

CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL E MORFOTECTÔNICA NO ALTO E MÉDIO CURSO DO RIO CAPIBARIBE/PE

Morphostructural and Morphotectonic Characterization in the Upper and Middle course of the Capibaribe river/PE

Caracterización Morfoestructural y Morfotectónico en el curso Alto y Medio del rio Capibaribe/PE

Adriana Cassiano da SILVA – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5742-7134>

URL: <http://lattes.cnpq.br/7254229402487372>

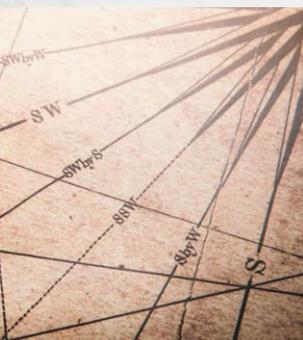
EMAIL: dricacassiano@yahoo.com.br

Anna Paula Lima COSTA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica do Rio Grande do Norte (IFRN)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-7661>

URL: <http://lattes.cnpq.br/2425993960139240>

EMAIL: anna.costa@ifrn.edu.br



RESUMO

A investigação dos processos de reorganização na rede de drenagem permite identificar alterações na paisagem de cunho morfoestrutural e morfodinâmica, sendo essas características observadas em um ambiente seco, com deficiência hídrica e regime pluvial irregular como no semiárido brasileiro, que é primordial o entendimento da dinâmica fluvial. Diante do exposto, o presente trabalho objetiva investigar a morfoestrutura e morfodinâmica da configuração hidrográfica do Alto e Médio curso do Rio Capibaribe no estado de Pernambuco. A metodologia consiste no uso do Geoprocessamento, para produção de mapas que permitem análises visuais, geodados quantitativos e aspectos qualitativos, finalizados por cálculos morfométricos. Assim, foi aplicado o Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), o Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT), lineamentos de drenagens e a identificação de anomalias na drenagem. Os resultados demonstraram que a caracterização na rede de drenagem são condicionadas a partir do sistema compressivo de ramificações de falhas e fraturas, controladas, principalmente, pelas zonas de megacisalhamento de direção geral E-W e por eixos menores de escala regional na direção NE-SW, evidenciando que os maiores controles estruturais ocorrem no lado esquerdo da bacia hidrográfica com 52% de área, controlando o nível de base, gerando os *knickpoints*, os padrões de drenagens e as anomalias nos canais fluviais.

Histórico do artigo

Recebido: 02 dezembro, 2022

Aceito: 16 março, 2023

Publicado 27 abril, 2023

Palavras-chave: Morfotectônica; Sistema Fluvial; Assimetria; Litoestrutura.

ABSTRACT

The investigation of the reorganization processes in the drainage network allows identifying changes in the landscape of morphostructural and morphodynamic nature, these characteristics being observed in a dry environment, with water deficiency and irregular rainfall regime as in the Brazilian semi-arid region, which is essential to understand the fluvial dynamics. Given the above, the present work aims to investigate the morphostructure and morphodynamics of the hydrographic configuration of the upper and middle course of the Capibaribe River in the state of Pernambuco. The methodology consists of using Geoprocessing to produce maps that allow visual analysis, quantitative geodata and qualitative aspects, finalized by morphometric calculations. Thus, the Drainage Basin Asymmetry Factor (DBAF), the Transverse Topographic Symmetry Factor (TTSF) were applied, drainage lineaments and the identification of drainage anomalies were applied. The results showed that the drainage network characterization are conditioned from the compressive system of fault ramifications and fractures, controlled mainly by zones mega shear of general direction E-W and by smaller axes of regional scale in NE-SW direction, evidencing that the greatest structural controls occur on the left side of the hydrographic basin with 52% area, controlling the base level generating the knickpoints, drainage patterns and anomalies in the river channels.

Keywords: Morphotectonics; Fluvial System; Asymmetry; Lithostructure.

RESUMEN

La investigación de los procesos de reorganización en la red de drenaje permite identificar cambios en el paisaje de carácter morfoestructural y morfodinámica, siendo estas características observadas en un ambiente seco, con deficiencia hídrica y régimen pluvial irregular como en la región semiárido brasileña, que es imprescindible para entender la dinámica fluvial. Dado lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo investigar la morfoestructura y la morfodinámica de la configuración hidrográfica del curso Alto y Medio del Río Capibaribe en el estado de Pernambuco. La metodología consiste en utilizar Geoprocesamiento para producir mapas que permitan análisis visuales, geodatos cuantitativos y aspectos cualitativos, finalizados por cálculos morfométricos. Así, se aplicó el Factor de Asimetría de la Cuenca de Drenaje (FACD), el Factor de Simetría Topográfica Transversal (FSTt), los lineamientos de drenaje y la identificación de anomalías de drenaje. Los resultados mostraron que la caracterización de la red de drenaje está condicionada a partir del sistema compresivo de ramificaciones de fallas y fracturas, controlado principalmente por las mega zonas de cizallamiento de dirección general E-W y por ejes menores de escala regional en la dirección NE-SW, evidenciando que los mayores controles estructurales ocurren en el lado izquierdo de la cuenca hidrográfica con 52% de área, controlando el nivel de base generando los knickpoints, los patrones de drenaje y las anomalías en los canales fluviales.

Palabras clave: Morfotectónica; Sistema fluvial; Asimetría; Litoestructura.

1 INTRODUÇÃO

A paisagem é a categoria de análise que mais revela as peculiaridades dos ambientes, tanto visual, como estrutural. Ela é analisada a partir do entendimento da dinâmica das paisagens que demonstram as formas do relevo e seus componentes estruturadores, da evolução das paisagens e da estruturação espacial das bacias hidrográficas, da leitura escalar e temporal pelo viés evolutivo morfotectônico dos processos

e transformações dos sistemas fluviais, em virtude dos ajustes e mudanças progressivas nas configurações da rede de drenagem (ROSS, 2003; CLAUDINO-SALES, 2004; MARÇAL, *et al.*, 2016).

Logo, é a rede de drenagem quem primeiro revela os ajustes às deformações de cunho tectônico, bem como, às mudanças no nível de base e nos controles estruturais comandado pelos sistemas de cisalhamento, falhas e fraturas. Dessa forma, a tectônica que se refere à soma dos processos geofísicos e geológicos estabelecidos pelas feições litoestruturais do Planeta, cujo período dos últimos 3 a 2,5 milhões de anos (Ma) foram marcados por movimentos de soerguimentos e subsidências, caracterizados pela reorganização estrutural das feições devido a intensa atividade tectônica (MÖRNER, 1993). Essas pesquisas no viés tectônico estão amplamente crescendo no Brasil, sobretudo, no Sudeste e no Nordeste, pois vem crescendo o interesse em estudos que investigue o panorama da gênese estrutural do relevo proporcionando a compreensão científica e suporte para a gestão territorial (SILVA, 2016).

Nesse contexto, muitas pesquisas vêm se debruçando sobre a identificação de feições anômalas na rede de drenagem, tais como: o índice “relação declividade-extensão” (RDE), (HACK, 1973), assimetria dos vales (COX, 1994), capturas fluviais (BISHOP, 1995). No Nordeste brasileiro destacam-se pesquisas que investiram no entendimento do relevo associado à rede de drenagem, tais como: anomalias de drenagem no setor oriental da Borborema (MONTEIRO, 2015), evolução morfotectônica no Planalto da Borborema (TAVARES, 2015), evolução da paisagem no Nordeste oriental (FONSÊCA, 2018), bem como, no semiárido brasileiro, destacando-se: tipologias de drenagem não canalizadas (BARROS, 2018), cenários evolutivos da conectividade da paisagem (SOUZA, *et al.*, 2020), análises da dinâmica fluvial no sertão central de Pernambuco (ALMEIDA, 2021).

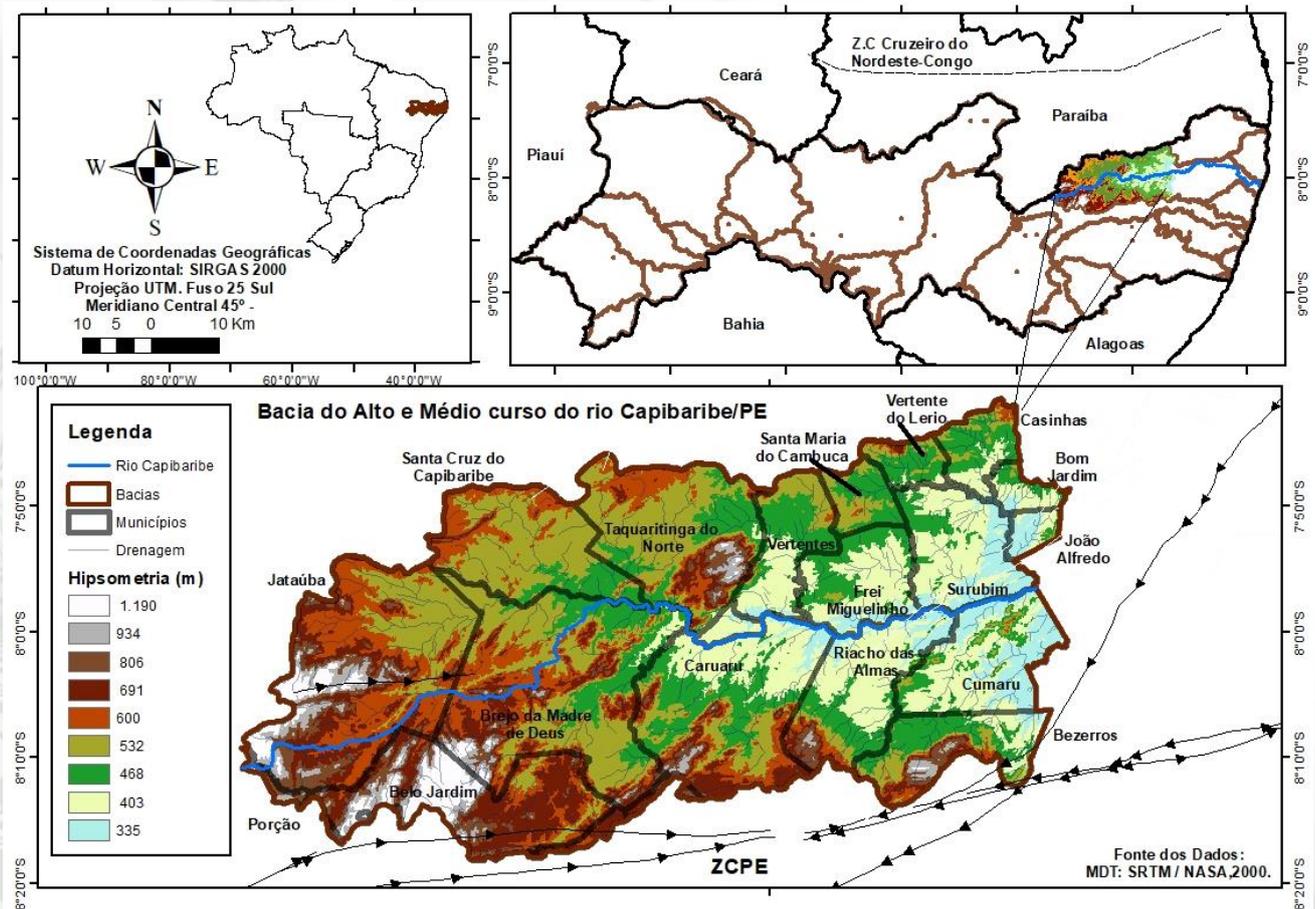
Por conseguinte, esta pesquisa tem como objetivo a caracterização morfológica e morfotectônica no alto e no médio curso do Rio Capibaribe, a partir de procedimentos morfométricos, análises estatísticas, vetoriais e visuais, a fim de compreender a organização e a dinâmica da rede de drenagem, tal qual, sua relação litoestrutural, geomorfológica e geológica a fim de contribuir para o conhecimento da rede de drenagem e indicar áreas influenciadas pelos condicionantes morfotectônicos.

1.2 Localização da área de estudo

O alto e médio curso do Rio Capibaribe localiza-se entre os limites do Estado da Paraíba e a bacia hidrográfica do Rio Ipojuca (Agreste Central e Mata Sul/PE). Sua

nascente está localizada entre os municípios de Jataúba e Porção, ambos na microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião do Agreste pernambucano. Todos os municípios que compõem o alto e médio Capibaribe fazem parte do semiárido do Nordeste conforme a nova delimitação oficializada pelo Ministério da Integração Nacional (MI), 2005, (Figura 01).

Figura 01 – Localização das áreas de estudo

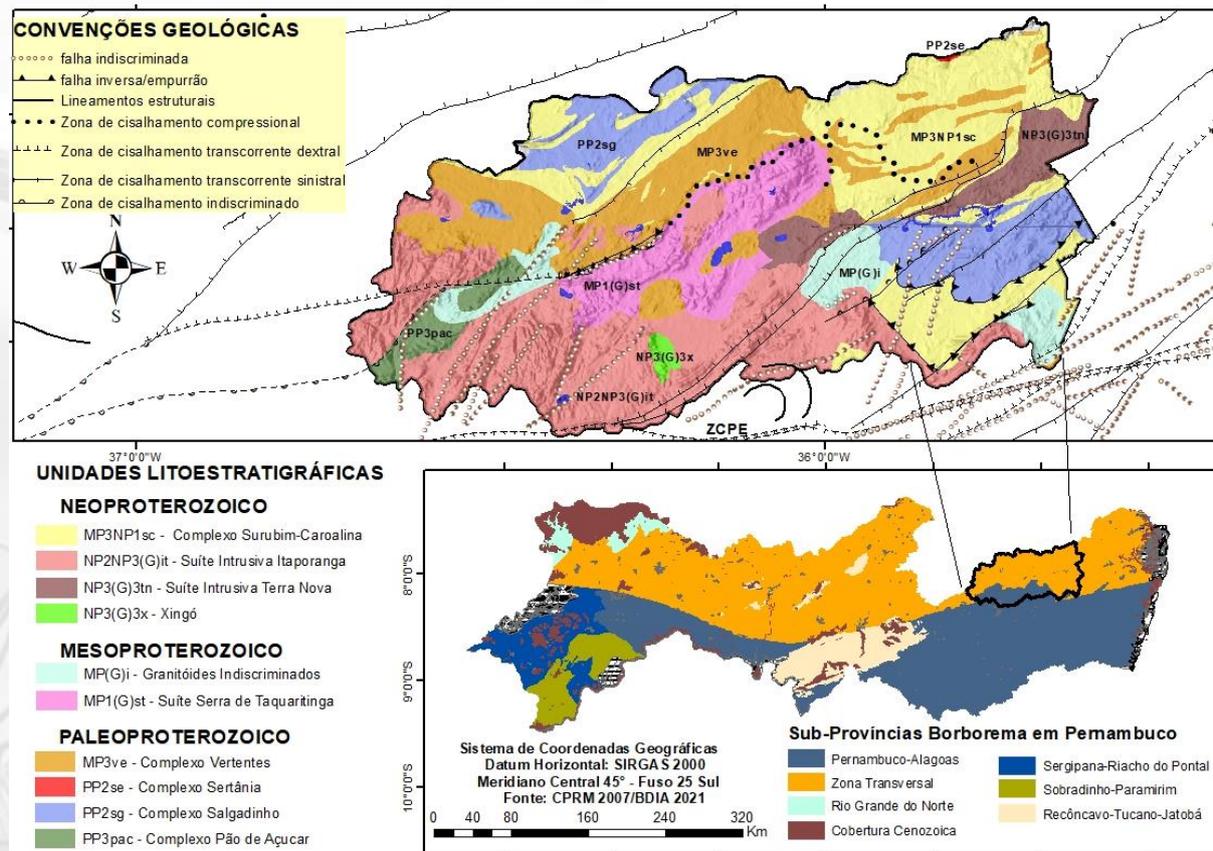


Fonte: SRTM e IBGE, adaptado pelos autores (2022).

1.3 Geologia da área

A porção do alto e médio curso do Rio Capibaribe está inserida na Província Borborema, setor do Nordeste brasileiro, localizado geologicamente no Terreno Rio Capibaribe (TRC) inserido em grandes zonas de cisalhamento, sendo a Congo – Cruzeiro do Nordeste (ao norte e nordeste) de estrutura sinistral, com direção preferencial de NE-SW para E-NE e ao sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE), ou Lineamento Pernambuco, de caráter dextral, com direção aproximada E-W (FONSÊCA, 2018), (Figura 02).

Figura 02 – Mapa de Geologia da área



Fonte: Adaptado pelas autoras (2022).

O Lineamento Congo-Cruzeiro do Nordeste refere-se a uma zona de cisalhamento sinistral com complexas redes de ramificações de fraturas, falhas e cisalhamentos, semelhante ao contexto sul, o Lineamento Pernambuco, sendo este dextral. Ambos constituem nesse TRC, principalmente nas orientações NE-SW, afloramentos rochosos no sertão semiárido (a oeste), predominantemente no agreste, na zona da mata e na parte litorânea (NEVES *et al.*, 2013). Sendo esses dois setores acobertados por depósitos meso-cenozóicos, que formaram amplos tabuleiros (Platô Terciário), cessando esse terreno em escarpas próximo das planícies costeiras e das planícies de alguns canais (NEVES *et al.* 2013).

Nesse contexto, o maciço da Borborema é constituído por numerosos cinturões Brasilianos-Pan-Africanos no Brasil, assim como no continente africano, resultado da convergência e da colisão de blocos continentais arqueanos e paleoproterozóicos no decorrer da atuação amalgamação do Gondwana Ocidental. Este planalto equivale ao conjunto de terras altas no setor do Nordeste oriental brasileiro, ao norte do Rio São Francisco, acima de 200m de altimetria, com limites marcados por vários desnivelamentos

topográficos, sendo sua gênese epirogênica derivada da fragmentação da Pangeia e do magnetismo intraplaca atuante no Cenozóico (CORRÊA *et al.*, 2010).

O mapa geológico do alto e médio Capibaribe na figura 02 é constituído desde rochas paleoproterozoicas a neoproterozoicas, formados predominantemente por rochas metaplutônicas, suítes magmáticas e por complexo gnáissico. Esses corpos rochosos refletem os *inputs* energéticos no setor regional, condicionados por mega cisalhamento em escala continental vinculado à compartimentação morfoestrutural e seu arranjo tectônico (ALMEIDA *et al.*, 2000 e BRITO NEVES *et al.*, 2001a, 2001b, 2001c). Para Teixeira (2011), os compartimentos tectônicos e suas expressões mais relevantes no Planalto da Borborema são controlados por extensas zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais certamente tardias à evolução tectônica desta região.

Na área de estudo destaca-se a variedade de suítes intrusivas do Neoproterozoico e Mesoproterozoico, entre elas a Suíte Serra de Taquaritinga cuja datação por U-Pb em zircão indicou idade de 1,52 Ga, comprovando que o Terreno Rio Capibaribe, onde está inserida a área de estudo, fez parte da fase tectogênica que ocorreu antes da abertura oceânica, no processo de deriva dos blocos disperso correspondente ao evento Cariris-Velhos (ACCIOLY, 2000; NEVES, *et al.*, 2001).

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada constituiu na integração dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e variáveis morfométricas. Os dados SRTM (90 m) foram utilizados para o desenvolvimento dos procedimentos de elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), e para a extração das curvas de nível na rede de drenagem, sendo ambas convertidas em extensão *shapefile*, processados por meio do *software* ArcGis 10.5.

A partir da elaboração do MDE foi produzido o mapeamento de hipsometria, de extração de lineamentos da drenagem e dos calculados dos índices FSTT (Fator de Simetria Topográfica Transversal) e o FABD (Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem). Todas as análises espaciais nos canais de drenagem foram vetorizadas e quantificadas em imagens de alta resolução disponibilizadas pelo Google Earth®.

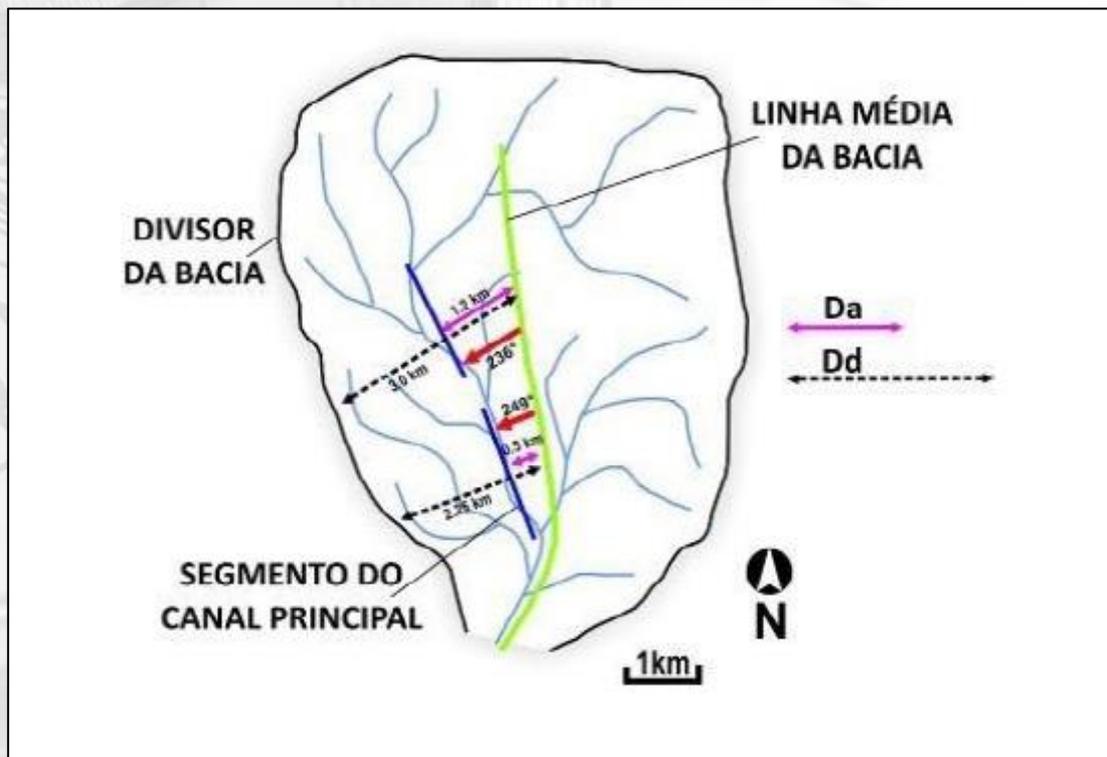
O FSTT, trabalhado por Cox (1994), é designado como o índice que avalia a assimetria de drenagem, adequado para entender o comportamento da rede de drenagem em relação ao contexto geológico. Os índices de FSTT se classificam entre simétrico e

assimétrico. Quando o resultado for simétrico, o rio principal e a linha média da bacia se encaixam geometricamente. Contudo, se o índice for assimétrico, a calha principal do rio encontra-se distante da linha media da bacia e muitas vezes próximo à linha que delimita a bacia hidrográfica.

Os valores que determinam a simetria ou a assimetria fica entre 0 e 1, da seguinte forma: será atribuído ao FSTT um valor de zero, se a calha do rio principal estiver situado no meio da bacia, demonstrando simetria na bacia, ou seja, pouca influência lito-estrutural. No entanto, quanto mais próximo de um for o resultado de FSTT, maior será a assimetria da bacia caracterizando influencias tectônicas na sua formação, (Figura 03). Nessa vertente, a fórmula se descreve assim: (Da) se refere à distância do segmento do canal principal do rio para a linha média da bacia e (Dd) é a distância da linha media da bacia para o divisor topográfico da bacia, configurada na seguinte forma:

$$\text{FSTT} = \text{Da} / \text{Dd}$$

Figura 03 – Cálculo do Fator de Simetria Topográfica Transversal, 2022



Fonte: adaptado de Cox (1994), in: Ribeiro (2010 *apud* BRICALLI, 2016, p. 99).

O outro índice morfométrico trabalhado é o FABD, que reflete as influências neotectônica na bacia hidrográfica investigado por Hare *et al.*, (1985) e Salamuni (1998),

em que a migração perpendicular do canal a seu eixo pode ser o resultado dos controles nos processos internos e externos no sistema fluvial. Dessa forma, quando os valores são iguais ou muito próximos de 50, não há indícios de atividade tectônica local, mas se os valores forem menores ou maiores que 50 indicam basculamentos das margens direita e esquerda, respectivamente (SALAMUNI *et al.*, 2004). Para obter o índice de FABD calcula-se os dados da seguinte maneira: multiplica por 100 a razão (A_r), a qual representa o cálculo da área da bacia à direita do rio (olhando a jusante) e (A_t), configura-se o cálculo da área total da bacia de drenagem, como se segue:

$$FABD = 100 (A_r/A_t)$$

Para obtenção do lineamento de drenagem foi executado por extração manual, tomando-se por base a drenagem extraída do MDE. Os diagramas em roseta que representam as orientações dos lineamentos foram obtidos por análise automática com o aplicativo SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) 5.5.6., através da ferramenta de importação de dados.

As anomalias de drenagem são compreendidas como uma discordância local da drenagem regional ou nos padrões de canais, indicando possivelmente alteração topográfica ou estrutural (HOWARD, 1967). Logo, o índice “relação declividade-extensão” (RDE) proposto por Hack (1973), foi primordial para sinalizar e identificar tais anomalias, mas existem outras peculiaridades na rede hidrográfica identificadas por diversos autores, tais como: captura de drenagem, assimetria de bacia, decapitação, retilinidade, inflexão abrupta, curvas anômalas, cotovelos, vales assimétricos, canal anastomosado, estreitamento anômalo de vales ou canais, entre outros. Ressalta-se que para identificar anomalias como *knickpoints* nas sub-bacias, foi utilizado o método manual medindo as distâncias entre curvas de nível em carta topográfica e verificado visualmente em imagens orbitais derivado do índice de Hack (1973), Etchebehere (2006) e Martinez (2011).

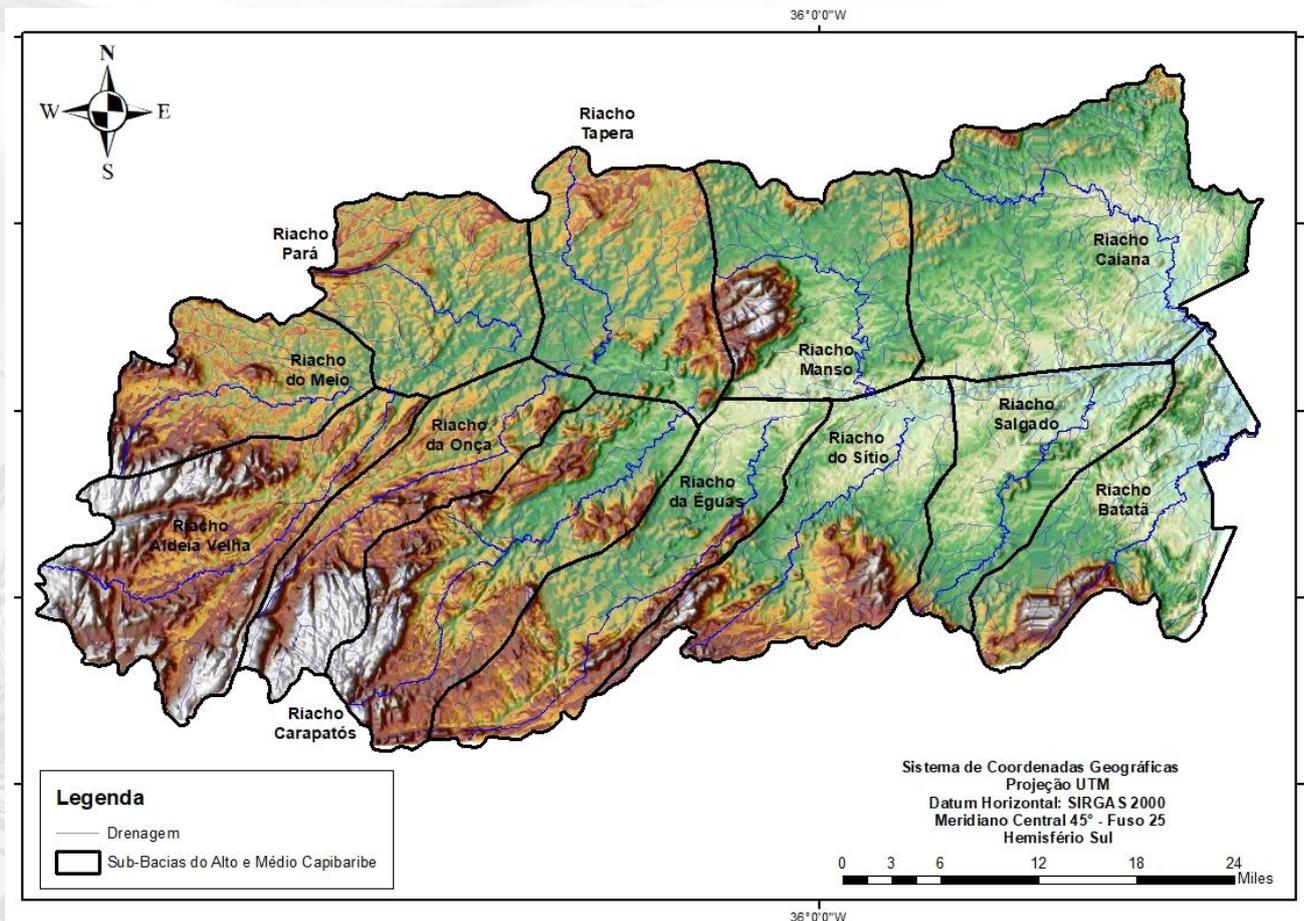
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análises dos dados de FABD E FSTT

Diante da análise visual e da vetorização manual nos canais de drenagem em imagens orbitais, tal como, da composição de dados morfométricos extraídos de MDEs e dos dados geográficos, geomorfológicos e geológicos, foram identificados doze sub-bacias

hidrográficas na porção alto e médio do curso do Rio Capibaribe, que priorizou a caracterização estrutural dos canais fluviais (Figura 04).

Figura 04 – Mapa das Sub-Bacias do Alto e Medio Capibaribe



Fonte: SRTM e IBGE, adaptado pelas autoras (2022).

Nesse contexto, foi constatando os condicionamentos, principalmente na porção esquerda da bacia hidrográfica do Capibaribe, que confere nesse setor uma ramificação densa de falhas e fraturas conforme o mapeamento geológico da área na Figura 02. Nesse caso, essa ramificação geológica reflete a forte relação dos lineamentos com as direções dos rios, bem como, uma caracterização marcada pela reorganização da drenagem com captura de canal, inflexão abrupta, cotovelos, retinidade, desvio do rio e alteração no nível de base. Assim, foi caracterizados parâmetros morfométricos em escala que abarcassem todas as delimitações do alto e médio Capibaribe de forma geral, assim como, escala que corresponde a compartimentação das sub-bacias, decorridos da seguinte forma:

Quando a totalidade do FABD foi analisada em todo ambiente do alto e médio Capibaribe o resultado de assimetria foi de 51,81 indicando pouca assimetria, no entanto,

a partir dos setores das sub-bacias esses valores passaram a ser moderados (Tabela 01). Das doze sub-bacias, nove delas predominaram valores de assimetria moderada. Essa assimetria é constituída por caimento de camadas do relevo para a esquerda com as direções dos canais, verificadas igualmente no mapa geológico da área na figura 02.

Tabela 01 – Dados do FABD por bacia e por sub-bacias da área, 2022

Bacia	Área total (km²)	Área à direita (km²)	FABD	Assimetria
Alto e Médio Capibaribe	5.194	2.691	51,81	Pouca ou nenhuma
Sub-bacias	Área total (km²)	Área à direita (km²)	FABD	Assimetria
Riacho Aldeia Velha	522	287	54,98	Pouca ou nenhuma
Riacho do Meio	295	191	64,74	Moderado para esquerda
Riacho do Pará	342	194	56,72	Pouca ou nenhuma
Riacho Taperá	398	301	75,62	Moderado para a esquerda
Rio Manso	414	233	56,28	Pouca ou nenhuma
Riacho Caiana	742	289	38,94	Moderada para direita
Riacho da Onça	348	136	39,08	Moderada para direita
Riacho Carapatós	527	318	60,34	Moderada para esquerda
Riacho das Éguas	428	309	72,19	Moderada para esquerda
Riacho do Sítio	454	192	42,29	Moderada para direita
Riacho Salgado	323	202	62,54	Moderada para esquerda
Riacho Batatã	411	296	72,02	Moderada para esquerda

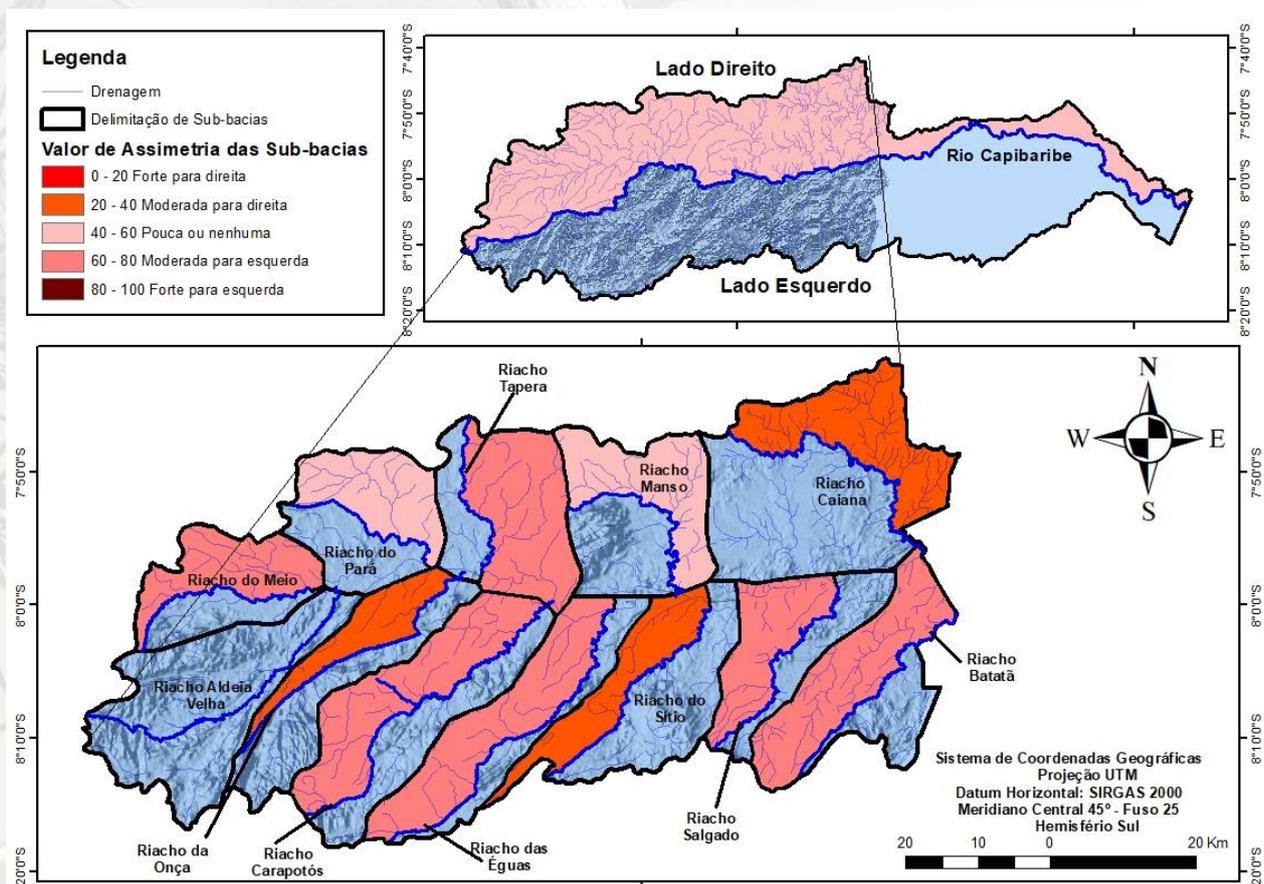
Fonte: Autoral (2022).

Nesse caso, a composição do TRC é marcada pela tectônica de extrusão posterior, com grande porte de exumação, em que no pós-Ediacarano foi responsável por estas feições, que possivelmente as zonas de fraqueza crustal tenha sido frequentemente sujeitas a reativações (NEVES et al. 2013). Diante disso, Fônseca (2018), corrobora nos estudos desse recorte, constatando que com o basculamento de blocos de NW-SE, tal qual, a geotectônica local criou espaço de acomodação constatado em campo. Logo,

possivelmente o caimento tendendo para a esquerda do relevo está associado à trama de grandes falhas de caráter regional e a complexidade geológica da área.

A análise da assimetria das sub-bacias da área investigada permitiu visualizar, quantificar e qualificar cada compartimento das sub-bacias do Capibaribe, demonstrando assimetria moderada para nove sub-bacias com basculamento de blocos na margem esquerda do rio Capibaribe atestando a não uniformidade em toda bacia (Figura 05). Nesse setor da bacia, destaca-se o arcabouço geológico datado do Neoproterozoico, constituída por várias suítes intrusivas do Domínio da Zona Transversal, que é marcado por zonas de cisalhamentos transcorrentes dextrais com direção E-W a ENE-WSW, e sinistrais, com direção NNE-SSW e NE-SW (NEVES *et al.*, 2000; SILVA & MARIANO, 2000).

Figura 05 – Distribuição do índice de FABD por sub-bacias na área de estudo.



Fonte: Autoral (2022).

Diante disso, destaca-se majoritariamente na porção esquerda da bacia, a Suíte Intrusiva Itaporanga no Neoproterozóico, associada às zonas de cisalhamentos que as limitam (SAMPAIO *et al.*, 2003; SÁ *et al.*, 2014); o Complexo Surubim-Caroalina da mesma escala do tempo geológico, sendo seus limites definidos por zonas de cisalhamento

transcorrentes dextrais (FÔNSECA, 2018); e a Suíte Serra de Taquaritinga, constituída por afloramentos rochosos metaplutônicos do Mesoproterozoico (FÔNSECA, 2018), conforme o mapa geológico da área na figura 02.

Nesse contexto, a composição geológica da área corrobora com a caracterização do índice de FABD, demonstrando que os blocos rochosos estão intrinsecamente pressionados pela malha de cisalhamentos, fraturas e falhas. Dessa maneira, é necessário executar outros parâmetros morfométricos para mensurar e compreender outros fatores que indicam influência tectônica na estrutura da bacia hidrográfica como o FSTT.

Os cálculos de simetria topográfica consistem em averiguar o comportamento de drenagem a partir da medição do rio principal de cada sub-bacia em relação à linha divisória central da bacia, para constatar a influência de controles tectônica na área por meio da assimetria do perfil topográfico. Por conseguinte, para investigar os valores de FSTT foi necessário calcular 22 pontos na área de estudo.

Assim, as sub-bacias predominaram nos resultados a caracterização pelos deslocamentos dos canais por condicionamento tectônico, tendo como resultados de assimetria, os seguintes dados: duas sub-bacias as quais obtiveram valores muito forte de assimetria, três com características fortes, dez com valores moderados, cinco com dados fracos e duas com muito fraco (Tabela 02).

Tabela 02 – Dados médios do FSTT por sub-bacias na área de estudo.

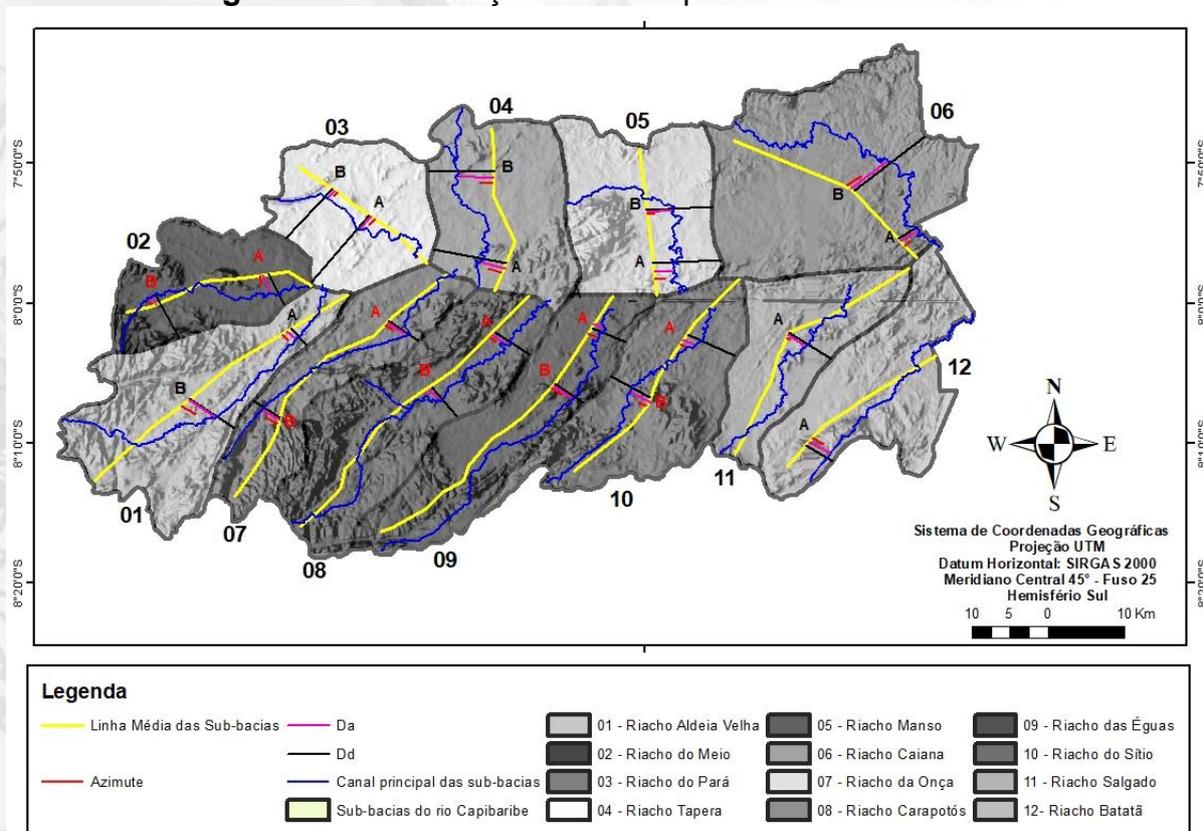
Sub-bacias	FSTT	Azimute	Grau de Assimetria
Riacho Aldeia Velha (A)	0,511	330°	Moderado
Riacho Aldeia Velha (B)	0,597	285°	Moderado
Riacho do Meio (A)	0,567	330°	Moderado
Riacho do Meio (B)	0,188	315°	Muito Fraco
Riacho do Pará (A)	0,210	270°	Fraco
Riacho do Pará (B)	0,164	270°	Muito Fraco
Riacho Tapera (A)	0,352	285°	Fraco
Riacho Tapera (B)	0,675	90°	Forte
Riacho Manso (A)	0,312	90°	Fraco
Riacho Manso (B)	0,416	90°	Moderado
Riacho Caiana (A)	0,927	45°	Muito Forte
Riacho Caiana (B)	0,515	30°	Moderado
Riacho da Onça (A)	0,662	315°	Forte
Riacho da Onça (B)	0,597	315°	Moderado
Riacho Carapatós (A)	0,505	330°	Moderado
Riacho Carapatós (B)	0,464	330°	Moderado
Riacho das Éguas (A)	0,368	150°	Fraco
Riacho das Éguas (B)	0,740	150°	Forte
Riacho do Sítio (A)	0,298	315°	Fraco

Riacho do Sítio (B)	0,613	315°	Moderado
Riacho Salgado (A)	0,436	300°	Moderado
Riacho Batatã (A)	0,940	135°	Muito Forte

Fonte: Autoral (2022).

A análise do FSTT complementou o entendimento da caracterização por meio dos dados de FABD, pois o primeiro avalia a migração lateral dos canais fluviais e este a assimetria da bacia. Nessa conjuntura, verificou-se no FSTT que o eixo do canal principal das sub-bacias investigadas está deslocando em sua maioria para o lado esquerdo em relação ao eixo central, conferindo assimetria moderada, forte e muito forte (Figura 06).

Figura 06 – Distribuição do FSTT por sub-bacias na área.



Fonte: Autoral (2022).

As unidades de relevo da área de estudo em bases morfoestruturais traduzem em suas formas os eventos tectônicos e denudacionais ocorridos no final do Mesozoico, da seguinte forma: o relevo com porção Modelado convexo amplo, que abrange a maior parte da área estudada, com feições colinosas, individualizadas e vertentes convexo-côncava com cabeceiras de drenagem em anfiteatro característicos do relevo cristalino; o Modelado convexo amplo com topos tabulares, caracterizado pelo limite entre o embasamento cristalino do Piemonte da Borborema e o embasamento sedimentar do Planalto sedimentar

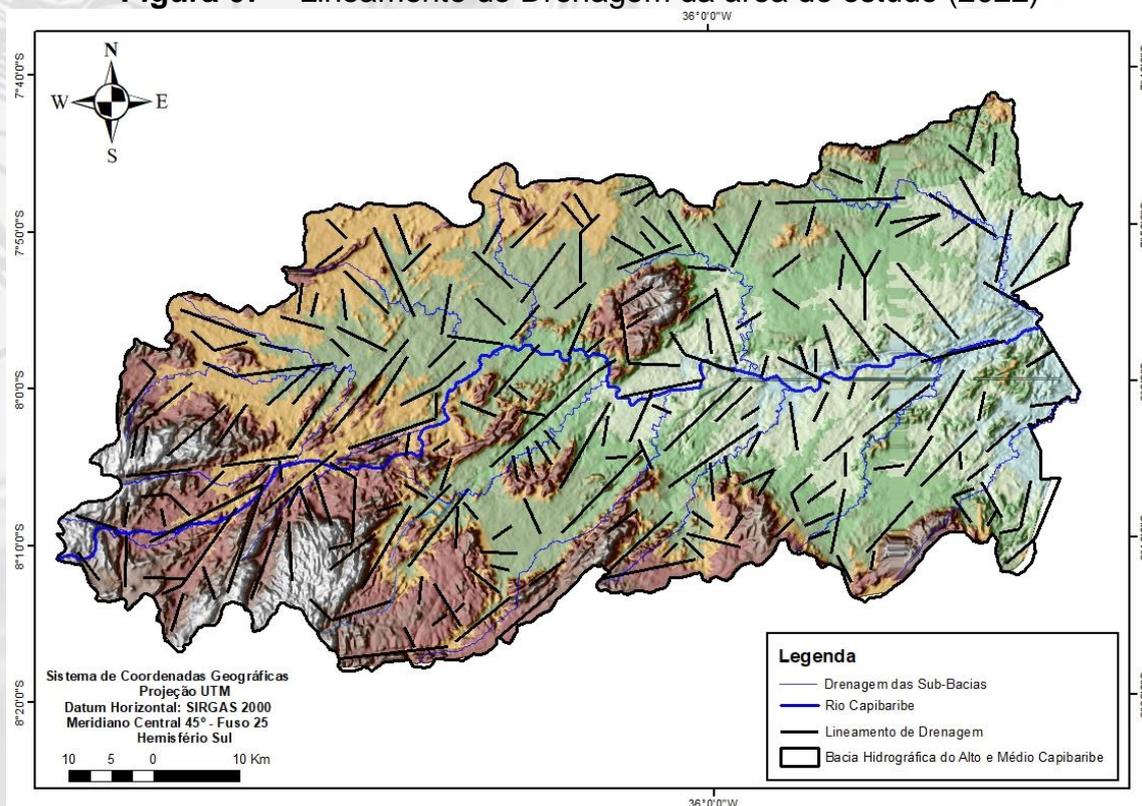
litorâneo e o setor das Escarpas dissecada, que apresentam baixa densidade nos canais em altitude que variam entre 400 e 300 metros, níveis topográficos sob forma de degraus associados aos processos de erosão diferencial, a qual o relevo é subordinado às estruturas geológicas reativadas e superimpostas (FONSÊCA, 2018).

Logo, as análises morfométricas no tópico acima, tal como, a descrição da compartimentação de relevo, foram determinantes para traçar outros parâmetros investigativos que auxiliem no entendimento da dinâmica dos canais fluviais nesse setor do Planalto da Borborema, como investigar os lineamentos dos canais.

3.2 Lineamento de Drenagem

Nesse panorama investigativo da área foi necessária a constituição dos fotolineamentos como expressão da orientação dos canais no relevo e sua relação com as estruturas de falhas e fraturas (Figura 07). As análises demonstraram que as direções mais homogêneas são as que conferem o lado esquerdo da bacia, além disso, as direções indicam forte relação com o *trend* preferencial E-W do Planalto da Borborema e direção regional NE-SW em menores eixos, característico do arcabouço geológico da Zona Transversal da Província Borborema (BRITO NEVES *et al.*, 1995).

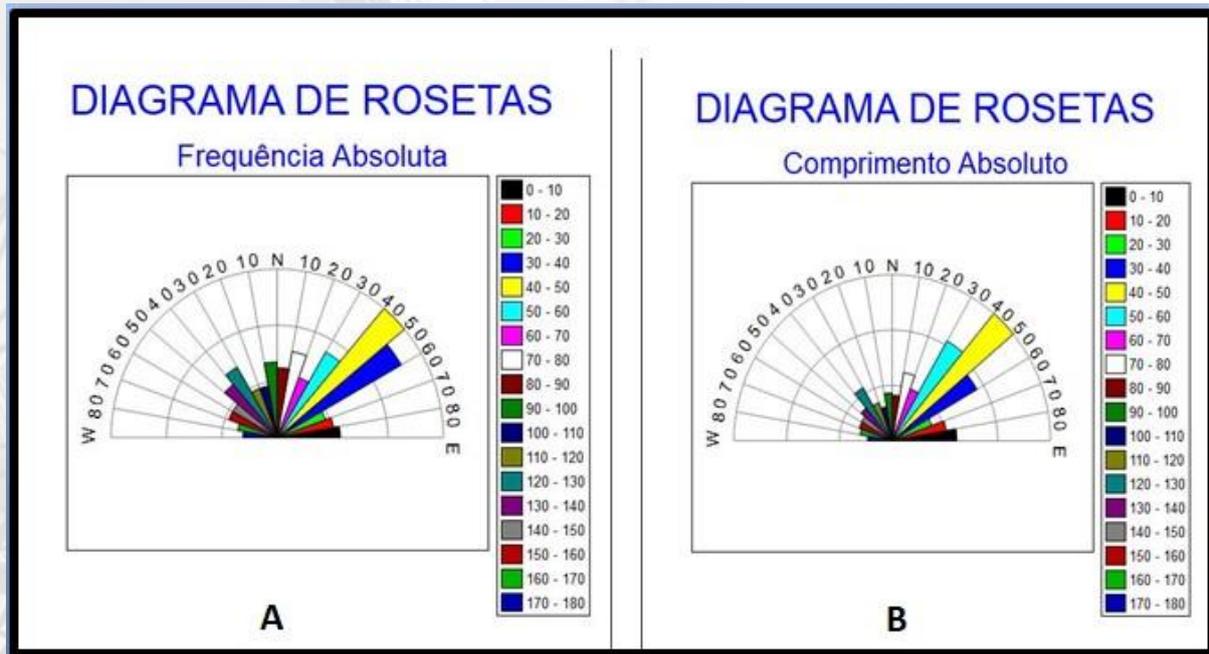
Figura 07 – Lineamento de Drenagem da área de estudo (2022)



Fonte: Autoras (2022).

Na produção das rosáceas dos lineamentos de drenagem revelou-se que a frequência absoluta é semelhante ao comprimento absoluto. Assim, nos dois gráficos a predominância nas direções é NE, com segmentos secundários no sentido N-NO e W-E, conferindo que os canais principais seguem o *trend* regional SW-NE, do mesmo modo, os canais de drenagem apresentam perfil assimétrico condizente com as sub-bacias analisadas no índice de FABD (Figura 08).

Figura 08 – Diagramas de roseta referente a: A) frequência absoluta, e B) comprimento absoluto da rede de drenagem do alto e médio Capibaribe.



Fonte: Autoras (2022).

Esses controles nos lineamentos na porção do alto e médio Capibaribe estão geologicamente no Terreno Rio Capibaribe, entre a ZCPE e a Zona Congo, ambas mega zonas de cisalhamento. Sendo a ZCPE de escala continental com direção geral E-W, inserida no Domínio da Zona Transversal (entre Lineamento Patos e Pernambuco), formada por uma rede anastomosada de zonas de cisalhamento brasileiras dextral E-W e zonas de cisalhamento sinistrais de orientação NE-SW, denominado como estilo “dominó” (SÁ, 1994).

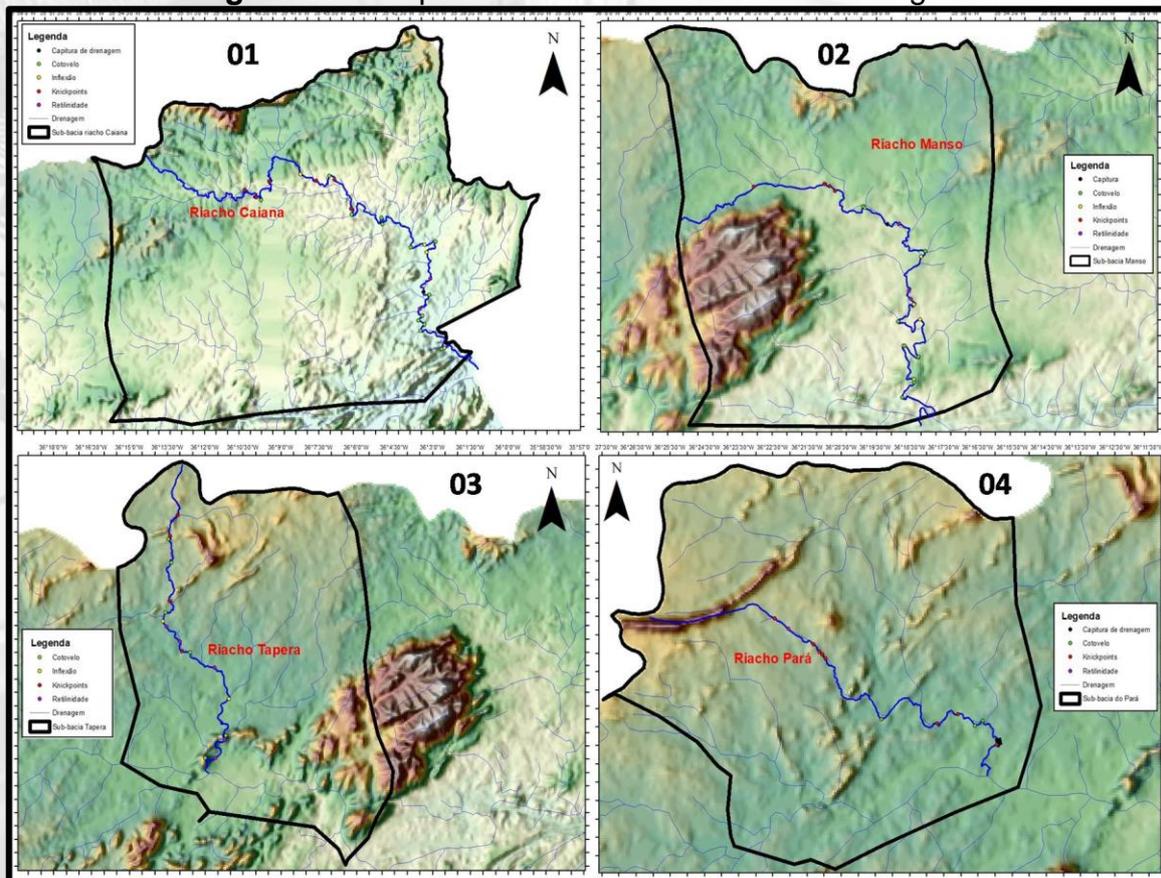
Dessa forma, foi constatado que toda rede de drenagem que compõe o alto e médio Capibaribe, segue o *trend* regional E-W e NE-SW, condicionado pelas estruturas de cisalhamento e que os segmentos N-NO e E-W em menor proporção na bacia deve ter sua gênese a partir da compressão dos arranjos que comandam a rede de ruptura do relevo. Nesse contexto, foi necessário a vetorização e a visualização do comportamento da

drenagem por meio de imagens de satélites, a qual foi constatada algumas anomalias na rede de drenagem, que será descrita e discutida no tópico a seguir.

3.4 Anomalias na Rede de Drenagem

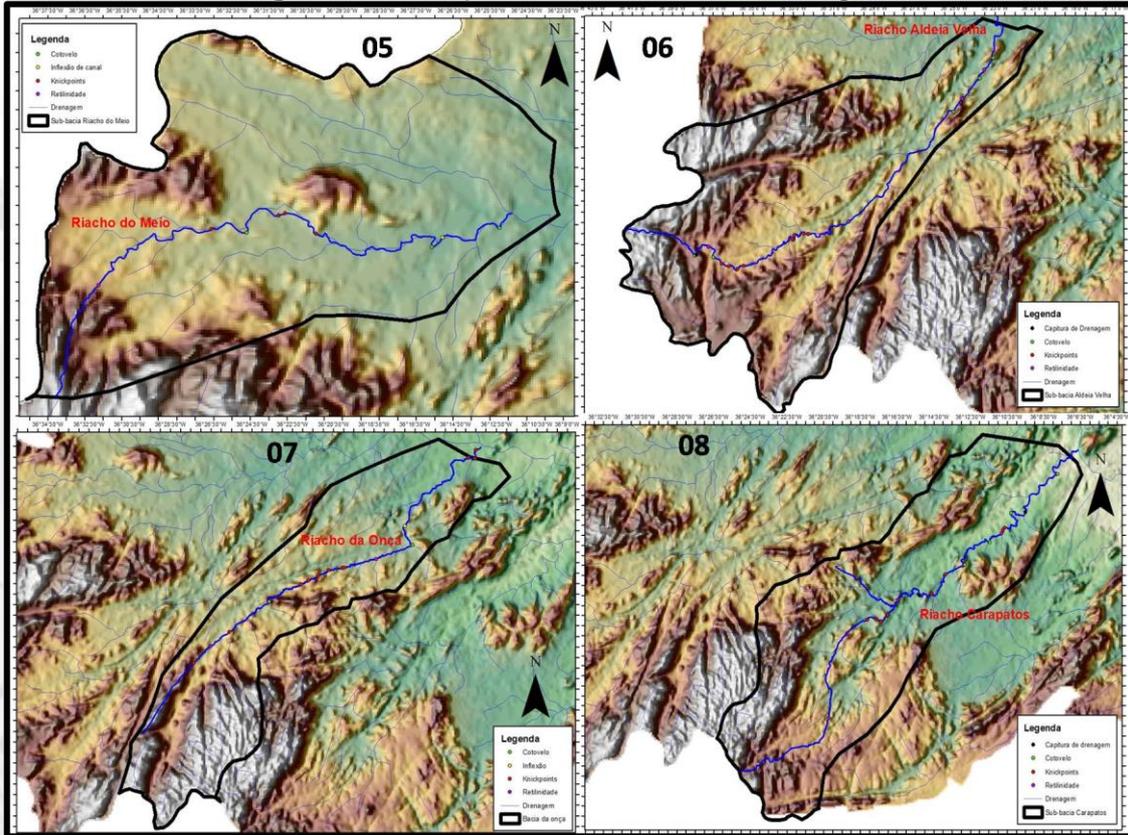
Foram identificadas nos principais canais de drenagens das sub-bacias hidrográficas 159 anomalias de drenagem, com maior concentração na porção esquerda do alto e médio Capibaribe. Desses, 72% equivalem ao quantitativo de *knickpoints* demonstrando forte alteração no nível de base em ambiente seco, como se os canais estivessem se adaptando aos condicionamentos litológicos da área, ou seja, o nível de base local é determinado pela ZCPE. Nesse quadro investigativo, os cotovelos na drenagem obtiveram percentual de 35% e as inflexões dos canais dados de 14%, mostrando que mesmo no semiárido os rios tendem a mudar o ângulo de segmento por vezes abrupto ou suavemente, confirmando a influência do suporte físico do relevo nas direções dos canais (Figura, 09, 10 e 11 e Tabela 03).

Figura 09 – Mapa de anomalias na rede de drenagem.



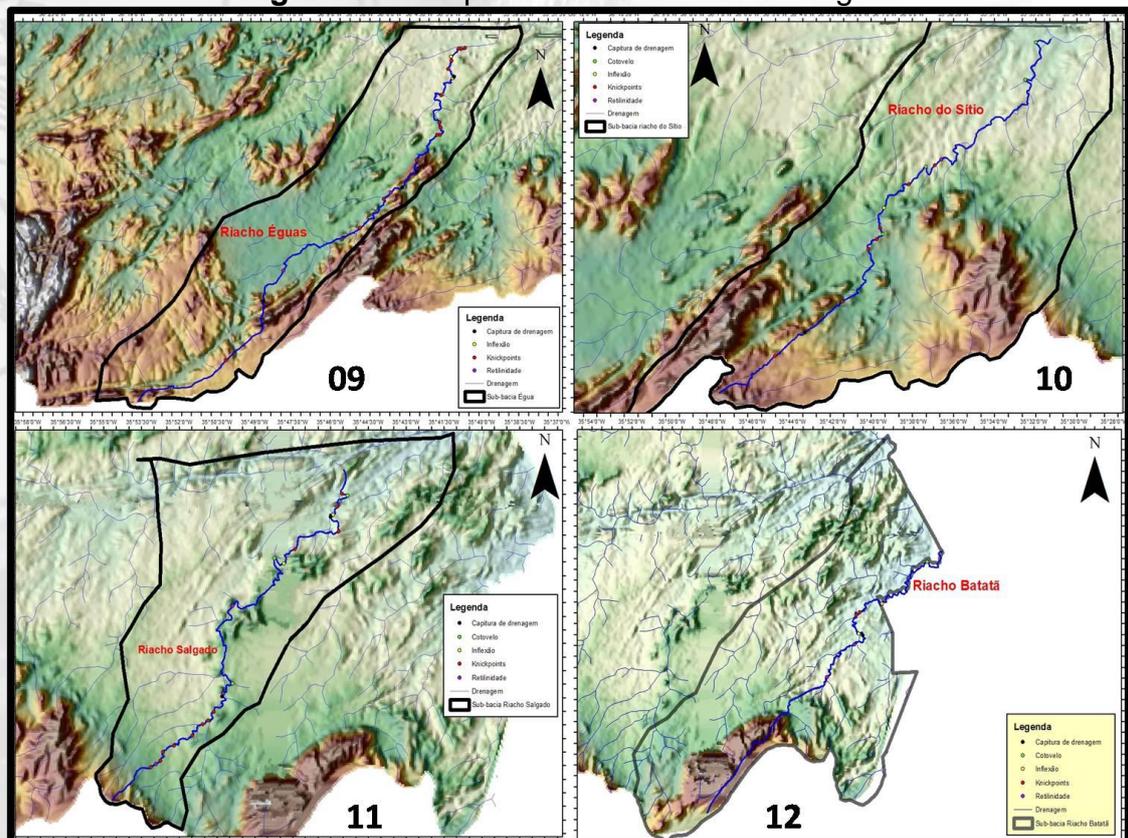
Fonte: Autoral (2022).

Figura 10 – Mapa de anomalias de drenagem



Fonte: Autoras (2022).

Figura 11 – Mapa de anomalias de drenagem



Fonte: Autoras (2022).

Tabela 03 – Dados das Anomalias de drenagem

Sub-bacias	Anomalias
01 – Sub-bacia Riacho Caiana	08 pontos com <i>Knickponits</i> 13 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 05 pontos com inflexão de canal 02 áreas com retilinidade
02 – Sub-bacia Riacho Manso	03 pontos com <i>Knickponits</i> 09 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 07 pontos com inflexão de canal 03 áreas com retilinidade
03 – Sub-bacia Riacho Tapera	05 pontos com <i>Knickponits</i> 06 pontos com cotovelos 05 áreas com retilinidade
04 – Sub-bacia Riacho do Pará	10 pontos com <i>Knickponits</i> 03 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 01 áreas com retilinidade
05 – Sub-bacia Riacho do Meio	08 pontos com <i>Knickponits</i> 13 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 05 pontos com inflexão de canal 02 áreas com retilinidade
06 – Sub-bacia Riacho Manso	10 pontos com <i>Knickponits</i> 05 pontos com cotovelos 02 pontos com captura de drenagem 04 áreas com retilinidade
07 – Sub-bacia Riacho da Onça	12 pontos com <i>Knickponits</i> 04 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 01 pontos com inflexão de canal 02 áreas com retilinidade
08 – Sub-bacia Riacho Carapatós	12 pontos com <i>Knickponits</i> 04 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 02 áreas com retilinidade
09 – Sub-bacia Riacho da Égua	15 pontos com <i>Knickponits</i> 03 pontos com captura de drenagem 03 pontos com inflexão de canal 03 áreas com retilinidade
10 – Sub-bacia Riacho do Sítio	07 pontos com <i>Knickponits</i> 04 pontos com cotovelos 01 ponto com captura de drenagem 01 ponto com inflexão de canal 02 áreas com retilinidade
11 – Sub-bacia Riacho Salgado	16 pontos com <i>Knickponits</i> 03 pontos com cotovelos 02 pontos com captura de drenagem

	02 pontos com inflexão de canal 05 áreas com retilinidade
12 – Sub-bacia Riacho Batatã	04 pontos com <i>Knickponits</i> 01 ponto com cotovelo 01 ponto com captura de drenagem 02 pontos com inflexão de canal 01 áreas com retilinidade

Fonte: Autoras (2022).

A lito-estrutura condiciona a direção e os perfis longitudinais dos canais fluviais, a partir do desgaste desigual das rochas por meio da erosão diferencial, que pode gerar a formação de níveis de base locais, denominados *knickpoints*, que são degraus topográficos no perfil do canal do rio, atuando fortemente na configuração da paisagem por meio de incisão fluvial, nos processos de erosão, formas de relevo, sedimentação nas bacias fluviais (EIRADO SILVA, 1993; MONTEIRO *et al.*, 2014).

Por fim, as anomalias de drenagem demonstraram relação com a retilinidade dos canais com 14% e com a captura de drenagem com 8%, visto que, essas análises nas imagens de satélites reafirmaram a composição dos resultados morfométricos. De acordo com (LAVARINI *et al.*, 2016) a captura de drenagem ocorre quando os cursos fluviais são encaixados em plano de falhas normalmente pelo controle exercido pela tectônica regional.

Destarte, os canais apresentam alinhamentos segundo direção regional NE-SW, como também na direção geral E-W, a partir do qual os rios de ordem menor ou algumas porções deles são encaixados em linhas de falhas que drenam para porções mais altas do relevo. Dessa forma, observou-se retilinidade em áreas do rio com mais de 500 metros ou o rio sendo capturado por vezes entre dois *knickpoints*, por vezes em uma migração forçada para baixas altitudes.

As anomalias identificadas nas doze sub-bacias analisadas confirmaram por meio da representação visual o comportamento dos canais, caracterizando a dinâmica fluvial no semiárido como condicionada pela morfotectônica e morfoestrutura que atua no padrão de drenagem como reflexo da influência dos mega cisalhamento ZCPE e ZC, bem como, sua malha de ramificações de menor escala. Na mesma área, Fônseca (2018), corrobora com as análises de drenagem caracterizando-as como padrão dentrítico, bacia assimétrica, formas de canais genericamente retilíneo, em que na maioria das vezes são controladas pelas estruturas, respondendo à dinâmica geotectônica regional, sendo adaptadas às linhas de falhas e de fraturas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfotectônica e morfoestrutural nas doze sub-bacias do alto e médio Capibaribe por meio dos índices morfométricos e observações vetoriais nas imagens orbitais demonstram que o relevo é morfotectonicamente condicionado, principalmente, pela ZCPE e ZC e suas ramificações. Assim, foram identificadas diversas evidências de controle estrutural na paisagem desse ambiente seco, que indicam possivelmente a ação tectônica, tais como: assimetria de bacia, assimetria do perfil topográfico do rio principal, lineamentos de drenagem, geração de *knickpoints* e anomalias de drenagem. Esses elementos permitem concluir por deformações recentes na área estudada.

Nesse contexto, o alto e médio Capibaribe situado no Terreno Rio Capibaribe, composto predominantemente por rochas metaplutônica e suítes magmática, limitado por dois níveis de cisalhamento que determinam a tectônica regional a ZC de estrutura sinistral com direção NE-SW e a ZCPE de caráter dextral com direção E-W, conforme o mapa geológico da área na Figura 02. São determinantes para alterar o nível de base dos canais fluviais gerando os *knickpoints*, bem como, as capturas de canal nos planos de falhas, as abruptas inflexões percebidas nos canais com um clima que não favorece e as assimetrias verificadas. Todo esse quadro da estrutura geológica é responsável pela morfologia e alteração dos canais.

Dessa forma, os resultados encontrados corroboram com trabalhos recentes que apresentam evidências da possível influência neotectônica nos setores do Planalto da Borborema. Esses resultados servirão de base para estudos posteriores com escala de alto nível de detalhe, trabalho de campo e aplicação de novos métodos para evidenciar peculiaridades geomorfológicas presentes na área de estudo, cuja abordagem tectônica e morfométrica tem avançado nas pesquisas do Nordeste para compor no futuro um quadro evolutivo das bacias hidrográficas, agregando conhecimento e compreensão para o melhor uso e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. C. A. **Geologia, Geoquímica e Significado Tectônico do Complexo Metanortositico de Passira** – Província Borborema – Nordeste Brasileiro. São Paulo, SP. 168f. 2000. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2000.

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Review**, v.50, n. 1-2, p. 77-111. 2000.

ALMEIDA, J.D.M., **Dinâmica fluvial no sertão central pernambucano: morfogênese dos plainos aluviais da bacia do Riacho Grande**. 2021. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

BARROS, A. C. M. **Tipologia e Dinâmica de Paisagens Não Canalizadas no Nordeste Semiárido**. 2018. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

BISHOP, P. **Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. Progress in Physical Geography**, 19, n. 4, p.449-47. 1995.

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.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; SANTOS, E. J. Geocronologia da Província Borborema: os fatos e as questões abertas. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**, 16, Recife. 1995a. Boletim... Recife, SBG/NE, v.14, n.2, p.410-413, 1995a.

BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; FETTER, A. H. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema) Ensaio comparativo e problemas de correlação. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v.1, p.59-78. 2001a.

BRITO NEVES, B.B.; NETO, M.C.C.; VAN SCHMUS, E.J.S. O sistema Pajeú-Paraíba e o maciço São José do Campestre no leste da Borborema. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31. p. 1-15. 2001b.

BRITO NEVES, B.B.; NETO, M.C.C.; VAN SCHMUS, W.R.; FERNANDES, T.M.G.; SOUZA, L.S.; O terreno alto Moxotó no leste da Paraíba (maciço Caldas Brandão). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31. p.16-31. 2001c.

CLAUDINO-SALES, V. (2004). **Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica**. GEOUSP – Espaço e Tempo, 16. São Paulo.

CORRÊA, A.C.C.; 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**, São Paulo, 2010.

COX, R.T. Analysys of Drainage-Basin Symmetry as a Rapid Techique to Identify Areas of Possible Quaternay Tilt Block Tectonics: as Example from the Mississipi Emayment. **Geological Society of América Bullelin**, n.106, p. 571-581, 1994.

EIRADO SILVA, L. G.; DANTAS, M. E. & COELHO NETTO, A.L. **Condicionantes lito-estruturais na formação de níveis de base locais ("knickpoints") e implicações geomorfológicas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul**. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 3 - Rio de Janeiro/RJ - Atas, 96-102, 1993.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G. C.; CASADO, F.C.; FULFARO, V. J. . Detecção de Prováveis Deformações Neotectônicas no Vale do Rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, Mediante Aplicação de Índices RDE (Relação Declividade - Extensão) em Segmentos de Drenagem. **Revista Geociências**, v. 25, p. 271-289. 2006.

FONSÊCA, D. N. **Evolução geomorfológica e sedimentação quaternária no setor oriental do Piemonte da Borborema**. 2018. 194 f. Tese (Doutorado em 2018) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

GEOBANK®, Serviço Geológico do Brasil – **CPRM, 2007**. Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>> Acesso em: 03 maio. de 2022.

HACK, J. T. **Stream-profile analysis and stream-gradient index**. Journal Research of the U.S. Geol. Survey, v. 1, n. 4, p. 421-429. 1973.

HARE, P. W.; GARDNER, I. W. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism Along Converging Plate Margins. In: **ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM**. Boston, 1985.

HOWARD, A. D. 1967. **Drainage analysis in geologic interpretation: summation**. Bulletin American Association of Petroleum Geologist, 51(11): 2246- 2259.

LAVARINI, C. ; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; OLIVEIRA, F.S. DE ; CARVALHO, A. DE. NEOTECTONICS, RIVER CAPTURE AND LANDSCAPE EVOLUTION IN THE HIGHLANDS OF SE BRAZIL. **Mercator** (Fortaleza. Online). v. 15, p. 95-119, issn: 1984-2201, 2016.

MARÇAL, M. S.; LIMA, R. N. S. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Revista Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, V. 6, N.1, p. 17-33, 2016.

MARTINEZ, M.; HAYAKAWA, E.; STEVAUX, J. C.; PROFETA, J. D. . SL index as indicator of anomalies in the longitudinal profile of the Pirapó River. **Revista Geociências**, v. 30, p. 63-76, 2011.

MONTEIRO, K.A.; **Análise geomorfológica da escapa oriental da Borborema a partir da aplicação de métodos morfométricos e análises estruturais**. 2015. 222 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MONTEIRO, K. A.; TAVARES, B. A. C.; CORRÊA, A. C. B. Aplicação do índice de Hack no rio Ipojuca para identificação de setores anômalos de drenagem e rupturas de relevo. **Geociências**, v.33, n.4, p.616-628, 2014.

MÖRNER, N. A. **Neotectonics, the new global tectonic regime during de last 3 Ma and the initiation of Ice Ages**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 65 (supl.2): 295-301, 1993.

NEVES, B.B.B.; SPRÖESSER, W.M.; PETRONILHO, L.A.; SOUZA, S.L. **Contribuição à Geologia e à Geocronologia do Terreno Rio Capibaribe (TRC, Província Borborema)**. Geologia USP. Série Científica, v. 13, p. 97-122, 2013.

NEVES, S. P.; MARIANO, G. Província Borborema: orógeno acrescionário ou intracontinental? **Estudos Geológicos**, v.11, p.26-36, 2001.

NEVES, S. P.; VAUCHEZ, A.; FERAUD, G. Tectono-thermal evolution, magma emplacement and Shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). **Precambrian Research**, v.99, p.1-32, 2000.

Ross, J.L.S. (2003). **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7 ed. São Paulo: Contexto.

SÁ, E. F. J. de; **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana**. 1994, Tese. 803 f. (Doutorado em Geociências), Universidade de Brasília, 1994.

SÁ, J. M.; GALINDO, A. C.; LEGRAND, J. M.; SOUZA, L. C.; MAIA, H. N. Os granitos ediacaranos no contexto dos Terrenos Jaguaribeano e Rio Piranhas-Seridó no oeste do RN, Província Borborema. **Estudos Geológicos**, v.24, n.1, p.4-22, 2014.

SALAMUNI, E.; Tectônica da bacia sedimentar de Curitiba (PR). 1998. 233 f. **Tese** (Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1998.

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 469-478, 2004.

SAMPAIO, M. A.; GUIMARÃES, I. P.; ALMEIDA, C. N.; CARMONA, L. C. Rb-Sr and Sm-Nd Isotope Geochemistry of granitoids from Esperança Granitic Complex, Paraíba State, Borborema Province, Northeast Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, 2003, Salvador. **Extended Abstract...** Salvador, p.122-123, 2003.

SILVA, A. C. **Reconstrução quaternária da dinâmica geomorfológica a partir das análises dos depósitos do baixo curso do rio Capibaribe – PE**. Recife, PE. 2016. 206f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SILVA, J. M. R.; MARIANO, G. Geometry and kinematics of the Afogados da Ingazeira shear zone, Northeast Brazil. **International Geology Review**, n.42, p.86-95, 2000.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. **Cenários Evolutivos da Conectividade da Paisagem em Ambiente Semiárido – Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, n. 1, 2020.

TAVARES, B. A. C. **Evolução Morfotectônica dos Pedimentos Embutidos no Planalto da Borborema**. 2015. 251 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

TEXEIRA, C. M. L. **A Terminação Oriental da Zona de Cisalhamento Pernambuco Leste e seu Magmatismo associado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Recife: UFPE, 2011.
