMENTOS DA SUB-BACIA DO ALTO ACARAÚ**

**Legenda**

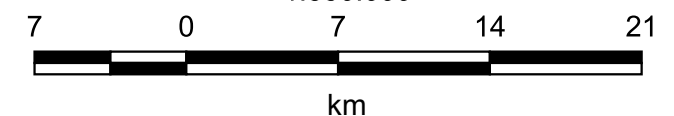
-  Lineamentos
-  Alto Acaraú
-  Rio Acaraú
-  Demais Rios da Sub-bacia
-  Corpos d'água

**Mapa Situacional**

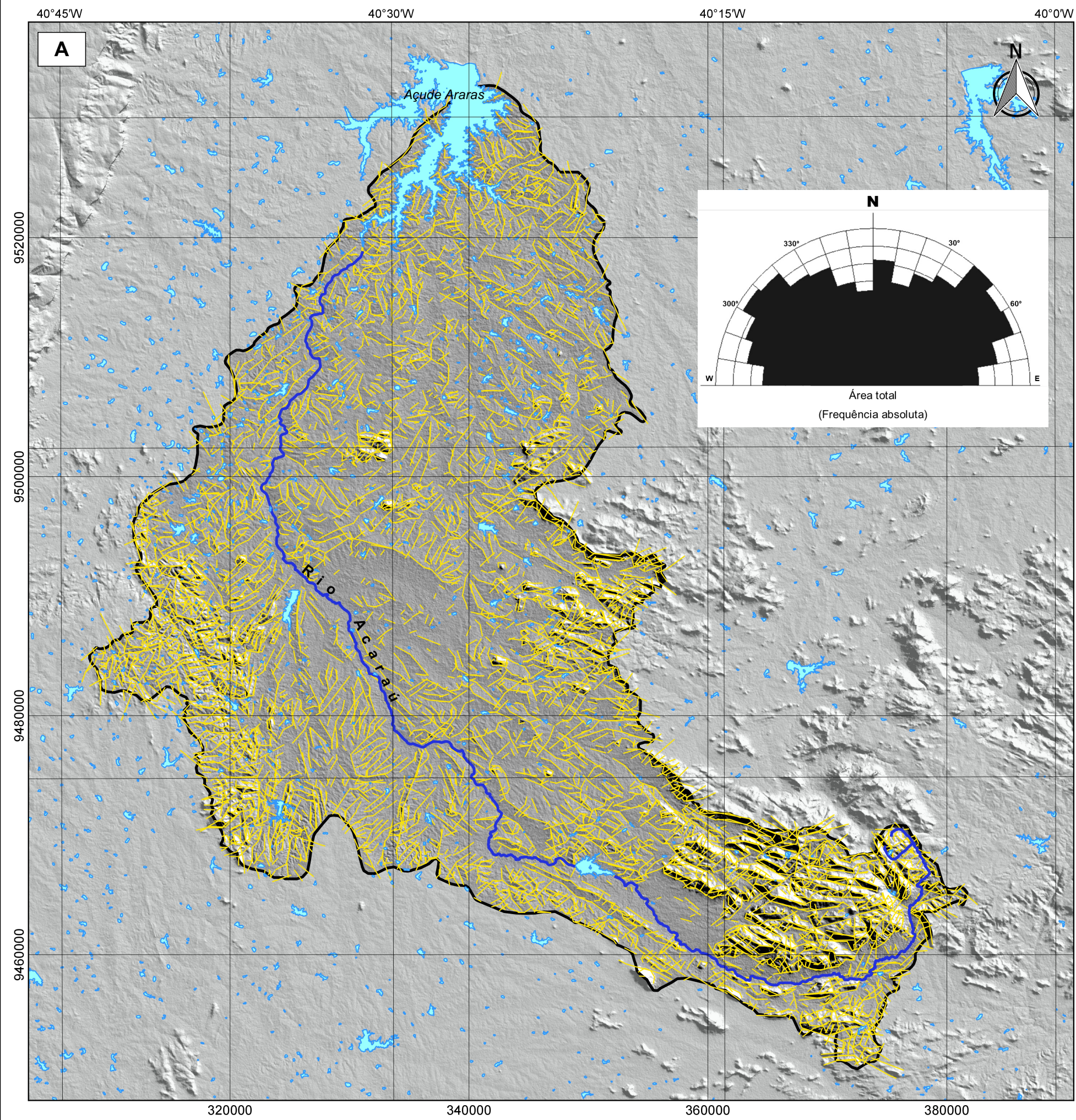


**Escala**

1:350.000



Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Sistema de Coordenadas: Geográfica  
 Datum Geodésico: SIRGAS 2000  
 Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Rios),  
 Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH  
 (Corpos d'água e Sub-bacias), United States Geological Survey -  
 USGS (Imagem SRTM) e CAPISTRANO, F. R. B. (Sub-bacia do Alto  
 Acaraú e Lineamentos).  
 Elaboração: CAPISTRANO, F. R. B.  
 Data: Junho de 2018

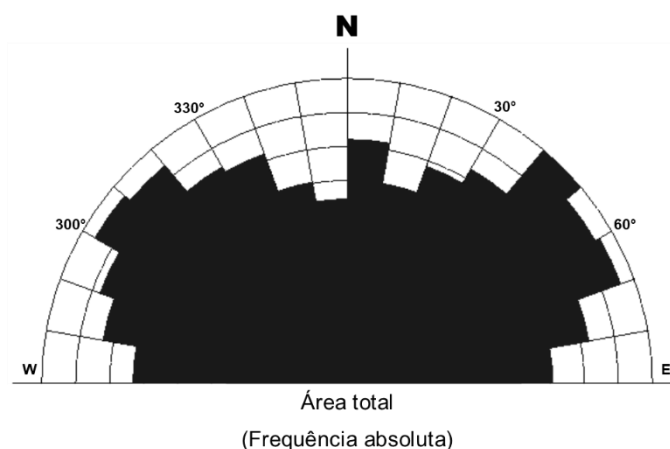


Para compreender a configuração do relevo, a orientação predominante e possíveis controles estruturais, realizou-se a extração automática e posteriormente conferidas e corrigidas, de lineamentos.

Sabins (1996) definiu o termo lineamento como sendo uma feição linear topográfica, que pode representar uma zona de fraqueza estrutural. Essas feições, negativas e positivas, são mapeáveis podendo ser simples ou compostas, cujas partes encontram-se alinhadas de modo retilíneo ou suavemente curvo, refletindo um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY et al., 1976). Na geomorfologia, lineamentos representam comumente variações na elevação dos terrenos, alinhamento de cristas, segmentos de escarpas, trechos de drenagem e vales (JORDAN; SCHOTT, 2005).

Após a extração automática dos lineamentos, no qual a margem de erro é de 5%, obteve-se o seguinte resultado:

Figura 3 - Diagrama de roseta da frequência absoluta de lineamentos de relevo na sub-bacia do Alto Acaraú.



O direcionamento preferencial dos lineamentos, de acordo com o diagrama de roseta, se deu em sua maioria no sentido E-W, NW-SE e NE-SW. Ao cruzar as informações dos lineamentos extraídos, com as falhas, fraturas e zonas de cisalhamento da CPRM, é possível verificar muitas correspondências, que embasam os resultados. Na correlação entre estes dados e a rede de drenagem, verifica-se que há indícios convincentes de controle da configuração dos canais fluviais pela estrutura.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou por evidências de controle estrutural da rede de drenagem através da caracterização morfoestrutural da sub-bacia do Alto Acaraú. Para isso foi feita uma análise das configurações da rede de drenagem, da geologia e dos lineamentos de relevo, cujos resultados demonstraram que a evolução da paisagem se dá principalmente pela interação entre feições tectônicas exumadas e o clima.

O geoprocessamento foi imprescindível na geração de produtos fundamentais para os resultados, auxiliando nas análises e conclusões. Através do uso de rasters, como SRTM, foi possível extrair lineamentos de relevo, curvas de nível, perfis topográficos, identificação e delimitação das unidades morfoestruturais. Também foi possível analisar o relevo, a configuração da rede e da distribuição dos padrões drenagem.

Foi possível constatar, através das análises, que a diferença litológica, associada à configuração estrutural de falhas, fraturas e da zona de cisalhamento, são fatores determinantes para a disposição dos canais na rede de drenagem da sub-bacia do Alto Acaraú, evidenciando o controle exercido por estes aspectos. O clima semiárido, contribui para a preservação das formas pretéritas exumadas no contexto atual, pois a pouca ocorrência de chuvas desfavorece a erosão química, mais abrasiva, enquanto que propicia o intemperismo físico, na qual o trabalho erosivo atua com mais intensidade em rochas menos resistentes.

Diante disso podemos concluir que a configuração da rede de drenagem da sub-bacia do Alto Acaraú reflete, através de fatores condicionantes, evidências marcantes de controle estrutural, importante para a compreensão da evolução geomorfológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. N. **Domínios Morfoclimáticos e Províncias Fitogeográficas do Brasil**. São Paulo: Orientação, USP-IG, nº 3, 1967. p. 45-48.

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.

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Sciences Reviews**, Amsterdam, 17: 1-29, 1981.

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras - Atas VIII Simp. Geol. Nordeste, **Anais**. Campina Grande, 363-391, 1977.

AMARAL, W. S., SANTOS, T. J. S. 2008. Airborne geophysical and tectonics of the Ceará Central Domain, eastern region of the Santa Quitéria magmatic arc, Borborema Province, NE Brazil. **Brazilian Journal of Geophysics**, 26: 527-542.

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.

de ARAÚJO, C. E. G., PÍNEO, T. R. G., COSTA, F. G., PALHETA, E. S. M., CAVALCANTE, J. C., VASCONCELOS, A. M., MOURA, C. A. V. 2010.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  Zircon ages of pre- and syncollisional granitoids from the Tamboril-Santa Quitéria granitic-migmatitic complex, Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): geodynamic implications. VISSAGI South American Symposium on Isotope Geology, Brasília-DF (CD-ROM)

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 Brasil. **Geology**, Boulder, v.28, pp. 591-594, 2000

BRAGA, Iramaia Furtado et al. Registro de Tectônica Tangencial e Transcorrente na Porção Oeste do Domínio Ceará Central. In: XI Simpósio de Geologia do Sudeste, 2009, São Pedro (SP). **Anais**. São Pedro, 2009. p. 65 - 68.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2015.

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.

CARVALHO, Thiago Morato de. Métodos de Sensoriamento Remoto Aplicados à Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 1, n. 1, p.44-54, dez. 2007.

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora UFG, 2001.

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.

CASTRO, N. A. 2004. Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema). **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo, Brasil.

CAVALCANTE, José Carvalho et al. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH). **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH)**. Fortaleza: SRH, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, v. 18, n. 9, pp. 35-64, 1969.

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: 03 jun. 2018.

COSTA, Felipe Grandjean da et al. O Complexo Tamboril-Santa Quitéria: Evidências de Slab Breakoff Durante Colisão Continental Neoproterozóica, Norte da Província Borborema. In: 45° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2010, Belém - PA. (CD-ROM), 2010. p. 165, doi: 10.13140/2.1.1734.8482.

CREPANI, E. Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da Chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5. (SBSR)., 1988, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988. p. 366-380. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00050-8. INPE-4876-PRE/1487). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/07.24.14.48>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

DALZIEL, I. W. D., 1991. **Pacific margins of Laurentia and East Antarctica–Australia as a conjugate rift pair**: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology*. 19, 598-601.

DALZIEL, I. W. D., 1997. **Neoproterozoic–Paleozoic geography and tectonics**: review, hypothesis and environmental speculation. *Bull. Geol. Soc. Am.* 109, 16-42.

DAVIES, J. Huw; VON BLANCKENBURG, Friedhelm. Slab breakoff: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of

collisional orogens. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 129, n. 1-4, p.85-102, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(94\)00237-S](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(94)00237-S)

DAVIS, W. M. **Geographical essays**. 2. ed. Dover Publications, New York, EUA, 1954.

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

DELGADO, Inácio de Medeiros et al. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, Luiz Augusto et al (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: Texto, Mapas & SIG. Brasília: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003. Cap. V. p. 227-334.

EL-HADJ, T., AFFATON, P., LOUIS, P., SOCOHOU, A. 1997. Gravity characteristics of the Pan-African Orogen in Ghana, Togo and Benin (West Africa). **Journal of African Earth Sciences**, 24: 241-258.

FALCÃO SOBRINHO, José; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Alteração na Paisagem Vegetal em Diferentes Compartimentações Geomorfológicas do Vale do Acaraú - Ceará. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 30, p.153-162, jun. 2009. Trimestral.

FETTER, A. H., SANTOS, T. J. S., VAN SCHMUS, W. R., HACKSPACHER, P. C., BRITO NEVES, B. B., ARTHAUD, M. H., NOGUEIRA NETO, J. A., WERNICK, E. 2003. Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, 6: 265-273.

FIGUEIREDO, M. A., 1997. **A cobertura vegetal do Ceará (Unidades Fitoecológicas)**: Atlas do Ceará. Governo do Estado do Ceará; IPLANCE, Fortaleza. 65p.

FREITAS, R. O. **Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica.** Boletim Paulista de Geografia, v. 11, p. 53-57, 1952.

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

GARCIA, M. G. M., ARTHAUD, M. H. 2004. Caracterização de trajetória P–T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena - Ceará Central (NE Brasil). **Revista de Geologia**, Universidade Federal do Ceará, 17: 173-191.

GERASIMOV, I.P. & Mescherikov, J.A. Morphostructure. In **The encyclopedia of geomorphology**. Ed. R.W. Fairbridge, 731-732, New York:Reinhold Book Co., 1968

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. Survey, **Jour. Research**,1(4): 421-429, 1973.

HARE P. W.; GARDNER I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA M.; HACK J. T. (eds.). **Tectonic Geomorphology**. Proceedings of 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium. 1985.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geological Society of America Bulletin, v. 56, pp. 275-370, 1945.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. **AAPG Bulletin**, v. 51, p. 2246-2259, 1967.

JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. Fraturamento no Embasamento Cristalino do Nordeste do Brasil: Cronologia da Deformação Frágil, Reativação Neotectônica

e Implicações Hidrogeológicas. In: XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2000, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000. p. 1 - 14. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23474/15561>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

LESQUER, A., Beltrão, J.F., Abreu, F.A.M. 1984. Proterozoic links between northeastern Brazil and West Africa: a plate tectonic model based on gravity data. **Tectonophysics**, 110: 9-26.

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.

LÖBLER, Carlos Alberto et al. Estudo Comparativo entre Imagens SRTM e Cartas do Exército para Estudo Plano Altimétrico em Bacias Hidrográficas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 15, n. 15, p.3005-3011, out. 2013. Quadrimestral.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. (Tese de Doutorado em Geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MAIA, R. P; BEZERRA, F. H. R. **Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro**. Mercator, Fortaleza, v.13, p. 127-141, 2014.

MAIA, R. P; BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural: Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

MAIA, Rúbson Pinheiro; CASTRO, Henrique Sampaio de. Erosão Diferencial e Propriedades Geomorfológicas das Rochas: Exemplos do NE Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó - RN, v. 3, n. 1, p.1-15, 29 jun. 2017. Semestral. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/viewFile/11107/8717>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

NEVES, Sérgio P. A Zona de Cisalhamento Tauá, Ceará: Sentido e Estimativa do Deslocamento, Evolução Estrutural e Granitogênese Associada. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p.161-173, jun. 1991. Trimestral.

NIR, D. Man, **A geomorphological agent**: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalém: Ktern Pub. House, 1983.

PADILHA, A. L., VITORELLO, Í., PÁDUA, M. B., BOLOGNA, M. S. 2014. Electromagnetic constraints for subduction zones beneath the northwest Borborema Province: Evidence for Neoproterozoic island arc-continent collision in northeast Brazil. **Geology**, 42;91-94.

PARENTE, Clovis Vaz et al. Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do arco magmático de Santa Quitéria, Ceará, Provincia Borborema do nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p.359-382, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-488920150030264>.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1980.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Stepped Surfaces and Paleolandforms In The Northern Brazilian Nordeste: Constraints On Models Of Morfotectonic Evolution. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 3, p. 89-122, 2004.

PEULVAST, J. P; VANNEY, J. **Géomorphologie structurale**: terre, corps planétaires solides; Tome 1: Relief et structure. Co-édition Gordon and Breach



Science Publishers, Paris, Éditions du BRGM, Orléans, et Société géologique de France, Paris, 2002.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 5 ed. São Paulo: Contexto. 2000.

SAADI, A. **Modelos morfogenéticos e tectônica global: reflexões conciliatórias**. Geonomos, UFMG, Belo Horizonte. n. 6, p. 55-63, 1998.

SAADI, A.; TORQUATO, J.R. Contribuição à Neotectônica do Estado do Ceará. **Revista Geologia UFC**, v. 5, pp. 1-38, 1992.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil**. *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, Rosa Helena Almeida Leite et al. Geomorfologia e Uso de Geotecnologias na Cartografia do Alto Sertão Sergipano. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO - GEONORDESTE 2014, 7., 2014, Aracaju. **Anais...** . Aracaju: Ufs, 2014. v. 1, p. 383 - 387.

SANTOS, T. J. S., GARCIA, M. G. M., AMARAL, W. S., CABY, R., WERNICK, E., ARTHAUD, M. H., DANTAS, E. L., SANTOSH, M. 2009. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 15: 454-470.

SCHUMM, S.A.; DUMONT, J.F.; HOLBROOK, J.M. **Active tectonics alluvial rivers**. Cambridge: Cambridge University Press, 276 p., 2000.

SILVA, Mickaelle Braga da. **Geomorfologia e Controle Estrutural da Rede de Drenagem do Alto Curso do Rio Jaguaribe, Ceará.** 2016. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia.** UFC, v.1, p. 73-91, 1988.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B.. Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará. **Ciência Agrônômica,** Fortaleza, v. 9, n. 1-2, p.77-86, dez. 1979.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of geomorphology.** Geological Society of American Bulletin, v. 63, pp. 923-938, 1952.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.** Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology.** Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920, 1952.

SUDENE, Departamento de Recursos Naturais. **Levantamento Exploratório: Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará.** Recife: Embrapa Solos, 1973.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais.** 2 ed. Florianópolis: Ed. UFSC/UFPR, p. 1-83, 1990.

TAVARES, Adisson Souza. **Análise das Quedas de Blocos em Vertentes: O Caso da Bacia do Riacho Trapiá, Sobral - CE.** 2017. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia Bacharelado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

TROMPETTE, R. 1994. Geology of western Gondwana, Pan-African/Brasiliano aggregation of South America and Africa. A.A. Balkema: Rotterdam.

VARGAS, Karine Bueno. **Caracterização Morfoestrutural e Evolução da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água das Antas - PR.** 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <<http://www.pge.uem.br/documentos-para-publicacao/dissertacoes-1/defesas-2012-pdfs/KarineBuenoVargas.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

ZINCONE, S. 2011. Petrogênese do Batólito Santa Quitéria: implicações ao magmatismo Brasileiro na porção norte da Província Borborema, NE Brasil. **MS Dissertation**, Instituto de Geociências-Unicamp. 192 p.