

# **ANÁLISE MORFOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPOJUCA/PE E SUA RELAÇÃO LITOESTRUTURAL NOS CANAIS DE DRENAGEM**

*MORPHOMETRIC ANALYSIS IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE IPOJUCA / PE  
RIVER AND ITS LITTESTRUCTURAL RELATIONSHIP IN THE DRAINAGE CHANNELS*

*ANÁLISIS MORFOMÉTRICO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO IPOJUCA / PE Y  
SU RELACIÓN PEQUEÑA ESTRUCTURAL EN LOS CANALES DE DRENAJE*

**Adriana Cassiano Silva (1)**

## **Conflitos de interesses, filiação institucional e responsabilidades**

Os autores declaram não haver interesses conflitantes.

Afiliações Institucionais são informadas pelo(s) autor(es) e de inteira responsabilidade do(s) informante(s).

O(s) autor(es) é(são) responsável(is) por todo o conteúdo do artigo, incluindo todo tipo de ilustrações e dados.

Recebido em: ago./2020

Aceito em: jan./2021

(1) Mestra em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, [dricacassiano@yahoo.com.br](mailto:dricacassiano@yahoo.com.br)

**Resumo**

A paisagem revela as heranças expressas nos sistemas estruturais da rede de drenagem. Dessa forma, o presente estudo objetiva pesquisar a geomorfologia fluvial e a morfometria da bacia hidrográfica do rio Ipojuca no estado de Pernambuco e sua relação litoestrutural. A metodologia compõe no uso do Geoprocessamento, na geração de mapas, em dados quantitativos, cálculos morfométricos e atributos visuais. Nesta pesquisa foram abordados os aspectos da área da bacia, tais como: a geometria da bacia, a representação do relevo e as feições da rede de drenagem. Constatou-se que a bacia pesquisada possui elevados índices de controle estrutural devido aos seguintes indicativos: substrato rochoso cristalino, com mega cisalhamento dextral de escala continental e suas subramificações em escala regional presente na área; o fator forma, o padrão de drenagem, a densidade de drenagem, os lineamentos e os perfis topográficos demonstraram possuir controle litoestrutural no desenvolvimento e no controle dos canais de drenagem discorrido na abordagem deste artigo.

**Palavras-chave**

Morfometria. Drenagem. Litoestrutura.

**Abstract**

The landscape manifest the heritage expressed in the structural systems of the drainage network. Therefore, the present paper objective to search fluvial geomorphology and the morphometry of the Ipojuca river basin in the state of Pernambuco and its litho-structural relationship. The methodology consisted in the use Geoprocessing, in generating maps, in quantitative data, morphometric calculations and visual attributes. In this research were approached the hydrographic basin area aspects, such as: the geometry of the basin, the representation of the geographical relief end the features of the drainage network. It was verified that the researched basin has structural control elevated index of structural control due to the following callsigns: crystalline rocky substrate, with continental scale dextral mega shear and its sub-branches on a regional scale present in the area; the form factor, the drainage pattern, the drainage density, the lineaments and topographic profiles demonstrated litho-structural control in the development and control of drainage channels spoken in the approach of this article.

**Keywords:**

Morphometry. Drainage. Litho-structure.

**Resumen**

El paisaje revela a las herencias expresadas en los sistemas estructurales de la red de drenaje. Así, el presente estudio tiene como objetivo investigar la geomorfología fluvial y morfometría de la cuenca del río Ipojuca en el estado de Pernambuco y su relación litoestrutural. La metodología comprende el uso de geoprociamiento, en la generación de mapas, en datos cuantitativos, cálculos morfométricos y atributos visuales. En esta investigación se abordaron aspectos del área de la cuenca, como: la geometría de la cuenca, la representación del relieve y las características de la red de drenaje. Se encontró que la cuenca encuestada tiene índice elevado de control estructural debido a las siguientes indicaciones: sustrato rocoso cristalino, con mega cizalla dextral a escala continental y sus subramificaciones a escala regional presentes en la zona; el factor de forma, el patrón de drenaje, la densidad del drenaje, los lineamientos y los perfiles topográficos mostró tener control litoestrutural en el desarrollo y control de canales de drenaje discutido en el enfoque de este artículo.

**Palabras clave:**

Morfometría. Drenaje. Litoestructural.

## Introdução

A configuração da paisagem exprime ao longo dos tempos histórico e geológico os processos do conhecimento geográfico. As paisagens naturais e antrópicas são fundamentais como meio de descrever, analisar e levantar hipóteses acerca de um fenômeno. No que se refere à leitura da paisagem no campo da Geografia Física, os autores Ab'Saber (1950) e Bigarella (1965), investigaram a proposta de influências geológicas como a tectônica e o comando de nível de base que conduz à evolução da paisagem, versando sobre o modelado do relevo, a declividade, os processos que desencadearam nos confinamentos de vales e nos padrões de erosão, bem como, na sedimentação que remodela os sistemas fluviais.

De acordo com Poole (2002), a análise dos sistemas fluviais pode ser investigada a partir de dois níveis de escala hierárquico. O primeiro interpreta a escala da bacia (regional), sendo seu objetivo constituir as bases sobre a estruturação da rede canais fluviais, ressaltando os principais fatores de controle como o perfil longitudinal do rio, parâmetros morfométricos, tal qual, a caracterização regional no âmbito geológico, geomorfológico, topográfico, climático, no uso do solo e nos solos (NEWSON e NEWSON, 2000).

A segunda análise se refere à escala do canal (local), em que acompanha os fenômenos em níveis de detalhe mais aguçado, distinguindo os ambientes fluviais e definindo os limites em que proporção no espaço eles operam (MARÇAL et al., 2016). Nesse contexto, a abordagem desta pesquisa é a geomorfologia fluvial, sendo seu objeto de investigação a bacia hidrográfica do rio Ipojuca, que fez uma investigação em escala regional, mas por vezes abordou parâmetros em nível local (canal), ambas enfatizando os controles lito-estruturais no sistema de drenagem da referida bacia.

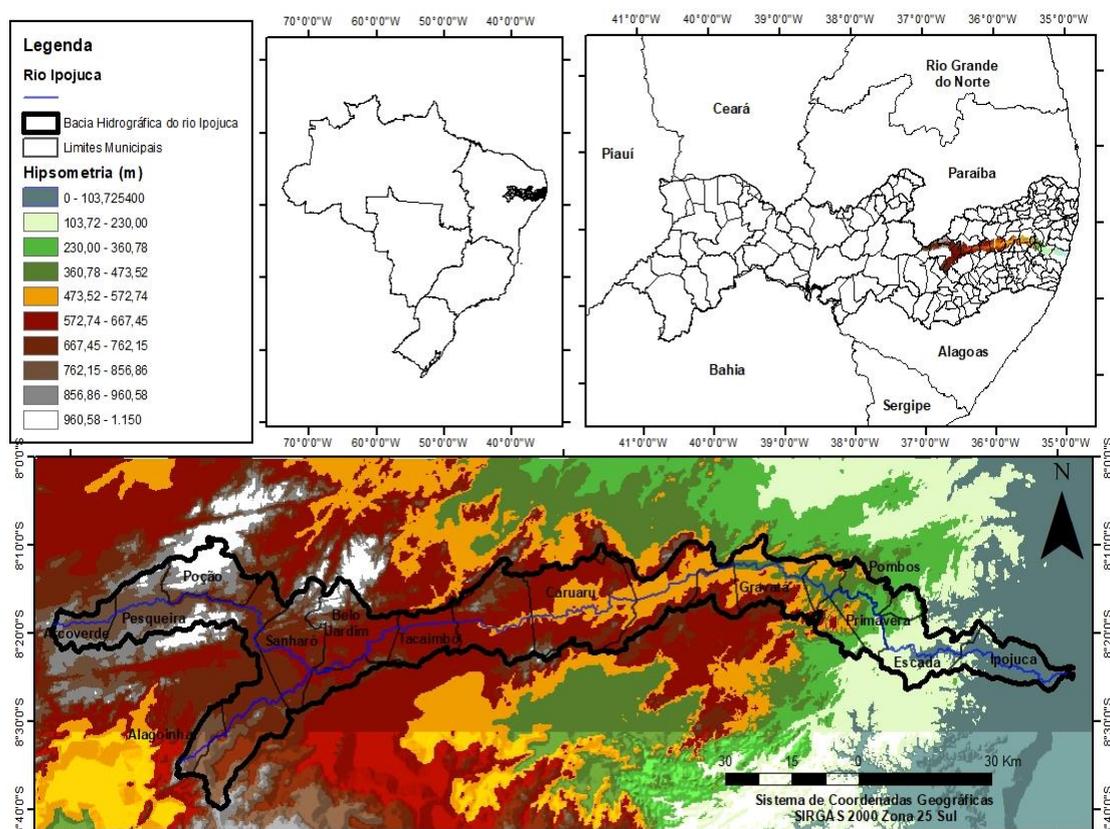
## Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca, localizada totalmente no Estado de Pernambuco, no setor das bacias hidrográfica do Nordeste oriental, abrange 25 municípios e apresenta orientação na direção leste-oeste com regime fluvial intermitente, tornando-se perene a partir do seu curso médio no município de Caruaru. Nascida nas encostas da serra do Pau d'Arco, município de Arcoverde, e com sua foz situada no município de Ipojuca (Figura 01), (CONDEPE, 2005).

A bacia do Ipojuca é uma das mais importantes do Estado pernambucano, pois constitui uma via de acesso entre o litoral e o sertão, além de sua contribuição histórica na criação e

expansão de núcleos urbanos e industriais no seu entorno, promovendo o dinamismo econômico no corredor Ipojuca em relação às bacias vizinhas. Entretanto, do ponto de vista ambiental e ecológico, em 2013 o IBGE a considerou como a terceira mais poluída do Brasil. Além disso, sua vulnerabilidade quanto a possibilidade do surgimento de volumes pluviométricos consideráveis intensifica os riscos socioambientais dentre o período de outono ao inverno, causando transbordamento na calha do rio, como em 2010 quando as inundações atingiram e devastaram os municípios na Mata Sul, e no Agreste caruaruense.

**Figura 01 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca**



Fonte: IBGE, adaptado pela autora (2020).

## Materiais e Métodos

A metodologia utilizada constituiu na integração de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), variáveis morfométricas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). O conjunto de dados SRTM (90 m) e TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), (30 m), foram utilizados para o cumprimento dos seguintes objetivos: a) elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), b) extração das curvas de



nível na rede de drenagem, sendo ambas convertidas em extensão *shapefile*, processados por meio softwares ArcGis 10.5.

Por conseguinte, na visualização dos modelos digitais de elevação foi implementado da seguinte maneira: na hipsometria, na declividade, na extração de lineamentos de drenagem e na confecção de perfis topográficos, este, para ressaltar a morfologia do relevo em consonância com os cursos d'água. O mapa de lineamentos de drenagem foi confeccionado por extração manual tomando-se por base a drenagem extraída do MDE. Os diagramas em roseta representativos das orientações dos lineamentos foram obtidos por análise automática com o aplicativo SPRING 5.5.6. O mapa geológico foi extraído do banco de dados do Serviço Geológico do Brasil, da folha Aracajú, bem como, as direções de falhas, ambos obtidos do mapeamento realizado pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

Os cálculos relacionados à área da bacia foram investigados por meio dos aspectos morfométricos descritos no Quadro 01.

**Quadro 01: Procedimentos morfométricos analisados na pesquisa**

<b>Padrão, Forma e Área da Bacia Hidrográfica (B.H)</b>			
<b>Morfometria</b>	<b>Fórmula/ Unidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Definição/Autor</b>
<b>Geometria da Bacia Hidrográfica</b>			
<b>Área</b>	(Km <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> )		Christofolletti (1980)
<b>Perímetro</b>	(Km ou m)		Comprimento total da linha do divisor de águas da B.H.
<b>Eixo da Bacia</b>	(km)		
<b>Comprimento do canal principal</b>	(km)		Extensão total do canal principal.
<b>Fator Forma (F)</b>	$F = A / L^2$ (Km ou m)	A=Área da bacia e L=Comprimento do eixo da bacia.	Analisa a geometria da bacia. Christofolletti (1980)
<b>Padrão de Drenagem</b>			Considera-se a geometria em planta dos sistemas de drenagem da bacia. Christofolletti (1980)
<b>Representação do Relevo</b>			
<b>Amplitude Altimétrica</b>	$Aa = H_{max} - H_{min}$ (m)	H <sub>max</sub> = altitude máxima H <sub>min</sub> = altitude mínima	Diferença entre a cota altimétrica mais alta e a cota altimétrica mais baixa.
<b>Relação de Relevo (Rr)</b>	$Rr = Aa / C$ (m/km)	Aa= amplitude altimétrica. C= comprimento máximo da bacia (medido paralelamente ao curso do canal principal).	Determina a inclinação da B.H, que influencia na velocidade do escoamento (quanto maior, mais rápida é a chegada das águas na foz). Christofolletti (1980)
<b>Índice de Rugosidade (Ir)</b>	$Ir = H \times Dd$	H=amplitude altimétrica. Dd=densidade de drenagem, expresso em metros.	Analisa a dimensão topográfica, combinando informações sobre a amplitude topográfica e a densidade de drenagem. Silva <i>et al.</i> (2003)
<b>Textura Topográfica (Tt)</b>	$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd$	Dd=densidade de drenagem.	Quanto maior for o índice da textura, implica em relevo mais colinoso e dissecado (maiores declividades) e canais mais entalhados. Christofolletti (1969)
<b>Feições da Rede de Drenagem</b>			
<b>Índice de Sinuosidade (Is)</b>	$Is = L / Lv$ (Km ou m)	L=Comprimento do canal principal. Lv=Comprimento da distância vetorial do canal principal.	Refere-se às curvas delineadas pela drenagem, podendo evidenciar controle estrutural ou a ausência do mesmo. Schumm (1963)
<b>Densidade de Drenagem (Dd)</b>	$Dd = Lt / A$ (Km/Km <sup>2</sup> )	Lt = Comprimento total dos canais. A= Área da bacia.	Expressa a relação entre o comprimento total dos cursos fluviais da B.H. e a sua área total. Horton (1945)
<b>Gradiente do canal principal (Gcp)</b>	$Gcp = Acp / Ccp$	Acp=Amplitude Altimétrica do canal. Ccp= Comprimento do canal.	É a relação entre a amplitude topográfica do canal e o comprimento deste canal, indicando a declividade do canal. Horton (1945)

Fonte: Tonello (2005), adaptado pela autora.



## Desenvolvimento e Discussões

### Arcabouço Geológico da Área

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca localiza-se geologicamente no planalto da Borborema, encaixada em um sistema compressivo de falhas e fraturas, destacando-se a Zona de Cisalhamento Pernambuco (doravante ZCPE), ou Zona de Cisalhamento Dextral ou Lineamento Pernambuco. Esta zona limita-se na porção norte pela Zona de Cisalhamento de Patos (ZCPa), e ao sul pelo Domínio Pernambuco-Alagoas. Para Teixeira (2011), os fundamentais compartimentos tectônicos do Planalto da Borborema são exercidos por extensas zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais, sendo a ZCPE a principal ativadora de tensões, provavelmente tardias à evolução tectônica deste planalto.

O maciço da Borborema constitui um extenso cinturão orogênico de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup> formado durante a fase da orogenia Brasileira/Pan-Africana (~600 Ma) como conclusão dos processos da convergência entre os crátons oeste Africano - São Luiz, Amazônico e São Francisco - Congo na consolidação do Supercontinente Gondwana Ocidental Almeida *et al.*, (2000). O Planalto da Borborema refere-se 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 de Pangea e ao magmatismo intraplaca atuante no Cenozóico (CORREA *et al.*, 2010), (Figura 02).

O Domínio da Zona Transversal (entre Lineamento Patos e Lineamento Pernambuco) é caracterizado por uma trama de rede anastomosada de zonas de cisalhamento brasileiras dextral de direção E-W e zonas de cisalhamento sinistrais de orientação NE-SW, no modelo descrito como estilo “dominó Jardim de Sá (1994). A ZCPE é uma megaestrutura de cisalhamento transcorrente dextral, de escala continental medindo aproximadamente 700 quilômetros com direção leste-oeste, denominada Lineamento Pernambuco (TEIXEIRA, 2011).

O mapa geológico da bacia do rio Ipojuca predomina no seu arcabouço de rochas cristalinas, contudo, no baixo curso do rio encontra-se camadas sedimentares, ambos descritas da seguinte forma: nos patamares altimétricos entre 0m a 103,72m (Figura 01), compõe de forma expressiva os depósitos Flúvio-Marinheiros que ocupam a porção interna dos estuários, adquirindo expressão em trechos do baixo curso do rio Ipojuca; em menor porção apresenta-se os depósitos Aluvionares encontrados nas planícies dos principais cursos d’água, formados por areia, cascalho e argilas ao longo dos canais fluviais; os depósitos Eluvionares-Aluvionares representam coberturas arenosas de coloração variada e a Formação Ipojuca, caracterizada por



Filho (1998) como manifestações vulcânicas, subvulcânicas e plutônicas que afloram em municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (Figura 03).

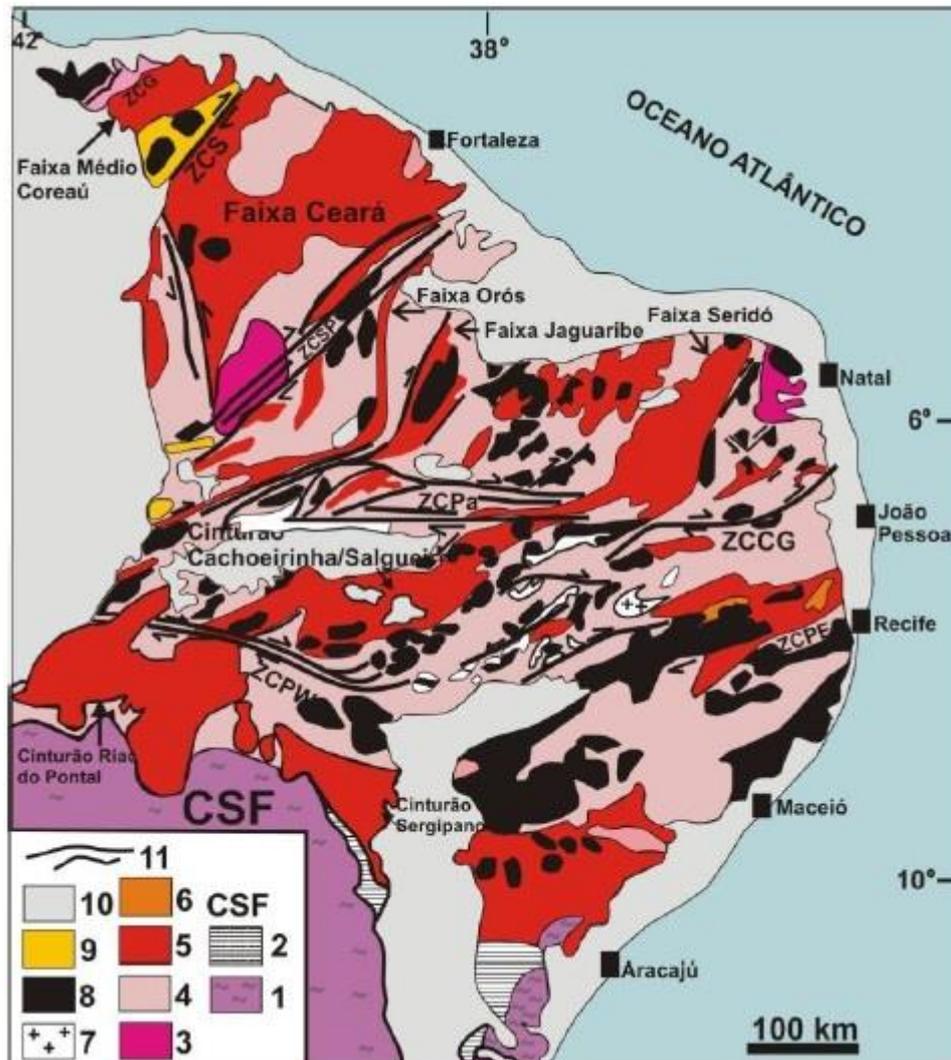
Dentro desse patamar hipsométrico predomina-se o Complexo Belém do São Francisco que é um segmento infracrustal composto por migmatitos, biotita gnaisses e ortognaisses que aflora na paisagem (MEDEIROS, 2000); bem como, as Suítes Magmáticas que são formadas por rochas vulcânicas e subvulcânicas (ALMEIDA *et al.*, 2003) e em menor porção a ocorrência da Formação Cabo constituída por alterações na granulometria e nas texturas, passando de conglomerados a arenitos finos variando de alguns centímetros a algumas dezenas de metros (MAIA, 2012). A Formação Algodoads é descrita por Rocha (1990) com características de leque aluvial composta de três fácies (conglomerados, arcósio e seixos vulcânicos).

Nos setores altimétricos entre 103,72m a 572,74m, são constituídos por rochas Metaplutônicas que são atividades magmáticas desenvolvidas sin-tectonicamente à orogênese de Cariris Velhos (CARMONA, 2002); as Suítes Magmáticas que são rochas vulcânicas e subvulcânicas (ALMEIDA *et al.*, 2003); o Complexo Vertentes que é uma unidade de rochas paleoproterozóica (TEIXEIRA, 2011) e o Complexo Belém do São Francisco.

Entre os valores altimétricos de 572,74m a 1.150m, se repetem as formações rochosas de Suítes Magmáticas e as rochas Metaplutônicas. Além desses, essa compartimentação apresenta o Complexo Surubim que é uma unidade basal de rochas aflorantes que limita-se entre a Zona de Cisalhamento de Patos e Pernambuco (NEVES *et al.*, 2017); o Complexo Cabrobó que é definido como uma unidade supracrustal formado por biotita-granada gnaisses que são localmente migmatizado (MEDEIROS, 2000) e o Complexo Gnáissico Migmatito Indiscriminado.

Dessa forma, a bacia pesquisada apresenta um embasamento rochoso relacionado ao plutonismo do período mesoproterozóico e neoproterozóico, as intrusões brasileiras de diversas dimensões e seus expressivos afloramentos. A tectogênese brasileira gerou extensas zonas de cisalhamento predominado na direção NE-SW e E-W, essa malha de estruturas de cisalhamento foram reativadas de forma rúptil no cretáceo promovendo *trends* de falhamentos na mesma direção NE-SW e E-W (BRITO NEVES, 2003; MAIA, 2014). Assim, os canais de drenagens que buscam no relevo o melhor trajeto de escoamento, se adaptam rapidamente às condições dos planos de falhas.

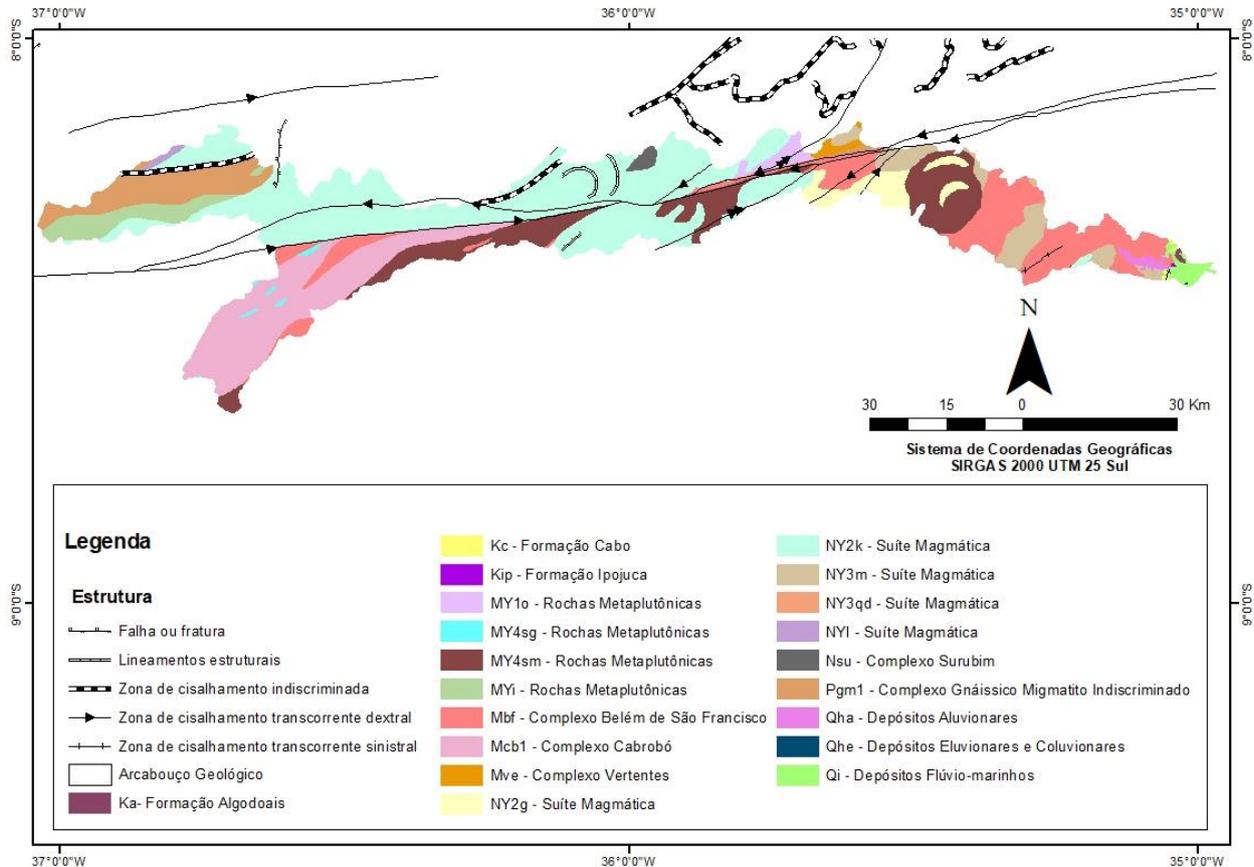
**Figura 02 – Mapa das principais unidades geológicas e zonas de cisalhamento da Província da Borborema**



Fonte: Teixeira (2011) modificado de Brito Neves *et al.* (2003). 1-Craton São Francisco. 2-Cobertura cratônica. 3-Arqueano. 4-Paleoproterozóico. 5-Faixas metassedimentares. 6-Complexos Paleomesoproterozóicos. 7-Orognaisses Eoneoproterozóicos. 8-Plutons brasileiros. 9-Molassas. 10- Coberturas fanerozóicas. 11- Zonas de cisalhamento transcorrentes.

ZCAI (Zona de Cisalhamento Afogados da Ingazeira); ZCCG (Zona de Cisalhamento Campina Grande); ZCPE (Zona de Cisalhamento Pernambuco); ZCPa (Zona de Cisalhamento de Patos); ZCSP (Zona de Cisalhamento Sobral II ou Lineamento Transbrasiliiano).

**Figura 03 – Arcabouço Geológico da Bacia do rio Ipojuca**



Fonte: CPRM (2007), modificado pela autora.

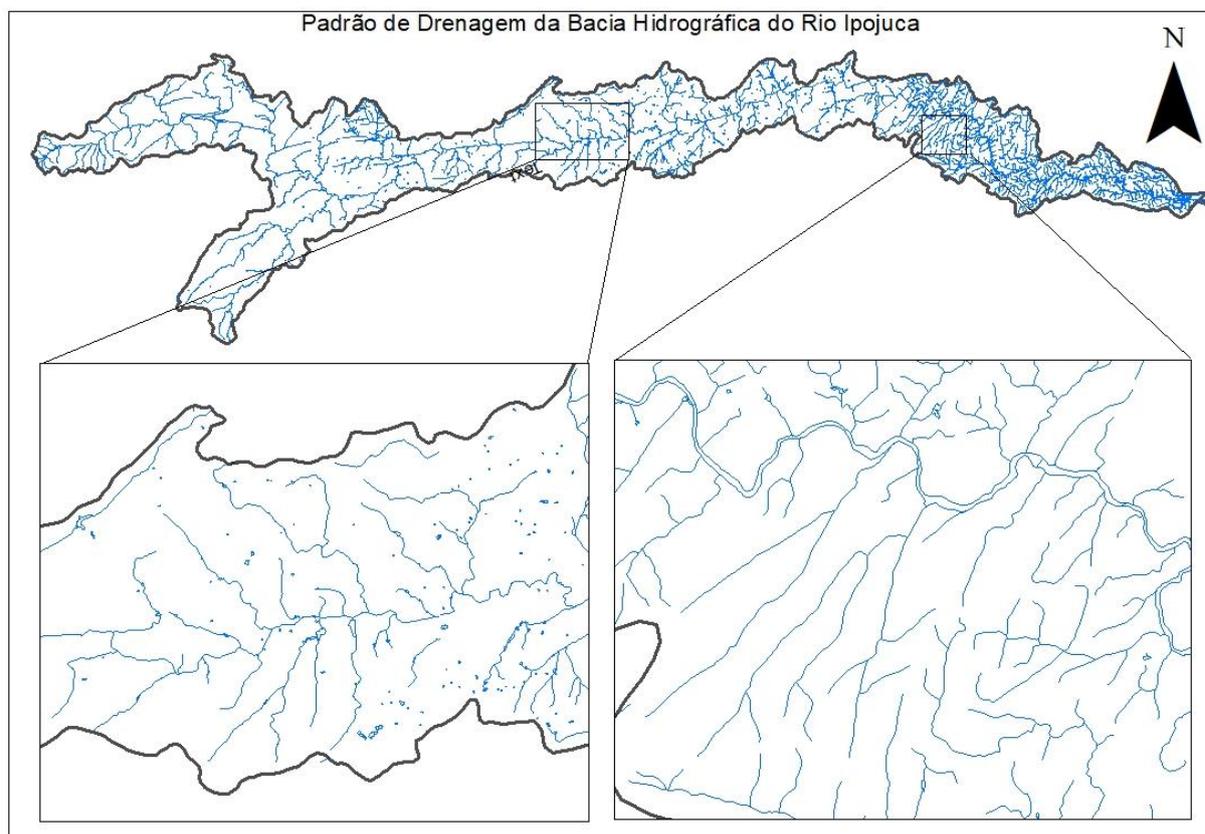
### Procedimentos Morfométricos

A análise areal da bacia hidrográfica do rio Ipojuca engloba vários índices, que envolvem medições planimétricas e lineares. Logo, os parâmetros morfométricos compreendem a relação entre a hidrografia e o relevo da bacia, assim como, os processos que modelam a paisagem.

Nessa conjuntura, a caracterização geométrica da bacia do rio Ipojuca, configura-se em singularidades que reforçam sua relação litoestrutural em conformidade com a configuração geológica da área. Para tanto, foi mensurada uma área de 3.474 km<sup>2</sup> e perímetro de 714 km e o eixo da bacia em 228 km, demonstrando um modelado singular. O padrão de drenagem pode ser caracterizado como do tipo dendrítica, também conhecido como arborescente, mas com tendência ao formato pinado, este constitui na modificação da dendrítica e se configura pelo paralelismo dos canais tributários que tende a se unir ao principal em ângulos agudos (Figura 04). De acordo com Chistofolletti (1980), o padrão dendrítico se assemelha à configuração de uma árvore, que como os ramos de uma árvore, os tributários se distribuem em todas as direções

e ao se unir formam ângulos agudos de direções variadas, sem nunca formar ângulo reto. Quando canais da bacia apresentam ângulo reto no padrão dendrítico, constituem anomalias agregada aos fenômenos tectônicos na maior parte dos casos.

**Figura 04 – Padrão de Drenagem da bacia do rio Ipojuca**



Fonte: a autora (2020).

O fator forma considera a geometria da bacia equivalente a um retângulo. Para Christofolletti (1980), se o índice for  $k < 1,0$  (menor que um), corresponde a uma bacia alongada, se o valor for 1,0 (um) a forma caracteriza um formato mais arredondado, com possibilidades de enchentes, pois sua configuração dará maior probabilidade de absorver a precipitação na área. No que se refere ao fator forma da bacia Ipojuca, o valor obtido foi 0,06682, confirmando o formato alongado da bacia, o que atribui a uma geometria alongada. Este formato aponta influência tectônica na simetria da bacia, em que o estrato geológico controla o modelado da bacia (CARDOSO *et al.*, 2006), (Tabela 01).

**Tabela 01 – Dados morfométricos da bacia do rio Ipojuca**

Parâmetros	Dados Obtidos
<b>Geometria da Bacia Hidrográfica</b>	
Área da Bacia	3.474 km <sup>2</sup>
Perímetro	714 km
Eixo da Bacia	228 km
Comprimento do Canal principal	349 km
Fator Forma	0,06682
Padrão de Drenagem	Dentritica/Pinado

Fonte: a autora (2020).

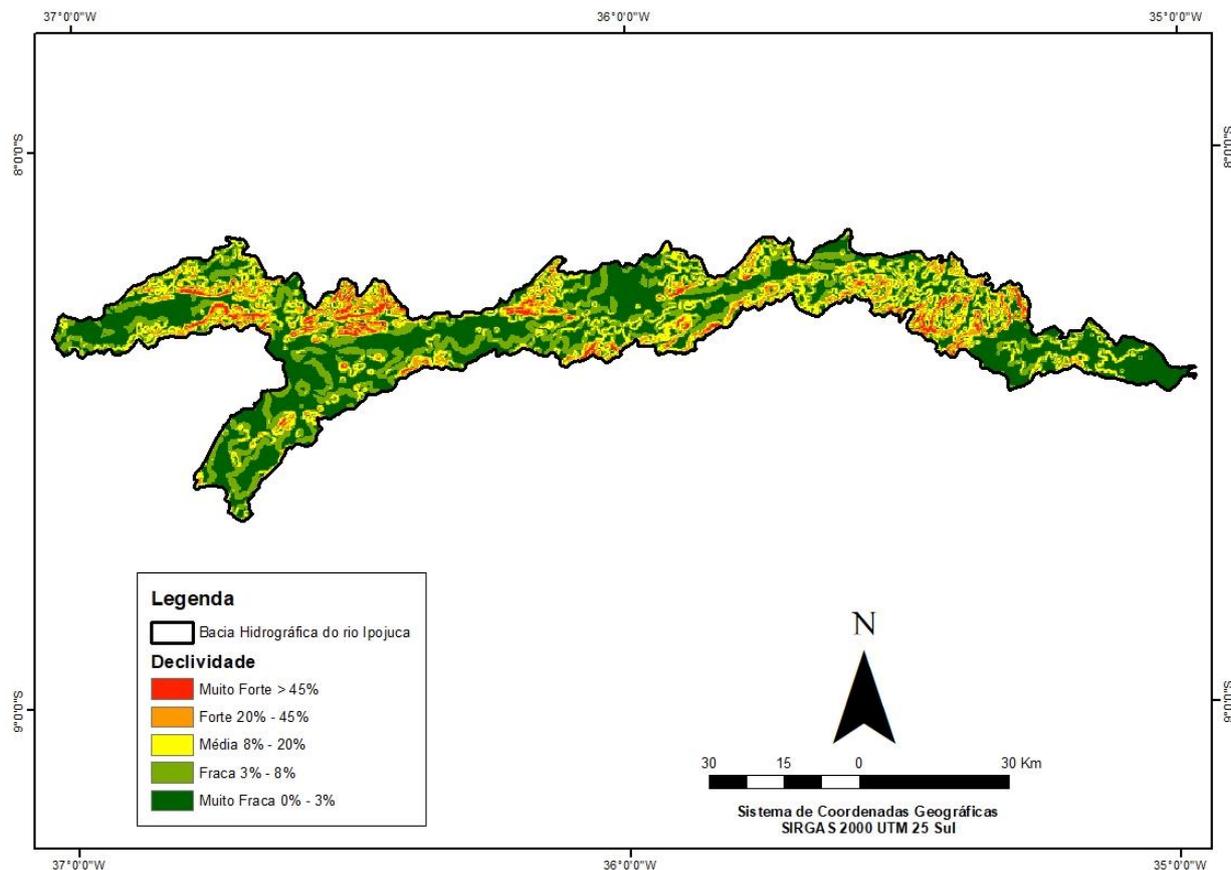
Em relação à caracterização do relevo os indícios demonstram a harmonia entre a rede de drenagem e a morfologia da bacia, quais sejam: a amplitude altimétrica da bacia pesquisada é de 1.150m. Esta amplitude influencia no escoamento fluvial e na distribuição das unidades de relevo conforme os compartimentos hipsométricos. Em relação à declividade, infere-se que a bacia apresenta variabilidade na distribuição da declividade, com alguns trechos íngremes e outras porções planas, contudo, predomina morfologia plana, demonstrado na carta de declividade (Figura 05). A declividade influencia nos processos erosivos fluviais e pluviais, tal como, potencializa nos cursos d'água a ação gravitacional incidindo nos planos de falhas com mais energia.

O modelado do relevo é demonstrado pelo índice de relação do relevo que representa esta variável, “o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 120). O resultado desta variável permite analisar a velocidade de escoamento superficial da água, visto que, se configura na dinâmica topográfica da área. Assim, o valor obtido da relação do relevo da bacia do Ipojuca é de 5,04385, constituindo índices baixos, indicando vertentes curtas tendendo para um modelado retilíneo, (Tabela 02).

Para o índice de rugosidade, Christofolletti (1980) caracteriza a flexibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Dessa forma, se o índice for alto, maior será o risco de degradação da bacia em função das vertentes apresentarem-se íngremes e longas. O índice de rugosidade na bacia do Ipojuca foi de 8,487, valor pouco representativo e considerado baixo, mostrando pouca variação em seu relevo. A textura topográfica representa numericamente o grau erosivo e de entalhamento topográfico desempenhado pelos rios, sendo um atributo que reforça o retrato da dissecação do relevo. Para Garbossa (2003), o índice da textura topográfica considera valores abaixo de 4,0 como textura grosseira, entre 4,0 e 10 como textura mediana e acima de 10,0 como textura fina. A textura da bacia Ipojuca é de 136, classificado como textura extremamente fina, refletindo o

alto grau de entalhamento, a dissecação e o alto grau de temperatura na constituição das rochas da superfície na área pesquisada.

**Figura 05 – Carta de Declividade da Bacia Hidrográfica de Ipojuca/PE**



Fonte: a autora (2020).

**Tabela 02 – Dados morfométricos da bacia do rio Ipojuca**

Parâmetros	Dados Obtidos
<b>Característica do Relevo</b>	
Altitude Máxima	1.150
Altitude Mínima	0,0
Amplitude Altimétrica	1.150
Relação do Relevo	5.04385
Índice de Rugosidade	8.487
Textura Topográfica	136

Fonte: a autora (2020).

As feições da rede de drenagem do rio Ipojuca reforçaram a hipótese de que a rede de drenagem é controlada pelo sistema de falhas e fraturas que condicionam os processos hidrográficos na área. Nesse contexto, segue algumas abordagens: a densidade de drenagem do rio Ipojuca é de 7,3776, demonstrando que a bacia é bem drenada e que os canais e subcanais



tende a desenvolver por meio das linhas de fraquezas. Para Christofolletti (1980), as melhores condições de escoamento superficial estão relacionadas ao tipo da rocha, onde a infiltração encontra resistência de ocorrer. Para Hiruma & Ponçano (1994), o valor das classes de densidade de drenagem segue alguns parâmetros: para alta densidade, os valores acima de 2.50, valores médios a densidade fica entre 1.25 a 2.50 e a baixa densidade de drenagem concebe valores abaixo de 1.25, (Tabela 03).

Em relação ao índice de sinuosidade, que relaciona o comprimento real do canal principal com a medida do eixo vetorial da bacia em linha reta, entre os dois pontos extremos do rio principal (SCHUMM, 1963). Dessa forma, o índice classifica da seguinte forma: valores próximos a 1,0 é indício de canal retilíneo, valores superiores a 2,0 refletem canais tortuosos e valores entre 1,0 e 2,0 são formas intermediária do modelado do canal. O índice de sinuosidade do rio Ipojuca é de 1,530070, o que confere valor mediano. Esse índice está diretamente relacionado à carga de sedimentos, formas do relevo e estruturação geológica.

O gradiente do canal principal é a relação entre sua amplitude altimétrica e o comprimento do canal, indica a capacidade de transporte de sedimentos de um rio, pois está relacionado a sua declividade. O valor deste índice no Ipojuca é de 0,00329 o que confere valores baixos em que o canal na maior parte corre em fluxo d'água retilíneo.

**Tabela 03 – Dados morfométricos da bacia do rio Ipojuca**

Parâmetros	Dados Obtidos
<b>Feições da Rede de Drenagem</b>	
Densidade de Drenagem	7,3776
Índice de Sinuosidade	1,53070
Gradiente do Canal principal	0,00329

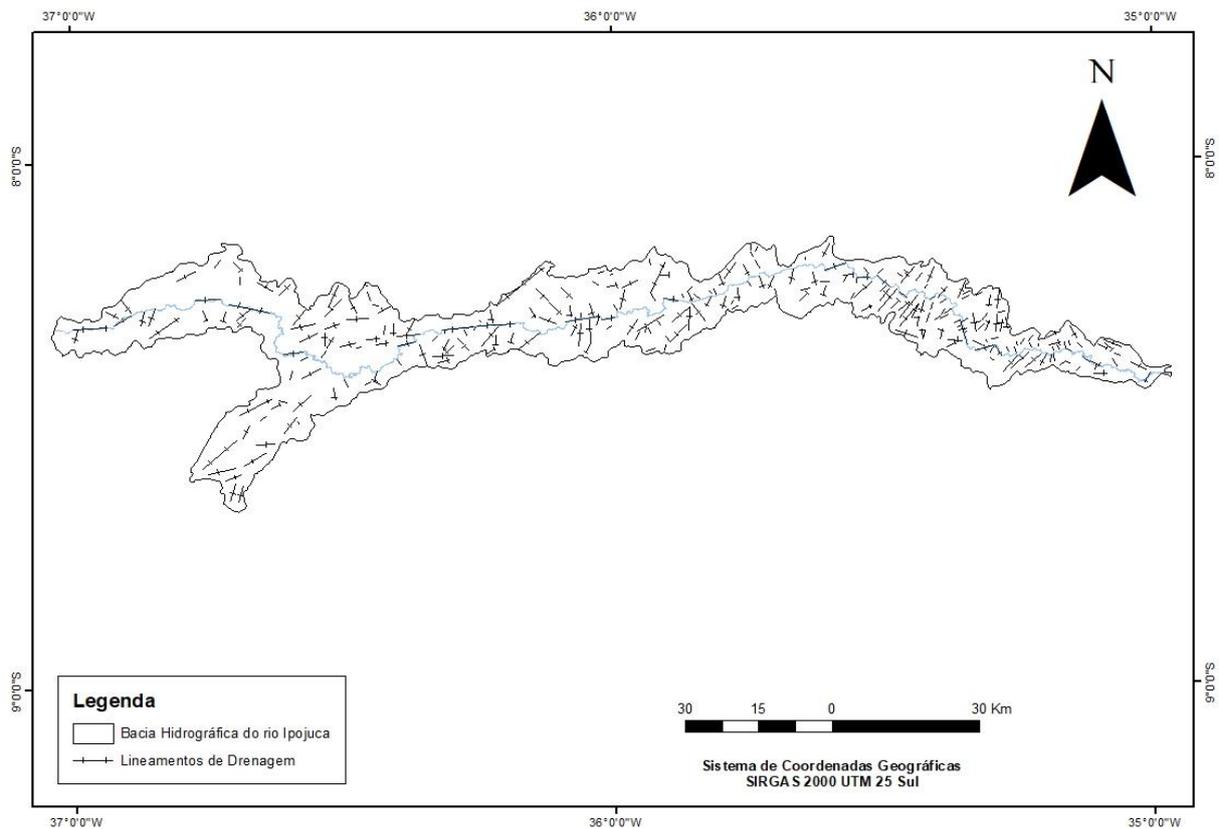
Fonte: a autora (2020)

Mediante as análises morfométricas foi possível produzir um quadro da configuração quantitativa da rede de drenagem e do relevo da bacia do rio Ipojuca, em que ambos se mostraram condicionados ao fator litoestrutural no Planalto da Borborema. Assim, foi preciso outras abordagens metodológicas que somados aos parâmetros morfométricos atribuem na melhor compreensão da dinâmica e dos processos morfológicos da área em questão.

### **Lineamentos de Drenagem**

As análises dos fotolineamentos dos cursos fluviais revelaram que a drenagem da bacia do rio Ipojuca condiciona-se a partir das estruturas litológicas de cisalhamentos no maciço Borborema, que tem direção preferencial NE-SW e E-W (Figura 06).

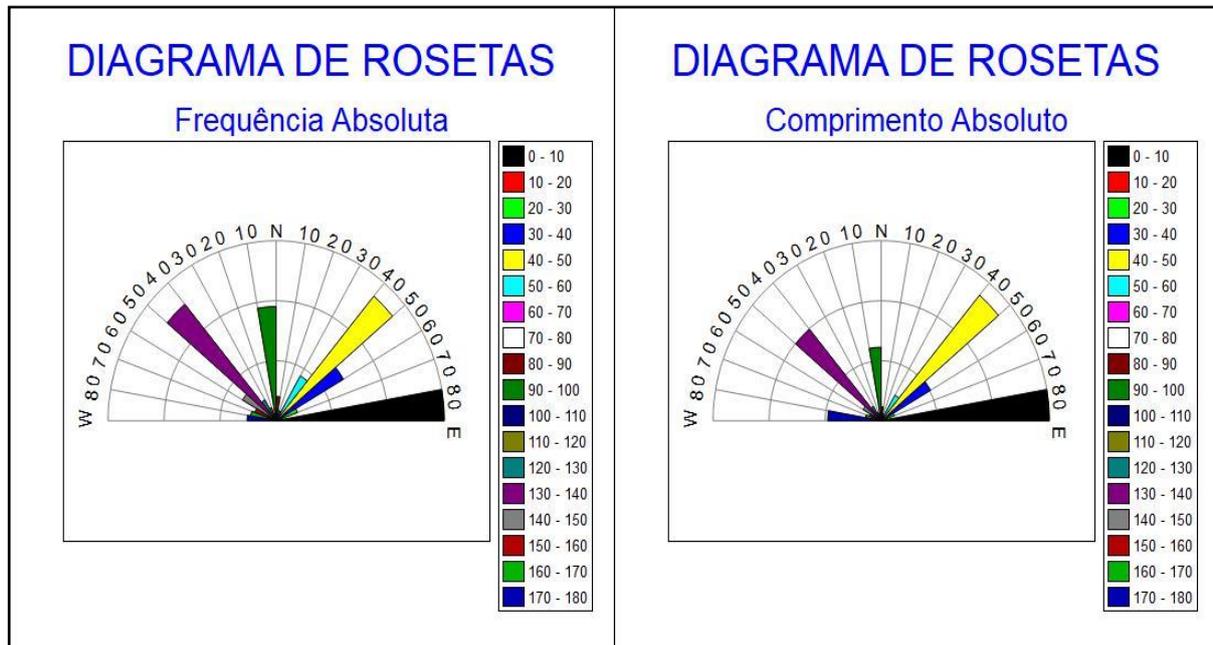
**Figura 06 – Lineamento de Drenagem da bacia do rio Ipojuca.**



Fonte: a autora (2020).

Os lineamentos de drenagem, representados nas rosáceas demonstraram que a frequência dos lineamentos é semelhante à distribuição destes no comprimento absoluto. Nos dois casos o resultado predominou nas direções E-NE que correspondem ao alinhamento da rede de drenagem da bacia Ipojuca em conformidade ao *trend* regional da Borborema (Figura 07). As orientações secundárias representadas nas rosáceas se constituíram no sentido N-NO que são os tributários. Logo, são lineamentos paralelos, em que a rocha apresenta resistência diferenciada.

**Figura 07 – Rosáceas com dados de Comprimento e Frequência Absoluta dos lineamentos de drenagem.**



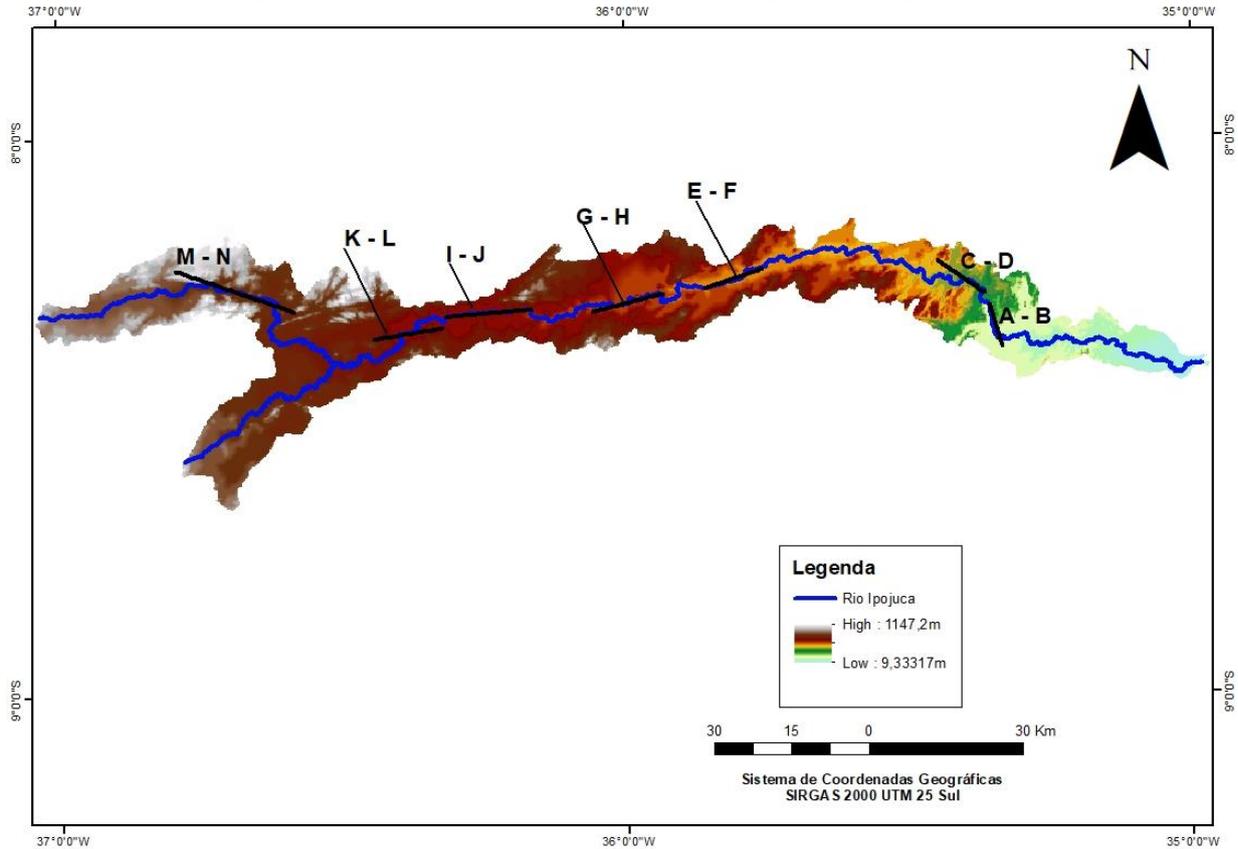
Fonte: a autora (2020).

Por meio desta análise foi demonstrado, sobretudo que o rio Ipojuca, bem como, os canais de drenagem que compõe a bacia seguem o *trend* regional NE-SW, principalmente por estar localizado na área do Lineamento Pernambuco, seguindo os padrões de drenagem que constitui no Planalto da Borborema. Este regime direcional denominado de *trend* obedece a um condicionamento geotectônico regional derivado dos eventos ocorridos no pretérito geológico e reativados no período de separação América do Sul – África (SILVA, 2012).

### Perfil Topográfico

Para visualizar o comportamento do rio Ipojuca na compartimentação do relevo em um ângulo de aproximação mais detalhado, foram traçados sete transectos e um perfil topográfico de todo rio Ipojuca. O perfil longitudinal é um atributo fundamental na geomorfologia fluvial, cujo traçado ressalta a nitidez dos processos nas unidades de relevo. Recorre-se ao perfil longitudinal por ele determinar o gradiente do canal e o comportamento variável ao longo do canal, da nascente à foz (CHRISTOFOLETTI, 1981), (Figura 08).

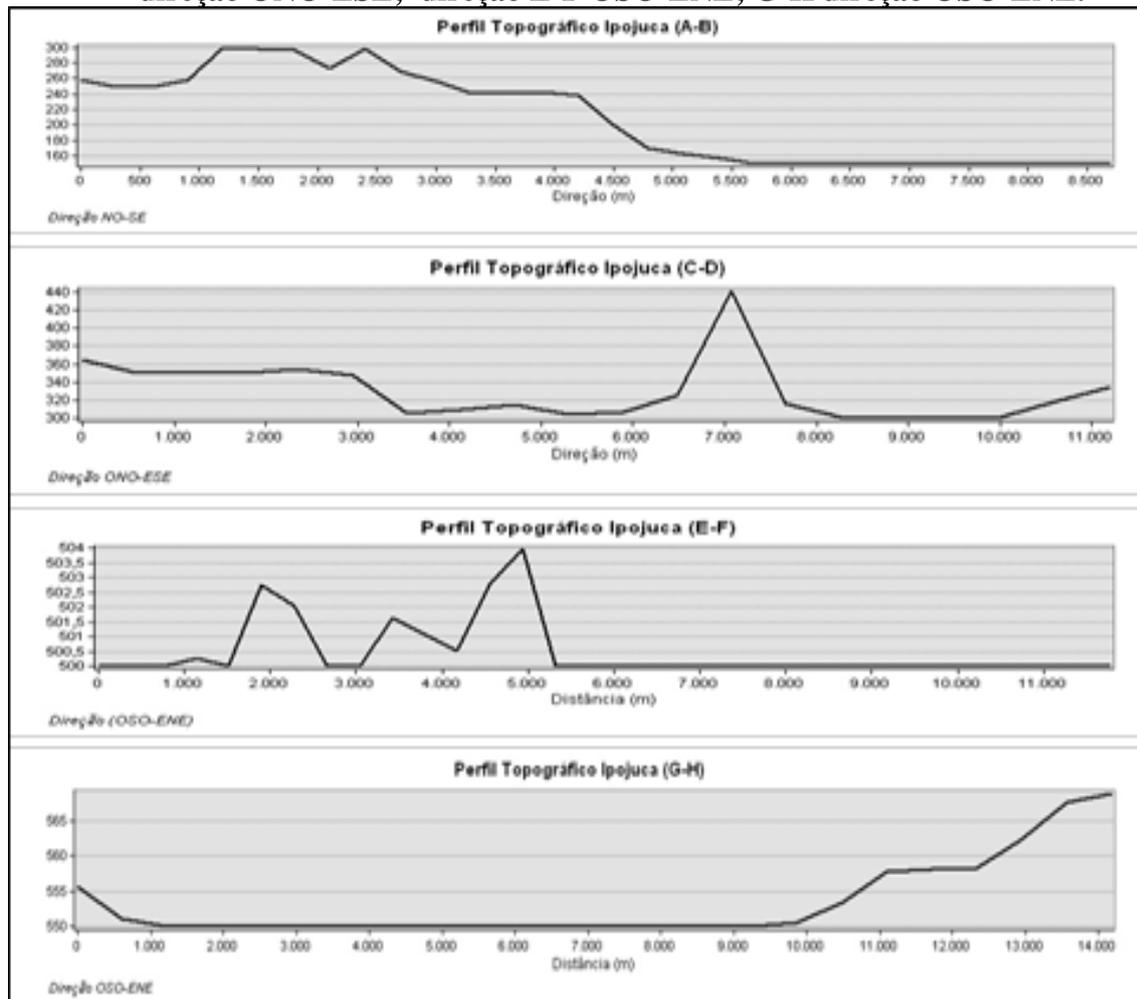
**Figura 08 – Mapa da bacia do rio Ipojuca com os traçados dos perfis longitudinais.**



Fonte: a autora (2020).

O perfil topográfico (A-B) demonstrou que o rio Ipojuca seguia na direção leste e inclinou no sentido (NO-SE), demonstrando mudança brusca de ângulo, percebe-se também que os patamares do relevo são desnivelados sem sinuosidade acentuada. O traçado (C-D) apresenta-se pontiagudo e em outros trechos com quebradura. No transecto (E-F), o rio Ipojuca mergulha numa direção de descida, apresenta três picos pontiagudos e segue em linha reta, demonstrando provável captura de drenagem. No perfil (G-H) apresenta desnivelamento, mas predomina escoando em linha reta, indicativo de captura de drenagem em plano de falha. Este setor da bacia que segue da porção leste até a parte central é constituída por rochas Metaplutônica e do Complexo Cabrobó, cujo curso fluvial demonstrou seguir linhas de fraquezas capturadas pelas falhas e fraturas, bem como, desnivelamento do canal com mudança de ângulo (Figura 09).

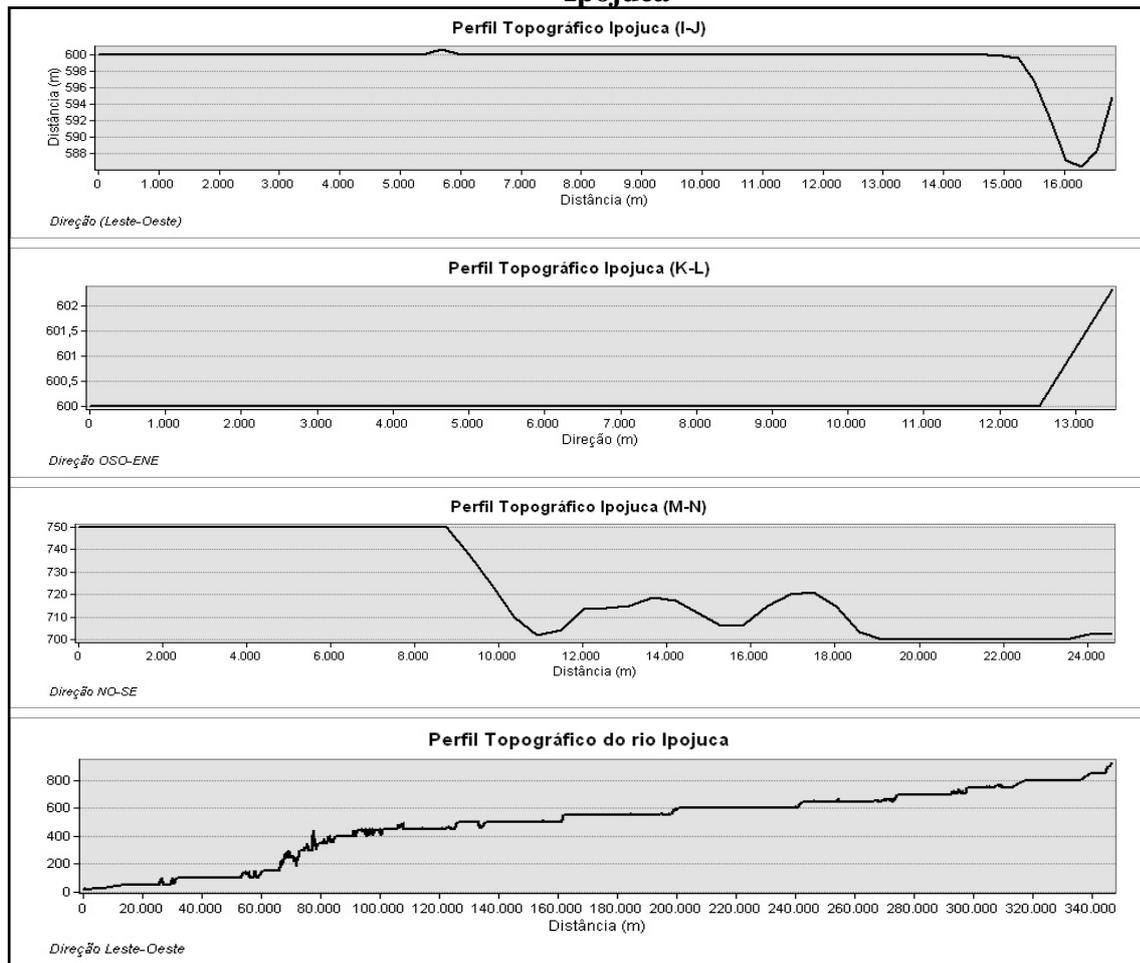
**Figura 09 – Perfis topográficos ao longo do rio Ipojuca. A-B: direção NO-SE; C-D: direção ONO-ESE; direção E-F OSO-ENE; G-H direção OSO-ENE.**



Fonte: a autora (2020).

Na porção que segue da área central da bacia até o setor oeste, foram traçados o perfil (I-J), em que o rio segue na direção leste-oeste quase totalmente em linha reta, indicando mais uma porção em que o rio foi capturado em uma linha de falha. O perfil (K-L) demonstra também controle estrutural em plano de falha. O transecto (M-N) em que parte do rio segue em linha reta e parte divide-se em patamares é o setor mais a montante da bacia. O perfil topográfico total do rio Ipojuca demonstra várias divisões em patamares com formato de quebra-dura, além disso, quando esse perfil é visto em escala de detalhe mostra-se trechos dos canais aprisionados em linha reta associando-se a captura de drenagem (Figura 10).

**Figura 10 – Perfis topográficos ao longo do rio Ipojuca. I-J: direção Leste-Oeste; K-L: direção OSO-ENE; direção M-N NO-NE e o último perfil refere-se ao perfil total do rio Ipojuca**



Fonte: a autora (2020).

O perfil longitudinal do rio Ipojuca, bem como, suas subdivisões demonstraram que sua configuração é determinada pela litoestrutura, onde se observa no canal vários patamares angular cujo rio foi seccionado e capturado para direções preferências obedecendo ao *trend* regional. De acordo com Etchebehere (2000), para uma drenagem equilibrada, ou compartimentos dela, quando não ocorre no rio agradação ou entalhe do talvegue, deve haver, somente, o fluxo de carga sedimentar.

A hipótese para explicar os eventos tectônicos nesta área, seria os esforços dos corpos rochosos submetidos a pulsos energéticos nos sistemas de falhas cuja direção principal de deformação foi decisiva para gerar falhas e fraturas que influenciaram no regime compressivo dos movimentos que originou o Lineamento Pernambuco (CARMONA, 2002). Estudos de Monteiro *et al.* (2014), na bacia do rio Ipojuca detectaram-se anomalias de 1ª ordem entre as cotas altimétricas de 350 e 175 metros, cujo maior valor foi alcançado ao longo da cota de 200



metros, o que demonstra nesta cota a ruptura regional de patamar topográfico, no limite entre o Planalto da Borborema e o seu Piemonte.

Este índice de anomalia de drenagem foi abordado por Hack (1975) para estabelecer o equilíbrio dinâmico na drenagem entre as forças erosivas, que removem materiais, a força tectônica que agrega material e as estruturas geológicas que ativam ou retardam tais forças. A concentração destas anomalias morfométricas no rio Ipojuca sobre as estruturas é um indicativo que as mesmas passam por um processo contínuo de reativação, sob a configuração de *knickpoints* locais ou regionais (MONTEIRO, *et al.*, 2014).

## Considerações Finais

A análise dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas ampliam o conhecimento sobre essas unidades de base para estudos ambientais, planejamento territorial e para a geomorfologia fluvial. A bacia hidrográfica do rio Ipojuca apresentou evidências de condicionamento morfoestrutural na rede de drenagem por meio da direção NE-SW e E-W originário do *trend* regional de lineamentos que possivelmente confinaram os canais de drenagem orientando a dissecação conforme os planos de falhas. Além disso, a densidade de drenagem, o padrão de drenagem, o fator forma e os transectos confirmaram a caracterização na formatação e nos ajustes dos cursos d'água que refletem nas principais linhas de fraqueza a influência no comando estrutural na evolução do relevo.

Em relação aos aspectos do relevo, conclui-se que a bacia possui declividade mediana a plana, com relevantes valores de textura topográfica, que confere processos de dissecação avançados e a relação de gradiente baixo. Esses resultados demonstraram que o relevo apresenta tendência a um modelado suave, controlado por processos de dissecação, em que os perfis topográficos demonstraram que, em uma escala de detalhe o relevo se comporta em conformidade com a zona de cisalhamento, por vezes com inflexão do canal abrupto, por vezes com quebradura no gradiente e por outros momentos o canal mostra correr por linhas de falha, indicativo de captura de drenagem.

Por fim, a bacia hidrográfica do rio Ipojuca possui uma forma alongada e rede de drenagem compatível com o desenvolvimento litoestrutural da área com canais pouco sinuosos e mais retilíneos. Outras pesquisas geográficas, de cunho geomorfológico e fluvial, revestem-se de fundamental importância para buscar outros métodos de análises que confirmem a abordagem apresentada neste artigo.



## Referências

AB'SABER, Aziz Nacib. **A Serra do Mar e a Mata Atlântica em São Paulo**. *Bol. Paulista Geografia*, v. 2, n. 4, p. 61-70, 1950.

ALMEIDA, Camila Bezerra de; SÁ, Emanuel Ferras Jardim de; CRUZ, Liliane Rabelo; NASCIMENTO, Marcos Antônio Leite do; SILVA, Fernando César Alves da; ANTUNES, Alex Francisco. **A Suíte Magmática Ipojuca: relações e implicações Tecno-Estratigráficas na sub-bacia de Pernambuco**. 2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. Vol. Cd, Rio de Janeiro, RJ Brasil, 2003.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; BRITO NEVES, Benjamim Bley de; CARNEIRO, Celso Dal Re **The origin and evolution of the South American Platform**. *Earth-Science Reviews*. 50, 77-111. 2000

BIGARELLA, João José; ANDRADE, Getúlio Osório. Contribution to the Study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H. E. Jr.; FREY, D. G. (Eds.). **International Studies on the Quaternary**. Geology Society American Special Papers. VIII Congresso of the International Association for Quaternary Research Boulder: Colorado. n. 84, 1965, p. 433-451.

BRITO NEVES, Benjamim Bley; PASSARELLI, Claudia Regina; BASEI, Miguel Angelo Stipp; SANTOS, Edilton José dos. **Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos na Província Borborema**. *Geologia USP: Série Científica*, v. 3, p.25-38, 2003.

CARDOSO, Christiany Araújo; DIAS, Herley Carlos Teixeira; SOARES, Carlos Pedro Boechat; MARTINS, Sebastião Venâncio. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan**, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARMONA, Luis Christian De Montreuil. **Geologia, Geoquímica e Avaliação Econômica do Migmatito “Rosa Imperial”, Domínio Meridional da Província Borborema, NE Brasileiro**. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Geociências-Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Recife, 2002.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2. Edição, 1980.

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

CORRÊA, Antônio Carlos de Barros; TAVARES, Bruno de Azevedo Cavalcanti; MONTEIRO, Kleyton de Araújo; CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; LIRA, Daniel Rodrigues de. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 2010.

CONDEPE. (2005). **Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca: Série Bacias hidrográficas de Pernambuco**. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento, Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco. 64 págs.



ETCHEBEHERE, Mário Lincoln De Carlos. **Terraços neoquarternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: Implicações estratigráficas e tectônicas**. Rio Claro. 2v. Tese de Doutorado – IGCE, UNESP, 2000.

FILHO, Mario Ferreira de Lima. **Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1998.

GARBOSSA, Renata Adriana. **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagacaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

**GEOBANK®**, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2007. Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>> Acesso em: 03 jun. de 2020.

HACK, John T. **Stream-profile analysis and stream-gradient index**. Journal of Research of the U.S. Geological Survey v.1, n.4, 1973.421-429p.

HIRUMA, Silvio Takashi.; PONÇANO, Waldir Lopes. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG, **Revista Instituto Geológico**. São Paulo, 15(1/2), p. 49-57, jan.dez/ 1994.

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

JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Brasília, DF. 1994. 803f. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, 1994.

MAIA, Maria Fernanda Barroso. **Revisão da Estratigrafia do Intervalo Aptiano-Albiano da Bacia de Pernambuco Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco- UFPE, Recife,2012.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rego. **Condicionamento Estrutural do Relevo no Nordeste Setentrional Brasileiro**. Revista Mercator, Fortaleza, v.13, n. 1, p. 127-14, jan/abr.2014.

MARÇAL, Mônica dos Santos; LIMA, Raphael Nunes de Souza. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Revista Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 17-33, 2016

MEDEIROS, Vladimir Cruz de (Org.). **Aracaju NE: folha SC.24-X: estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia**. Brasília: CPRM, 2000. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

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. **UNESP, Geociências**, v.33, n. 4, p.616-828. São Paulo: 2014.



NEWSON, Malcolm D.; NEWSON, C. L. **Geomorphology, Ecology and River Channel Habitat: Mesoscale Approaches to Basin-Scale Challenges.** *Progress in Physical Geography*, v. 24, p. 195-221, 2000.

NEVES, Sérgio Pacheco; MARIANO, Gorki; SILVA, José Maurício Rangel da. **Geologia e Recursos minerais da folha Surubim, SB.25-Y-C-IV: estados de Pernambuco e Paraíba.** Recife: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2017. 96.

POOLE Geoffrey C. **Fluvial Landscape Ecology: Addressing Uniqueness Within the River Discontinuous.** *Freshwater Biology*, v. 47, p. 641-660, 2002.

ROCHA, Dunaldson Eliezer Guedes Alcoforado da. 1990. **Programa de levantamento geológico básico do Brasil: carta metalogenética/previsional. Escala 1/100.000 (folha Sc. 25-V-A-II-Vitória).** Estado de Pernambuco. Brasília DNPM/CPRM. 112p

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barboda de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: Rima, 2003.

SILVA, Alexandre Marco da.; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de. “Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental”. In: **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2007.

SILVA, Drielly Naamma Fonsêca da. **Reconstrução da Paisagem Geomorfológica através da Assinatura Geoquímica dos eventos deposicionais da bacia do rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco.** Dissertação (Mestrado) Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE. Recife, 2012.

SCHUMM, Stanley Alfred. **A tentative classification of alluvial river channels.** U.S. Geol. Surv. Circ., n.477, p.1 – 10, 1963.

TEIXEIRA, Cristiane Marques de Lima. **A Terminação Oriental da Zona de Cisalhamento Pernambuco Leste e seu Magmatismo associado.** Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE. Recife, 2011.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** Tese (Doutorado), Ciências Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.