



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO ACEDÊMICO EM GEOGRAFIA**

**DANIEL DOS REIS CAVALCANTE**

**COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONDICIONAMENTO  
ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ,  
CEARÁ, BRASIL**

**FORTALEZA – CEARÁ**

**2019**

DANIEL DOS REIS CAVALCANTE

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONDICIONAMENTO  
ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ,  
CEARÁ, BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado acadêmico em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de Concentração: Análise Geoambiental, Ordenação e Produção do território.

Orientador: Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos.

FORTALEZA – CEARÁ  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Cavalcante, Daniel dos Reis.

Compartimentação geomorfológica e condicionamento estrutural da drenagem na bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará, Brasil [recurso eletrônico] / Daniel dos Reis Cavalcante. - 2019

Um arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 84 folhas.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2019.

Área de concentração: Análise Geoambiental, Ordenação e Produção do Território.

Orientação: Prof. Ph.D. Frederico de Holanda Bastos.

1. Sub-domínio Médio Coreaú. 2. Geomorfologia Estrutural. 3. Geomorfologia Fluvial. 4. Rio Itacolomi. I. Título.

## DANIEL DOS REIS CAVALCANTE

### COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONCONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ, CEARÁ, BRASIL.

Trabalho apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geografia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia, Área de Concentração: Análise geoambiental, ordenação e produção do território.

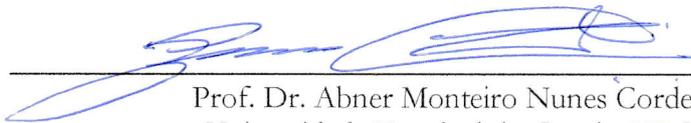
Aprovado em: 19 de julho de 2019.

#### BANCA EXAMINADORA



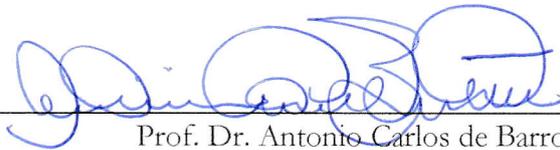
---

Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos (Orientador)  
Universidade Estadual do Ceará – UECE



---

Prof. Dr. Abner Monteiro Nunes Cordeiro  
Universidade Estadual do Ceará - UECE



---

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Correa  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dedico aos meus familiares, sobretudo aos meus avós, bem como a todos que de alguma forma contribuíram para o alcance dos objetivos desse trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa concebida que foi de significativa importância.

Devo agradecer ao meu orientador, professor Dr. Frederico de Holanda Bastos, pela paciência, pelo aprendizado adquirido desde a graduação como monitor e bolsista de iniciação científica, além das notáveis contribuições para minha formação acadêmica e para o presente estudo.

Agradeço ao professor Dr. Abner Monteiro Nunes Cordeiro pela amizade e parceria que se estabeleceu desde a graduação, mas também pelas orientações e cobranças após a qualificação.

Agradeço ao professor Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa por ter aceitado avaliar o trabalho de muito bom grado.

Aos meus colegas da turma de mestrado 2017.1 que sem eles não teria sido a mesma coisa, em especial Airles Lorena e Ícaro Breno.

Aos membros do Laboratório de Estudos Morfoestruturais e Pedológicos, também deixo o meu agradecimento, em especial aos amigos Aryberg Duarte, Andrea César, Adisson Tavares, Yuri Belarmino e Mariana Oliveira.

Devo um agradecimento mais que especial à minha avó Geralurdes Cavalcante e meu avô Moacir Elias, por sempre acreditarem em mim, sobretudo nos momentos difíceis.

Agradeço a todos meus familiares, em especial minha mãe Maria José, ao meu pai Gleidson Cavalcante, aos meus irmãos Mayara Reis e Gabriel Reis e ao meu Tio Bola.

Agradeço também aos amigos que não foram poucos e que de alguma forma ajudaram no desenvolvimento dessa pesquisa, em especial destaque meus amigos Kauê Barbosa, Eduardo Holanda, Liewton Felix, Victor Hugo, Angel Costa, Luciana Mendes, Brenna Regina e Fernando Júnior.

Para finalizar, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse aos resultados desse estudo.

“Foi o começo da vida de geógrafo: ler e interpretar a paisagem, ter noção da seqüência dos cenários de um determinado espaço, passou a ser uma constante em toda minha vida”.

(Aziz Nacib Ab’Sáber)

## RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Coreaú localiza-se no setor NW do Estado do Ceará, apresentando uma expressiva diversidade topográfica e complexo arranjo estrutural de cunho dúctil/rúptil que tem condicionado o relevo, bem como a drenagem local. A presente análise visa elaborar um estudo de cunho morfoestrutural buscando evidenciar o controle estrutural exercido pelo arcabouço geológico sobre a drenagem do rio Coreaú. Face o exposto, teve-se como objetivo principal evidenciar o condicionamento estrutural da drenagem na bacia do rio Coreaú com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. Para se chegar ao objetivo proposto o trabalho foi dividido em levantamentos bibliográficos, técnicas de geoprocessamento, com etapas de aquisição e processamento de dados; e, por fim, os trabalhos de campo. Através da análise dos diagramas de rosetas foi possível identificar as direções NE-SW e E-W como os principais sentidos para as estruturas geológicas de caráter dúctil/rúptil assim como os lineamentos estruturais, sendo que tais direções compactuam com os *trends* regionais NE-SW e E-W do setor setentrional da Província Borborema. Por meio da análise dos diagramas de rosetas, elaborados por ordem de drenagem, pode-se perceber que, em sua maioria, as direções NE-SW e E-W são bastante representativas, porém, constatou-se também uma significativa predominância da direção NW-SE, isto justifica-se pelos lineamentos estruturais positivos (cristas) de direção predominante NE-S formarem drenagens de primeira ordem perpendiculares aos seus eixos. Identificou-se também uma possível mudança de direção do canal fluvial do rio Itacolomi justificada por atividades neotectônicas. Sendo assim, os lineamentos estruturais e as estruturas dúcteis/rúpteis, bem como a rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Coreaú apresentam direção NE-SW e E-W, o que vem a confirmar uma concordância com as principais direções de outras expressivas bacias hidrográficas do Nordeste setentrional.

**Palavras-chave:** Sub-domínio Médio Coreaú. Geomorfologia Estrutural. Geomorfologia Fluvial. Rio Itacolomi.

## ABSTRACT

The watershed of the Coreaú River is located in the NW area of the State of Ceará, presenting an expressive topographic diversity and complex structural arrangement of ductile/rutile dune, which has conditioned the relief as well as the local drainage. The present analysis aims to elaborate a morphostructural study seeking out at the evidencing of the structural control exerted by the geological framework on the drainage of the Coreaú River. Here in, the main objective was to demonstrate the structural conditioning of drainage in the Coreaú River basin with the aid of geoprocessing techniques. In order to achieve the proposed goal, the work was divided into bibliographical surveys; geoprocessing techniques, with data acquisition and processing stages; and finally, fieldwork. Thru the analysis of the rosette diagrams it was possible to identify the NE-SW and E-W directions as the main ones for the ductile/brittle geological structures as well as the structural lineaments, and these directions are in agreement with the NE-SW and E-W regional trends of the septentrional sector of the Borborema Province. Throughout the analysis of the rosette diagrams, elaborated in order of drainage, it was possible to notice that, for the most part, the NE-SW and E-W directions are quite representative, however, a significant predominance of NW-SE direction was observed, this is warranted by the positive structural lineaments (crests), of predominant NE-SW direction, to form first-order drains perpendicular to their axes. It was furthermore identified a possible change of direction of the fluvial channel of the Itacolomi River justified by neotectonic activities. Thereby, the structural lineaments and the ductile/rump structures, as well as the drainage network of the Coreaú River hydrographic basin present NE-SW and E-W directions, which confirm a concordance with the main directions of other expressive Septentrional Northeast watersheds.

**Key-words:** Coreaú Middle Subdomain. Structural Geomorphology. Fluvial Geomorphology. Itacolomi River.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 –	Exemplo de uma Bacia Hidrográfica.....	19
Figura 02 –	Padrões de rede de drenagem.....	20
Figura 03 –	Exemplos do contexto geológico da área de estudo: (A) aspectos do metacalcário da Formação Frecheirinha; (B) Arenitos do Grupo Serra Grande; (C) Formação Camocim; (D) Duna próxima ao estuário do rio Coreaú.....	42
Figura 04 –	<i>Inselgebergs</i> do Carnutum (A) e Penanduba (B).....	44
Figura 05 –	Cornija representada entre linhas vermelhas; Setas em amarelo indicam o pedimento dissecado.....	47
Figura 06 –	Aspectos morfológicos das unidades de relevo da área de Estudo (A) vista da Depressão Sertaneja no alto a serra da Meruoca; (B) vista parcial da planície flúvio-marinha do rio Coreaú; (C) Falésia no estuário do rio Coreaú.....	49
Figura 07 –	Densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Coreaú ..	64
Figura 08 –	(A) Perfil de Latossolo no município de Tianguá; (B) Perfil de Neossolo Flúvico próximo ao rio Coreaú.....	66
Figura 09 –	Padrões geométricos da rede de drenagem.....	67
Figura 10 –	Vista parcial do front do <i>glint</i> da Ibiapaba, onde as setas em vermelho indicam o pedimento dissecado. Notar a morfologia plana do topo.....	67
Figura 11 –	Diagramas de Rosetas de estruturas rúpteis (lado esquerdo) e dos lineamentos estruturais (lado direito).....	70
Figura 12 –	Diagramas de Rosetas.....	72
Figura 13 –	Esboço geológico da área de estudo, em (A) Antigo fluxo de drenagem; em (B) Interflúvio com atual fluxo de drenagem.....	74
Tabela 01 –	Lista de arquivos <i>shapefile</i> utilizados no trabalho.....	33
Tabela 02 –	Lista de imagens <i>Raster</i> utilizadas no trabalho.....	33

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 01 – Localização da bacia hidrográfica do rio Coreaú.....</b>	<b>16</b>
<b>Mapa 02 – Geologia da bacia hidrográfica do rio Coreaú.....</b>	<b>41</b>
<b>Mapa 03 – Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Coreaú .....</b>	<b>45</b>
<b>Mapa 04 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Coreaú.....</b>	<b>46</b>
<b>Mapa 05 – Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Coreaú .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 –</b>	<b>Precipitação média anual dos principais postos pluviométricos inseridos na bacia do rio Coreaú (1988-2018), Ceará, Brasil .....52</b>
<b>Gráfico 2 –</b>	<b>Média mensal pluviométrica no período de 1988 a 2018 para a bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará, Brasil .....53</b>
<b>Gráfico 3 –</b>	<b>Balanço hídrico normal do município de Camocim-Ceará, para o período 1988 a 2018 .....55</b>
<b>Gráfico 4 –</b>	<b>Balanço hídrico normal do município de Frecheirinha-Ceará, para o período 1988 a 2018 .....56</b>
<b>Gráfico 5 –</b>	<b>Balanço hídrico normal do município de Viçosa do Ceará-Ceará, para o período 1988 a 2018 .....56</b>
<b>Gráfico 6 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Viçosa do Ceará-Ceará, no período de 1988 a 2018.....57</b>
<b>Gráfico 7 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Tianguá-Ceará, no período de 1988 a 2018.....57</b>
<b>Gráfico 8 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Granja-Ceará, no período de 1988 a 2018.....58</b>
<b>Gráfico 9 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Camocim-Ceará, no período de 1988 a 2018.....59</b>
<b>Gráfico 10 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Coreaú-Ceará, no período de 1988 a 2018.....59</b>
<b>Gráfico 11 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Alcântaras-Ceará, no período de 1988 a 2018.....60</b>
<b>Gráfico 12 –</b>	<b>Extrato do balanço hídrico do município de Frecheirinha-Ceará, no período de 1988 a 2018 .....60</b>
<b>Gráfico 13 –</b>	<b>Gráfico com percentual por classes de declividade da bacia do rio Coreaú .....65</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
CGIS	Canadian Geographic Information System
CPRM	Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
GIS	Geographic Information System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NQc	Coberturas sedimentares de espriamento aluvial
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará
UTM	Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Geomorfologia Fluvial .....</b>	<b>18</b>
2.1.1	Controle Estrutural da Drenagem .....	22
<b>2.2</b>	<b>Geomorfologia Estrutural .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	Lineamentos Estruturais .....	29
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Levantamento Bibliográfico.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Técnicas De Geoprocessamento .....</b>	<b>33</b>
3.2.1	Aquisição de Dados.....	33
3.2.2	Processamento de Dados .....	34
<b>3.3</b>	<b>Levantamento de Campo .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>ASPECTOS NATURAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Geologia e Geomorfologia da Área de Estudo.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Parâmetros Hidroclimáticos e Balanço Hídrico da Área de Estudo.....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>CONTROLE ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ.....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A expressividade dos recursos hídricos no Brasil se deve, além da sua dimensão continental, à distribuição da pluviosidade em todo o território, onde são registrados notáveis valores superiores a 1.500 mm anuais. No entanto, algumas regiões do Nordeste brasileiro recebem menos de 1.000 mm anuais, tendo alguns locais valores abaixo de 500 mm de precipitação (CUNHA, 2011).

No semiárido nordestino documentam-se elevadas taxas de insolação, elevadas temperaturas, bem como totais pluviométricos baixos com alta variabilidade no tempo e no espaço e elevadas taxas de evapotranspiração, que acabam refletindo num significativo déficit hídrico anual (ZANELLA, 2014).

De acordo com Zanella (op. cit., p. 127)

“As características climáticas do Nordeste brasileiro, representadas pela sazonalidade da precipitação e pela alta variabilidade das chuvas, mantêm uma relação direta com o comportamento fluvial. A distribuição da chuva no tempo e no espaço, associada às formações geológicas predominantemente cristalinas, são fatores condicionantes do regime dos rios e das reservas subterrâneas e, portanto, da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para a região.”

Para Lima (2006), os rios possuem importância econômica, social e política e, muito além disso, a drenagem pode propiciar relevantes informações sobre o meio físico, sobretudo no que tange aos aspectos geológicos e geomorfológicos. Dessa forma, sua análise fornece subsídios sobre as melhores maneiras de intervenções sobre os recursos naturais.

Para Bertolini e Cherem (2016), as relações entre processos e formas de vertentes e de canais fluviais são elementos centrais das principais teorias geomorfológicas, tendo em vista a importância do ajuste entre processos erosivos, nível de base e condições do meio no qual estabelece-se esse ajuste.

Sendo assim, “é sabido que a geometria dos canais fluviais é resultado da complexa interação entre tipo de carga transportada, regime de fluxo, topografia, substrato e atividade tectônica associada” (MAIA; BEZERRA; CLAUDINO-SALES, 2008, p. 183). Além disso, os aspectos hidroclimáticos são responsáveis diretos pelos mecanismos que condicionam a dinâmica natural (BASTOS; CORDEIRO, 2012).

Ab’Sáber (2003) utilizou o critério morfoclimático para delimitar as grandes unidades de paisagem do território brasileiro, tendo em vista a influência de sistemas

de erosão similares de acordo com as condições climáticas. Nessa perspectiva, a área de estudo, a bacia hidrográfica do rio Coreaú (Mapa 1), se localiza no domínio das depressões intermontanas e interplanálticas semiáridas, mais especificamente no setor Noroeste do Estado do Ceará.

A porção NW do Estado do Ceará está inserida no contexto geológico e tectônico da porção setentrional da Província Borborema, Domínio Médio Coreaú (DMC). O DMC delimitado a oeste pela Província do Parnaíba, marcada pela escarpa do planalto da Ibiapaba, e pelo Cráton São Luis; a leste, pelo Domínio Ceará Central, do qual se separa pelo Lineamento Transbrasiliano (BRITO NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000); foi definido originalmente por Brito Neves (1975) como “Região de Dobramentos do Médio Coreaú”, correspondendo a um “Cinturão Orogênico” (*Orogenic Belt*), que engloba uma variada gama de litótipos (rochas cristalinas e cristalofilianas pré-cambrianas) com distintas idades (TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996).

Para Torquato (1995), a região Noroeste do Ceará é marcada por intensa diferenciação topográfica, isto se deve à expressiva variação litoestratigráfica, bem como ao arranjo estrutural (dobras e falhas) de como essas rochas se apresentam. Este setor apresenta um arcabouço geológico de cunho rúptil e dúctil notável, de maneira que o arranjo estrutural e as diferentes litologias condicionam as formas de relevo local, além da rede de drenagem.

Tal bacia drena aproximadamente uma área de 4.400 km<sup>2</sup>, abrangendo integralmente os municípios de Moraújo, Coreaú, Frecheirinha e Alcântaras, e parte de outros 13 municípios como, por exemplo, Camocim, Granja, Sobral, Tianguá, Ubajara, Viçosa do Ceará, entre outros.

O rio Coreaú possui importantes afluentes tais como o rio Juazeiro, rio Itaquiara e o rio Itacolomi. Além disso, a bacia hidrográfica em questão apresenta algumas anomalias de drenagem, no caso, desvio de canais, curvaturas anômalas, entre outros. No entanto, é importante destacar que tais problemas geomorfológicos necessitam de estudos mais aprofundados visando suas resoluções.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEORGRAFIA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA



Autor:

**DANIEL DOS REIS CAVALCANTE**

Título:

**COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E  
CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA DRENAGEM  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ,  
NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ**

Conteúdo:

**LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ**

Fonte:

CPRM, 2003; SRH, 2008; IMAGEM ALOS PALSAR.

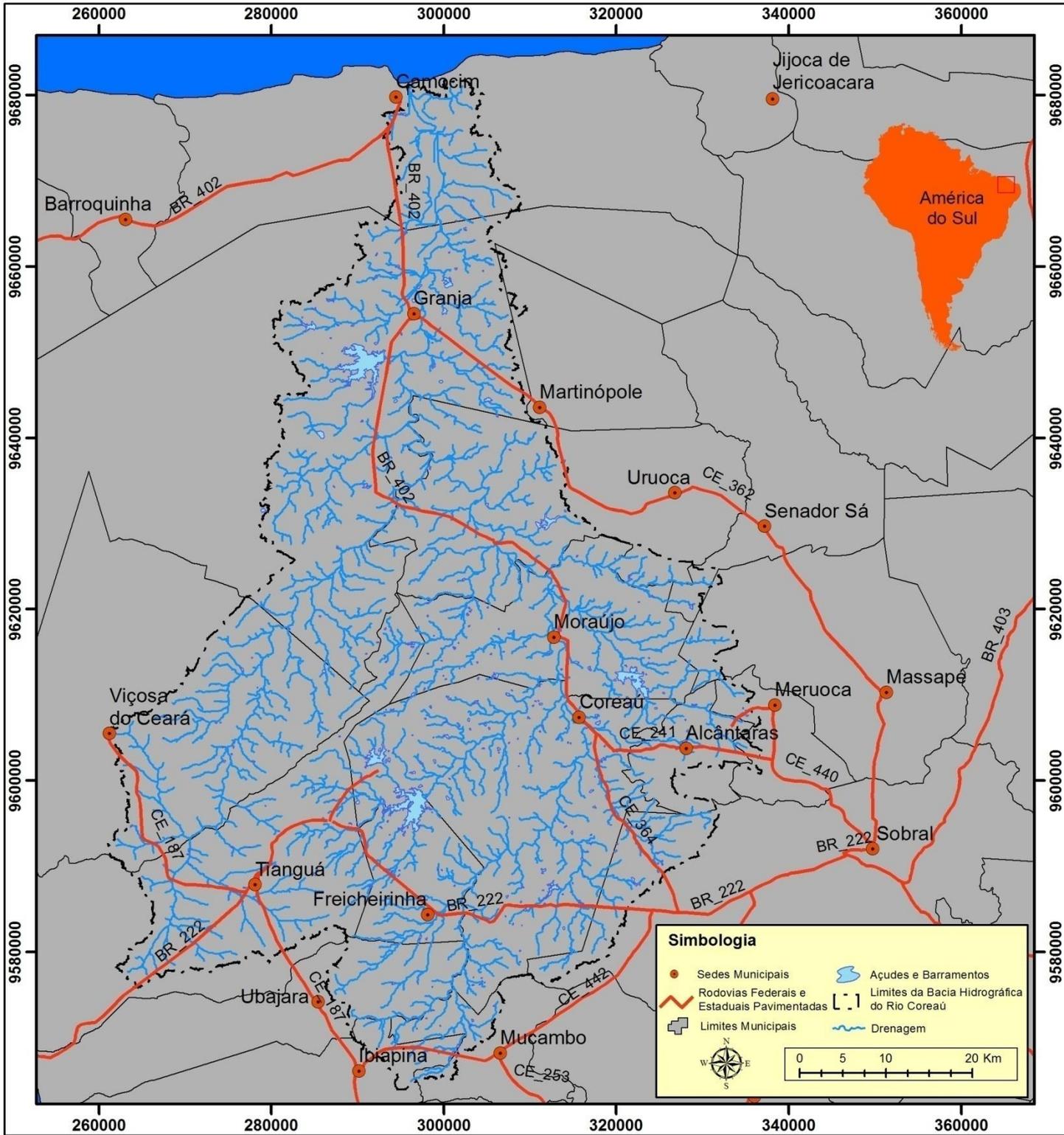
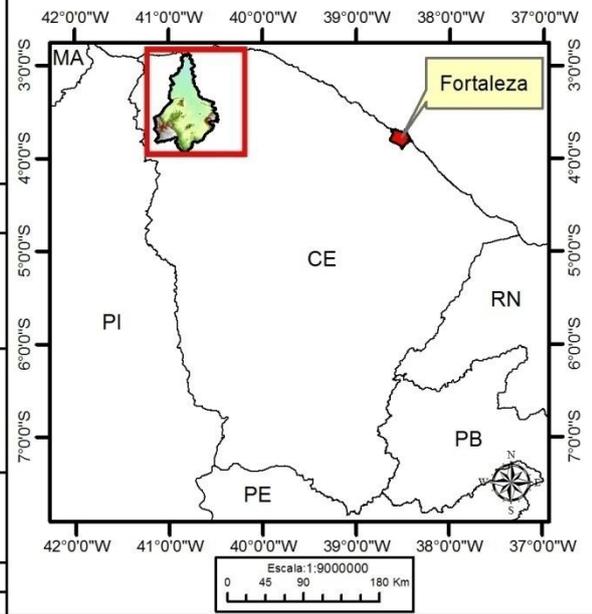
Sistema de Coordenadas UTM / Datum SIRGAS 2000

Mapa: 01

Folha A4 - 297 x 210mm

Escala: 1:650000

Data: maio/2019



Suas nascentes estão situadas, principalmente, no planalto da Ibiapaba e no maciço cristalino da Meruoca, bem como em relevos residuais de menor expressão espacial. No que concerne ao escoamento global da drenagem, o rio Coreaú tem caráter exorreico e seu estuário localiza-se no município de Camocim.

A bacia em questão está localizada numa área de expressiva heterogeneidade litológica e estrutural que, de maneira direta e indireta, influencia no relevo. O relevo da área de estudo também é heterogêneo e de complexo entendimento devido às incontáveis variáveis litológicas, estruturais e climáticas que precisam ser consideradas numa eventual abordagem morfogenética.

São poucas as abordagens geomorfológicas sobre a bacia hidrográfica do rio Coreaú, sobretudo no que tange a uma abordagem morfoestrutural ou morfotectônica. Dessa maneira, se faz necessário um estudo morfoestrutural da referida bacia hidrográfica, tendo em vista que a drenagem se adapta, de forma muito sensível, as mudanças do relevo.

Face o exposto, o presente trabalho teve como objetivo principal analisar as formas de relevo da bacia hidrográfica do rio Coreaú a partir da influência litológica e estrutural, para se chegar ao objetivo proposto foi necessário o auxílio de ferramentas e técnicas de geoprocessamento.

Sendo assim, foi necessário realizar uma breve discussão sobre a geologia e a geomorfologia da área de estudo, bem como identificar o sentido predominante da rede de drenagem e dos lineamentos estruturais, além de relacionar essas importantes variáveis para o entendimento das influências que a estrutura tem sobre a rede de drenagem.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Tendo em vista a necessidade de se abordar conceitos relevantes para a presente pesquisa, este capítulo visa apresentar uma revisão de literatura acerca de conceitos e temas tais como geomorfologia fluvial, geomorfologia estrutural, controle estrutural da drenagem, bem como lineamentos estruturais.

### 2.1 Geomorfologia Fluvial

O desenvolvimento da Geomorfologia Fluvial se deu em conjunto com a evolução da ciência geomorfológica, sendo que já nos séculos XVII e XVIII alguns pesquisadores de engenharia hidráulica já relacionavam a degradação e a formação das paisagens com a ação fluvial (ELORZA, 2008).

Para Christofolletti (1980, p. 65), “a Geomorfologia Fluvial interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas com o escoamento dos rios”. Para esse autor, os rios são de suma importância entre todos os processos genéticos do relevo, sendo o principal agente de transporte e deposição de materiais intemperizados, sobretudo em regiões intertropicais.

Sendo assim, de acordo com Elorza (op. cit., p. 294), “os rios são essencialmente agentes de erosão e transporte, que fornecem aos oceanos água e sedimentos procedentes do continente”. O canal fluvial, ao drenar da nascente a foz formando um rio, se torna o agente mais eficaz na morfogênese do relevo (PENTEADO, 1983).

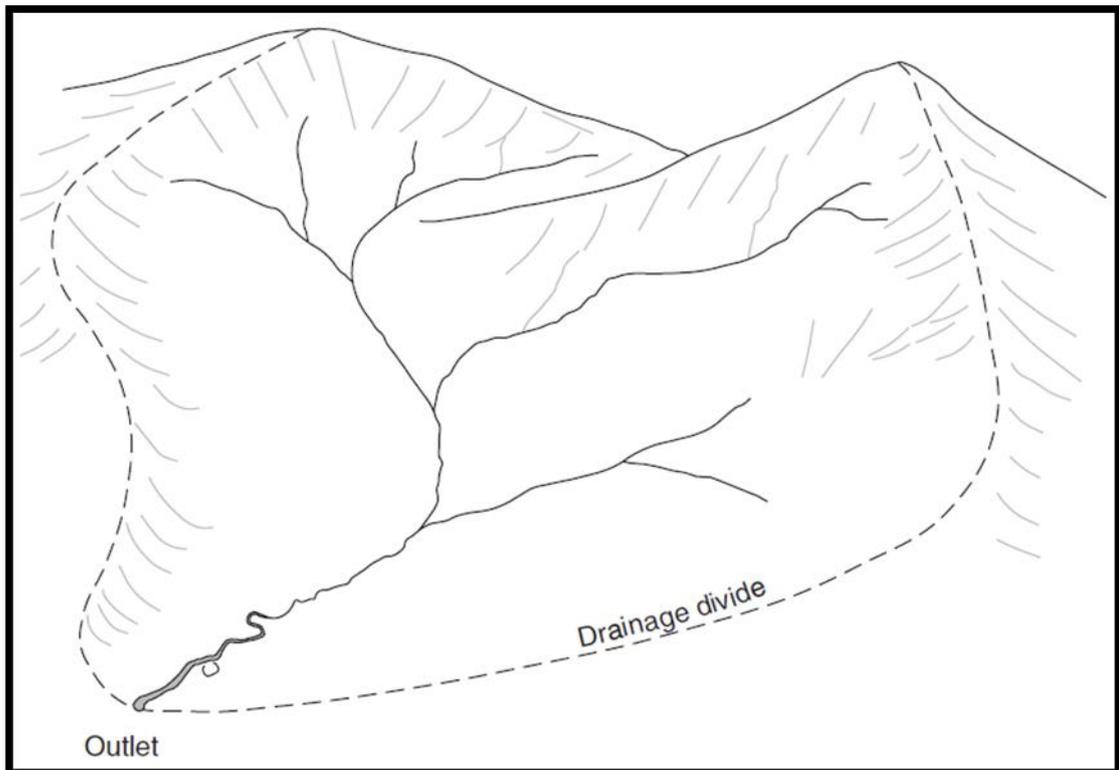
Segundo Charlton (2008), todo rio drena um determinado percentual de um território, conhecido como bacia hidrográfica, que fornece água e sedimentos para o canal dos rios (Figura 01). Christofolletti (op. cit.) afirma que bacia hidrográfica é a área drenada por determinado sistema fluvial, onde tal sistema é composto por um conjunto de canais de escoamento.

O padrão geométrico da rede de drenagem está ligado à forma como estão distribuídos espacialmente os cursos fluviais, sendo estes influenciados pelas propriedades geomorfológicas das rochas, pela declividade, o mergulho das camadas das rochas, entre outros (CHRISTOFOLETTI, op. cit.; CHARLTON op. cit.). Os padrões de drenagem podem ser de diferentes tipos tais como: dendrítico, treliça, retangular, paralelo, radial e anelar (Figura 02), a saber<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> As definições dos diferentes tipos de Padrões de Drenagem foram baseadas em Howard (1967); Christofolletti (1980); Charlton (2008); Elorza (2008).

Figura 01 – Exemplo de uma Bacia Hidrográfica

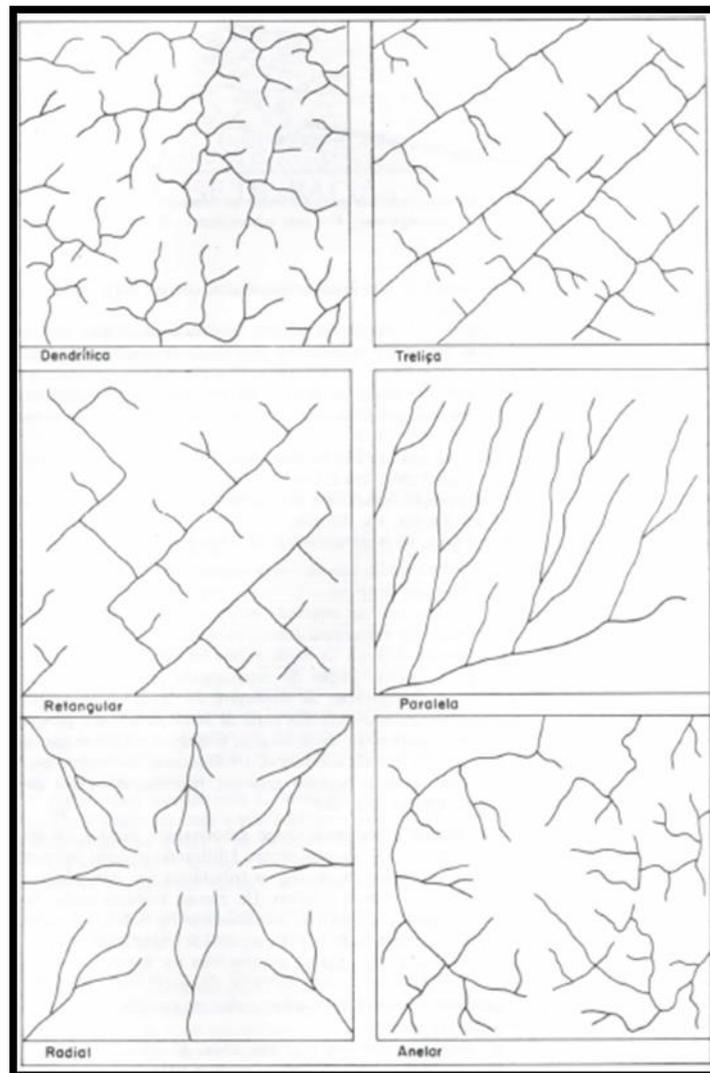


Fonte: Charlton, 2008.

- *Drenagem Dendrítica*: Tem padrões aleatórios, desenvolvendo-se sobre rochas de resistência uniforme. Quando há presença de confluência em ângulos agudos, chama-se de anomalia de drenagem, tal anomalia comumente atribui-se a controles tectônicos.
- *Drenagem Treliça*: Nesse padrão de drenagem, os canais fluviais são controlados pela estrutura, falhas, fraturas, litologia, entre outros. É comum em áreas de dobramentos invertidas pela erosão diferencial, com marcada diferenciação litológica.
- *Drenagem Retangular*: Quando dois conjuntos de drenagens controlados estruturalmente se encontram formando um ângulo reto, desenvolve-se o padrão retangular que, para alguns pesquisadores, este tipo de drenagem seria uma modificação da drenagem treliça, sendo estas típicas de áreas plataformais reativadas e sem sobreposição.

- *Drenagem Paralela*: É marcado, principalmente, por algum tipo de mergulho de escala regional ou quando há presença de vertentes com acentuados declives. Pode-se dividir também em dois tipos, subparalelo e colinear.
- *Drenagem Radial*: Apresenta-se composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda em relação a um ponto central. Ocorrem de duas formas, as centrífugas quando divergem a partir de um ponto, sendo os relevos em domos um exemplo, e a centrípeta quando há convergência para uma área central em posição mais baixa, como nos lagos.
- *Drenagem Anelar*: Esse padrão lembra anéis, suas estruturas anelares são típicas de relevos em domos com alto grau de dissecação, pode estar associada a uma sequência de evolução de um padrão radial.

**Figura 02 – Padrões de rede de drenagem**



Fonte: Christofolletti, 1980.

Os padrões de drenagem são influenciados por diversos fatores, são exemplos as variáveis climáticas e litológicas (SUMMERFIELD, 1991). As oscilações climáticas podem, junto à estrutura, controlar a forma do perfil longitudinal do rio, uma vez que influenciam a quantidade e a periodicidade das vazões (ZANCOPE; PEREZ FILHO; CARPI JR., 2009). Para atender às novas condições climáticas, o curso fluvial rapidamente se ajusta aos processos de erosão, transporte e deposição e, por conseguinte, a forma do perfil longitudinal do rio pode ser alterada (ZANCOPE; PEREZ FILHO; CARPI JR., op. cit.).

Contudo, a estrutura geológica se caracteriza como o fator mais expressivo para o surgimento dos padrões de drenagem (HOWARD, 1967). A exploração de zonas de fraqueza estrutural pela erosão superficial, eventualmente provoca um padrão geral de drenagem que reflete os padrões de fragilidade nas rochas subjacentes (SUMMERFIELD, op. cit.).

Existem diferentes classificações dos padrões de drenagem na literatura, com base na geometria dos canais (CHRISTOFOLETTI, 1980; HOWARD, op. cit.). Estes são geralmente subdivididos em básicos e básicos modificados, onde a maioria dos padrões básicos são controlados pela estrutura regional, sendo classificados em dendrítico, paralelo, treliça, retangular, radial e anelar (HOWARD, op. cit.). Vale ressaltar que para o presente estudo apenas os básicos são utilizados. No entanto, uma bacia hidrográfica pode englobar diferentes padrões geométricos para seus rios e uma gama de subtipos definidos em diversos trabalhos (CUNHA, 2009).

O padrão geométrico da rede de drenagem, de uma bacia hidrográfica, relaciona-se com o ambiente geológico e climático local, sendo, portanto, possível, através do estudo desses padrões, interpretar a natureza dos terrenos, a disposição das camadas e das linhas de falhamentos, além dos processos fluviais e climáticos predominantes (CUNHA, op. cit.).

Atribui-se muita importância aos estudos sobre a rede de drenagem e tal fato é justificado porque os cursos fluviais são os primeiros elementos a indicar anomalias de cunho estrutural, fornecendo subsídios à identificação de fatores de origem tectônica (GONTIJO, 1999; SUMMERFIELD, op. cit.), visto que muda seu curso e adapta suas morfologias, além de apresentar padrões de acordo com as estruturas do modelado do relevo (SCHUMM; DUMONT; HOLBROOK, 2002). Os rios, comandados pela gravidade, respondem rapidamente a qualquer deformação

na superfície do terreno, mesmo aquelas mais suaves (GUEDES et al., 2006; PENTEADO, 1983).

Por causa da expressiva sensibilidade às alterações crustais, mesmo que estas sejam em escala e magnitude pequenas (SCHUMM, 1993), a rede de drenagem se modifica apresentando padrões e formas de acordo com as estruturas do relevo (COUTO et al., 2011). Neste sentido, a rede de drenagem fornece indícios de características estruturais inativas expostas na superfície, e, possivelmente, de características estruturais em subsuperfície (HOWARD, 1967), constituindo-se uma importante ferramenta de análise morfoestrutural (HAYAKAWA, 2011).

A caracterização da rede de drenagem, utilizando variáveis como propriedade, padrão e morfologia, auxilia na identificação dos componentes do quadro natural (e.g. substrato geológico, relevo, solo e cobertura vegetal), que controlam e/ou controlaram seu desenvolvimento recente e pretérito (HAYAKAWA; ROSSETTI, 2012).

### 2.1.1 Controle Estrutural da Drenagem

Couto et al. (2011, p. 315) destacam que “o entendimento do contexto geológico e geomorfológico e os processos estruturais atuantes em determinadas áreas podem ser compreendidos a partir do comportamento da rede de drenagem, seus padrões, formas e morfometria.”

De acordo com Lima (2006, p. 122)

“Quase sempre existe uma convivência entre a drenagem e a estrutura geológica, uma vez que aquela implanta-se em zonas de fraqueza, e esta, em sua maioria, é controlada por alguma estrutura geológica, como seja: fraturas, juntas, falhas, discordâncias, eixo e flanco de dobras, interface litológica, acamamento, foliação, lineação, lineamentos, etc.”

Para Vervloet (2015) as pesquisas em relação ao comportamento hidráulico dos canais fluviais em leitos rochosos talvez seja uma das mais importantes diretrizes geomorfológicas estruturais, pelo fato que esta possibilita revelar a natureza e dinâmica do condicionamento estrutural face à organização litológica e tectônica das rochas.

Morais et al. (2010, p. 127-128) afirmam que

“A orientação do fluxo d’água na bacia hidrográfica é direcionada por intermédio da gravidade. No entanto, a estrutura litológica, as lineações tectônicas e o modelado do relevo imprimem diferentes

intensidades aos processos de infiltração, erosão e orientação do fluxo hídrico na vertente. A organização da rede de drenagem tende a obedecer a um mesmo padrão regional determinado pela topografia e a estrutura litológica. Portanto, a relação entre a morfologia dos canais fluviais também é determinada pela geomorfologia regional na qual o canal está inserido.”

Sendo assim, Lima (2006, p. 88) destaca que “como a litoestrutura relaciona-se diretamente com a drenagem, pode-se deduzir da importância significativa do estudo da drenagem e seus padrões, em termos da caracterização das formas de relevo.”

Entretanto, as influências estruturais não ocorrem somente em grandes sistemas de drenagem, mas também em pequenos sistemas fluviais, sendo que essa influência pode estar diretamente relacionada com a heterogeneidade das rochas e a organização dos lineamentos estruturais e tectônicos (VERVLOET, 2015).

Sendo assim, apesar de ser explícito os efeitos tectônicos nos ambientes fluviais, apenas um breve número de pesquisas levava em consideração tais efeitos até a década de 1980 (SCHUMM; DUMONT; HOLBROOK, 2002). “As variações da morfologia dos canais fluviais eram interpretadas, por exemplo, como decorrentes das variações na descarga sólida e do tipo de carga transportada, dificultando assim a detecção dos efeitos da atividade tectônica” (MAIA; BEZERRA, 2014b, p.95).

O rio possui a tendência de seguir o caminho mais fácil e que acompanhe a declividade regional (BISHOP, 1995). Portanto, a constatação de trechos no canal fluvial que divirja da declividade, sugere a imposição de um desvio que pode estar associado a uma litologia distinta ou a estruturas que podem, por sua vez, correlacionar-se a eventos tectônicos (SILVA et al., 2006). Esses trechos divergentes são reconhecidos na literatura como anomalias presentes no padrão de drenagem (TWIDALE, 2004).

Anomalias de drenagem são discordâncias locais da drenagem regional e/ou dos padrões de canais, manifestando desvios topográficos ou estruturais, tendo a mudança brusca da direção da drenagem como principal evento morfológico (HOWARD, 1967; BISHOP, op. cit.). As anomalias estão relacionadas às estruturas geológicas e litologias mais ou menos resistentes à erosão fluvial, gerando alterações no transporte e na forma dos rios nos trechos sobre a estrutura

movimentada, como também a montante e a jusante da zona deformada (ZANCOPE; PEREZ FILHO; CARPI JR., 2009).

A distribuição espacial da rede de drenagem, assim como o desenvolvimento das formas de relevo estão condicionados por diferentes fatores, com destaque para os aspectos relacionados à litologia e às discontinuidades estruturais (SOUZA; ARRUDA, 2014). Logo, a análise dos cursos fluviais é de fundamental importância para o desenvolvimento de diferentes tipos de estudos, mas, sobretudo, os morfoestruturais, sendo que esta análise inclui considerações sobre os padrões de drenagem (*drainage patterns*), padrões de fluxo individuais (*individual stream patterns*) e anomalias de drenagem (*drainage anomalies*) (HOWARD, 1967).

Em relação às anomalias de drenagem, Howard (op. cit.) afirma que os trechos onde se apresentam ocorrência localizada e abrupta de curvas meândricas, meandros comprimidos, retilinidade ou linearidade de canais fluviais, curvas abruptas na drenagem, estreitamento e alargamento de fundos de vales com presença de depósitos aluviais, entre outras feições que indicam algum controle litoestrutural, são referidos na literatura geomorfológica, comumente, como feições de anomalias locais da drenagem (HOWARD, op. cit.).

Existem três formas de reorganização fluvial e são elas: captura (*piracy*), decapitação (*beheading*) e desvio (*diversion*), que podem estar relacionadas com diferentes mecanismos, nos quais incluem desde o tectonismo até eventos catastróficos, correspondentes a fluxos de grande magnitude (BISHOP, 1995).

A evolução dos sistemas de drenagem ou a reorganização fluvial está diretamente vinculada a influências litoestruturais e variações no regime climático que imprimem na paisagem feições morfológicas específicas (SCHUMM; DUMONT; HOLBROOK, 2002).

A disponibilidade de diferentes produtos e técnicas de sensoriamento remoto, com destaque para os Modelos Digitais de Elevação (MDE), tem proporcionado uma caracterização mais refinada da rede de drenagem (MERTES; MAGADZIRE, 2007).

Cabe ressaltar que a utilização de produtos de sensoriamento remoto para a extração de lineamentos de drenagem e relevo tornou-se uma ferramenta importante nas interpretações morfoestruturais e geomorfológicas, dando suporte no

que tange à observação de eventos tectônicos antigos, assim como para eventos recentes (CORRÊA; FONSÊCA, 2010).

Dessa forma com o auxílio do geoprocessamento e outras metodologias como, por exemplo, o diagrama de rosetas, é possível a identificação do condicionamento estrutural da drenagem, bem como dos padrões da rede de drenagem que se espacializam dentro de uma bacia hidrográfica.

## 2.2 Geomorfologia Estrutural

A palavra morfoestrutura foi sugerida por Gerasimov, em 1946, quando utilizou como base conceitual para a análise morfoestrutural os pressupostos de Penck (1924) (ABREU, 1983). Gerasimov propôs através de análises geomorfológicas a divisão das formas de relevo em três categorias principais: geotextura, morfoestrutura e morfoescultura (GERASIMOV; MESCERJAKOV, 1968; MESCERJAKOV, 1968), os quais se equivalem aos conceitos de morfotectura (*morphotecture*), morfoestrutura (*morphostructure*) e morfoescultura (*morphosculpture*) empregados por Mescerjakov (op. cit.).

A análise morfoestrutural constitui um paradigma nas escolas da Rússia e Europa Oriental, onde foi definida por Gerasimov (1946) como formas do relevo elaboradas por uma associação de atividades climáticas e tectônicas, obedecendo um arranjo hierárquico que abrange desde megaestruturas como, por exemplo, uma cadeia meso-oceânica, até microestruturas como um vale controlado por falha (GERASIMOV; MESCERJAKOV, op. cit.; GOMES NETO, 2007).

Saadi (1991) define morfoestrutura como o compartimento morfológico cujas características principais demonstram a ocorrência de um expressivo controle exercido pelo arcabouço litoestrutural. Esse condicionamento é passivo, exercido por complexos litológicos delimitados e envolvido por uma arquitetura tectônica. A forma final é resultante da elaboração do agente erosivo (SAADI, op. cit.).

Muitas das morfoestruturas são consequências de ciclos alternados de soerguimentos, que acarretam dissecação e estabilização, produzindo superfícies de aplainamentos regionais (GERASIMOV; MESCERJAKOV, op. cit.). As morfoestruturas constituem uma tipologia hierárquica de relevos, que compreendem desde conjuntos regionais de primeira ordem de grandeza (megamorfoestruturas) até as menores ordens (micromorfoestruturas), tais como os grábens e cimeiras em cristas de expressão local (CORRÊA et al., 2010).

As morfoestruturas consistem nas feições geomorfológicas relacionadas exclusivamente às estruturas geológicas formadas durante processos de soerguimento e dobramentos, formando dobras anticlinais e sinclinais, originando respectivamente estruturas mais elevadas (montanhas, morros, chapadas, etc.) e vales (PRESS et al., 2006).

A classificação geomorfológica se baseia na ideia de que as formas de relevo da superfície terrestre são resultado da correlação entre as forças endógenas e exógenas (PENCK, 1924). Dessa forma, sob a ação predominante dos fatores endógenos surgem os elementos morfoestruturais e morfotectônicos, que, por sua vez, são representados pelas litologias, pelo arranjo estrutural destas, e pelas pressões magnéticas. No que tange à ação predominante de fatores exógenos, estes são responsáveis por formar as fisionomias primárias dos corpos litológicos, através do desgaste erosivo das formas estruturais, ou seja, os elementos morfoestruturais (MESCERJAKOV, 1968).

Sendo assim, os estudos morfoestruturais se estabeleceram através da metodologia e nomenclatura desenvolvidas por geomorfólogos russos e da Europa Oriental que, a partir da década de 40, passaram a chamar como morfoestruturas os compartimentos morfológicos com base na influência entre diferentes rochas e atividades tectônicas vigentes (CORRÊA et al., 2010).

A geomorfologia estrutural, de forma geral, no Brasil, provém das diretrizes deixadas pelo geomorfólogo francês Francis Ruellan (1950). A compartimentação geomorfológica brasileira é fortemente influenciada por dobramentos de fundo, alinhamentos estruturais e variações litológicas, através de uma organização tectônica herdada do Pré-Cambriano, que influenciou a configuração e evolução da rede hidrográfica do território brasileiro (RUELLAN, op. cit.).

Entretanto, os estudos regionalistas que tratam do desenvolvimento da evolução geomorfológica do Nordeste brasileiro dão destaque para os componentes exógenos sobre o modelado (CORRÊA et al., op. cit.). São os componentes endógenos que criam rupturas na superfície terrestre e que permitem à gravidade exercer seu trabalho como agente modelador do relevo (TRICART, 1974).

No que diz respeito às implicações dos condicionantes geológico-estruturais e de seus reflexos no relevo, Tricart (1977) alerta para dois aspectos primordiais: a tectônica e a litologia. A tectônica abrange, concomitantemente, as

deformações recentes, fontes de instabilidade morfodinâmica, e as disposições tectônicas adquiridas em tempo pretérito, que determinam o ordenamento do relevo. Já no caso das litologias, estas devem ser examinadas em função de suas propriedades face às manifestações da dinâmica externa (TRICART, 1977), pois, traduzem os tipos de alterações superficiais e as relações entre a morfogênese e a pedogênese (SOUZA, 1988).

De acordo com Thornbury (1966), a estrutura geológica é um fator de controle determinante na evolução geomorfológica e pode se refletir nelas, tornando-se um arcabouço que se sobrepõe hierarquicamente aos sistemas morfogenéticos. Os processos de dissecação, em qualquer clima, são influenciados pela natureza e disposição das rochas, existência ou não de fraturas, planos de estratificação, falhas e dobras, solidez das rochas, dureza física dos minerais componentes, susceptibilidade à alteração química, permeabilidade ou impermeabilidade e pela evolução tectônica geral da região (THORNBURY, op. cit.; TRICART, op. cit.).

Dessa forma, o comportamento de uma estrutura em relação à erosão depende das propriedades físicas e químicas das rochas, sob a ação de diferentes condições climáticas, logo, os fatores litológicos e estruturais comandam a erosão diferencial (PENTEADO, 1983).

Dentre as propriedades geomorfológicas das rochas, o grau de coesão, plasticidade e permeabilidade influenciam diretamente no escoamento superficial, enquanto o grau de maciez e o tamanho dos grãos influenciam na desagregação mecânica, e o grau de solubilidade e heterogeneidade influem na decomposição química (PENTEADO, op. cit.). Tendo em vista essa expressiva diversidade de propriedades e reflexos sobre o relevo, a análise dos relevos, de uma determinada área, deve considerar os seus diferentes tipos de rocha e, quanto maior for a variedade litológica, certamente, maior será a diversidade morfológica.

As formas de relevo, direta ou indiretamente, inter-relacionam-se com os aspectos litológicos e estruturais, regionais e locais, conforme pode ser exemplificado em diversas regiões brasileiras, em que os ambientes geológicos condicionam as formas de relevo (LIMA, 1995).

Para Büdel (1982), a crosta terrestre apresenta uma resistência diferencial em relação aos processos erosivos que nela atuam, ou seja, a forma com que a rocha se comporta no ambiente depende de sua resistência em relação aos agentes intempéricos químicos e físicos. Nesse caso, a configuração da superfície

terrestre é o resultante de situações de “equilíbrio dinâmico” ou “desequilíbrios sustentados”, envolvendo relações que mudam, no tempo e espaço, entre forças endógenas e exógenas (SAADI, 1998).

O termo morfoestrutura deve estar associado aos compartimentos geomorfológicos cujas principais características demonstrariam a presença de um notável controle exercido pelo arcabouço litológico e/ou estrutural (SAADI, 1991). A construção dos volumes continentais deve-se à atividade tectônica. Já a destruição dessas massas é objetivo permanente dos processos morfogenéticos, cujos tipos e a intensidade variam em função da mobilidade crustal e das condições bioclimáticas (SAADI, op. cit.). As morfologias ditas estruturais são formadas pela erosão sob controle da estrutura geológica, enquanto as formas tectônicas resultam de movimentos crustais (COTTON, 1968).

Para Cotton (op. cit.), o termo morfoestrutural deve ser aplicado a análises em escala regional, em estudos que busquem relacionar o controle da estrutura geológica subjacente ao arranjo das feições morfológicas existentes. Enquanto, o termo morfotectônica deve ser aplicado a estudos que busquem avaliar a relação existente entre tectônica recente e feições morfológicas (SUMMERFIELD, 1991).

A análise morfoestrutural está baseada no princípio de que o relevo e a drenagem tendem a desenvolver padrões específicos, em função de fatores litológicos e estruturais (SOARES et. al., 1982). O desenvolvimento desses padrões de relevo e drenagem pressupõe reflexo de estruturas geológicas profundas e tais reflexos são passíveis de identificação através de produtos de sensoriamento remoto (ANDRADES FILHO, 2010).

Jiménez-Ruenda, Pessotti e Mattos (1998, p. 1765) afirmam que “a análise morfoestrutural resulta da integração e relação espaciais dos elementos de drenagem e relevo, nas quais as morfoestruturas aparecem como feições anômalas dentro da tendência regional”. Portanto, a análise morfoestrutural permite identificar e caracterizar as estruturas a partir da análise da rede de drenagem e do relevo e, assim, compreender a dinâmica dos processos superficiais e subsuperficiais que condicionam a estabilidade e/ou instabilidade das paisagens (PUPIM; MATTOS; JIMÉNEZ-RUEDA, 2010).

Na análise dos elementos de drenagem e relevo, faz-se sua associação e classificação de acordo com o caráter homólogo ou não, e na interpretação procura-

se definir o comportamento pedogeoquímico das diferentes formas ou das suas associações, admitindo-se seu condicionamento a fatores estruturais e litológicos, pela ação de processos morfoestruturais e bioclimáticos (JIMÉNEZ-RUEDA; PESSOTI; MATTOS, 1998). Segundo Soares e Fiori (1976), em uma zona homóloga encontram-se características geológicas e geomorfológicas semelhantes, permitindo assim que seja feita uma correlação entre textura de imagem e as propriedades geotécnicas dos materiais imageados.

### 2.2.1 Lineamentos Estruturais

Várias são as definições de lineamentos, sendo que algumas delas estão relacionadas aos estudos geológicos de cunho estrutural e tectônico, além das definições relacionadas com a Geomorfologia. As definições de cunho geomorfológico têm relações estreitas com abordagens morfoestruturais.

Esse termo foi primeiramente introduzido por Hobbs (1904) para se relacionar aos sistemas de feições retilineares da paisagem, como cristas ou bordas de áreas elevadas, linhas de drenagem e de costa, e alinhamentos de contatos geológicos, de tipos petrográficos ou de linhas de afloramentos.

O lineamento seria como um elemento da superfície terrestre geralmente retilíneo, no entanto, o aspecto linear que os lineamentos apresentam está relacionado à escala, ou seja, “[...] os lineamentos que podem parecer retilíneos nos mapas podem ser tão somente na medida em que a escala do mapa é pequena” (HOBBS, op. cit., p. 486).

Em publicação posterior, Hobbs (1912, p. 227) define lineamentos como “linhas significativas da paisagem que revelam a arquitetura oculta do embasamento rochoso”. Nessa definição foi incluído, como feições retilineares as ravinas, os vales e as linhas visíveis de fraturas ou zonas de falhas (HOBBS, op. cit.).

No entanto, com o advento de imagens de sensores remotos, a palavra lineamento tornou-se cada vez mais popular, proporcionando o surgimento de várias definições, sobrecarregando a literatura com significados conflitantes e equívocos (O’LEARY; FRIEDMAN; POHN, 1976).

Brito-Neves (2011, p. 125) define lineamento como “zonas de falhas ou fraturas lineares [...] de escala regional que conseguem ordenar feições topográficas lineares e longilíneas. [...] lineamentos não são necessariamente zonas de

cisalhamento”. O autor ainda afirma que na ciência geomorfológica o conceito é muito amplo e sem regras de aplicações.

Para Bricalli (2016, p. 81) “lineamentos são considerados feições lineares identificáveis no terreno e em imagens de sensores remotos, que podem ser associadas a estruturas de subsuperfície, especialmente as linhas de fraqueza pré-cambrianas.”

“Os lineamentos estruturais são feições lineares que se destacam na paisagem como feições de superfície e refletem a dinâmica geológica sobre a geomorfológica, sendo um importante indicador de controle estrutural, para o entendimento morfoestrutural da paisagem” (VARGAS *et al.*, 2015, p. 322).

O’Leary, Friedman e Pohn (1976) redefinem o termo de forma similar à de Hobbs (1912), embora com um sentido essencialmente geomorfológico. Dessa forma, lineamentos são definidos como:

Uma feição linear de superfície, mapeável, simples ou composta, cujas partes estão alinhadas de uma forma retilínea ou levemente curvilínea, que difere distintamente dos padrões das feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície (O’LEARY; FRIEDMAN; POHN, *op. cit.*, p. 1467).

Para Etchebehere, Saad e Fulfaro (2007), os lineamentos são feições topográficas observáveis em imagens de sensores remotos, que representam descontinuidades estruturais (falhas e fraturas), que se estendem desde o embasamento cristalino até a cobertura mais jovem, com orientação bem definida, podendo ter características positivas (lineamentos de relevo) ou negativas (trechos retilíneos da drenagem) (O’LEARY; FRIEDMAN; POHN, *op. cit.*).

Os lineamentos obtidos a partir da rede de drenagem podem contribuir na interpretação dos condicionamentos litoestruturais. Já os lineamentos de relevo podem distinguir a direção predominante das feições do relevo, seja pela presença de anticlinais ou pelos diferentes sistemas de falhas (CORRÊA; FONSÊCA, 2010).

As formas de relevo negativas, que controlam os padrões de drenagem, são resultado do intemperismo e da erosão gerada pelo fluxo de água através das fraturas (STRIEDER; AMARO, 1997), correspondendo a trechos retilíneos de drenagem, refletindo o encaixe do curso d’água em zonas de fraqueza estrutural (ETCHEBEHERE; SAAD; FULFARO, *op. cit.*). É importante destacar que os lineamentos normalmente são relacionados a descontinuidades estruturais (fraturas,

falhas e zonas de cisalhamento), uma associação enfatizada, mas não causada pela erosão (O'LEARY; FRIEDMAN; POHN, 1976).

Em relação aos lineamentos positivos, estes se configuram como sobressaltos topográficos do relevo, com disposição retilínea ou levemente curvilínea, com forte estruturação dos elementos de relevo e, de maneira geral, mostram um conjunto de lineações paralelas que constituem cristas simétricas ou levemente assimétricas (SOARES; FIORI, 1976).

Dessa forma, distinguem-se dois tipos de lineamentos em função das diferentes morfologias e padrões de distribuição espacial, a partir da análise de imagens de satélite e fotografias aéreas: lineamentos relacionados a estruturas penetrativas, que desenvolvem feições geomorfológicas negativas e positivas, paralelas, em arranjo linear ou curvilíneo; e lineamentos associados a estruturas disjuntivas frágeis, como fraturas (STRIEDER; AMARO, 1997).

A ocorrência de lineamentos estruturais de escala regional ou continental, de padrões praticamente retilíneos, que é um reflexo da tectônica profunda, tem sido revelada ou confirmada com sucesso em mapeamentos produzidos a partir de dados espectrais e espaciais de sensores remotos (PALACIOS; VIANA, 2011), sendo considerados como grandes descontinuidades estruturais que atuam como corredores de canalização e dissipação de energia (PRESSINOTTI et al., 1992). De acordo com os autores, as feições geológicas associadas aos grandes lineamentos incluem intrusões graníticas, metamorfismo, deformações, deslocamentos e deposição.

Os lineamentos locais aparecem, claramente, alinhados ou controlados por tendência regional da área. Esses lineamentos locais apresentam-se numa escala de centenas de metros a dezenas de quilômetros (CAMOLEZI; FORTES; MANIERI, 2012). Na Província Borborema os lineamentos de direção NE-SW e E-W, em muitos casos, representam a expressão em superfície da deformação brasileira de caráter dúctil/rúptil reativadas no Cretáceo e Cenozóico. Esses lineamentos compreendem *trends* de falhas que exercem uma importante influência no controle estrutural de drenagem, na dissecação e deposição quaternária (MAIA; BEZERRA, 2014).

Desta forma, a estrutura geológica se reflete na superfície através dos lineamentos estruturais, estes, por sua vez, têm grande potencial no condicionamento da rede de drenagem, gerando diferentes padrões de escoamento.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A necessidade de organizar as etapas de trabalho é de suma importância para que o leitor possa compreender como se deu a evolução da pesquisa. Dessa maneira, a pesquisa foi dividida em três etapas: sendo elas levantamento bibliográfico, técnicas de geoprocessamento e levantamento de campo.

#### **3.1 Levantamento Bibliográfico**

Na primeira etapa foi realizado o levantamento bibliográfico, onde se prezou por um levantamento interdisciplinar, visando uma abordagem mais completa sobre a temática na referida área de estudo, sendo levantados trabalhos relacionados à geomorfologia fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980; PENTEADO, 1983; THOMAS, 1994; CHARLTON, 2008; ELORZA, 2008; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Para o melhor entendimento sobre o controle estrutural da rede de drenagem, buscou-se por uma literatura de origem aplicada de diferentes regiões do país, bem como teóricas (SAADI; TORQUATO, 1992; GOMES NETO, 2007; LIMA, 2006; MORAIS et al., 2010; COUTO et al., 2011; VARGAS et al., 2015; VERVLOET, 2015; BRICALLI, 2016; SILVA; MAIA, 2017).

Um dos objetivos propostos pelo referido estudo foi realizar uma caracterização geológica e geomorfológica. Para isso, foram realizados levantamentos bibliográficos setorizados. Dessa forma, foram utilizadas bibliografias geológicas (TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996; BRITO NEVES, 1999, 2011; MABESSONE, 2002; SILVA et al., 2003; CAVALCANTE; PADILHA, 2005).

Para a caracterização geomorfológica foram utilizados trabalhos clássicos e atuais (KING, 1956; BIGARELLA; ANDRADE, 1964; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2006; MAIA; BEZERRA; CLAUDINO SALES, 2010; BÉTARD; PEULVAST, 2011; CLAUDINO SALES; LIRA, 2011).

No levantamento cartográfico os mapas mais consultados para uma melhor interpretação da área de estudo foram os mapas geológico da CPRM (BRASIL, 2003) na escala de 1:500.000 e o mapa morfoestrutural do Ceará e adjacências de Peulvast e Claudino Sales (2003) na escala de 1:500.000.

### 3.2 Técnicas de Geoprocessamento

#### 3.2.1 Aquisição de Dados

Para a realização das técnicas de geoprocessamento foi necessário a compilação de alguns dados, tanto dados do tipo *raster* como dados vetoriais. Os dados vetoriais foram adquiridos junto ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM; Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – SRH e; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Tabela 01).

**Tabela 01 – Lista de arquivos *shapfile* utilizados no trabalho**

Nº	Arquivo <i>Shapfile</i>	Fonte	Escala
01	Geodiversidade do Ceará	CPRM	1:500.000
02	Litologia do Estado do Ceará	CPRM	1:500.000
03	Estruturas Rúpteis	CPRM	1:500.000
04	Rodovias	CPRM	1:500.000
05	Sedes Municipais	IBGE	XXXX
06	Limites Municipais do Estado do Ceará	IBGE	XXXX
07	Rede de Drenagem da Bacia do Rio Coreauá	SRH	1:100.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já para o processamento digital de imagens foram utilizadas imagens do satélite ALOS, mais especificamente do sensor PALSAR, com resolução espacial de 12,5 x 12,5, adquiridas gratuitamente pelo site [vertex.daac.asf.alaska.edu](http://vertex.daac.asf.alaska.edu). Foram adquiridas seis imagens (Tabela 02).

**Tabela 02 – Lista de imagens *raster* utilizadas no trabalho**

Nº	Data (dd/mm/aaaa)	Órbita	Cena
01	24/02/2011	40	7100
02	24/02/2011	40	7110
03	09/10/2010	40	7120
04	26/01/2011	41	7100
05	26/01/2011	41	7110
06	26/01/2011	41	7120

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fazer os diagramas de rosetas, “que têm por finalidade mostrar estatística direcional de lineamentos e/ou lineamentos retilíneos ou pouco

curvilíneos” (QUEIROZ; SALAMUNI; NASCIMENTO, 2014, p. 70), foi utilizado o *software AzimuthFinder* (disponível em: [www.neotectonica.ufpr.br](http://www.neotectonica.ufpr.br)).

O *AzimuthFinder* tem por objetivo simplificar a forma de produzir diagramas de rosetas. Esta ferramenta, de acordo com Queiroz, Salamuni e Nascimento (op. cit., p. 71)

“não possui a capacidade de desenhar o diagrama propriamente dito, mas sim a de converter o dado gráfico em dados numéricos azimutais segundo quadrantes, ou seja, dados numéricos de direção referidos à posição Norte como considerado em análises geológicas, portanto com atribuição de 0 grau, no caso do Norte verdadeiro. [...] A conversão por meio da ferramenta proposta gera um arquivo de texto que pode ser exportado para arquivos adaptados a diferentes *softwares* de confecção de diagramas, os quais podem ser escolhidos por dispositivo dentro do próprio *AzimuthFinder*, e que têm por objetivo a representação gráfica na forma de Diagrama de Rosetas.”

### 3.2.2 Processamento de Dados

Foram utilizadas seis imagens ALOS PALSAR, de modo que o objeto de estudo ficasse plenamente delimitado e contemplado. Apenas a imagem de cena 7120, órbita 40 e data 09/10/2010, apresentou valores nulos (*No Data*), sendo, desta forma, necessário utilizar-se da álgebra de mapas para corrigir os valores nulos.

Após a exclusão dos valores nulos da referida imagem, foi gerado um mosaico das seis imagens ALOS PALSAR, de modo que todo comando solicitado fosse gerado uma única vez para as seis imagens. Em seguida, foi modificado a projeção da imagem em mosaico para o Datum SIRGAS 2000 e o Sistema de Coordenadas UTM.

Com o mosaico das imagens ALOS PALSAR elaborado, foi possível a extração das bacias hidrográficas que estariam dentro do limite do mosaico, bem como de toda sua rede de drenagem. Para chegar a esses objetivos foi utilizada a extensão *Hydrology* do *software* ArcGIS.

Primeiramente, foi empregada a ferramenta *Fill* para a correção de possíveis imperfeições e vazios no *raster*. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *Flow Direction* no arquivo gerado pela ferramenta *Fill*. O *Flow Direction* consiste no mapeamento da direção do fluxo, tornando clara a direção do fluxo de água para cada célula da estrutura de um modelo digital de elevação (MEDEIROS; FERREIRA; FERREIRA, 2009).

A partir do arquivo adquirido através da ferramenta *Flow Direction* foi aplicada a ferramenta *Flow Accumulation*, esta, por sua vez, “armazena o número de células que drenam para cada célula do mapa, sendo então, a medida de quanto à jusante está a célula em relação à nascente de água” (MEDEIROS; FERREIRA; FERREIRA, 2009, p. 142).

Com o arquivo gerado pelo *Flow Accumulation* foi possível extrair a rede de drenagem, bem como a poligonal que representa o limite das bacias hidrográficas. Para isso, foi novamente utilizada a álgebra de mapas, através da ferramenta *Raster Calculator*, para extrair a drenagem do arquivo mencionado acima. Para isso, adotou-se

$$\text{Con}(\text{"raster\_accumulation.tif"} > 2000, 1)$$

O valor 2000 representa o limiar, que, de acordo com Medeiros, Ferreira e Ferreira (op. cit., p. 143) “define o número de células necessárias para formar um fluxo de drenagem, bem como a área da bacia a ser delimitada”. Vale ressaltar que foram feitos testes para diferentes limiares pautados no arquivo *shapefile* das bacias hidrográficas dos rios Coreaú e Itacolomi adquiridos junto a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH. Os valores utilizados foram 500, 1000, 1500 e 2000, sendo que este último ficou mais próximo do arquivo da SRH.

Com os resultados obtidos por meio da ferramenta de análise hidrológica espacial, pode-se aplicar a Hierarquização da Drenagem com base no método de Strahler (1952), através de um algoritmo denominado *Stream Order* e mais o *raster* de *Flow Direction*. Com o arquivo de Hierarquização da Drenagem pronto e a geração das bacias hidrográficas através da ferramenta *Basin* foi realizado um procedimento para transformar os arquivos *raster* em arquivos vetoriais por meio da ferramenta *Stream to Features*.

Com isso, foi obtida a poligonal da bacia hidrográfica do rio Coreaú e, a partir daí, foram realizados os processos de corte dos demais arquivos com a ferramenta de corte. Os arquivos que foram recortados no limite da referida bacia hidrográfica foram do tipo matricial e vetorial, no caso, modelo digital de elevação, drenagem hierarquizada, litologia do Ceará, estruturas rúpteis e geodiversidade do Ceará.

Para a produção dos diagramas de rosetas foi necessária a realização de algumas etapas. A princípio, a extração dos lineamentos foi realizada a partir do

relevo sombreado extraído do modelo digital de elevação, por meio da ferramenta *Hillshade* com elevação solar de 45° e iluminação artificial de 315°.

A extração dos lineamentos se deu de forma manual. Esta metodologia, para Vargas et al. (2015), apresenta-se com uma alta relação custo-benefício, pois é uma ferramenta de baixo custo e alta eficácia para identificar o comportamento morfoestrutural do relevo e, conseqüentemente, de sua rede de drenagem.

Após a vetorização dos lineamentos, dando ênfase aos lineamentos positivos, foi utilizado a ferramenta *AzimuthFinder* para atribuir o azimute geográfico, bem como para transformar o arquivo vetorial em arquivo de texto para manipulação no *software* de produção de diagramas de rosetas. Optou-se pelo método de medida de frequência, bem como para adaptar o arquivo para manipulação no *software* *OpenStereo* (disponível em: <http://www.igc.usp.br/index.php?id=openstereo>).

O mesmo processo foi repetido para os arquivos vetoriais de estruturas rúpteis, da rede de drenagem como um todo, além de fazer o processo individualmente para cada ordem de drenagem. Sendo assim, obtiveram-se nove diagramas de rosetas, sendo um para cada ordem de drenagem, um para a rede de drenagem como um todo, um para os lineamentos estruturais e um de estruturas rúpteis.

Na avaliação do balanço hídrico dos municípios que integram a bacia hidrográfica do rio Coreaú, utilizou-se o programa desenvolvido pelo Departamento de Ciências Exatas (DCE) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ/USP (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998), estimado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

O programa em questão utiliza os valores de temperatura do ar ( $T$  °C), estimada pelo programa CELINA, desenvolvido por COSTA e SALES (2007), e a precipitação pluviométrica ( $P$  mm). Com base nesses valores, estima-se a quantidade de água consumida através do processo de evapotranspiração potencial (ETP mm); e a água no solo, contabilizada através dos períodos de déficit hídrico (DEF mm) e de excesso hídrico (EXC mm). O balanço hídrico, além da evapotranspiração em milímetros, permite estimar a evapotranspiração real (ETR mm), a deficiência hídrica na atmosfera (DEF), o excedente hídrico (EXC) e o armazenamento de água no solo (ARM).

Para o cálculo do balanço hídrico climatológico, da área de estudo, utilizou-se os dados de temperatura e precipitação para o período de 1988 a 2018,

fornecidos, respectivamente, pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará-IPECE e pela FUNCEME. Para tal, foi utilizado o *software* HIDROCEL desenvolvido em planilhas eletrônicas do Excel por Costa e Sales (2007).

No caso da densidade de drenagem (Dd) da área de estudo obteve-se o valor Dd a partir da equação  $Dd = L/A$ , onde L corresponde ao comprimento total dos cursos d'água da bacia e A representa a área total da bacia. O índice de Dd pode variar entre  $0,5 \text{ km}^{-2}$ , para bacias mal drenadas, e  $3,5 \text{ km}^{-2}$  ou mais, para bacias bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975). O comprimento total dos cursos d'água (L) corresponde a 5.947 km e a área total da bacia (A) é de  $4.431 \text{ km}^2$ .

Para finalizar, foram gerados cinco mapas com os resultados do geoprocessamento, sendo eles os mapas geológico, geomorfológico, de localização, hipsométrico e o de hierarquização da rede de drenagem.

### **3.3 Levantamento de Campo**

Foram realizados alguns trabalhos de campo em diferentes períodos do ano na área de estudo, sendo alguns deles decorrentes de objetivos genéricos, tais como aulas de campo, além de trabalhos de campo específicos que abrangeram a bacia hidrográfica como um todo.

As áreas mais contempladas foram o alto e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Coreaú. Foram realizadas visitas, de forma pontual, em áreas consideradas chaves para interpretar e entender o objeto de estudo como um todo. As áreas contempladas foram a vertente ocidental do maciço da Meruoca, na Pedra Talhada, onde o referido ponto fica numa altitude aproximada de 700m, obtendo uma vista panorâmica e bastante ampla da área.

Além da pedra talhada, visitou-se também o Planalto da Ibiapaba, este, por sua vez, permitiu uma boa análise do alto curso. O estuário do rio Coreaú, localizado no município de Camocim, também foi contemplado, sendo realizada uma visita à planície flúviomarinha do rio em questão. Os trabalhos de campo permitiram uma análise geomorfológica empírica, bem como o registro de imagens da área de estudo.

## 4 ASPECTOS NATURAIS

### 4.1 Geologia e Geomorfologia da Área de Estudo

A área de estudo está inserida no setor setentrional da Província Borborema, bem como em parte da Província do Parnaíba, sendo que no caso da Província da Borborema, seu passado geológico compreende uma complexa história evolutiva, marcado por processos tectônicos de aglutinações e dispersões de grandes massas continentais durante sua longa e ainda contínua evolução (MABESSONE, 2002), sendo quatro processos de fusão e quatro de fissão os principais responsáveis por sua atual configuração estrutural (BRITO NEVES, 1999).

Dois grandes eventos tectônicos dos quatro referidos tiveram papéis importantes para a formação do que se conhece hoje como Província Borborema, o primeiro foi a colagem Brasileira/Pan Africana, ocorrida no Neoproterozoico que correspondeu à formação do supercontinente Gondwana através da coalescência de fragmentos de outro supercontinente denominado Rodínia (BRITO NEVES, op. cit.).

Esse evento, de acordo com Mabessone (op. cit.), gerou o que se conhece hoje na literatura como orogênese Brasileira, desencadeando a formação de grandes cadeias de montanhas e várias estruturas como lineamentos e zonas de cisalhamento.

A partir do Ordoviciano, Brito Neves (op. cit.) afirma que houve um grande período de estabilidade, que em alguns domínios chegou até o final do Jurássico, onde neste caso a estabilidade perdurou por cerca de 350 Ma.

Provavelmente, foi nesse período de estabilidade tectônica citado anteriormente, marcado por grande calma e predomínio de processos erosivos, que se desenvolveu a superfície Gondwana, considerada a superfície mais antiga entre as quatro superfícies de aplainamento identificadas por King (1956).

O segundo evento, não menos importante, corresponde ao processo de fissão de Pangea, onde uma série de fatos culminou na separação do supercontinente Gondwana por processos de tafrogênese seguidos de *rifts*, individualizando os continentes Africano e Sul-Americano como conhecemos hoje.

Cabe aqui destacar a importância de outros eventos orogenéticos que tiveram expressiva participação na gênese do arcabouço geológico da Província Borborema, no caso, cita-se aqui, o exemplo do ciclo orogênico Cariris Velhos que antecedeu a orogênese Brasileira (BRITO NEVES, 2011).

Já o setor basal da Província Parnaíba corresponde aos maciços arqueanos de Granja e Goiás, aos cratões *sin* brasileiros de São Luís e Núcleo Cratônico Central, aos cinturões orogênicos brasileiros Gurupi, Araguaia e parte da Província Borborema. Sobre este setor, então rebaixado em forma de sinéclise, se depositou a bacia sedimentar do Parnaíba a partir do Siluriano (SILVA, *et al.*, 2003).

De acordo com Silva *et al.* (*op. cit.*), a bacia do Parnaíba foi depositada sobre os *riffts* cambro-ordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato. A referida bacia tem sequências de deposições bem marcadas, tais como, Grupo Serra Grande (Siluriano), Grupo Canindé (Devoniano) e Grupo Balsas (Carbonífera-Triássica). Para o presente estudo será abordado somente o Grupo Serra Grande.

A bacia hidrográfica em questão está localizada, em sua maior parte, no subdomínio Tectônico do Médio Coreaú, que corresponde “a um cinturão orogênico, que engloba uma variada gama de litótipos com distintas idades e origens numa mesma unidade tectônica” (TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996, p. 303). Além de parte da Província Parnaíba, mais especificamente, o setor extremo oriental da bacia hidrográfica em análise.

A litoestratigrafia da área de estudo (Mapa 02) é bastante variada e, portanto, será descrita aqui de forma sucinta devido à expressiva diferenciação de litologias.

O Complexo Granja data do Paleoproterozóico e é marcado por terrenos gnáissico-migmatíticos de origem sedimentar e magmática e suas principais litologias são migmatitos, ortognaisses, granulitos, quartzitos, entre outros (CAVALCANTE; PADILHA, 2005). A Unidade Vulcânica Saquinho, com presença de riolitos e metatraquiandesitos (CEARÁ, 2003), também data do Paleoproterozóico.

Dois grupos neoproterozóicos são encontrados na área de estudo: o Grupo Martinópole e o Grupo Ubajara. O Grupo Martinópole corresponde às formações São Joaquim, Covão e Santa Teresinha. A Formação São Joaquim tem nos quartzitos sua principal representação. Na Formação Covão há predomínio de micaxistos e na Formação Santa Teresinha há primazia de filitos, metamargas, metariolitos, entre outros (BRASIL, 2003; CAVALCANTE; PADILHA, *op. cit.*).

O Grupo Ubajara é composto pelas formações Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Coreaú. A Formação Trapiá é composta por quartzitos e arenitos em sua maioria. Na Formação Caiçaras há predominância de ardósias com

intercalações de quartzitos. Já a Formação Frecheirinha possui metacalcários com intercalações de metamargas (Figura 03A). Por fim, a Formação Coreaú com primazia de arcóseos e grauvacas.

Também do Neoproterozóico existe os termometamorfitos gerados pelo metamorfismo de contato do batólito Mucambo (BRASIL, 2003; CAVALCANTE; PADILHA, 2005).

Do Paleozóico tem-se as bacias molássicas, como, por exemplo, Riacho Sairi e Jaibaras, bem como o Grupo Serra Grande, além das intrusões graníticas *sin* e *tardi* brasileiras. O Grupo Riacho Sairi é dividido em três deposições diferentes: a primeira possui conglomerados, a segunda apresenta arenitos quartzosos e a terceira ortoconglomerados (BRASIL, op. cit.; CAVALCANTE; PADILHA, op. cit.).

O Grupo Jaibaras é composto por três formações, sendo elas as Formações Massapê, Pacujá e Aprazível. A Formação Massapê possui predomínio de Ortoconglomerados; a Formação Pacujá tem, em sua maioria, arenitos, siltitos e folhelhos. Na Formação Aprazível predomina Ortoconglomerados grossos (BRASIL, op. cit.; CAVALCANTE; PADILHA, op. cit.).

A litologia do topo do Planalto da Ibiapaba é marcada pelo Grupo Serra Grande, cuja formação representa a parte basal da bacia sedimentar do Parnaíba é datada do Siluriano (BRASIL, op. cit.).

Brasil (2015) divide o chamado Grupo Serra Grande (Figura 03B) em três formações, sendo elas, Formação Ipú, composta por conglomerados de matriz areno-argilosa com presença de seixos mal selecionados de quartzo, arenito, quartzito, ardósia e feldspato. Esta Formação, por sua vez, representa o setor basal do Grupo Serra Grande. Sua ocorrência se dá tanto na Província do Parnaíba, como no Domínio Tectônico Ceará Central.

A Formação Tianguá é a de maior representatividade espacial, sendo composta por arenitos finos a médios, siltitos, argilitos e folhellhos. A Formação Jaicós é pouco expressiva, sendo a mais recente do Grupo Serra Grande. É composta por arenitos finos a médios com intercalações de argilitos, essas duas últimas só ocorrem na Província do Parnaíba (BRASIL, op. cit.).

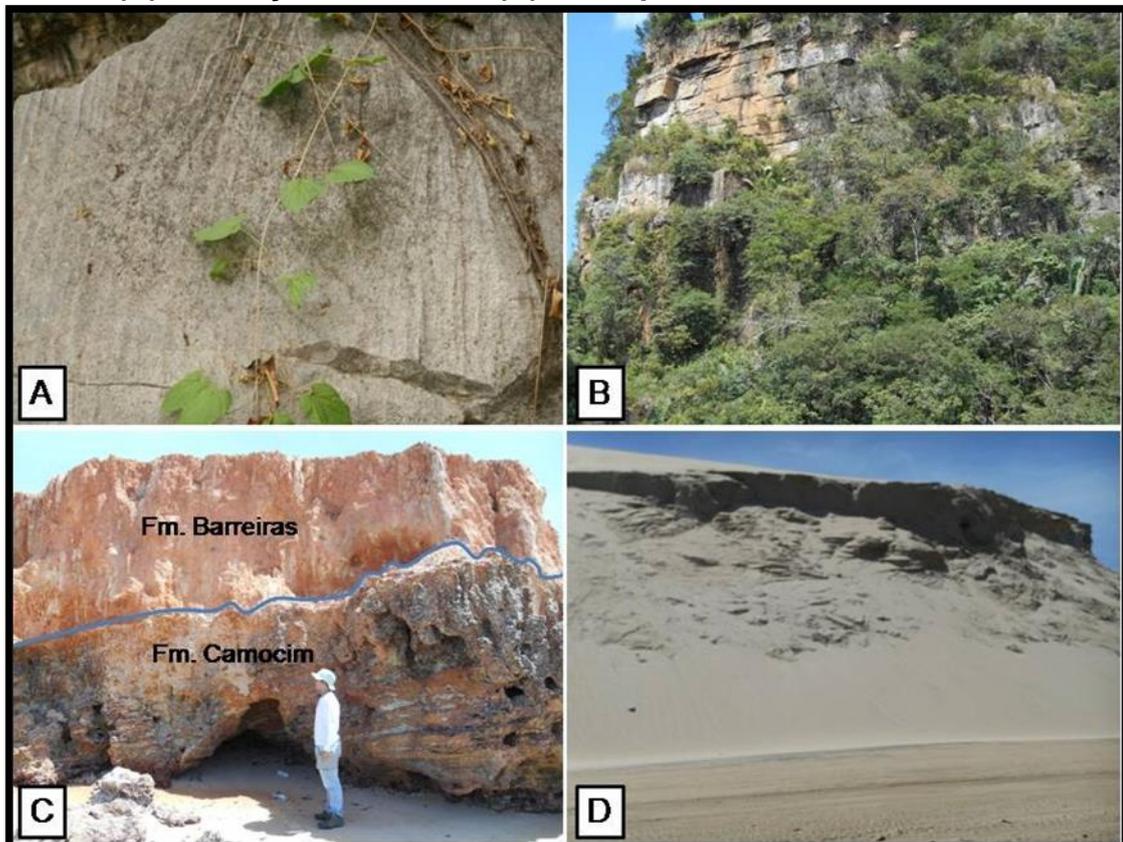


As intrusões graníticas *sin* e *tardi* brasileiras encontram-se representadas nos batólitos da Meruoca e de Mucambo, com expressiva primazia de sienitos e granodioritos (BRASIL, 2003).

O Grupo Barreiras foi depositado entre o Paleógeno e o Neógeno, estando também representado na área de estudo, sendo no Barreiras Indiviso ou na Formação Camocim (Figura 03C). Especificamente do Neógeno, destacam-se as coberturas sedimentares de espriamento aluvial. Do Quaternário, encontram-se os depósitos flúviomarinhos, os sedimentos litorâneos (Figura 03D), bem como os depósitos colúvio-aluviais (BRASIL, op. cit.).

Esses eventos geológicos, bem como as litologias geradas por estes, de fato, tiveram repercussões na configuração do relevo regional. Para Maia, Bezerra e Claudino Sales (2010), o relevo do Nordeste brasileiro é condicionado por importantes eventos tectônicos e paleoclimáticos, tendo como principais eventos tectônicos a orogênese Brasileira e a reativação cretácea.

**Figura 03 – Exemplos do contexto geológico da área de estudo: (A) aspectos do metacalcário da Formação Frecheirinha; (B) Arenitos do Grupo Serra Grande; (C) Formação Camocim; (D) Duna próxima ao estuário do rio Coreau**



Fonte: Acervo particular do autor.

De acordo com Bétard e Peulvast (2011), após a orogênese Brasiliana, ocorreram dois importantes eventos geodinâmicos para o relevo regional: o primeiro ligado ao *rifting* intracontinental no Cretáceo inferior e o outro evento está relacionado à abertura do oceano Atlântico.

O *rifting* intracontinental ocorrido no Cretáceo inferior soergueu expressivos volumes montanhosos ao longo de estruturas de *riffts* abortados que se alinham por todo o eixo Cariri-Potiguar (BÉTARD; PEULVAST, op. cit.). Esses volumes montanhosos soerguidos representam os ombros de *riffts* oriental e ocidental da zona de *rift* Cariri-Potiguar.

Peulvast e Claudino Sales (2006) explicam que o soerguimento dos ombros em ambos os lados pode não ter ocorrido de forma homogênea, onde se verificou diferenças significativas nos movimentos tectônicos entre os dois compartimentos, nesse caso o ombro noroeste possui topografias mais expressivas.

Essa diferença topográfica entre os ombros de *riffts* pode ter ocorrido tanto por soerguimento diferencial durante o *rifting* intracontinental, como por soerguimentos causados por eventos tectônicos posteriores (PEULVAST; CLAUDINO SALES, op. cit.), porém, não se pode descartar as diferentes resistências litológicas em ambos os lados, onde essa diferença topográfica pode ter contribuição da erosão diferencial.

Para o Nordeste brasileiro apenas alguns elementos da morfologia refletem diretamente a estrutura, pois, em sua maior parte predominam as formas de relevo de erosão diferencial e superfícies de aplainamento escalonadas (PEULVAST; CLAUDINO SALES, op. cit.), e isso reflete em parte o caráter policíclico do relevo nordestino.

Claudino Sales e Lira (2011) destacam que o relevo do setor Noroeste do Ceará é resultado de vários eventos tectônicos ao longo da história geológica e, de forma mais recente, da ação climática, sobretudo de climas secos. Pode-se acrescentar aqui também o papel das oscilações climáticas ao longo do Cenozóico como fator de significativa importância para a morfogênese.

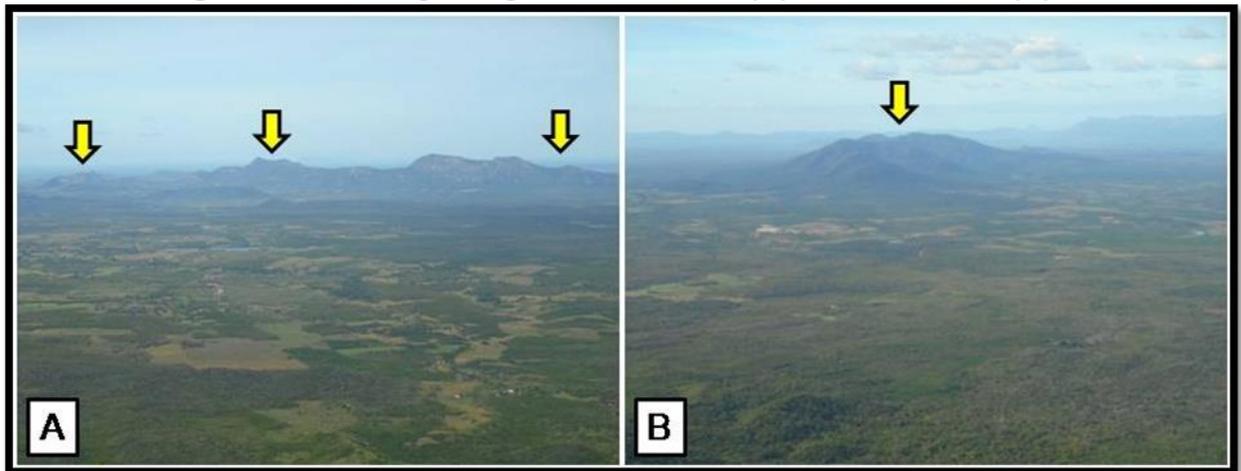
A geomorfologia da área de estudo (Mapas 03 e 04) é bastante heterogênea e, em parte, reflete o condicionamento do relevo em relação à geologia local. Dessa forma, para realizar a compartimentação geomorfológica dois critérios foram adotados, sendo o primeiro a topografia, onde se dividiu o relevo em

Superfícies Elevadas e Superfícies Rebaixadas. No segundo momento adotou-se como critério a forma de como o relevo se apresenta, ou seja, sua morfologia.

As Superfícies Elevadas são caracterizadas por relevos residuais, tendo a maioria cotas topográficas acima de 450 m. Tais relevos são justificados pela ação da erosão diferencial, ou seja, suas litologias são mais resistentes, se tornando assim menos propícias à denudação.

Os principais exemplos de relevos residuais em rochas cristalinas são as serras do Carnutum (Figura 04A), Meruoca, São Joaquim e Dom Simão. A serra da Meruoca corresponde a um Maciço granítico, já as Serras de São Joaquim e Dom Simão são reflexos dos quartzitos da Formação São Joaquim e se apresentam em forma de Cristas alongadas. Ainda há a presença de dois *Inselbergs* na área de estudo que localmente recebem os topônimos de serras da Penanduba e Carnutum (Figura 04B).

**Figura 04 – *Inselbergs* do Carnutum (A) e Penanduba (B)**



Fonte: Acervo particular do autor.

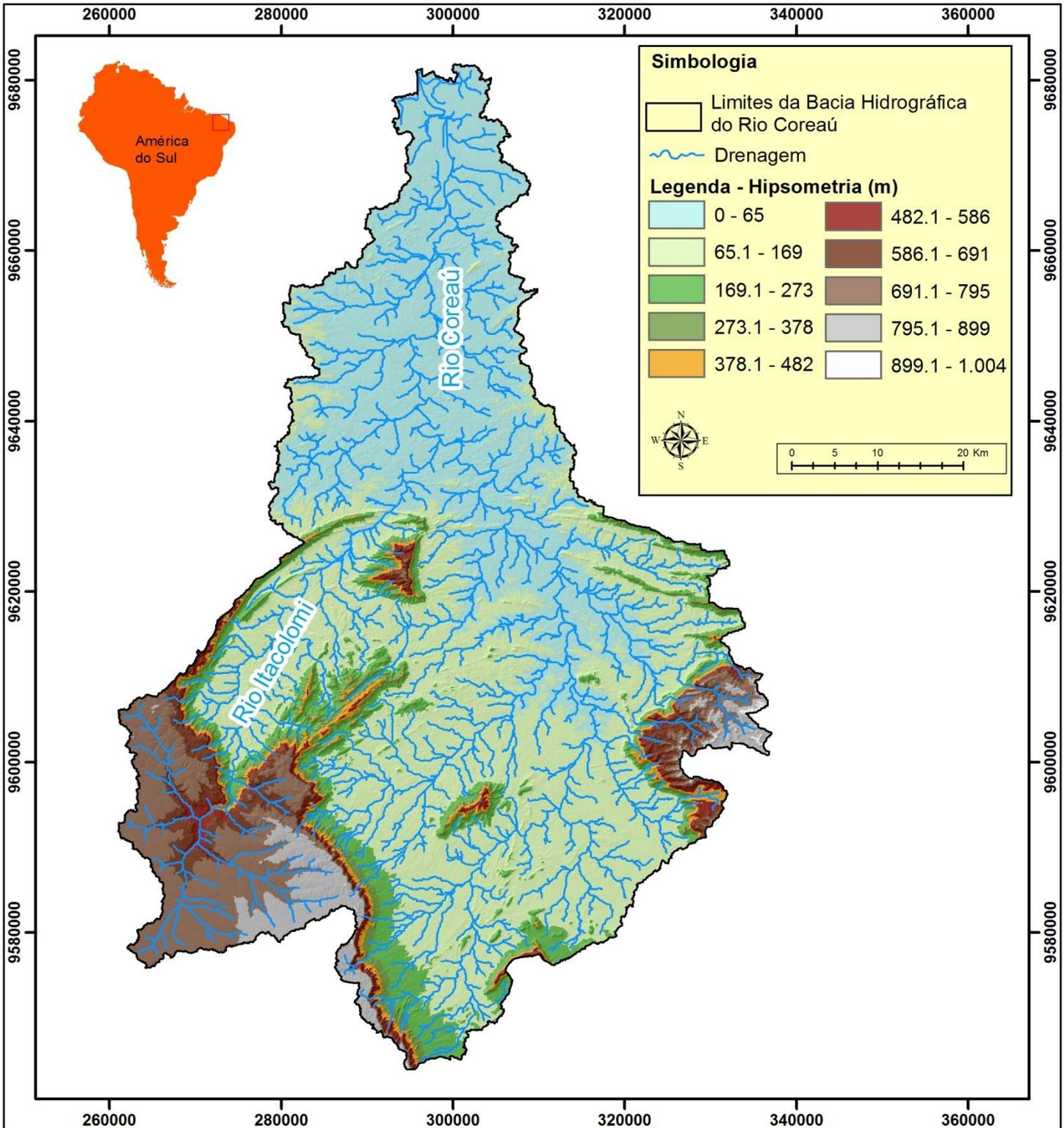
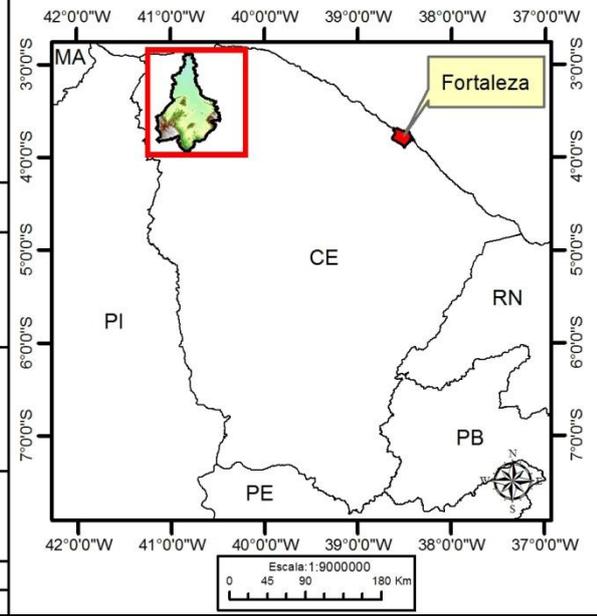
Os reflexos geomorfológicos expressos pelo Grupo Serra Grande representam um exemplo didático de relevos em estruturas discordantes. Tal relevo pode ser classificado como um *glint*, tendo em vista se tratar de um escarpamento contínuo sustentado por um arenito discordantemente sobreposto a embasamento aplainado (FOUCAULT; RAOULT, 2010; PECH, 1999). Constata-se a presença de uma *cornija* (Figura 05) contínua de arenitos sustentando o topo do planalto, bem como um reverso, além da depressão monoclinal.

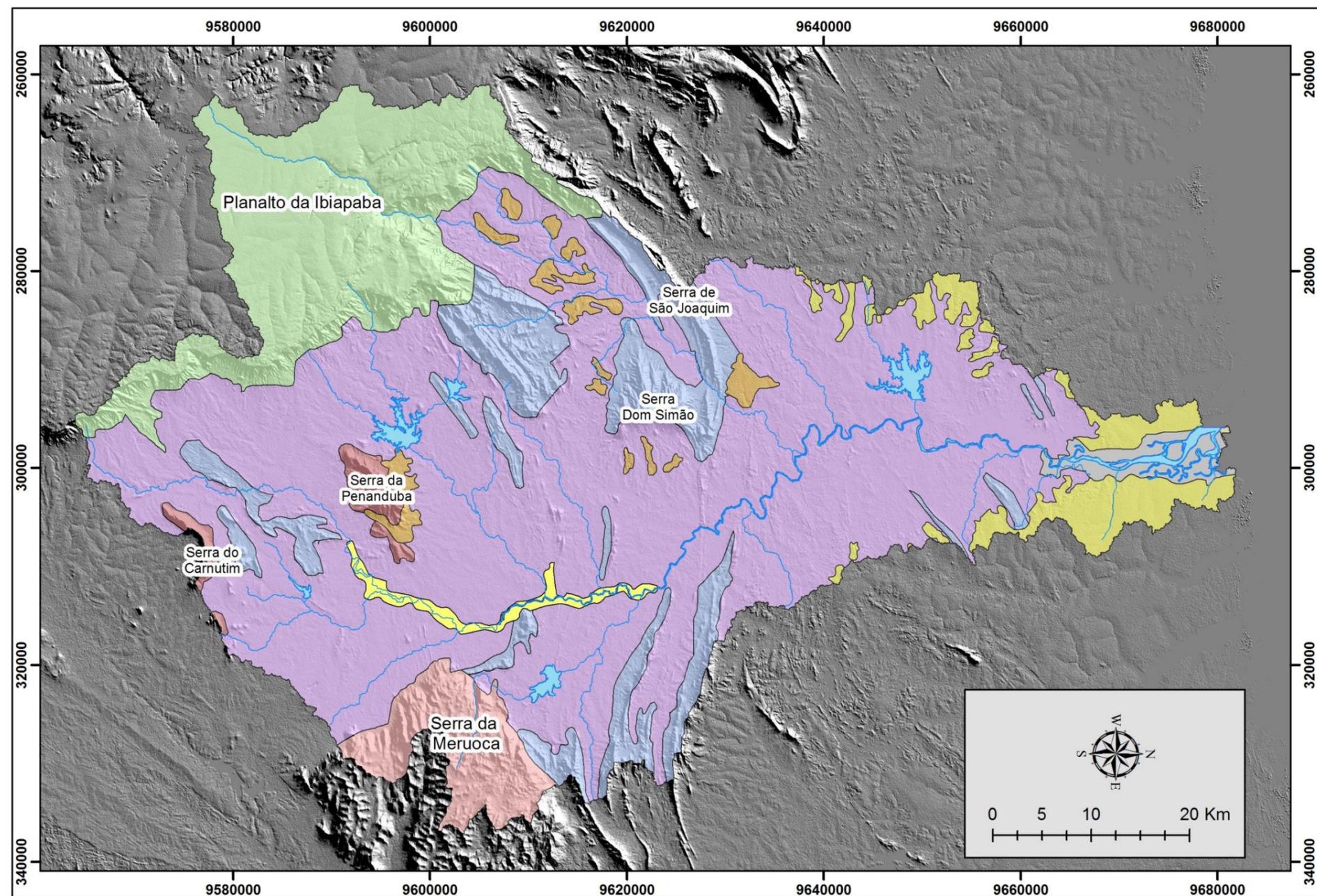
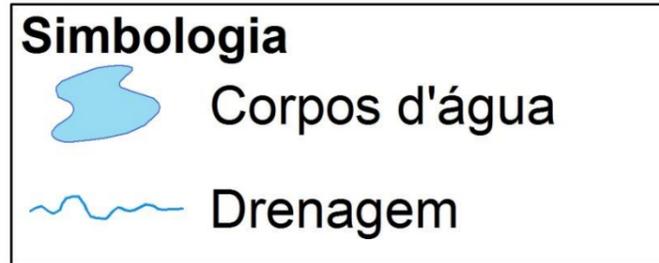
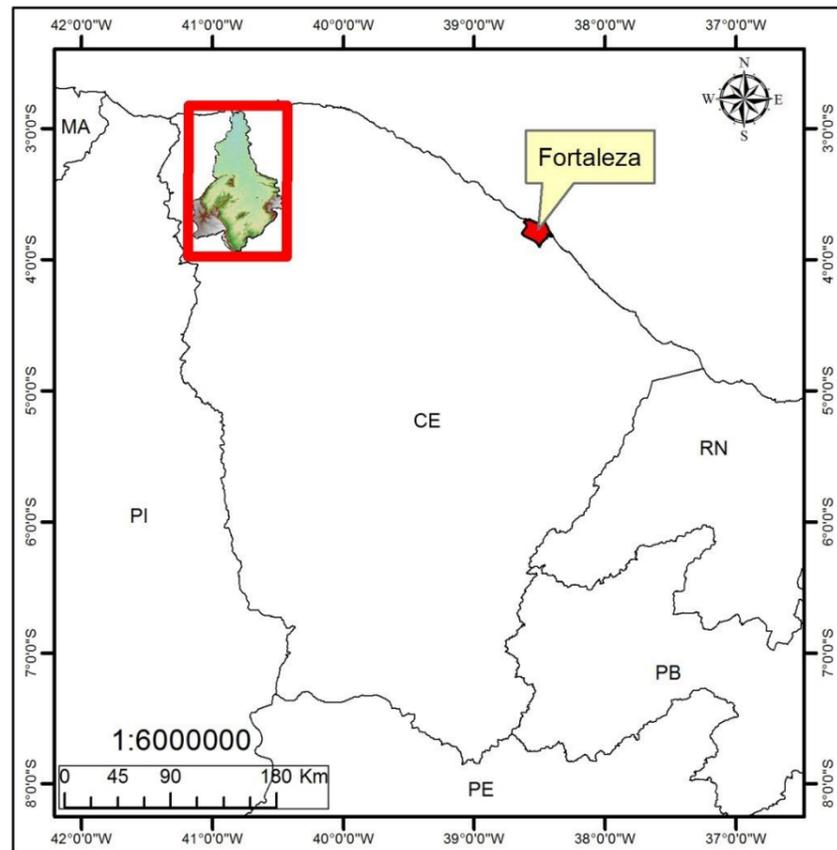


UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEORGAFIA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA



Autor:	<b>DANIEL DOS REIS CAVALCANTE</b>
Título:	<b>COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ, NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ</b>
Conteúdo:	<b>HIPSOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO COREAÚ</b>
Fonte:	<b>IMAGEM ALOS PALSAR.</b>
Sistema de Coordenadas UTM / Datum SIRGAS 2000	
Mapa: 03	Folha A4 - 297 x 210mm
Escala: 1:650000	Data: maio/2019





		SUPERFÍCIES ELEVADAS	
Rochas Cristalinas		Cristas residuais	
		Maciço cristalino	
		Inselgebergs	
Rochas Sedimentares		Glint da Ibiapaba	

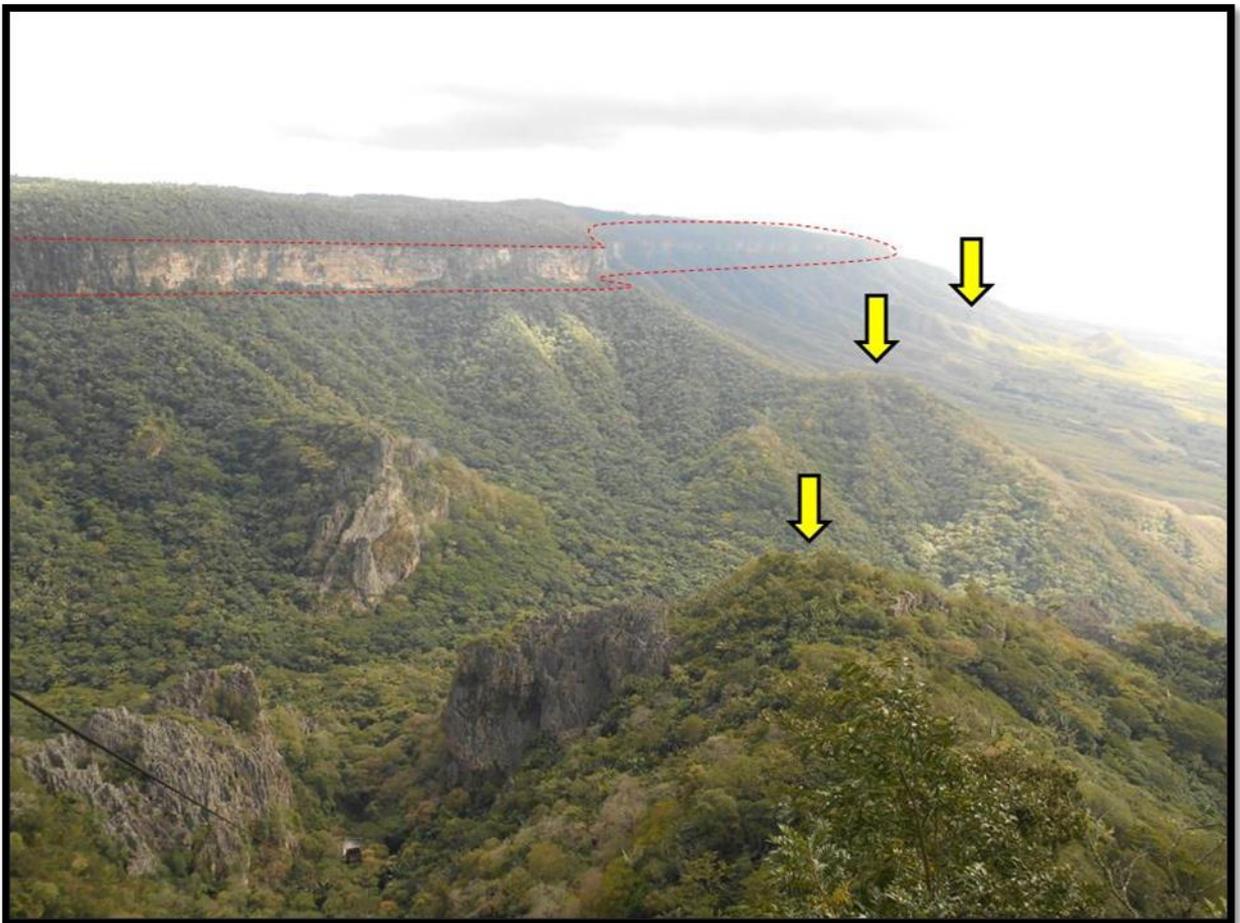
		SUPERFÍCIES REBAIXADAS	
Superfície de Deposição		Depósitos colúvio-aluviais	
		Planície litorânea	
		Planícies flúvio-marinhas	
		Tabuleiros pré-litorâneos	
Superfície de Erosão		Superfícies aplainadas	

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEORGAFIA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

Autor:	<b>DANIEL DOS REIS CAVALCANTE</b>
Título:	<b>COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONDIÇÃOAMENTO ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ, NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ</b>
Conteúdo:	<b>GEOMORFOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ</b>
Fonte:	IMAGEM ALOS PALSAR; ADAPTADO DE GEODIVERSIDADE DO BRASIL, CPRM, 2010.
Sistema de Coordenadas UTM / Datum SIRGAS 2000	
Mapa: 04	Folha A3 - 297 x 420mm
Escala: 1:500000	Data: maio/2019

Os aspectos genéticos de tal morfologia são de caráter complexo, no entanto, podem-se realizar algumas conjecturas. Partindo do princípio de que as litologias do Grupo Serra Grande são de origem marinho-raso e fluviais, tem-se que levar em consideração que a deposição do referido grupo se deu sobre uma superfície de aplainamento pré-siluriana e, provavelmente, esta superfície corresponda a Superfície Gondwana de King (1956) ou o Pd4 de Bigarella e Andrade (1964).

**Figura 05 – Cornija representada entre linhas vermelhas; Setas em amarelo indicam o pedimento dissecado**



Fonte: Acervo particular do autor.

Após sua deposição no Siluriano, é provável afirmar que houve um soerguimento do bloco tectônico Médio Coreau, e tal soerguimento deve estar relacionado com a separação de Gondwana no Cretáceo, tendo como limite a Falha Sobral-Pedro II e Café Ipueiras. Tal afirmação tem fundamento dentre outras coisas, devido aos resquícios do Grupo Serra Grande (Formação Ipú) em Santana do

Acaraú que se situam a aproximadamente 700 m abaixo do topo da Formação Tianguá e a cerca de 80 km do escarpamento atual.

Esta relação morfoestratigráfica entre a Formação Ipú e a Formação Tianguá é direta e de fácil aplicabilidade por causa dos mapeamentos geológicos existentes. Com o soerguimento, ocorreu o recuo da borda oriental da bacia do Parnaíba (*backwearing*) expondo a superfície pré-siluriana. Com os expressivos gradientes gerados pelo soerguimento e a pouca resistência das rochas do embasamento da referida superfície, esta foi rapidamente erodida dando lugar a uma superfície de aplainamento mais recente.

Alguns resquícios bem degradados da superfície pré-siluriana podem ser vistos nos quartzitos exumados da Formação São Joaquim, bem como no contato entre o Grupo Serra Grande e o embasamento, estes, por sua vez, encontram-se como pedimentos dissecados ou topo de cristas. A manutenção das cotas elevadas de tais superfícies se deve à elevada resistência dos quartzitos.

As Superfícies Rebaixadas são representadas pelos Tabuleiros pré-litorâneos, os depósitos colúvio-aluviais, as planícies fluviais e litorâneas e, por fim, a depressão sertaneja, esta se diferenciando dos outros por se tratar de uma superfície de erosão.

A depressão sertaneja (Figura 06A) é a feição geomorfológica de maior abrangência espacial, representando o último estágio de evolução do relevo sobre rochas do Complexo Granja, Grupo Ubajara, parte do Grupo Martinópole, entre outras rochas da área. No caso, este último estágio de evolução representa uma superfície de aplainamento geralmente identificada como superfície Pd<sub>2</sub> ou Pd<sub>1</sub> de Bigarella e Andrade (1964) ou Superfície Sul-Americana ou Velhas de King (1956). Os Tabuleiros pré-litorâneos são reflexos geomorfológicos da topografia plana que apresenta o Grupo Barreiras, datado do Paleógeno-Neógeno, configurando nítidas superfícies rampeadas de deposição.

Já a planície fluvial ocorre de forma mais espacializada no médio curso, onde existe um expressivo pacote sedimentar de origem aluvial, cujo canal principal do rio Coreaú foi responsável por seu transporte e deposição. Tal deposição se deve à diminuição expressiva do gradiente nesse setor de médio curso, justificando assim, mudanças no trabalho realizado pelos rios.

A planície litorânea é composta por depósitos sedimentares holocênicos, sendo umas das feições geomorfológicas de menor representatividade espacial na

área de estudo. No entanto, dentro da Planície Litorânea existem diferentes tipos de formas de relevo, tais como dunas móveis e fixas, planície flúvio-marinha (Figura 06B), falésias (Figura 06C), entre outras formas, que justificam uma grande diversidade morfológica.

**Figura 06 – Aspectos morfológicos das unidades de relevo da área de estudo. (A) vista da Depressão Sertaneja no alto a serra da Meruoca; (B) vista parcial da planície flúvio-marinha do rio Coreau; (C) Falésia no estuário do rio Coreau**



Fonte: Acervo particular do autor.

Os depósitos colúvio-aluviais têm sua origem ligada aos processos gravitacionais, bem como pela ação do transporte fluvial e normalmente encontram-se próximos aos relevos residuais, mais especificamente no *inselberg* da Penanduba, bem como entre as serras de São Joaquim, Dom Simão, Ibiapaba e o um conjunto de cristas residuais.

#### 4.2 Parâmetros Hidroclimáticos e Balanço Hídrico da Área de Estudo

As condições hidroclimáticas da bacia hidrográfica do rio Coreau vão influenciar nos processos físicos e químicos da pedogênese, na morfogênese e na disponibilidade de água de superfície e subsuperfície, recurso indispensável para satisfazer as necessidades vitais da humanidade e suas atividades socioeconômicas.

Para Zanella (2007), a análise das condições climáticas de uma região é importante, pois o clima é um dos elementos formadores da paisagem, exercendo influência nos processos e nas formas geomorfológicas, na disponibilidade dos recursos hídricos, no regime dos rios, na formação dos solos e na distribuição da cobertura vegetal.

A região Nordeste e o Estado do Ceará como um todo são marcados pela forte irregularidade pluviométrica. A enorme extensão territorial do Nordeste brasileiro e a diversidade do relevo, somados à conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia dessa região uma das mais complexas do mundo (NIMER, 1979). O referido autor acrescenta que esta complexidade não se traduz em grandes diferenciações térmicas, mas reflete-se em uma extraordinária variedade climática, com grandes variações dos índices pluviométricos.

Do ponto de vista climático, uma expressiva parte do Nordeste brasileiro é considerada semiárido por apresentar substanciais variações temporal e espacial da precipitação pluviométrica, e elevadas temperaturas ao longo do ano. Apesar das elevadas temperaturas registradas durante todo o ano, as amplitudes térmicas máximas são em torno de 6°C (FERREIRA; MELLO, 2005). Nas superfícies aplainadas do território cearense, durante todo ano, as temperaturas têm valores elevados entre 26 a 29°C (SOUZA, 2000). Já nos enclaves úmidos (relevos serranos) há uma amenização sensível das condições térmicas, que apresentam valores compreendidos entre 21 e 23°C (SOUZA, 2007).

A localização do Estado do Ceará, próximo à linha do Equador, favorece uma intensa insolação durante o ano todo e, dessa forma, muito calor, caracterizando-o como uma área típica de climas quentes. A atuação dos diferentes sistemas atmosféricos estabelece a sazonalidade da precipitação. Além disso, “a altitude, a disposição do relevo e a proximidade - ou distância – da superfície oceânica proporcionam as diferenciações locais dos climas no estado” (ZANELLA, op. cit., p. 170).

Segundo Uvo e Berndtsson (1996), os três principais sistemas atmosféricos produtores de precipitação no Estado do Ceará, em grande escala, são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Frentes Frias; e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Esses mecanismos interagem e criam padrões de precipitação sobre o território cearense durante diferentes meses (UVO; BERNDTSSON, 1996). Além desses mecanismos pode-se destacar, também, a

atuação das Linhas de Instabilidade Tropicais (IT's), dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's) e as Ondas de Leste (ZANELLA; SALES, 2011).

Na bacia hidrográfica do rio Coreaú a irregularidade das precipitações, mesmo na estação chuvosa, e a concentração no tempo, trazem reflexos marcantes no escoamento superficial. Este é também afetado, diretamente, pelo grau de declividade do relevo e pela impermeabilidade das rochas que compõem o embasamento cristalino pré-cambriano, que apresenta terrenos nitidamente marcados por deformações dúcteis e rúpteis em uma extensa superfície erosiva dissecada por condições climáticas semiáridas. Tais características aliam-se para impor um escoamento intermitente e torrencial não só no curso d'água principal, como a alguns tributários de maior vazão.

As variações climáticas registradas na bacia hidrográfica do rio Coreaú estão associadas, diretamente, ao regime pluviométrico, que é dependente da proximidade do litoral, onde os índices pluviométricos apresentam um aumento substancial e as temperaturas são mais estáveis, e do *glint* da Ibiapaba (borda oriental da bacia sedimentar do Parnaíba), onde os totais pluviométricos são maiores e as chuvas são mais regularmente distribuídas, além da altimetria contribuir para atenuar as condições térmicas locais, onde as temperaturas médias anuais variam entre 22 a 26°C (IPECE, 2017).

A distribuição das chuvas, tanto no tempo quanto no espaço, aliada às formações geológicas, predominantemente, cristalinas do Domínio Médio Coreaú (DMC), são fatores condicionantes do regime dos cursos d'água (intermitentes e efêmeros) e, portanto, da disponibilidade de recursos hídricos de superfície e subsuperfície, da bacia do rio Coreaú.

O rio Coreaú, juntamente com seus afluentes, coleta as águas de grande parte da porção NW do Estado do Ceará, drenando uma área de 4.431 km<sup>2</sup>. A rede de drenagem da bacia do Coreaú tem orientação, predominantemente NE-SW, seguida da direção NW-SE. Observa-se assim, uma correlação entre a orientação geral da drenagem, com as direções estruturais dominantes na porção setentrional da Província Borborema.

Em toda a bacia do rio Coreaú, as condições refletem nuances decorrentes do modo de combinação entre os fatos mais significativos do quadro natural. As precipitações alcançam totais anuais entre 1.349 mm e 745 mm, de acordo com os dados das estações pluviométricas dos municípios de Viçosa do

Ceará e Alcântras (FUNCEME-postos 152 e 05), onde ficam localizados, respectivamente os afluentes das margens esquerda (*glint* da Ibiapaba) e direita (setor de sotavento do Maciço da Meruoca) do rio Coreaú.

A insuficiência de chuvas, na bacia do Coreaú, decorre mais da irregularidade ou variabilidade anual do que de seus totais pluviométricos padrões (Gráfico 1). Os postos pluviométricos inseridos na bacia estão, basicamente, sujeitos a três sistemas sinóticos, que regem a circulação atmosférica na área de estudo e no Estado do Ceará como um todo: VCAN, ZCIT e as Frentes Frias (SRH, 1992).

Além desses sistemas principais, outros sistemas de menor escala atuam na região: linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala, ondas de leste, bem como as influências das brisas marítima e terrestre que incidem com mais frequência na zona litorânea (SRH, op. cit.; FERREIRA; MELO, 2005).

Na bacia do Coreaú, o aporte de águas subterrâneas é modesto ou escasso, especificamente, na superfície erosiva rebaixada, onde esses reservatórios estão condicionados a arranjos estruturais (falhas e fraturas). Há, também, áreas com alto potencial hidrogeológico, devido a elevada permoporosidade dos terrenos, como, por exemplo, nos aquíferos do planalto da Ibiapaba, das áreas de aluviões, da Formação Barreiras e do sistema de dunas e paleodunas.

**Gráfico 1 – Precipitação média anual dos principais postos pluviométricos inseridos na bacia do rio Coreaú (1988-2018), Ceará, Brasil**

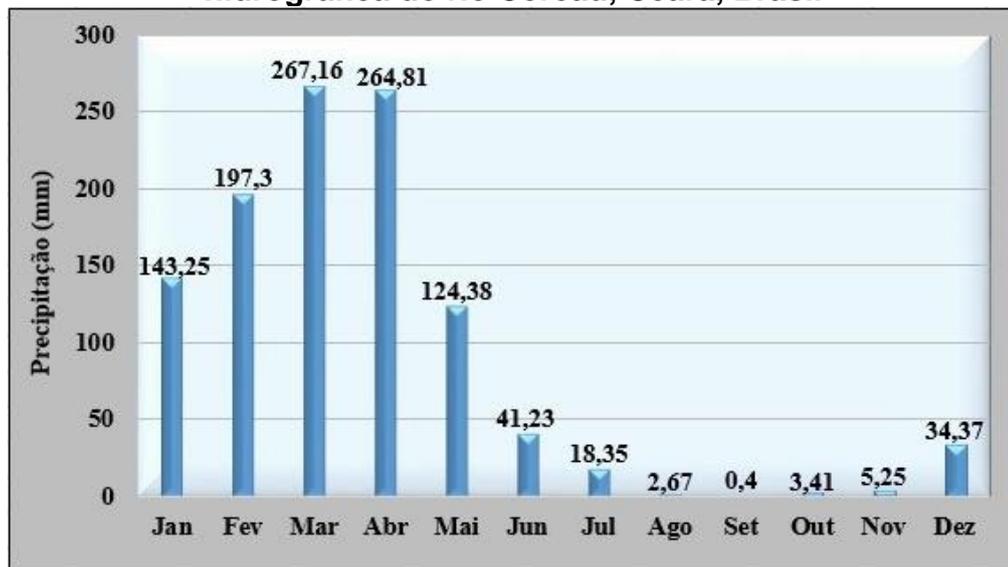


Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em FUNCEME (1988-2018).

A maior concentração pluviométrica para os 30 anos (1988-2018) analisados, de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-

FUNCEME, dos postos pluviométricos dos municípios de Alcântras, Camocim, Coreaú, Frecheirinha, Granja, Tianguá e Viçosa do Ceará, ocorre no primeiro semestre, onde se tem aproximadamente 94,15% do total anual, sendo o mês de março e abril os mais chuvosos com 531,97 mm (48,24%). O trimestre menos chuvoso abrange o período agosto-setembro-outubro, com mínimas registradas em agosto-setembro (Gráfico 2).

**Gráfico 2 – Média mensal pluviométrica no período de 1988 a 2018 para a bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará, Brasil**



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

A pré-estação é compreendida pelos meses de dezembro e janeiro, apresentando uma média mensal de 34,37 mm e 143,25 mm, respectivamente. Neste período as chuvas são produzidas, principalmente, pelos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e pelas Frentes Frias (MOURA FÉ, 2015).

O período de fevereiro a maio que corresponde à quadra chuvosa representa 77,42% (853,65 mm) da média pluviométrica anual de 1.102,58 mm. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema sinótico provocador da quadra chuvosa, atuando de modo mais expressivo a partir de meados do verão, e atingindo sua maior frequência no outono (março-abril), quando alcança sua posição mais meridional (~2-4°S) (NIMER, 1979; FERREIRA; MELO, 2005). O mês de maio é caracterizado pelo início do afastamento da ZCIT.

A estação seca inicia-se em meados de junho e julho, indo até novembro. O período de estiagem que ocorre, principalmente, nos meses de inverno-primavera, coincide com a chegada dos ventos alísios de SE, vinculados ao Anticiclone

Semifixo do Atlântico Sul, produtor da Massa Equatorial Atlântica, responsável pela estabilidade do tempo no segundo semestre.

A partir do exposto, fica evidente que a principal marca da precipitação na bacia do Coreaú não é o total pluviométrico, mas sim sua distribuição temporal e espacial, sobretudo pela concentração ao longo de determinado período do ano. Como se pode observar, o regime de chuvas da área em apreço, como em toda a região semiárida do Nordeste do Brasil, possui recorte temporal conhecido, uma vez que, embora sejam muito irregulares os totais pluviométricos da estação chuvosa, esta se dá, como vimos, quase sempre nos meses de verão-outono, mesmo nos anos cuja estação chuvosa se constitui numa simples força de expressão.

O estudo do balanço hídrico climatológico é de fundamental importância para se definir e monitorar a disponibilidade hídrica no solo de uma região (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Além da precipitação, que representa a entrada de água da atmosfera para o solo, deve-se admitir a perda de água do solo para a atmosfera através da evapotranspiração; do balanço entre esses dois processos opostos resulta o estado final de umidade do solo (COSTA, 1994; CORDEIRO, 2013), o que é fundamental no planejamento agrícola.

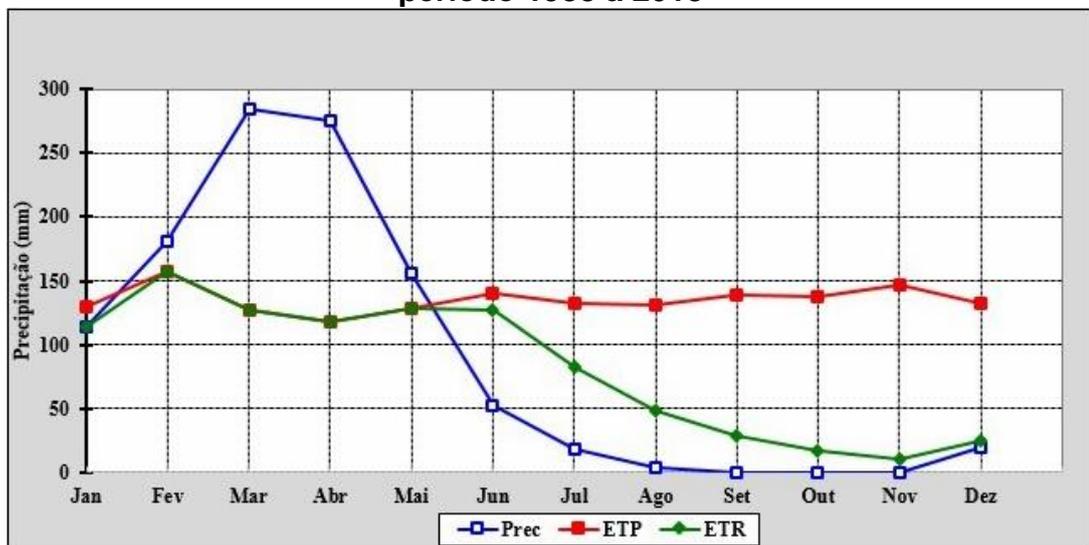
O balanço hídrico também é um importante instrumento para caracterizar o regime pluviométrico de uma dada localidade, pois ele contabiliza a disponibilidade de água no solo para cada mês do ano, indicando os períodos de deficiência e excedente hídrico em diversas escalas de tempo. Sabe-se que a estimativa da disponibilidade de água é de fundamental importância para o planejamento das diferentes atividades humanas como a agricultura, pecuária, comércio, construção civil, abastecimento urbano e, inclusive, para as atividades relacionadas ao turismo.

De acordo com os dados do balanço hídrico, para o período de 1988 a 2018, dos principais postos inseridos nos municípios de Tianguá e Viçosa do Ceará, localizados no Planalto da Ibiapaba; Alcântras, no setor de sotavento do Maciço da Meruoca; Frecheirinha, Coreaú e Granja, na superfície erosiva rebaixada; e Camocim, nos tabuleiros pré-litorâneos/planície costeira, os valores de precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP) apresentam-se positivos por ocasião do período chuvoso de janeiro a maio nos municípios de Tianguá e Viçosa do Ceará; de janeiro a abril em Alcântras, Frecheirinha e Granja; de fevereiro a abril em Coreaú; e de fevereiro a maio no município de Camocim, o que implica em potencial de água no solo, repercutindo no desenvolvimento da vegetação, armazenamento de água

nos aquíferos e escoamento superficial, havendo, portanto, reposição e disponibilidade de recursos hídricos para a área da bacia do Coreaú durante esse período.

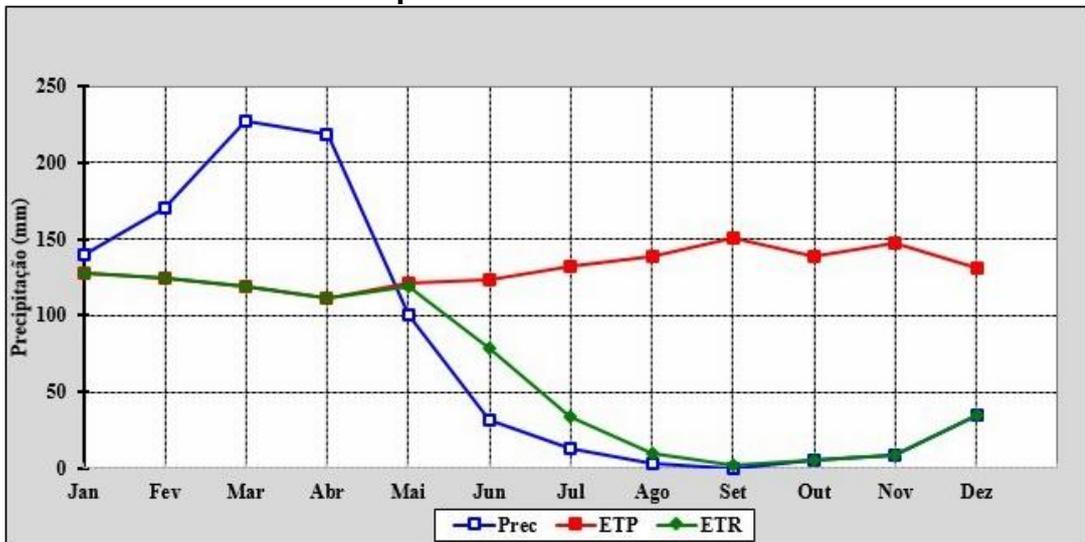
Já os valores de evapotranspiração real (ETR) variam de 92,9 mm em janeiro para 2,2 mm em outubro, no município de Alcântaras; de 157 mm em fevereiro para 10 mm em novembro, no município de Camocim; de 154 mm em fevereiro para 0,3 mm em outubro, no município de Coreaú; de 127 mm em janeiro para 1,7 mm em setembro no município de Frecheirinha; de 154 mm em fevereiro para 1,2 mm em novembro no município de Granja; de 86 mm em janeiro para 36 mm em novembro no município de Tianguá; e de 91 mm em janeiro para 41 mm em novembro no município de Viçosa do Ceará, apresentando, respectivamente, índices médios anuais de 46 mm, 82 mm, 66 mm, 64 mm, 67 mm, 66 mm e 71 mm (Gráficos 3, 4, e 5). Esses gráficos contemplam alguns municípios localizados no alto (Viçosa do Ceará), médio (Frecheirinha) e baixo (Camocim) curso da bacia hidrográfica do rio Coreaú.

**Gráfico 3 – Balanço hídrico normal do município de Camocim-Ceará, para o período 1988 a 2018**



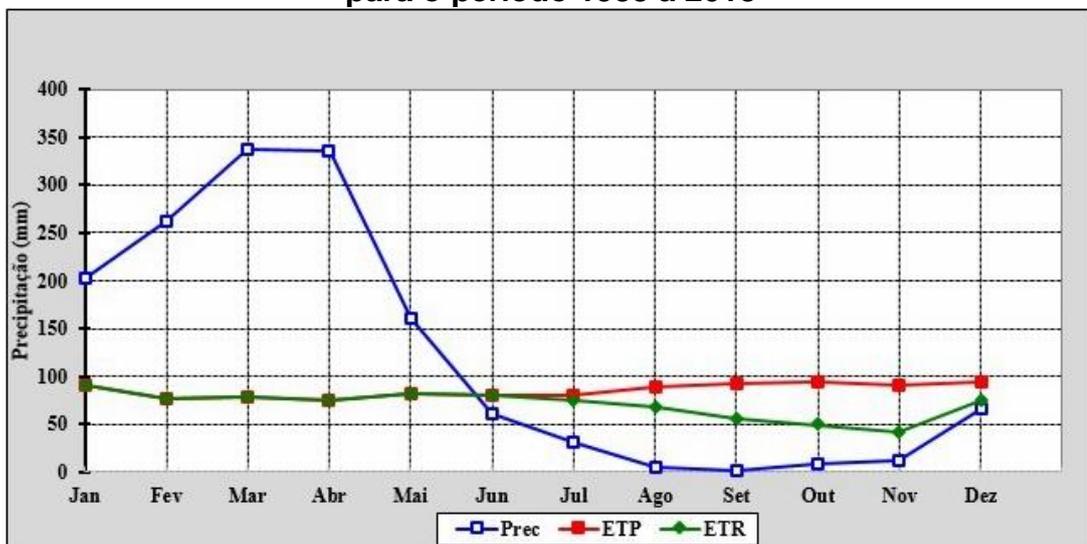
Legenda: Precipitação (Prec); Evapotranspiração Potencial (ETP) e Evapotranspiração Real (ETR). Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 4 – Balanço hídrico normal do município de Frecheirinha-Ceará, para o período 1988 a 2018**



Legenda: Precipitação (Prec); Evapotranspiração Potencial (ETP) e Evapotranspiração Real (ETR). Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 5 - Balanço hídrico normal do município de Viçosa do Ceará-Ceará, para o período 1988 a 2018**



Legenda: Precipitação (Prec); Evapotranspiração Potencial (ETP) e Evapotranspiração Real (ETR). Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

De acordo com o balanço hídrico dos postos pluviométricos da bacia do rio Coreaú, os municípios de Viçosa do Ceará (636,34 mm), Tianguá (497,21 mm) e Granja (323,41 mm) apresentam os maiores excedentes hídricos (EXC) totalizando 1.456,96 mm, onde os meses de março e abril concentram os maiores índices

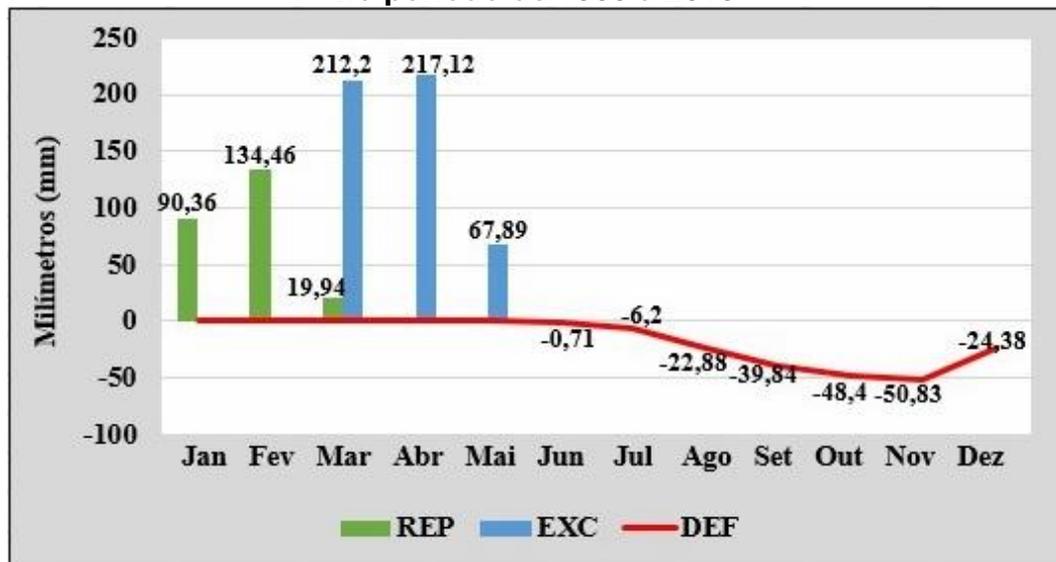
(Gráficos 6, 7 e 8). A reposição hídrica (REP) ocorre nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, totalizando 1.126,61 mm.

**Gráfico 6 – Extrato do balanço hídrico do município de Viçosa do Ceará-Ceará, no período de 1988 a 2018**



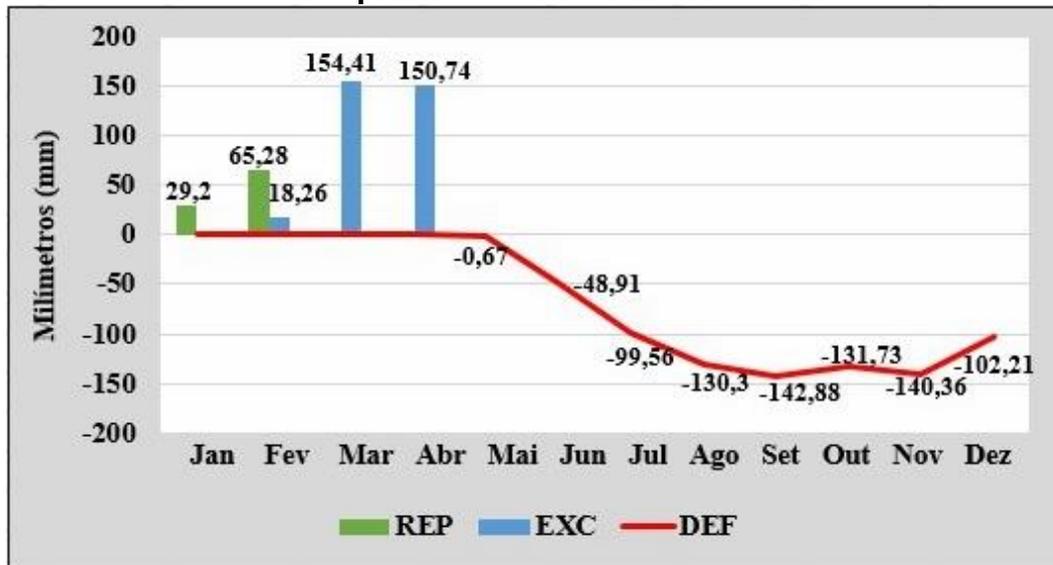
Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 7 – Extrato do balanço hídrico do município de Viçosa do Ceará-Ceará, no período de 1988 a 2018**



Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 8 – Extrato do balanço hídrico do município de Granja-Ceará, no período de 1988 a 2018**



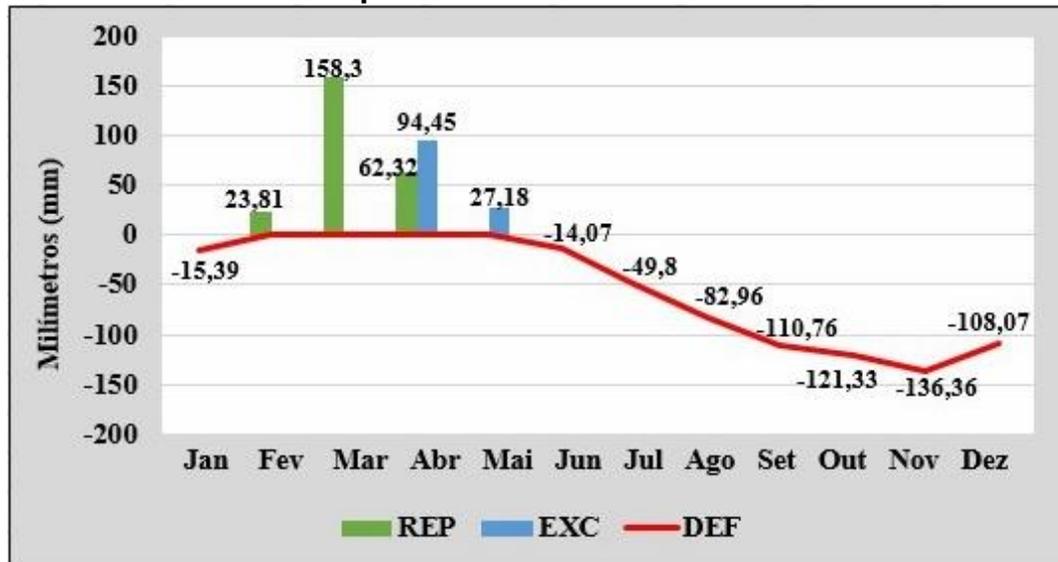
Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

A partir de maio, há um decréscimo das precipitações, na área da bacia do rio Coreaú, e o balanço hídrico sofre alteração, ou seja, torna-se negativa a precipitação efetiva (P-ETP), variando de -89,2 mm e -22,2 mm, respectivamente; em Camocim e Tianguá, para -9,4 mm e -4,6 mm, em Coreaú e Alcântras, respectivamente. Inicia-se a estação de deficiência de água (DEF) no solo, que irá se estender até dezembro/janeiro, perfazendo um déficit anual de -175,7 mm, em média (Gráficos 9, 10 e 11).

O posto pluviométrico (n. 48) da FUNCEME, no município de Flecheirinha, localizado na superfície erosiva rebaixada, indica que os meses de janeiro, fevereiro e março representam o período de reposição hídrica, destacando o mês de fevereiro com 46,06 mm. O excedente hídrico é observado nos meses de março (72,4 mm) e abril (107,35 mm), o que indica que houve excesso de água no período de 1988-2018. A época de deficiência hídrica inicia-se em maio e se prolonga até dezembro, estando nos meses de agosto (129,46 mm), setembro (-148,86 mm), outubro (-133,32 mm) e novembro (-138,58 mm) os maiores déficits hídricos. A precipitação efetiva (P-ETP) torna-se negativa a partir de maio com -20,5 mm, atingindo seus maiores índices em julho (-118,5 mm), agosto (-135,7 mm), setembro (-150,4 mm), outubro (-133,6 mm) e novembro (-138,7 mm), quando a distribuição temporal da

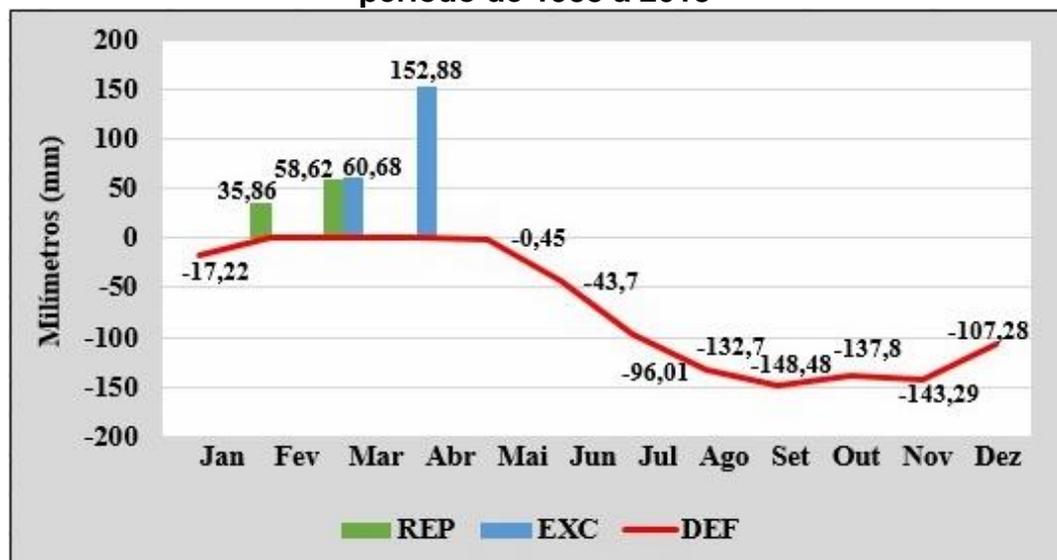
pluviosidade diminui significativamente, perfazendo um total de 64,71 mm, no segundo semestre (Gráfico 12).

**Gráfico 9 – Extrato do balanço hídrico do município de Camocim-Ceará, no período de 1988 a 2018**



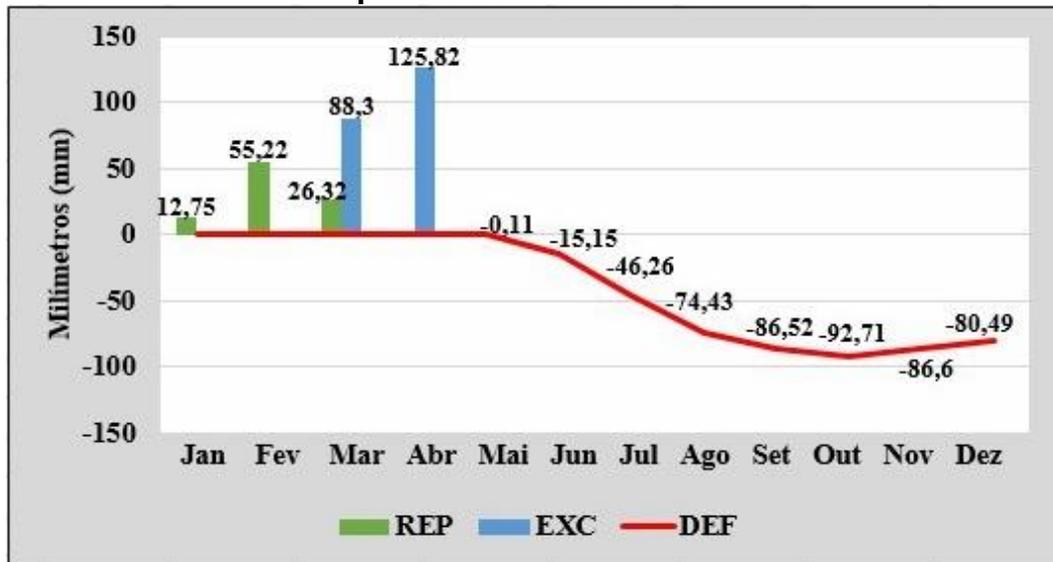
Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 10 – Extrato do balanço hídrico do município de Coreaú-Ceará, no período de 1988 a 2018**



Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 11 – Extrato do balanço hídrico do município de Alcântaras-Ceará, no período de 1988 a 2018**



Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

**Gráfico 12 – Extrato do balanço hídrico do município de Frecheirinha-Ceará, no período de 1988 a 2018**



Legenda: (REP) Reposição hídrica; (EXC) Excedente hídrico e (DEF) Deficiência hídrica. Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em FUCEME (1988-2018).

Conforme constatado, considera-se que a bacia do rio Coreaú apresenta uma estação seca, com 6 (seis) meses, de julho a dezembro, quase sem chuva, com déficit hídrico anual oscilando de -826,93 mm no município de Coreaú para -174,97 mm em Viçosa do Ceará, e -193,24 mm em Tianguá, com uma média para a área de

estudo de -557,88 mm. Já a quadra chuvosa, com duração de 4 (quatro) a 5 (cinco) meses, e concentração nos meses de janeiro a maio, implica em uma reposição hídrica, que apresenta total variando entre 259,74 mm (Viçosa do Ceará) e 94,48 mm (Coreaú, Frecheirinha e Granja), além de escoamento superficial intermitente e torrencial.

## 5 CONTROLE ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ

Saadi e Torquato (1992) destacam que existem no Estado do Ceará quatro grandes conjuntos de bacias hidrográficas marcadas por escoamento divergentes, sendo o bloco estrutural Santa Quitéria o principal interflúvio, pois tal bloco estrutural divide um conjunto de bacias que drenam para NW e SE e outro conjunto que drenam para NE e SW. A bacia hidrográfica do rio Coreaú encontra-se no conjunto de bacias que drenam para NW.

A partir da análise de alguns tipos de mapas e diagramas de rosetas, pode-se inferir elementos de cunho estruturais e morfométricos para discussões geomorfológicas de determinadas bacias hidrográficas, de forma que se pode identificar hierarquização de drenagens, padrões geométricos da rede de drenagem, principais direções de rios por ordem de drenagem, entre muitos outros aspectos. Tais informações podem subsidiar discussões acerca da configuração geomorfológica atual e pretérita de determinada bacia.

Através da hierarquização da rede de drenagem da bacia do rio Coreaú (Mapa 5), pôde-se afirmar que esta é uma bacia de 6ª ordem, onde o Coreaú é o principal rio, tendo suas principais nascentes localizadas no planalto da Ibiapaba e na serra do Carnutim. O rio Coreaú possui oito afluentes de 5ª ordem que juntos totalizam 195 km de comprimento, sendo os mais expressivos os rios Itaquatiara, Itacolomi, Juazeiro e Sairi, este, por sua vez, drena no sentido NE-SW sobre o graben Riacho Sairi que também possui a mesma direção, demonstrando assim, um nítido controle estrutural.

Dados quantitativos dos canais fluviais da bacia do rio Coreaú manifestam os resultados obtidos para a densidade de drenagem, onde os canais de 1ª (3.138 canais) e 2ª (673 canais) ordem representam 95,03% dos cursos d'água da bacia em análise. No entanto, estes são canais que não apresentam grande extensão, assumindo em média 0,964 a 1,921 km por canal. Dessa forma, à medida que aumenta a ordem dos canais, a quantidade de canais diminui e aumenta a extensão linear dos mesmos. Assim, os canais de 3ª, 4ª e 5ª ordem apresentam, respectivamente, 4,981 km, 9,125 km e 24,375 km de comprimento médio, constituindo os afluentes mais significativos do rio Coreaú.

Diversos fatores controlam a densidade de drenagem (Dd) em determinada bacia hidrográfica, podendo-se citar como os mais importantes o clima,

relevo, solos, substrato litológico e cobertura vegetal, sendo estes fatores eminentemente de cunho natural. Para Coralles (2000), os fatores antrópicos que podem gerar alterações na Dd de uma bacia são a urbanização e a agricultura.

A bacia hidrográfica do rio Coreaú apresentou um índice de Dd relativamente baixo (Figura 07),  $1,34 \text{ km}^{-2}$ . Tal valor apresentado está condicionado pela ação combinada dos diferentes componentes ambientais que compreendem a bacia hidrográfica em questão. No caso do clima, que de acordo com Stevaux e Latrubesse (2017) é o fator de controle mais importante, a Dd sofre redução por estar localizada, em sua maior parte, em áreas com predomínio de clima semiárido.

No semiárido nordestino documentam-se elevadas taxas de insolação e temperaturas, bem como totais pluviométricos baixos com alta variabilidade no tempo e no espaço e elevadas taxas de evapotranspiração, que acabam refletindo num significativo déficit hídrico anual (ZANELLA, 2014), consequentemente na Dd.

Dentro de um mesmo ambiente climático o que passa a sobressair é o fator litológico (CHRISTOFELETTI, 1980; STEVAUX; LATRUBESSE, op. cit.; TONELLO et al., 2006), onde dependendo das propriedades geomorfológicas das rochas ter-se-á maior Dd ou não. No caso da bacia hidrográfica do rio Coreaú, tal observação se fez bastante válida, tendo em vista que há diferentes unidades litoestratigráficas que condicionam a Dd.

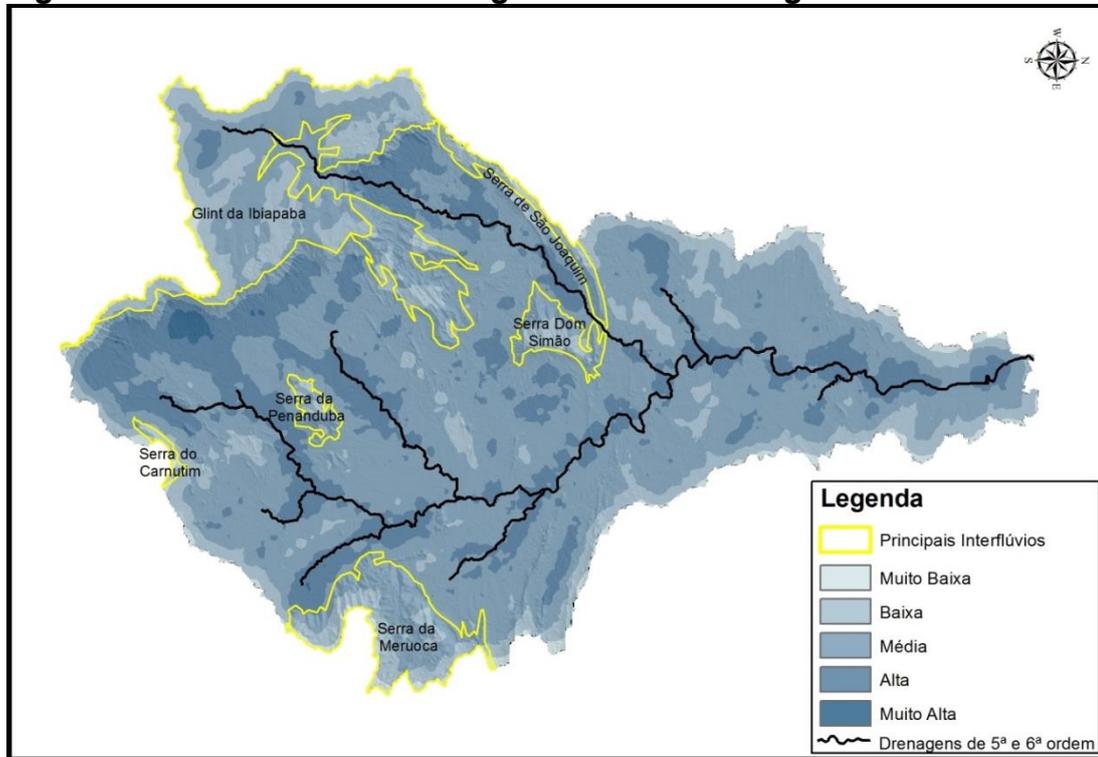
O setor setentrional do *glint* da Ibiapaba, que representa um importante enclave úmido cearense, é sustentado por arenitos do Grupo Serra Grande, um tipo de rocha com significativa porosidade primária, aumentando, dessa forma, a capacidade de infiltração da água e, consequentemente, na diminuição da Dd. Esse contexto pode ser facilmente observado em outros setores da bacia, como, por exemplo, onde ocorre a Formação Trapiá (arenitos), Grupo Sairi (arenitos), Formação Frecheirinha (calcários), Grupo Barriras, entre outros.

Os maiores valores de densidade de drenagem concentram-se no centro-sul da bacia, em função da predominância e do comportamento das rochas do embasamento pré-cambriano, que dificultam a infiltração da água, favorecendo o escoamento superficial.

A forma como o relevo se apresenta também influencia na Dd, sendo que em relevos planos a Dd tende a diminuir consideravelmente (STRAHLER, 1964 *apud* MARTINI 2012). Este fato, certamente, também é um fator importantíssimo

para se justificar a baixa Dd da bacia do rio Coreaú, pois esta apresenta 79,63% de sua área total dividida entre relevo plano (0-3) e suave ondulado (3-8) (Gráfico 13).

**Figura 07 – Densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Coreaú**



Fonte: Elaborado pelo autor 2019.

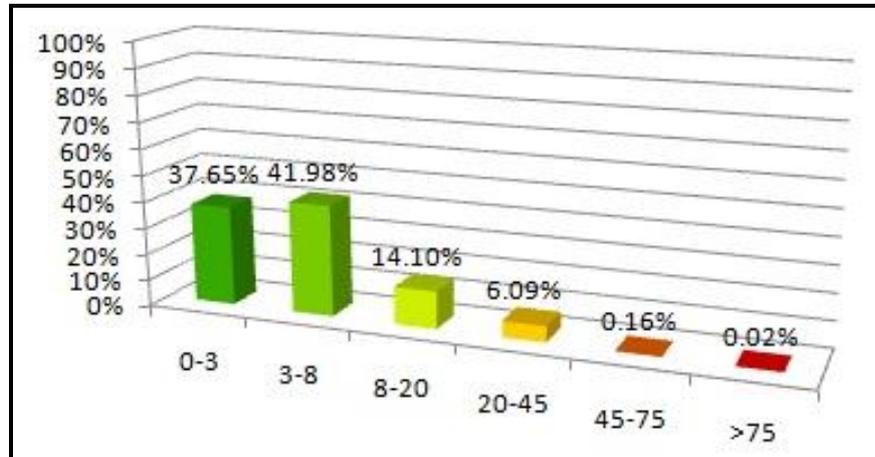
É muito provável que em áreas onde a densidade de drenagem se apresenta mais acentuada, o grau de dissecação do relevo seja também acentuado, tendo em vista que os processos de erosão linear comandados pela ação fluvial, sobretudo em áreas de expressivos gradientes, são os principais responsáveis por formar vales encaixados em forma de “V”.

Fatores como solos e cobertura vegetal também têm participação direta na forma como se apresenta a densidade de drenagem de determinadas bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; VILLELA; MATTOS, 1975). Os solos agem de forma similar aos aspectos litoestruturais, pois de acordo com Stevaux e Latrubesse (op. cit.), classes de solos distintas, apresentam Dd diferentes.

No entanto, tipos de solos iguais também podem apresentar diferentes densidades de drenagem tal fato foi observado por Demattê e Demétrio (1998) que utilizaram o índice de Dd para detectar áreas onde solos estavam mais

intemperizados dentro de um mesmo substrato rochoso no Estado de Santa Catarina.

**Gráfico 13 – Gráfico com percentual por classes de declividade da bacia do rio Coreaú**



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Na bacia hidrográfica em questão, em decorrência da expressiva heterogeneidade litológica, há uma significativa variação de tipos de solos, porém a área em análise apresenta, em sua grande maioria, solos pouco desenvolvidos. Entretanto, nos setores presentes no *glint* da Ibiapaba existem solos bastante desenvolvidos, como no caso dos Latossolos Amarelos da região (Figura 09A) e tais solos, de acordo com Lepsch (2010), se apresentam bem drenados diminuindo assim a Dd da área. Outro exemplo de solo na área de estudo são os Neossolos Flúvicos (Figura 09B).

A vegetação também contribui diretamente para os baixos valores encontrados de Dd, pois a caatinga se apresenta de forma muito espaçada o que justifica a limitada proteção dos solos e, conseqüente, o aumento da erosão. A exceção se dá, sobretudo, nos setores onde há enclaves úmidos, como no caso do *glint* da Ibiapaba.

**Figura 08 – (A) Perfil de Latossolo no município de Tianguá; (B) Perfil de Neossolo Flúvico próximo ao rio Coreaú**



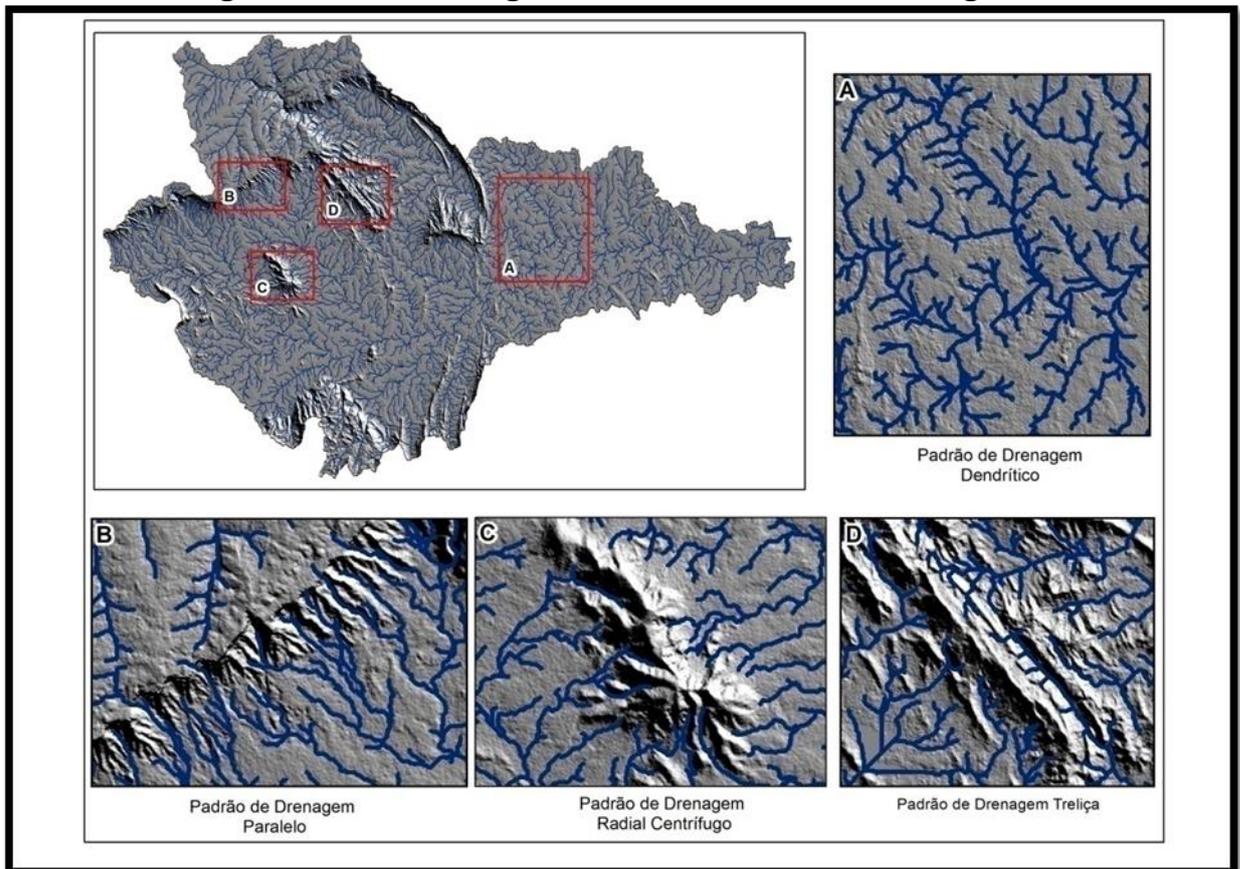
Fonte: Acervo particular do autor (2017/2018).

Em relação aos padrões de drenagem predominantes na bacia do rio Coreaú, destacam-se o dendrítico (64,5%) e paralelo (23,1%) e, em menor proporção, os padrões treliça (7,3%) e radial centrífugo (5,1%) (Figura 10). O padrão dendrítico ocorre por toda a área da bacia e está relacionado, sobretudo, ao embasamento cristalino pré-cambriano, em setores situados na superfície de erosão sertaneja e ao maciço granítico da Meruoca. Esse padrão de drenagem é desenvolvido em rochas heterogêneas e pouco uniformes (e.g. granitos) e pouco deformadas, apresentando arranjo irregular em todas as direções, sem nenhuma orientação evidente dos canais e com ângulos de junção variados entre o canal principal e os tributários (HOWARD, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1980).

O padrão de drenagem paralelo é observado de forma mais nítida, sobretudo, nas escarpas do *glint* da Ibiapaba, sendo responsável pela dissecação dos pedimentos (Figura 11) e pela erosão remontante da borda leste da Bacia do Parnaíba (*front* da Ibiapaba). Esse padrão de drenagem sofre controle estrutural, influenciado principalmente, pela escarpa do *glint*, sustentada por cornija arenítica do Grupo Serra Grande-Ssg (BRASIL, 2003).

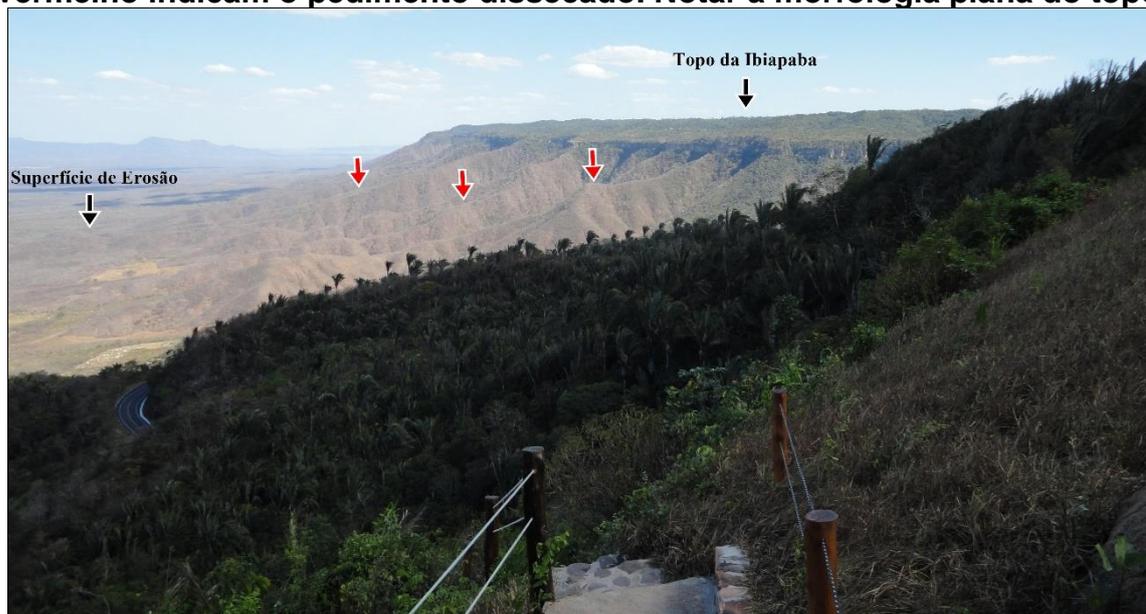
O padrão radial centrífugo foi registrado na área de ocorrência de relevos positivos com formato dômico, como, por exemplo, na serra da Penanduba, que se configura como um relevo residual, com 621 m de altitude, elaborado sobre quartzitos conglomeráticos da Formação Trapiá (Nput) (BRASIL, 2003).

**Figura 09 – Padrões geométricos da rede de drenagem**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 10 – Vista parcial do front do *glint* da Ibiapaba, onde as setas em vermelho indicam o pedimento dissecado. Notar a morfologia plana do topo**



Fonte: Acervo particular do autor (2018).

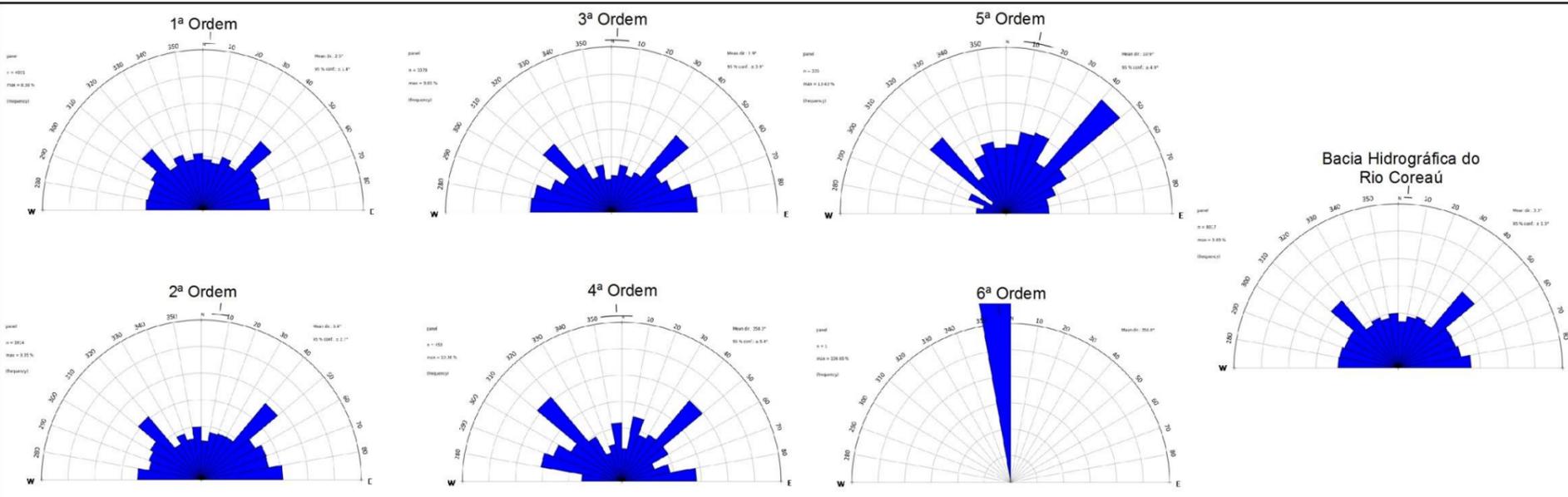
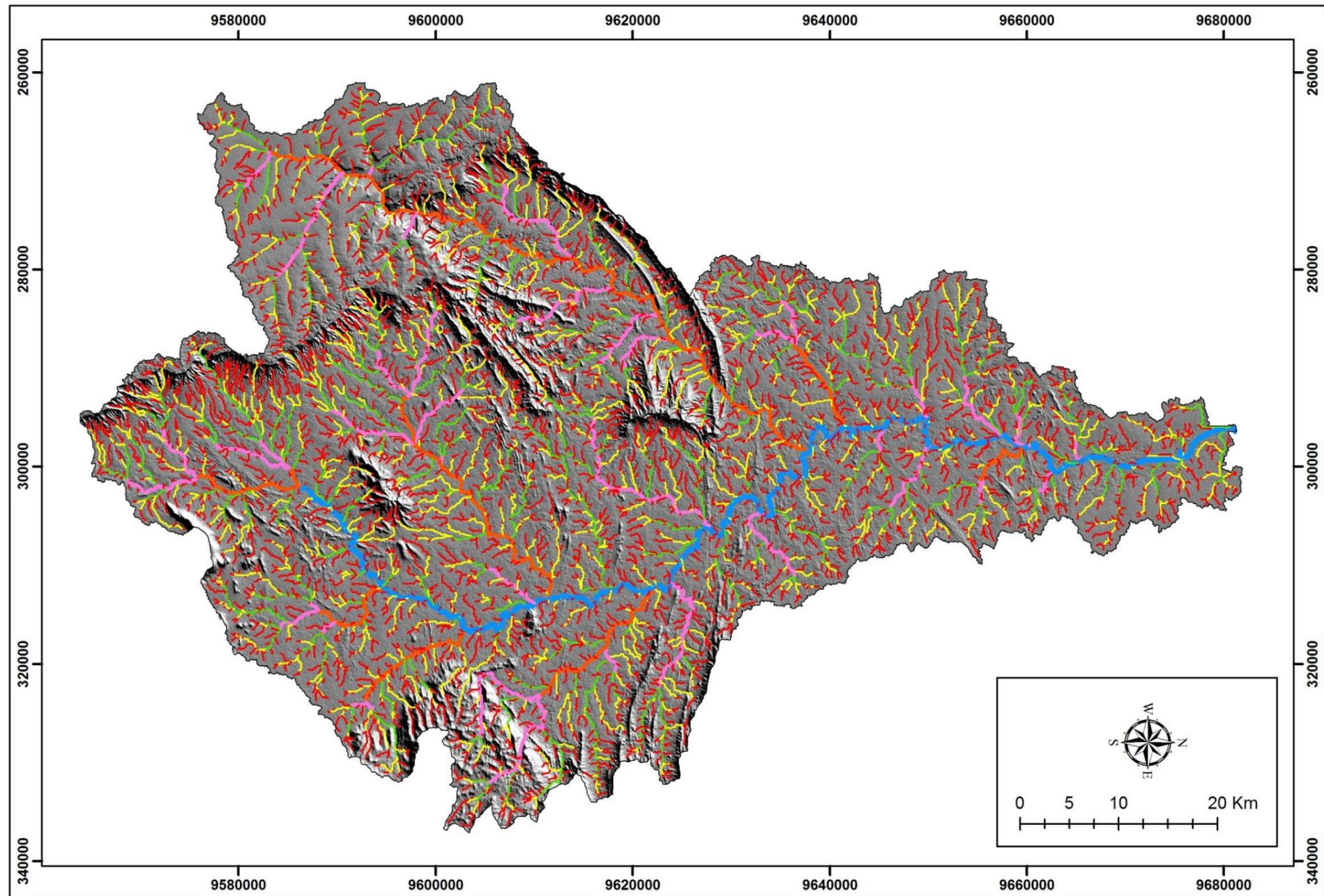
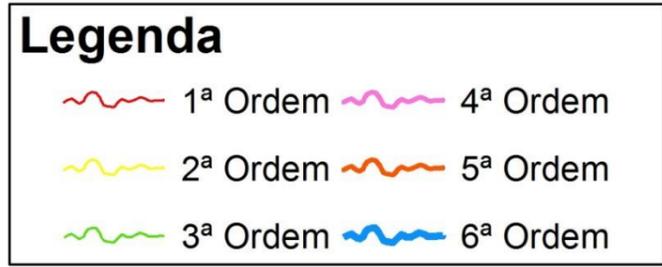
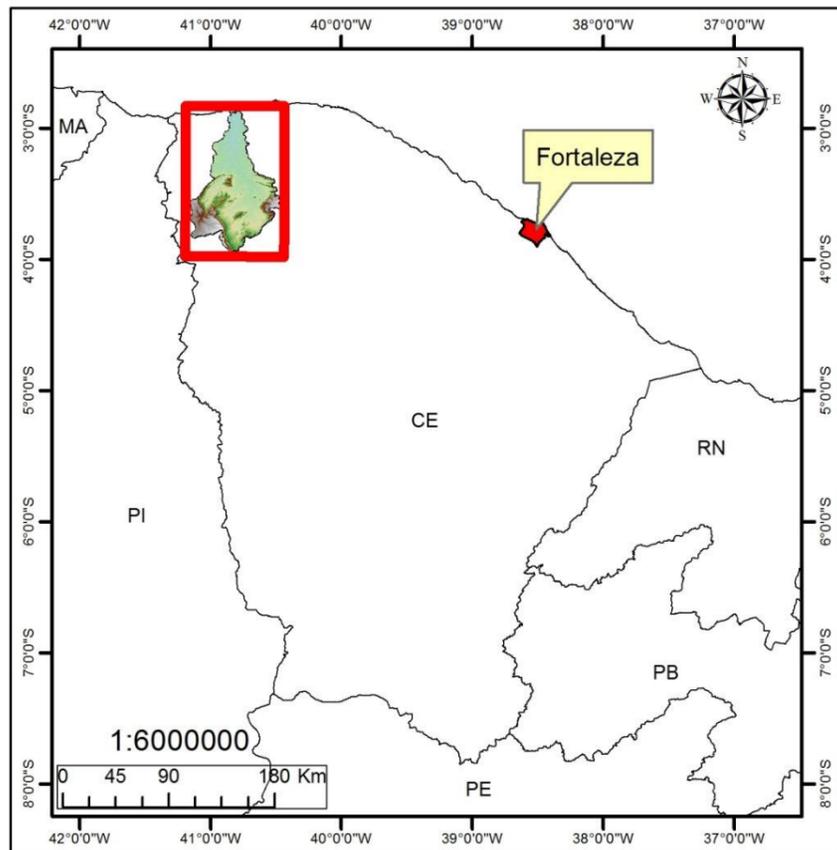
Já o padrão treliça prevalece no setor ligado às cristas quartzíticas da Formação São Joaquim (NPmsj). Nessa área os rios drenam em diferentes sentidos por entre as cristas, sendo comuns drenagens perpendiculares às direções das cristas. Nesses casos ocorrem superimposições de drenagem e presença de boqueirões, como verificado na serra de São Joaquim, localizada no setor ocidental da bacia do rio Coreaú.

De acordo com Maia e Bezerra (2014), no Nordeste setentrional brasileiro, os lineamentos são predominantemente de direção NE-SW e E-W, estes, em grande parte, representam a manifestação em superfície das deformações causadas pela orogênese brasileira, bem como por processos tectônicos de reativação no Cretáceo e no Cenozóico.

O sentido NE-SW e E-W de lineamentos e principais estruturas geológicas regionais também foram identificados na área de estudo através dos diagramas de rosetas (Figura 08), estes mostram uma notável expressividade dos padrões regionais mencionados por Maia e Bezerra (op. cit.), que acabam influenciando a rede de drenagem.

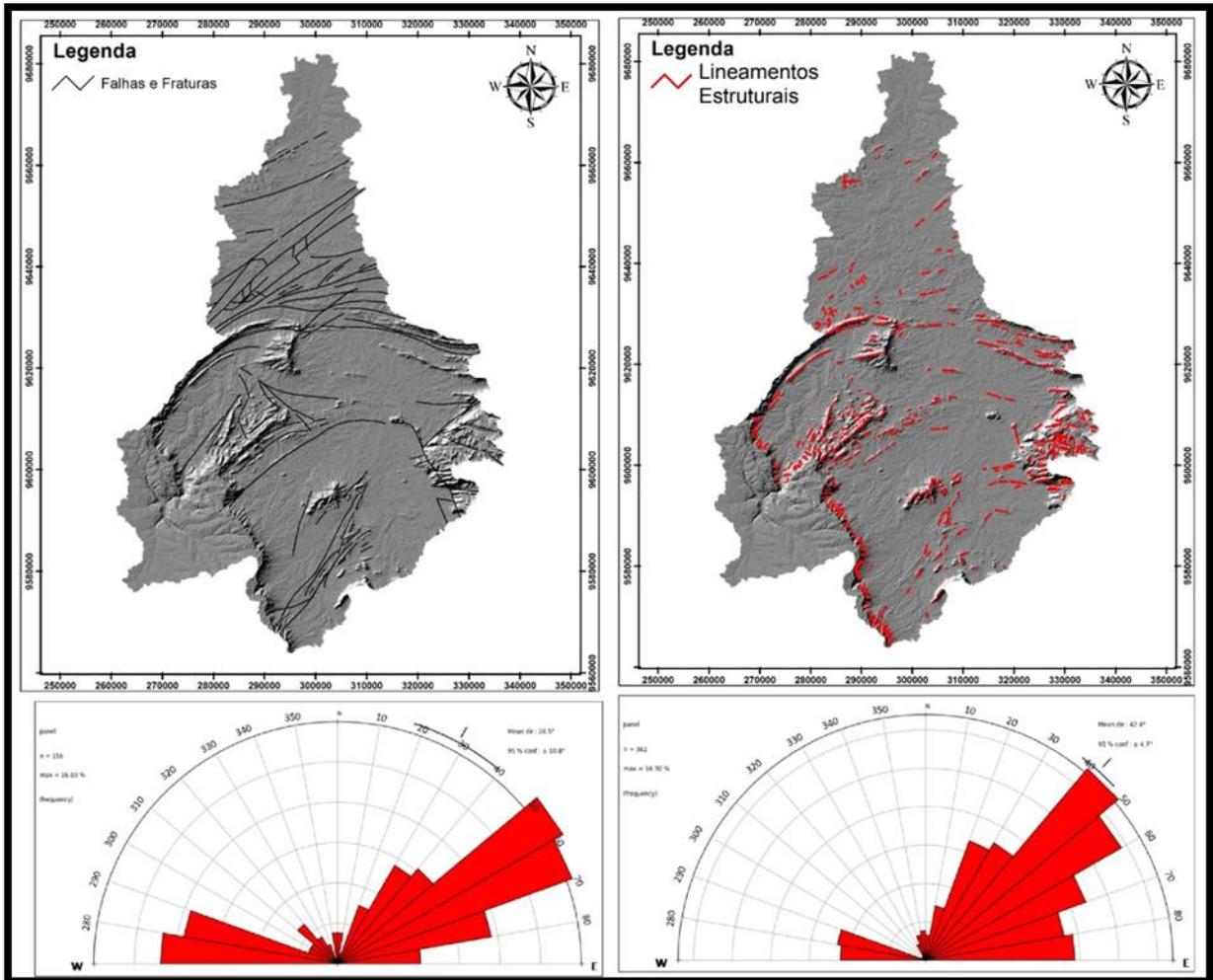
A maior parte das estruturas rúpteis, conforme mostra o diagrama de rosetas, indicam o sentido NE-SW e, de forma secundária, a direção E-W. Para os lineamentos estruturais o padrão se repetiu, sendo que as cristas residuais, em sua maioria, representam de forma mais clara o sentido NE-SW. As Zonas de Cisalhamento Sobral-Pedro II, Falha Café-Ipueiras, Falha Arapá, entre outros tipos de estruturas rúpteis possuem também o mesmo sentido regional NE-SW.

Os diagramas de rosetas separados por ordem de drenagem mostram uma expressiva representatividade da direção NE-SW. Os rios de 1ª ordem possuem heterogeneidade de sentidos, mas com um sobressalto para NE-SW e NW-SE, este mostrando-se como uma exceção, tendo em vista que os diagramas de rosetas de lineamentos estruturais e de estruturas rúpteis não apresentaram direção NW-SE.



<b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ</b> CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEORGAFIA MESTRADO EM GEOGRAFIA			
Autor:	<b>DANIEL DOS REIS CAVALCANTE</b>		
Título:	<b>COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA DRENAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ, NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ</b>		
Conteúdo:	<b>HIERARQUIA FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ</b>		
Fonte:	IMAGEM ALOS PALSAR.		
Sistema de Coordenadas UTM / Datum SIRGAS 2000			
Mapa: 05	Folha A3 - 297 x 420mm	Escala: 1:500000	Data: maio/2019

**Figura 11 – Diagramas de Rosetas de estruturas rúpteis (lado esquerdo) e dos lineamentos estruturais (lado direito)**



Fonte: Elaborado pelo autor.

As drenagens de 2ª e 3ª ordem têm maior representatividade das direções E-W em relação aos rios de 1ª ordem, mas com os sentidos NE-SW e NW-SE bem destacados também. Os rios de 4ª ordem apresentam direções variadas, sendo que mais uma vez as direções NE-SW e NW-SE se destacam. Já para os rios de 5ª ordem, o sentido NW-SE não se torna tão expressivo, no entanto outras direções ganham notoriedade, tais como NNE-SSW e NE-SW.

O canal de 6ª ordem, representado pelo rio Coreaú, assume, ao longo dos seus 152 km de comprimento, diferentes direções, assumindo a direção N-S, de forma preponderante, sobre os sedimentos do Grupo Barreiras. O rio Coreaú apresenta índice de sinuosidade ( $I_s$ ) igual a 1,29, indicando que o canal do rio Coreaú não tem forma retilínea, mas também, não pode ser considerado como

sinuoso, ou seja, o canal apresenta forma transitória. Conforme Freitas (1952) o índice de sinuosidade  $< 1,0$  pode ser considerado um canal retilíneo e um canal com índice de sinuosidade  $> 2,0$  pode ser considerado um canal sinuoso.

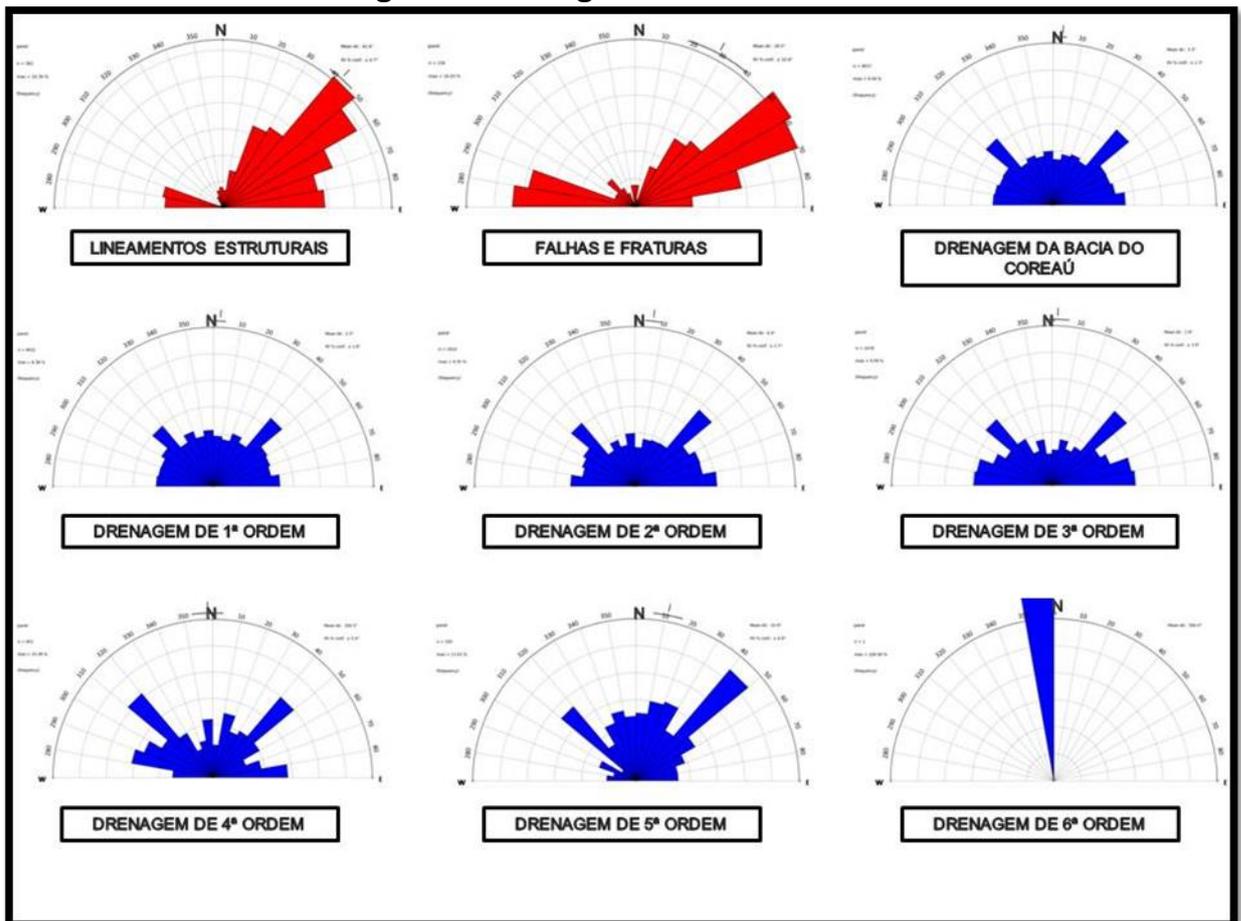
As formas como os diagramas de rosetas se apresentam (Figura 09), mostram uma pequena discordância no que tange ao controle estrutural da drenagem na bacia hidrográfica do rio Coreaú. Os lineamentos estruturais e as estruturas rúpteis seguem o *trend* regional NE-SW e E-W, entretanto, nos diagramas elaborados por ordens de drenagem, vários rios apresentaram direção NW-SE, o que não seria esperado.

Para se justificar tal predomínio na direção NW-SE dos rios da bacia em questão, tem-se que levar em consideração os lineamentos estruturais positivos de direção NE-SW da área, tendo em vista que estes se apresentam como interflúvios muitas vezes em formas de cristas, e, estas sustentadas pelos quartzitos da Formação São Joaquim. Sendo assim, com a presença de tais lineamentos seguindo o *trend* regional NE-SW e estes se comportando como interflúvios, haverá, certamente, o condicionamento do relevo gerando rios perpendiculares ao sentido dos lineamentos estruturais.

Saadi e Torquato (1992), em análise morfoestrutural do Estado do Ceará, observaram uma mudança para W dos principais rios que drenam o compartimento NW do Estado. Para justificar a referida mudança de direção, os autores supracitados destacaram que os “encurvamentos centrífugos só podem representar respostas dinâmicas da rede de drenagem ao soerguimento do compartimento central e rebaixamento concomitante dos compartimentos marginais” (SAADI; TORQUATO, op. cit., p. 21).

As hipóteses de Saadi e Torquato (op. cit.) são bastante didáticas e possuem elementos para sustentação, contudo, acredita-se que a área em apreço pode estar passando por um processo lento de soerguimento ao contrário do que afirmam os autores supracitados que sustentam a conjectura de uma provável subsidência da área. Cabe destacar que a afirmação dos referidos autores foi empregada numa tentativa de interpretação regional da organização da rede de drenagem do Estado do Ceará como um todo, demandando assim uma escala de análise mais detalhada para a área de estudo, tendo em vista as anomalias identificadas.

**Figura 12 – Diagramas de Rosetas**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Acredita-se aqui que há processos de soerguimentos da região gerados por isostasia da bacia sedimentar do Parnaíba, de direção E-W, bem como por processos de flexura marginal, de sentido N-S, sendo estes os possíveis responsáveis por um provável soerguimento lento da área, onde o soerguimento se daria nos setores continentais em compensação a um rebaixamento dos setores costeiros (PEULVAST; CALUDINO SALES, 2006; PEULVAST; BÉTARD, 2015).

Ainda há outros elementos para subsidiar tais hipóteses, sendo um deles a diferença de altitude entre os batólitos de Chaval, Meruoca e Mucambo que têm períodos de intrusão muito próximos. A localização geográfica dos batólitos e suas diferenças topográficas sugerem um soerguimento dos setores onde se localizam os maciços da Meruoca e Mucambo em relação aos setores do batólito de Chaval que, no caso, encontra-se próximo ao nível de base local, na faixa litorânea do Noroeste

do Estado, inclusive com presença de manguezal, configurando ambientes estuarinos.

Outro elemento que pode vir a subsidiar tais ideias foi identificado no presente estudo através da análise dos mapas geológicos, geomorfológicos e hipsométricos. Tal hipótese está ligada à mudança de direção do canal fluvial do rio Itacolomi, sendo tal mudança gerada provavelmente por neotectônica.

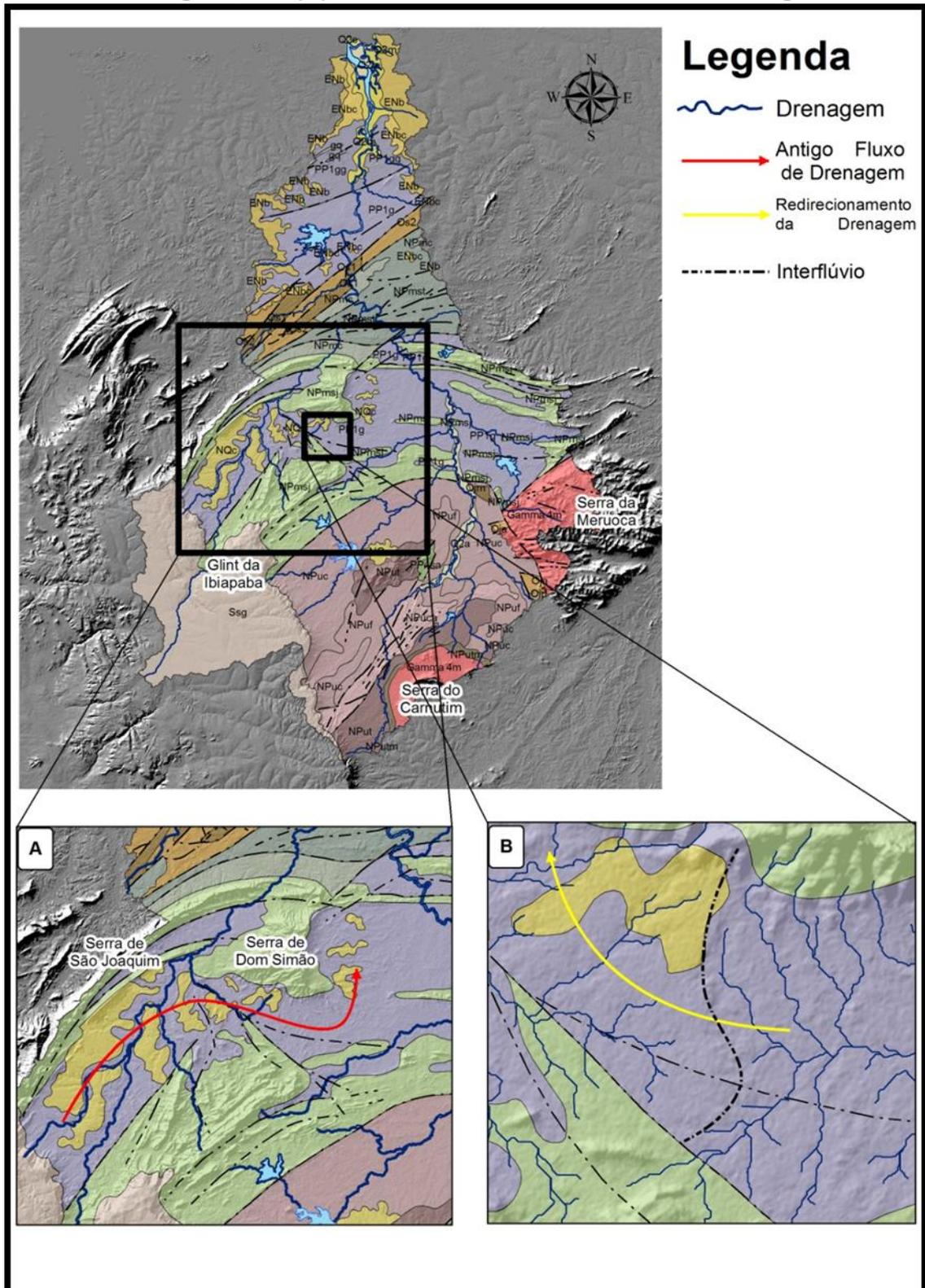
A princípio, a forma como as coberturas sedimentares de espriamento aluvial (NQc) se encontram, entre as serras de São Joaquim e Dom Simão, sugerem uma possível mudança na direção da drenagem do rio Itacolomi causada por uma influência neotectônica, que redirecionou o canal principal para o sentido NE, deixando um depósito aluvial no provável sentido de seu antigo fluxo para E.

Para essa interpretação, partiu-se do princípio de que as rochas do Complexo Granja, sobretudo os ortognaisses e gnaisses, se apresentam mais frágeis constituindo superfícies de erosão (depressão sertaneja) circunvizinhas às cristas da Formação São Joaquim.

Face ao exposto, seria mais provável que a drenagem do rio Itacolomi, no trecho em questão, se deslocasse para E seguindo a menor resistência apresentada pelas rochas do Complexo Granja (Figura 10A). O que se percebe é justamente o contrário, tendo em vista que a referida drenagem acabou formando um *gap* na crista da Formação São Joaquim, havendo um nítido deslocamento do canal principal o que sugere uma relação tectônica. A relação neotectônica com o referido deslocamento se justifica pela datação dos resquícios de deposição aluvial que são datados do Neógeno.

Em síntese, pensa-se que o rio Itacolomi drenou outra área, onde tal registro encontra-se, sobretudo, nos depósitos NQc, porém a mudança na direção da drenagem se deu por soerguimento regional, fazendo com que a área antes drenada pelo rio Itacolomi passa-se a ser um pequeno interflúvio local (Figura 10B), mudando assim a direção da drenagem como se conhece atualmente.

Figura 13 – Esboço geológico da área de estudo, em (A) Antigo fluxo de drenagem; em (B) Interflúvio com atual fluxo de drenagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que o presente estudo não tem como objetivo principal traçar uma linha morfogenética da área, mas acredita-se que a presente abordagem preliminar sobre a evolução do relevo possa, pelo menos, servir como subsídio para discussões futuras.

Os lineamentos estruturais, bem como as estruturas geológicas de caráter rúpteis da área de estudo, compactuam com o *trend* regional observado por Maia e Bezerra (2014). Diferentemente do padrão regional, a direção do rio Coreaú, além do formato geral de sua bacia hidrográfica apresentam um direcionamento N-S.

Entretanto, através dos diagramas de rosetas da bacia hidrográfica do rio Coreaú, foi possível identificar um sentido bastante expressivo de direção NE-SW o que vem confirmar a concordância com outros grandes rios do Nordeste setentrional brasileiro, no caso, o rio Jaguaribe que possui no seu alto curso direção predominante NE-SW e nos médio e baixo cursos tal sentido também se repete (MAIA, 2005; GOMES NETO, 2007; SILVA; MAIA, 2017).

Os rios Choró e Potengi também possuem sentido predominante NE-SW sofrendo controle estrutural e tal controle está relacionado ao sistema de falhas da Zona de Cisalhamento de Senador Pompeu que, por sua vez, também possui direção predominante NE-SW (PEULVAST; BÉTARD, 2015).

No Rio Grande do Norte há rios com direções preferenciais NE-SW, sendo que tal fato também mostra o controle estrutural da drenagem, onde os rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Assu são os principais exemplos nessa região, o mesmo fato também se repete no Estado da Paraíba, mais precisamente com os rios Paraíba e Mamanguape, estes possuindo sentido NE-SW e seguindo a orientação geral dos lineamentos do nordeste oriental (MAIA; BEZERRA, 2011, 2013; ALVES; ROSSETTI, 2016).

No que diz respeito aos rios de 1ª e 2ª ordens da área de estudo apresentarem direções NW-SE, fato semelhante ocorre na região sul do Estado do Ceará, mais especificamente na serra do Quincuncá e no seu entorno, onde os rios de 1ª e 2ª ordens também apresentam expressivas disposições para a direção NW-SE drenando as vertentes de cristas (CORDEIRO, 2017).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise de dados litoestruturais e de sensoriamento remoto (imagens do satélite ALOS PALSAR), bem como dos diagramas de rosetas foi possível caracterizar a rede de drenagem da bacia do rio Coreaú. Os resultados revelaram que a disposição dos cursos fluviais dessa bacia hidrográfica é influenciada pela estrutura geológica (e.g., litologia e planos de deformação dúctil-rúptil) e por lineamentos positivos de relevos (e.g. cristas residuais), fato comprovado por inúmeras feições, como, por exemplo: superimposição de drenagem; direcionamento dos lineamentos de relevo; padrão de drenagem paralelo (23,1%), treliça (7,3%) e radial centrífugo (5,1%).

O padrão de drenagem paralelo predomina no *front* e no reverso do *glint* da Ibiapaba, obedecendo seu caimento topográfico e, nas encostas das cristas residuais e entre o alinhamento das mesmas, que apresentam direção NE-SW. No entanto, a maior parte da bacia do Coreaú é caracterizada pelo padrão dendrítico (64,5%), que ocorre, predominantemente, sobre a depressão erosiva sertaneja, explicada pela topografia pouco acidentada, homogeneidade do substrato rochoso e pelas condições climáticas semiáridas.

Por meio da extração dos lineamentos estruturais de relevo, a partir de imagens ALOS PALSAR, orientados de acordo com os planos de deformação dúcteis e rúpteis, observou-se que em grande parte da bacia do Coreaú a rede de drenagem, principalmente, os cursos fluviais de 3ª, 4ª e 5ª ordem, apresentam, em parte, uma compatibilidade com a direção dos lineamentos estruturais e das estruturas geológicas regionais dispostas predominantemente na direção NE-SW.

No entanto, padrões de drenagem de sentido NW-SE foram verificados nos diagramas de roseta, apresentando assim uma incompatibilidade com os *trends* de lineamentos positivos e negativos de disposição NE-SW, que predominam na porção setentrional da Província Borborema. A direção NW-SE dos cursos fluviais da bacia do Coreaú predomina no *front* do *glint* da Ibiapaba e nas encostas das cristas residuais constituídas por rochas quartzíticas, justificando a existência de cursos fluviais perpendiculares aos lineamentos positivos de direções NE-SW. Dessa forma os lineamentos estruturais de direção NE-SW condicionam a formação de drenagens  
NW-SE.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ABREU, A. A. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista do Instituto de Geologia**, São Paulo, n. 4, v. 1/2, p. 5-23, 1983.
- ALVES, F. B.; ROSSETTI, D. F. Influência Neotectônica no estabelecimento dos vales dos rios Paraíba e Mamanguape, norte da bacia do Paraíba (PB). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 517-532. 2016.
- ANDRADES FILHO, C. O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) -Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. Fatores naturais na evolução das paisagens no semiárido brasileiro: uma abordagem geral. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 5, p. 464-476. 2012.
- BERTOLINI, W. Z.; CHEREM, L. F. S. Relação entre o relevo e a drenagem na análise da condição de equilíbrio no alto rio Piranga (MG). **Geografias**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 102-118. 2016.
- BÉTARD, F.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural e morfopedológica do maciço de Baturité e de seu Piemont: do Cretáceo ao Presente. In: BASTOS, F. H. (org.) **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 35-59.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sôbre a estratigrafia dos sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivos do Instituto de Ciências da Terra**, Recife, n. 2, p. 3-14. 1964.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. **Carta Geológica-Geofísica, Projeto NW do Ceará**. Mapa na escala 1:250.000. Serviço Geológico do Brasil. Ministério das Minas e Energia. Fortaleza, 2015.
- \_\_\_\_\_. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Mapa na escala 1:500.000. Serviço Geológico do Brasil. Ministério das Minas e Energia. Fortaleza, 2003.
- BRICALLI, L. L. Procedimentos metodológicos e técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 75-110. 2016.
- BRITO NEVES, B. B. **Glossário de geotectônica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

\_\_\_\_\_. America do Sul: Quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário andino. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 379-392. 1999.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press. 1982. 443p.

CAMOLEZI, B. A.; FORTES, E.; MANIERI, D. D. Controle estrutural da rede de drenagem com base na correlação de dados morfométricos e morfoestruturais: o caso da bacia do Ribeirão São Pedro – Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, p. 201-211, 2012.

CAVALCANTE, J. C.; PADILHA, M. W. M. Geologia e Mineração. In: VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I. C. (Orgs.). **Rochas e minerais industriais do Estado do Ceará**. Fortaleza: CETEM/ UECE/ DNPM/ FUNCAP/ SENAI, 2005. p. 9-18.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. New York: Routledge, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

CLAUDINO SALES, V.; LIRA, M. V. Megageomorfologia do noroeste do Estado do Ceará, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 38, p. 200-209. 2011.

CORALLES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem em microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari – SP**. 210f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CORDEIRO, A. M. N. **Morfoestrutura e morfopedologia da serra do Quincuncá e entorno, Ceará, Brasil**. 2017. 251 f. Tese (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

\_\_\_\_\_. **Análise socioambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Pirapora-Maranguape/Ceará, como subsídio ao planejamento territorial e à gestão ambiental**. 165f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2013.

CORRÊA, A. C. B.; FONSÊCA, D. N. Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do rio Preto, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista de Geografia da UFPE**, VIII SINAGEO, v. especial, n. 1, 2010.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, n. 31, v. 1/2, p. 35-52, 2010.

COSTA, M. H. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1995. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, **Caderno Didático**, n. 19, 22p, 1994.

COSTA, F. G. R.; SALES, M. C. L. HIDROCEL: cálculo do balanço hídrico climatológico através de planilhas eletrônicas de cálculo. In: **VII Encontro Nacional da ANPEGE**, Niterói, 2007.

COTTON, C. A. Tectonic landscapes. p. 1109-1116. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **The encyclopedia of geomorphology**. Encyclopedia of Earth Sciences. Pennsylvania, Dowden, Hulchinson and Koss Inc. 1968.

COUTO, E. V.; MANIERI, D. D.; MANOSSO, F. C.; FORTES, E. Correlação morfoestrutural da rede de drenagem e lineamentos da borda planáltica, Faxinal, Paraná. **Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 315-326. 2011.

CUNHA, S. B. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 229-271.

DEMATTÊ, J. A.; DEMÉTRIO, V. A. Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo. **Revista Brasileira de Agropecuária**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 87-95, 1998.

ETCHEBEHERE, Mario Lincoln de Carlos; SAAD, Antônio Roberto; FULFARO, Vicente José. Análise de bacias aplicada à prospecção de água subterrânea no Planalto Ocidental Paulista, SP. **Geociência**, UNESP, v. 26, n. 03, p. 229-247, 2007.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 01, n. 1, p. 15-28, 2005.

FOUCAULT, A., RAOULT, J-F. **Dicctionnaire de Géologie**. 7<sup>a</sup> edition. Dunod. Paris, 2010.

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

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Base de dados pluviométricos**. Fortaleza: FUNCEME, 2019. Disponível em: [http://www.funceme.br/?page\\_id=2694](http://www.funceme.br/?page_id=2694). Acesso em 28 de fevereiro de 2019.

GERASIMOV, I. P. **Opyt geologièeskogo strojenija**. SSSR. Problemy Fizièekoj, v. 12, p. 33-46. 1946.

GERASIMOV, I. P.; MESCERJAKOV, J. P. Morphostrucure. p. 731-732. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **The encyclopedia of geomorphology**. Encyclopedia of Earth Sciences. Pennsylvania, Dowden, Hulchinson and Koss Inc. 1968. 1295p.

GOMES NETO, A. O. **Neotectônica do baixo vale do rio Jaguaribe – Ceará**. 2007. 181 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **Bulletin Amamerican Association of Petroleum Geologist**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259. 1967.

HOBBS, W. H. **Earth features and their meaning**. New York: The Macmillan Company, 1912. 506p.

\_\_\_\_\_. Lineaments of the Atlantic border region. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 15, p. 483-506, 1904.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. New York: Routledge, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil municipal**. Fortaleza: IPCE, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal/>. Acesso: 02/02/2019.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; PESSOTTI, J. E. S.; MATTOS, J. T. Modelo para o estudo da dinâmica evolutiva dos aspectos fisiográficos dos pantanais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, número especial, v. 33, p. 1763-1773, 1998.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265. 1956.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: UFPA, 2006.

\_\_\_\_\_. **Introdução à interpretação radar geológica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 124p.

MABESSONE, J. M. História Geológica da Província Borborema (NE Brasil). **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 15, p. 119-129. 2002.

MAIA, R. P. **Planície Fluvial do rio Jaguaribe: evolução geomorfológica, ocupação e análise ambiental**. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127-141. 2014.

\_\_\_\_\_. Tectônica pós-Miocênica e controle estrutural de drenagem no rio Apodi-Mossoró, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 2. p. 57-68. 2013.

\_\_\_\_\_. Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 37-46. 2011.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H.; CLAUDINO-SALES, V. Geomorfologia do Nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 6-19. 2010.

\_\_\_\_\_. Vales fluviais do NE: Considerações geomorfológicas. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 177-189. 2008.

MARTINI, L. C. P. Características morfométricas de microbacias hidrográficas rurais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 67-72, 2012.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 137-151. 2009.

MESCERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostructure et de morphosculpture, un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. **Annales de Géographie**, vol. 77, n. 423, p. 539-552, 1968.

MORAIS, E. S.; CREMON, E. H.; SANTOS, M. S.; SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, L. C. Orientação da drenagem como resposta a controles geomorfológicos: análise do córrego Dourado, Paraná-Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 127-135. 2010.

MOURA FÉ, M. M. **Evolução geomorfológica da Ibiapaba Setentrional, Ceará: gênese, modelagem e conservação**. 307f. Tese (Doutorado em Geografia)-Curso de Doutorado em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 480p.

O'LEARY, Dennis W.; FRIEDMAN, Jules Daolun; POHN, Howard A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

PALACIOS, J. R. A.; VIANA, R. R. Detecção e extração de lineamentos locais (sujeitos ao controle estrutural regional) de imagens de relevo, derivados de dados da SRTM. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 3, p. 527-533, 2011.

PECH, P. **Géomorphologie Structurale – Synthèse**. Armand Colin, Paris, 1999.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PEULVAST, J. P., BÉTARD, F. **Landforms and Landscape Evolution of the Equatorial Margin of Northeast Brazil: An Overview**. Springer, Earth System Sciences Series, 2015.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Reconstruindo a evolução de uma margem continental passiva: um estudo morfogenético do Nordeste brasileiro. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. S. (Orgs.). **Panorama da Geografia Brasileira I**. São Paulo: Annablume, 2006. p. 277-317.

PRESS, F.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H.; GROETZINGER, J. **Para entender a Terra**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2006. 656p.

PRESSINOTTI, P. C.; HASUI, Y.; SILVA, R. B.; STEFANI, F. L.; TRINDADE, M.; COSTA, M. O. Análise de lineamentos na exploração mineral: aplicação no sudeste paulista. **Revista do Instituto Geológico de São Paulo**, v. 13, n. 2, p. 17-29, 1992.

PUPIM, F. N.; MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Análise morfoestrutural do município de rio Claro-SP: possíveis aplicações ambientais. **Revista de Geografia**, UFPE VIII SINAGEO, v. especial, n.1, p. 210-223, 2010.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. **Geologia USP, Série Científica**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 69-80. 2014.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilha no ambiente ExcelTM para cálculo de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

RUELLAN, F. Problemas do relevo e da estrutura do Brasil. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, ano X, n. 102, p. 620-624, 1951.

SAADI, A. Modelos morfogenéticos e tectônica global: reflexões conciliatórias. **Geonomos**, v. 6, n. 2, p. 55-63, 1998.

\_\_\_\_\_. **Ensaio sobre morfotectônica de Minas Gerais**: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese. Tese para Professor Titular. Belo Horizonte: UFMG, 1991. 285p.

SAADI, A.; TORQUATO, J. R. Contribuição à neotectônica do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 5, p. 5-38. 1992.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano estadual de recursos hídricos**. V. 4. Fortaleza: SRH, 1992.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M., BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Orgs.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. p. 55-85.

SILVA, M. B.; MAIA, R. P. Caracterização morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 637-655. 2017.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfologia**, Rio Claro, n. 16, v. 32, p. 71-104, 1976.

SOARES, P. C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. p. 157-168. In: II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR. Brasília, **Anais...** v.1, Brasília: Distrito Federal, CNPQ, 1982.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação geoambiental do Ceará. In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Orgs). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 127-140.

\_\_\_\_\_. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, Luiz Cruz (Org.). **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 127-140.

\_\_\_\_\_. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. Departamento de Geologia, UFC, **Revista de Geologia**, v. 1, n. 1, p. 73-91, 1988.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRIEDER, A. J.; AMARO, V. E. Structural patterns removed from remotely sensed lineaments. **EGATEA**, Revista da Escola de Engenharia da UFRGS, v. 25, n. 4, p. 109-117, 1997.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology: an introduction to the study of landforms**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 537p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. England: John Wiley & Sons Ltd, 1994.

THORNBURY, W. D. **Princípios de geomorfología**. Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 1966. p. 17-35.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance climatology. **Publications in Climatology**, v.8, n. 1, 104p, 1955.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TORQUATO, J. R. A Geologia do noroeste do Ceará (Uma revisão histórica). **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 8, p. 5-183. 1995.

TORQUATO, J. R.; NOGUEIRA NETO, J. A. Historiografia da região de dobramentos do médio Coreau. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 303-314. 1996.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREM, 1977. 91p.

\_\_\_\_\_. **Structural geomorphology**. London: New York Longman, 1974. 305p.

UVO, C.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará state rainfall in Northeast Brazil. **Journal of Geophysical Research**, vol. 101, n. D2, p. 4221-4233, 1996.

VARGAS, K. B.; SORDI, M. V.; COUTO, E. V.; FORTES, E. Extração de lineamentos para identificação de controles estruturais no município de Mauá da Serra – PR. **Revista Equador**, Teresina, v. 4, n. 3, p. 322-328. 2015.

VERVLOET, R. J. H. M. **Elementos de geomorfologia estrutural**: estudo aplicado a região serrana do Espírito Santo. Vitória: Editora Livre, 2015.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 36 (v. Especial), p. 126-142. 2014.

\_\_\_\_\_. Caracterização Climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: SILVA, J. B.; CALVACANTE, T.; DANTAS, E. W. C.; (Org.). **Ceará: Um Novo Olhar Geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 169-188.

ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Considerações sobre o clima e a hidrografia do Maciço de Baturité. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. 1. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 61-75.