



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE BACHARELADO PLENO EM GEOGRAFIA**

YAN CARLOS DA ROCHA VASCONCELOS

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA, MORFOGRÁFICA E MODELAGEM DE
PALEOSUPERFÍCIES DAS BACIAS DOS RIOS IPANEMA E TRAIPU**

**Maceió, Alagoas
2023**

YAN CARLOS DA ROCHA VASCONCELOS

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA, MORFOGRÁFICA E MODELAGEM DE
PALEOSUPERFÍCIES DAS BACIAS DOS RIOS IPANEMA E TRAIPU**

Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Bacharel em Geografia pelo Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador: Prof. Dr. Kleython de Araújo Monteiro.

**Maceió, Alagoas
2023**

Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Jorge Raimundo da Silva – CRB-4 - 1528

V331a Vasconcelos, Yan Carlos da Rocha.

Análise morfométrica, morfográfica e modelagem de Paleosuperfícies das bacias dos Rios Ipanema e Traipu / Yan Carlos da Rocha Vasconcelos. 2023.

39 f. : il.

Orientador: Kleython de Araújo Monteiro.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia: Licenciatura) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Curso de Licenciatura em Geografia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 36-39.

1. Análise morfométrica. 2. Análise morfográfica. 3. Paleosuperfícies.
4. Bacia hidrográfica. I. Título.

CDU: 551.4 (813.5)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família por todo o suporte e apoio dado durante essa jornada.

À minha querida companheira, Rayane, que esteve comigo por grande parte desses anos, me apoiando, dando forças e incentivando quando as coisas ficavam difíceis.

Ao meu orientador, que com toda paciência do mundo não desistiu de mim, pelos esporros e aprendizados que levarei para a vida.

Aos meus amigos do NEquat, Jonas, Jardel, Panta, João, Kallyne, Lais, Gabriel, Álvaro, Mayara, Alan e Waguinho por todos os momentos que passamos juntos durante esse tempo, pelas brincadeiras, viagens de campo, reuniões e principalmente pelo aprendizado que adquiri com todos vocês.

Aos meus amigos da turma 2017.2, em especial ao Toni, Thamy, Deisy, Gomes, Diva, Renato, estes que estiveram sempre comigo, em momentos difíceis e de descontração, sendo muitas vezes a solução para dias difíceis, muito obrigado meus amigos, que nossa amizade prevaleça até o fim.

Aos meus amigos ouvintes da música popular coreana, Jhessye, Aylla, Sarah, Dora, Netto, Why e Eddie.

Aos meus amigos do famoso SI_ersp_2017, Cherry, John, Caça Rato, Yan, Lucas, Hermerson, Leo, Guilherme, Anderson, Syd e Sub-15.

Aos meus amigos de trabalho, Alice, Alisson, Natalia, Chiara, Beth, Washington, Silmara, Ednaldo e Rilton que me acompanharam durante grande parte dessa etapa da minha vida,

Aos professores do IGDEMA pela formação e a tudo que aprendi durante esses anos, em especial ao Alfredo pela indicação ao Nequat no início do curso e ao Kinsey pela amizade que criei.

E não menos importante, todos aqueles que não mencionei aqui, mas que contribuíram para esse importante momento da minha vida.

Muito obrigado à todos!

RESUMO

Neste estudo, a aplicação de técnicas de geoprocessamento permitiu a construção de dados que aprimoraram a compreensão das estruturas e processos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Ipanema e Traipu. O processamento de dados ocorreu em um ambiente SIG, com o uso de programas como QGIS, ArcGIS e Surfer, além do Excel para a elaboração de tabelas. Os parâmetros morfométricos, como hierarquização das drenagens, índice de densidade de drenagem e índice de rugosidade do relevo, foram aplicados para avaliação. A análise morfográfica envolveu a extração de pontos cotados e a identificação de modelos de paleosuperfícies. Observou-se que ambas as bacias apresentam uma hierarquia de 5ª ordem, com baixa densidade de drenagem e poucas áreas com alta rugosidade. Além disso, foram identificados três setores em ambas as bacias, associados ao Planalto da Borborema e à Depressão do Baixo São Francisco. Os resultados obtidos por meio desses parâmetros foram satisfatórios, destacando a utilidade dos índices na análise e compreensão da evolução morfológica das bacias estudadas, tendo como objetivo avaliar as propriedades morfométricas e morfográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema e da Bacia Hidrográfica do Rio Traipu, ambas franciscanas.

Palavras-Chave: Análise morfométrica, análise morfográfica, paleosuperfícies.

ABSTRACT

In this study, the application of geoprocessing techniques enabled the construction of data that enhanced the understanding of the structures and processes in the Hydrographic Basins of the Ipanema and Traipu Rivers, both of which belong to the São Francisco region. Data processing took place in a GIS environment, using software programs such as QGIS, ArcGIS, and Surfer, in addition to Excel for table preparation. Morphometric parameters, such as drainage hierarchy, drainage density index, and relief roughness index, were applied for evaluation. Morphographic analysis involved the extraction of elevation points and the identification of paleosurface models. It was observed that both basins exhibit a 5th-order hierarchy, with low drainage density and few areas with high roughness. Furthermore, three sectors were identified in both basins, associated with the Borborema Plateau and the São Francisco Lowland. The results obtained through these parameters were satisfactory, highlighting the utility of the indices in the analysis and understanding of the morphological evolution of the studied basins, with the aim of evaluating the morphometric and morphographic properties of the Ipanema River Basin and the Traipu River Basin, both within the São Francisco region.

Keywords: Morphometric analysis, morphographic analysis, paleosurfaces.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Modelos de evolução do relevo. Evolução das superfícies de aplainamento segundo Davis, Penck e Hack.....	18
FIGURA 2 - Mapa de localização da BHRI e BHRT.	20
FIGURA 3 - Mapa geológico da BHRI e BHRT.	22
FIGURA 4 - Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem.....	27
FIGURA 5 - Hierarquia de drenagem da BHRI e BHRT.....	28
FIGURA 6 - Densidade de drenagem da BHRI e BHRT.....	30
FIGURA 7 - Rugosidade de relevo global da BHRI e BHRT.....	32
FIGURA 8 - Modelo de Paleosuperfícies da BHRI e BHRT.....	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Valores de densidade de drenagens da BHRI e BHRT 29

TABELA 2 - Superfícies de aplainamento de King e as encontradas nesse estudo.....36

LISTA DE SIGLAS

BHRI – Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema

BHRI – Bacia Hidrográfica do Rio Traipu

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

DD – Densidade de Drenagem

ICR – Índice de Concentração de Relevo

MDE – Modelo Digital de Elevação

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
	Processos erosivos	14
	Formas de relevo	14
	O ciclo erosivo de Davis.....	15
	O Sistema de Walther Penck	16
	O Sistema de John T. Hack	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	Caracterização da área de estudo	19
3.2	Geologia das bacias	21
3.2	Materiais	23
3.3	Procedimentos metodológicos	23
3.3.1	Hierarquização de drenagem.....	23
3.3.2	Índice de densidade de drenagem.....	24
3.3.3	Índice de Concentração de Relevo.....	25
3.3.4	Modelo de Paleosuperfícies	26
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	27
4.1	Hierarquização de drenagem.....	27
4.2	Densidade de drenagem	29
4.3	Índice de concentração de rugosidade	31
4.4	Modelagem de paleosuperfície	33
4.5	Bacia do rio Ipanema.....	35
4.6	Bacia do rio Traipu	35
5.	CONCLUSÕES	37
6.	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A Geomorfologia é uma ciência que tem como seu objeto de estudo a superfície da crosta terrestre e suas formas de relevo, apresentando uma forma específica de análise que se refere ao relevo e os processos atuantes nele. Nesse sentido, Christofolletti (1980) afirma que as formas são as expressões espaciais de uma superfície e que a análise destas e seus processos fornece o entendimento da sua configuração atual, visto que a paisagem geomorfológica é uma etapa que está inserida em uma sequência de eventos ocorridos no passado e eventos que virão a ocorrer no futuro.

Nesse sentido, sabe-se que as bacias hidrográficas são importantes componentes modeladores da paisagem e se comportam de diferentes formas a partir de diversos fatores, como por exemplo a ação climática, sua estrutura geológica, seu relevo, entre diversos fatores. Devido a isso, as bacias hidrográficas vêm a ser agentes fundamentais na modelagem da paisagem, devido às forças e processos que atuam na paisagem, tais como erosão, transporte de sedimentos e deposição. Estes processos influenciam significativamente a forma e a textura do terreno ao longo do tempo. Dessa forma, a aplicação de parâmetros morfométricos e morfográficos torna-se um passo de grande importância para a análise e compreensão de sua estrutura além da sua evolução dinâmica ao longo do tempo.

Partindo deste pressuposto, entende-se que a análise de uma bacia hidrográfica passa a ser um processo de grande importância para os estudos sobre a dinâmica da paisagem. Dessa forma, através de Gerasimov & Mescherikov (1968), é utilizado o termo morfoestrutura, definido por eles como sendo uma paisagem em elevado grau de evolução das formas, onde há uma combinação entre o elemento “estável” (estrutura geológica pré-existente) com o elemento dinâmico (agentes exógenos) que modelam a superfície.

Portanto, é nesta perspectiva que este trabalho se objetiva, a partir da aplicação de índices morfométricos, morfográficos e modelagem de paleosuperfícies, com intuito de classificar e hierarquizar as drenagens de tais áreas abordadas, além de revisitar o relevo antes da dissecação atual. As áreas que serão estudadas nesse trabalho tratam-se da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema e a Bacia Hidrográfica do Rio Traipu, ambas franciscanas, desaguando no rio São Francisco. A bacia do rio Ipanema se encontra em grande parte no Planalto da Borborema enquanto a bacia do rio Traipu drena a porção sul do rebordo oriental

da Borborema. Estes rios se mostram como sendo de elevado nível de importância, pois a compreensão de suas dinâmicas geomorfológicas pode contribuir para informações acerca dos seus componentes naturais.

Com o intuito de obter informações precisas, tendo em mente a necessidade de compreensão da dinâmica geomorfológica das bacias, é de grande importância a aplicação de métodos geomorfológicos tradicionais e mais atualizados, tais como: revisão teórica e metodológica, construção do Modelo Digital de Elevação (MDE), extrair e hierarquizar as drenagens, aplicar índice de densidade de drenagem e rugosidade do relevo, extrair pontos cotados e identificar paleosuperfícies, na área das bacias. Estas análises auxiliam a compreensão dos processos e estruturas presentes nas bacias, permitindo inferir a dinâmica evolutiva das mesmas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processos erosivos

Para a geomorfologia, há a ideia que de as formas de relevo estão em constante evolução durante o passar do tempo, e essa evolução ela ocorre decorrente dos processos morfogenéticos. Nesse sentido, a paisagem geomorfológica é uma etapa contida em uma imensa sequência de eventos ocorridas no pretérito e etapas a ocorrer no futuro (TAVARES, 2010).

Com isso, a erosão vem ser a um dos principais mecanismos modeladores do relevo terrestre, onde de acordo com Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), os fenômenos associados à formação das erosões são comandados por dois conjuntos de fatores ou condicionantes principais: os naturais, que determinam a intensidade dos processos, destacando-se como mais importantes a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato geológico; e os antrópicos, como no caso do desmatamento, a mineração e as formas de uso e ocupação do solo (agricultura, obras civis, urbanização etc.), que deflagram o processo erosivo imediatamente ou após certo intervalo de tempo.

2.2 Formas de relevo

As formas de relevo são representações de superfícies considerando suas expressões espaciais no qual está intimamente relacionada as diferentes configurações da paisagem em termos de sua morfologia.

Dessa forma, Christofolletti (1980) define que para que as formas existam, elas primeiro foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. Onde vai definir processo como sendo uma sequência de ações regulares e contínuas que se desenvolvem de maneira relativamente bem especificada e levando a um resultado determinado.

Portanto, é levado em consideração que a relação entre as formas e os processos vão ser o objetivo central da ciência geomorfológica, onde as formas, os processos e as relações constituem o sistema geomorfológico, que é um sistema aberto pois recebe influencias e também atua sobre outros sistemas componentes de seu universo (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Analisar as formas e seus processos formadores do relevo vem a ser crucial para se ter conhecimento acerca dos aspectos e dinâmica atual da topografia, tendo em vista as diferentes condições climáticas que afetam diretamente a paisagem, viabilizando uma maior compreensão de como as forças naturais a moldaram e permitindo entender desenvolvimento das formas de relevo esculpidas ao longo do tempo pelas forças destrutivas, como a erosão e também as originadas nos ambientes onde ocorre a deposição de matérias, como é o exemplo dos rios e oceanos.

Isso proporcionou o desenvolvimento de diferentes teorias propostas por grandes autores para buscar compreender melhor como ocorrem esses processos. Essas teorias e sua aplicação vão diferir a partir de autor para autor, o momento no qual foram aplicadas e as técnicas disponíveis naquele momento.

2.3 O ciclo erosivo de Davis

O sistema de William Morris Davis (1889) teve como fundamento o conceito de nível de base de Powell (1875), que sugere que o processo de denudação tem início a partir de um rápido soerguimento continental. Com o gradiente produzido pelo soerguimento em relação ao nível de base geral, o sistema fluvial atua de forma incisiva produzindo entalhamento de talwegues, originando canyons, que caracterizam o estado denominado de “estágio jovem”. A ideia central é que os rios não podem erodir abaixo de seu nível de base, onde Davis complementou o conceito de nível de base com outro conceito fundamental, o conceito de “equilíbrio”, para o que se utilizou da ideia de balanço entre erosão e a deposição (CASSETI, 2001).

Com o estabelecimento do perfil de equilíbrio, o trabalho comandado pela incisão vertical do sistema fluvial desaparece, gerando condições para que ocorra o estágio de maturidade, que é caracterizado pelo rebaixamento do relevo através de processos *weating-down*, onde dentro deste cenário torna-se necessário assumir a continuidade de estabilidade tectônica.

Por fim, tem-se a total horizontalização topográfica, alcançando o estágio de senilidade, quando a morfologia seria representada por extensos “peneplanos” às vezes interrompidos por formas residuais determinadas pela diferença de resistência litológica, tais formas são denominadas como monadnocks.

Para Davis (1899), o relevo, ao atingir o estágio de senilidade, seria submetido a novo soerguimento rápido, que implicaria nova fase, denominada rejuvenescimento, dando sequência ao ciclo evolutivo da morfologia.

Em síntese, a formulação evolucionista utilizada por Davis é contestada pelo excessivo idealismo, discutível generalização do ciclo e limitação temporal da geodinâmica responsável pelo estágio final do equilíbrio hidrológico. Estes elementos constituíram os pressupostos básicos de sua teoria, a qual implica concepção orgânica do relevo e ao mesmo tempo uma simplificação do sistema de referência (LEUZINGER, 1948).

2.4 O Sistema de Walther Penck

O W. Penck um dos principais críticos do Ciclo Erosivo de Davis, tendo como principal ponto, a afirmação que a emersão e a denudação aconteciam ao mesmo tempo, assim, atribuindo importância aos efeitos processuais. As críticas de Penck fundamentam-se no método empregado por Davis e na ausência de conexão com a ciência geográfica, uma das principais preocupações da escola germânica (CASSETI, 2001).

A proposta de Penck (1924) busca demonstrar a relação entre entalhamento do talvegue e efeitos denudacionais em função do comportamento da crosta, que poderia se manifestar de forma intermitente e com intensidade variável, contestado o modelo apresentado por Davis: rápido soerguimento da crosta com posterior estabilidade tectônica, até que se atingisse a suposta senilidade, quando nova instabilidade proporcionaria a continuidade de forma cíclica da evolução morfológica.

De acordo com Penck, o valor dependência do grau de soerguimento da crosta, o que proporcionaria evidências morfológicas ou grupos de declividades vinculados à intensidade da erosão dos canais fluviais, submetidos aos efeitos tectodinâmicos, no primeiro instante a incisão é relativamente incipiente, compatível com a intensidade do soerguimento; nas demais situações é progressivamente maior, refletindo o grau de soerguimento.

Penck (1924) propunha que em caso de forte soerguimento da crosta, haveria uma incisão correspondente do talvegue, que por sua vez implicaria na aceleração dos efeitos denudacionais em razão do aumento do gradiente da vertente, desta forma admite-se que o efeito denudacional não acompanharia de intensidade do entalhamento do talvegue, tem-se o desenvolvimento de vertentes convexas. Desta forma conclui-se que Penck levou em

consideração a noção de nível de base local e a correspondência entre soerguimento, incisão e denudação, valorizando a relação processual, própria da concepção germânica.

Uma segunda situação apresentada por Penck (1924) é de que, existindo um soerguimento moderado da crosta, com proporcional incisão do talvegue, poderia ocorrer uma compensação equilibrada pelos efeitos denudacionais, proporcionando o desenvolvimento de vertentes retilíneas ou manutenção do ângulo de declividade, o que foi denominado por ele de “superfície primária”.

Desta forma é possível concluir sob a perspectiva de Penck, que a ascensão da crosta é pequena, ocorre um fraco entalhamento do talvegue sendo a denudação superior o que proporciona o desenvolvimento de vertentes côncavas.

Em suma, enquanto a forma convexa implica período de crescente intensidade de erosão, a forma côncava é prova de enfraquecimento erosivo ou de intensidade de erosão decrescente.

2.5 O Sistema de John T. Hack

O princípio básico da teoria do equilíbrio dinâmico de Hack (1960) é que o relevo é um sistema aberto, mantendo constante troca de energia e matéria com os demais sistemas terrestres, estando vinculado à resistência litológica. Enquanto a proposta de Penck considera o modelado como resultado da competição entre o levantamento e a erosão, Hack o considera como produto de uma competição entre a resistência dos materiais da crosta terrestre e o potencial das forças de denudação.

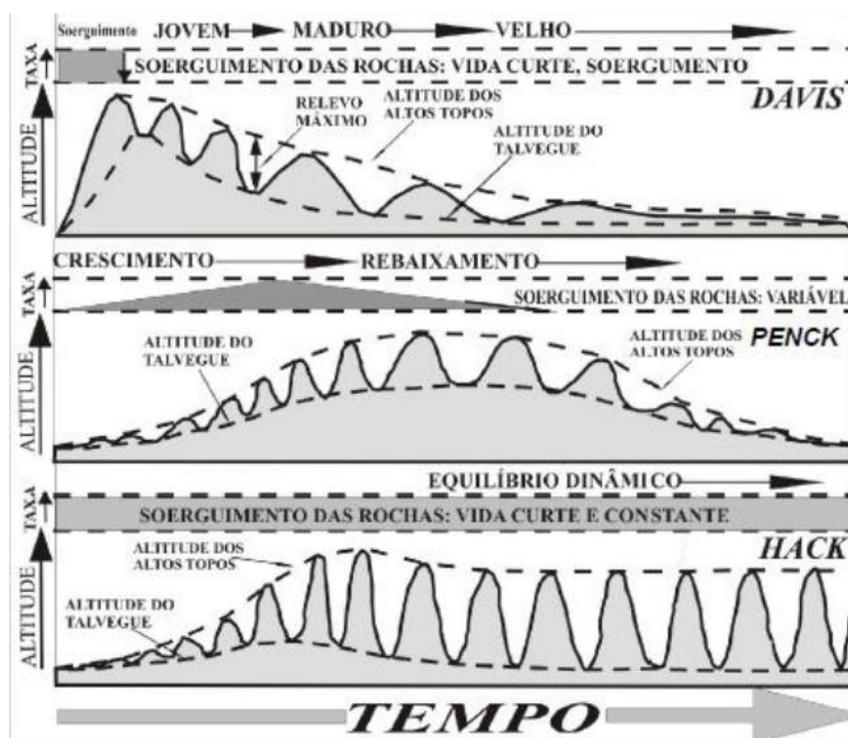
Gilbert (1877) foi o primeiro a tentar explicar a evolução do relevo com base no equilíbrio dinâmico, embora intuito de interpretar a topografia do vale do Shenandoah, na região dos Apalaches, levando em consideração as características das redes de drenagem e das vertentes.

A teoria supõe que em um sistema erosivo, todos os elementos da topografia estão ajustados e todas as suas modificações devam mutuamente na mesma proporção. Assim as formas e os processos encontram-se em estado de estabilidade e podem ser considerados como independentes do tempo. As diferenças e características das formas são explicadas em termos espaciais, nos quais os padrões geológicos são primeiramente considerados (HACK, 1972).

Para Chistofolletti (1980), no equilíbrio dinâmico são tratadas as propriedades inerentes aos sistemas abertos, estas propriedades irão facilitar a interpretação dessa abordagem. O sistema aberto pode atingir o equilíbrio quando a importação e exportação de energia estiverem equacionadas, no qual, esse equilíbrio será decorrente de um ajustamento das formas e geometrias do próprio sistema. O ajustamento dos componentes do sistema ocorre por conta do sistema de auto-regulação, além do fato de que esses elementos estão em interdependência entre eles, onde, sempre que houver uma alteração em parte desse sistema, essa alteração será comunicada rapidamente a todos os outros componentes do sistema.

Com isso, a teoria do equilíbrio dinâmico de Hack, demonstra que as formas não são estáticas e imutáveis e que são mantidas a partir do fluxo de matéria e energia que passa pelo sistema (TAVARES, 2010). Com o passar do tempo, as formas da paisagem vão sendo removidas e retrabalhadas implicando em alterações de algumas propriedades geométricas, como o rebaixamento do relevo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Figura 1 - Modelos de evolução do relevo. Evolução das superfícies de aplainamento segundo Davis, Penck e Hack.



Fonte: Burbank E Anderson, 2001.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

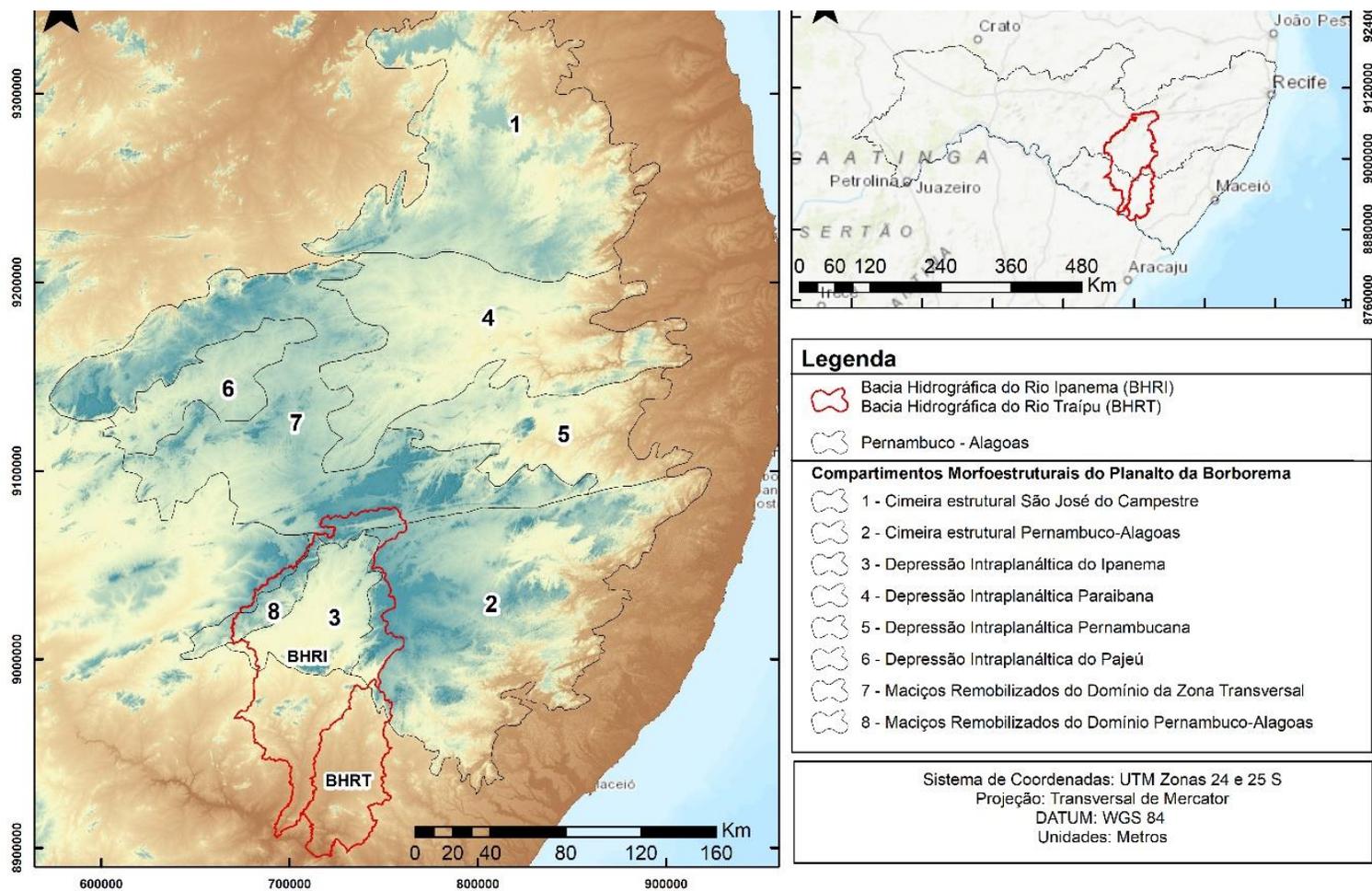
3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende duas das principais bacias hidrográficas que desagüam no setor do Baixo São Francisco: Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema (BHRI) e Bacia Hidrográfica do Rio Traipu (BHRT) (Figura 2).

As bacias estudadas drenam as águas correspondentes a 4 de 8 unidades dos compartimentos geomorfológicos estabelecidos por (Corrêa et al, 2010). A bacia hidrográfica do rio Ipanema tem parte de sua área inserida em diferentes compartimentos do planalto da Borborema. Sua nascente se encontra no compartimento dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, no qual é a área mais afetada pelos arqueamentos que atuaram sobre o planalto, exibindo as cimeiras mais elevadas e os relevos mais vigorosos Corrêa et al. (2010). Maior parte da área da bacia sob o planalto da Borborema se encontra drenando suas águas no compartimento denominado como Depressão Intraplanáltica do Ipanema, que corresponde ao pediplano escalonado ao sul do Lineamento Pernambuco. Esta área foi provavelmente afetada pelos mesmos eventos que alçaram as demais unidades que compõem o Planalto da Borborema.

A bacia hidrográfica do rio Traipu possui uma pequena área de suas drenagens sob um dos compartimentos localizado no planalto da Borborema, denominada de Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, setor esse onde predominam as cristas e relevos residuais e possui uma topografia marcada pelas cimeiras planas com espesso manto de argissolos e neossolos, cuja elevação varia de 600 a 700 metros Corrêa et al., (2010).

Figura 2 - Mapa de localização da BHRI e BHRT.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

3.2 Geologia das bacias

A geologia das bacias estudadas data litologias desenvolvidas durante o período do arqueano ao cenozoico, havendo uma predominância para rochas cristalinas nas duas bacias. As áreas ocupadas por rochas granulares e/ou material inconsolidado se limitam a alguns pontos da área total. Materiais do cenozoico ocupam apenas uma pequena porção ao sudoeste da BHRT, constituído basicamente por depósitos colúvio-eluvionais. Do paleozoico, ocupa a porção central da BHRI a suíte intrusiva Águas Belas.

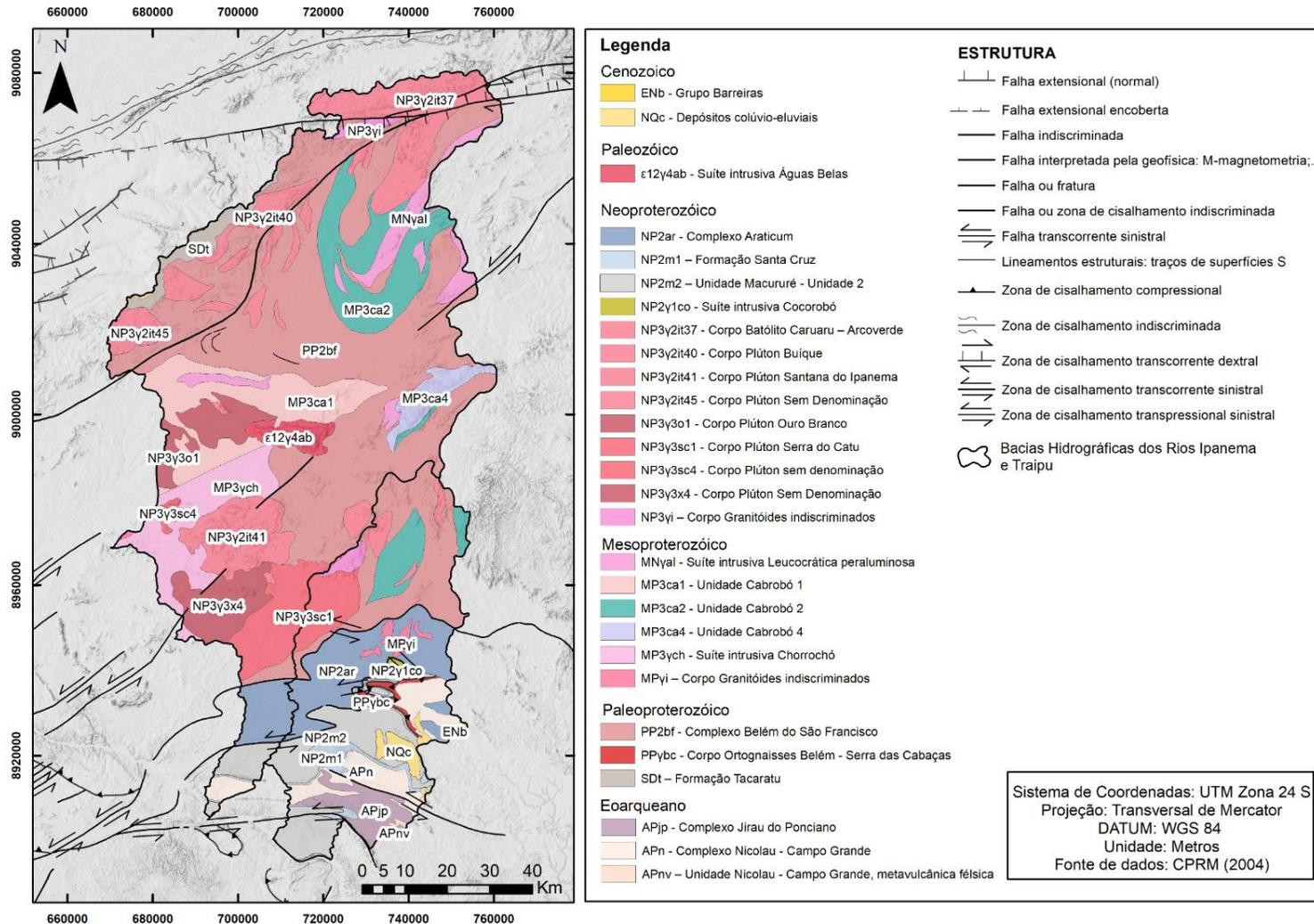
Ocorre uma predominância das rochas neoproterozóica na área das duas bacias, relacionadas ao Complexo Aricatum, Corpo Plúton Serra do Catu, Santana do Ipanema e Buíque, onde há a ocorrência de metagranitóides, granitos, sienitos, dioritos, ortognaisses, quartzitos, parigmatitos e paragnaisses (CPRM, 2004).

As rochas mesoproterozóica mais abundantes são relacionadas ao Complexo Cabrobó, ocupando porções da BHRT e BRHI, como as: biotitas, granitoides indiscriminado e micaxistos.

As rochas da idade paleoproterozóicas possui uma predominância sob a área central da BHRI, no qual estão relacionadas ao Completo Belém do São Francisco. Há uma ocorrência também no setor sul da BHRT no qual estão ligadas ao Corpo Ortognaisses Belém.

As composições mais antigas, relacionadas a idade eoarqueana, estão localizadas em maior parte ao setor sul da BHRT, relacionadas ao Completo Jirau do Ponciano e Complexo Nicolau – Campo Grande, composta por ortognaisses bandados a migmatitos (CPRM, 2004).

Figura 3 - Mapa geológico da BHRI e BHRT.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

3.2 Materiais

Para a realização desse trabalho, inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica acerca do contexto geológico e geomorfológico, buscando levantar informações sobre as áreas de interesse desta proposta. Posteriormente foi utilizado o MDE (Modelo Digital de Elevação) das bacias para a análise a partir da utilização de SIGs (Sistema de Informação Geográfica), onde foram realizados os procedimentos de tratamento dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), para a delimitação das bacias dos rios Ipanema e Traipu.

Para a confecção dos mapas foram utilizados procedimentos em ambiente GIS que possibilitou a criação dos mapas de localização, geológico, hierarquia de drenagem, densidade de drenagem, rugosidade de relevo global e o Surfer que viabilizou a criação do modelo de paleosuperfície. Para a confecção da tabela, utilizou-se o Excel 2016.

3.3 Procedimentos metodológicos

3.3.1 Hierarquização de drenagem

A hierarquia de drenagem é uma técnica utilizada para classificar e organizar os cursos de água de uma bacia hidrográfica em ordem de tamanho, desde as correntes de água mais largas e dominantes até as mais pequenas e secundárias através de uma representação da estrutura da rede hidrográfica de uma área baseando-se na largura, profundidade e vazão dos cursos de água.

A metodologia para hierarquização de drenagem é importante porque permite identificar as principais correntes de água e sua organização na bacia, bem como avaliar as interações entre os diferentes cursos de água e sua influência na dinâmica da bacia. Sendo possível obter valiosas informações sobre a estrutura da rede hidrográfica e pode ser usada para avaliar o potencial de erosão, sedimentação e inundação, bem como para planejar e gerenciar projetos de gestão de recursos hídricos. Além disso, a hierarquização de drenagem pode ser utilizada como uma melhor forma para compreender a dinâmica de escoamento de água, assim como a gestão de recursos hídricos.

Segundo Christofolletti (1980) a hierarquia fluvial consiste no processo de classificação de curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado com a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias

hidrográficas. Quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior é a fragilidade da paisagem, pois os mesmos indicam maior dissecação do relevo, que pode ser provocada por controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos.

Neste trabalho, para a hierarquização das drenagens foram adotadas as proposições de Strahler (1952). Nesta metodologia o autor propôs a seguinte classificação: os menores segmentos de rios sem afluentes são considerados de 1ª ordem, e a união de dois trechos de primeira ordem irá gerar uma drenagem de 2ª ordem, assim, recebendo apenas canais de 1ª ordem; a junção de dois afluentes de 2ª ordem irá gerar um canal de 3ª ordem e só receberá canais de 1ª e 2ª ordem e assim sucessivamente, até a última ordem que corresponde a ordem geral da bacia considerada.

3.3.2 Índice de densidade de drenagem

Este índice se trata de um importante parâmetro para a análise morfométrica de uma bacia hidrográfica, sendo ele uma medida utilizada para avaliar a distribuição espacial dos cursos de água em uma bacia hidrográfica.

O índice de densidade de drenagem pode fornecer informações valiosas sobre a dinâmica da bacia, como o grau de drenagem, a eficiência da drenagem, a organização dos cursos de água e a influência da topografia e do clima na formação da bacia. Além disso, a densidade de drenagem pode ser utilizada para avaliar o impacto de ações antrópicas, como a construção de barragens, a urbanização e a degradação ambiental, na dinâmica da bacia e na qualidade da água. Áreas com uma densidade de drenagem alta tendem a ter mais curtos e mais intensos cursos de água, enquanto áreas com uma densidade de drenagem baixa tendem a ter cursos de água mais largos e pouco profundos.

Dessa forma, essa metodologia vem a ser uma medida de grande importância para os estudos geomorfológicos, levando em consideração a grande possibilidade de avaliar a capacidade de escoamento da água, potenciais processos erosivos, além de prever momentos propícios a inundações e deslizamentos de terra. Além de ser uma importante ferramenta para avaliação da suscetibilidade da bacia a processos erosivos e para planejamento e gestão de recursos hídricos.

Portanto, a densidade de drenagem é definida por Horton (1945) como a entre a comprimento total dos cursos de água na bacia e a área total da bacia. Para se obter o cálculo,

levando em consideração todos os rios (perenes e temporários) de dentro da bacia. Dessa forma, para se obter os valores necessários para a análise é utilizada a seguinte equação:

$$DD = Lt/A$$

Onde: Lt – comprimento total dos rios;

A – área da bacia.

Para a aplicação desta metodologia foram adotadas as preposições de Beltrame (1994), no qual ele sugere uma classificação em faixas, onde: os valores menores que 0,50 são classificadas como baixas; já valores entre 0,50 – 2,00 serão medianas; enquanto valores 2,01 – 3,50 serão altas e acima de 3,50 classifica-se como muito altas.

3.3.3 Índice de Concentração de Relevo

O Índice de Concentração de Relevo (ICR), é uma medida que reflete a rugosidade ou o nível de irregularidade da superfície do terreno, no qual possibilita avaliar a forma e a textura do terreno, onde mostrarão que através de sua aplicação, será possível entender que valores altos de rugosidade de relevo irão indicar uma superfície de terreno bastante irregular, enquanto valores baixos indicam que a superfície é relativamente plana. Sendo um método de fundamental importância na avaliação topográfica, compreender o processo erosivo e entender a drenagem das águas naquela área.

Visando os melhores resultados para o mapeamento morfoestrutural e geomorfológico das bacias estudadas, foram adotadas as propostas de Augustin e Sampaio (2014), no qual possibilitará uma melhor definição das unidades geomorfológicas através da compartimentação e quantificação do relevo a partir da análise dos padrões de distribuição espacial da declividade de dentro da área de estudo. A metodologia foi inicialmente proposta por Melton (1957) para expressar um dos aspectos da análise dimensional da topografia. O índice de concentração de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (Dd) (CHRISTOFOLETTI, 1980), assim:

$$ICR = H * Dd$$

Onde: H – amplitude altimétrica;
 Dd – densidade de drenagem.

Para este trabalho, utilizou-se a metodologia proposta por Augustin e Sampaio (2014), onde os valores entre 0 e 2,5 que representam áreas planas, entre 2,5 e 6 representam áreas suavemente onduladas, entre 6 e 14 áreas onduladas; entre 14 e 30 áreas fortemente onduladas; entre 30 e 45 áreas escarpadas e índices maiores de 45 áreas fortemente escarpadas.

3.3.4 Modelo de Paleosuperfícies

A fim de identificar as superfícies erosivas nas bacias, o modelo de paleosuperfícies vai se tratar de uma representação tridimensional da superfície terrestre em um determinado momento do passado, no qual possibilita entender as mudanças na topografia e nos processos geológicos que afetaram a superfície da Terra ao longo do tempo. Baseando-se na metodologia proposta por Deffontaines (1990 apud TAVARES, 2010), este método tem por objetivo reconstruir a paisagem geomorfológica, possibilitando assim a reconstrução de superfície das áreas de estudo antes da ocorrência da dissecação contemporânea. Para isso, foi construído um modelo tridimensional de paleosuperfície com o objetivo de determinar o mais próximo possível do modelado anterior a dissecação causada pelas extensas redes de drenagens.

Para a construção do modelo de paleosuperfície utilizou-se o *software* Surfer 14, onde a partir da coleta dos dados de longitude, latitude e altitude foi possível interpolar através da importação dos pontos cotados das bacias do rio Ipanema e da bacia do rio Traipu. Após isso, foi construído o modelo e adicionado a ele a modelagem 3D, seguido do perfil transversal cortando ambas as bacias.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

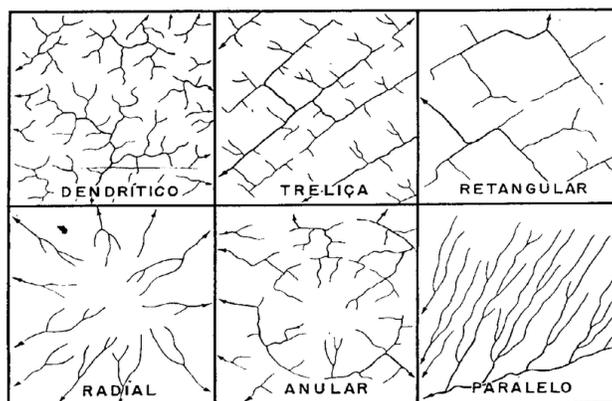
4.1 Hierarquização de drenagem

A determinação da hierarquia fluvial consiste em um dos primeiros procedimentos a ser realizado para o estudo de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1974), uma vez que ele permite uma análise mais detalhada acerca do número de classes obtidas.

Através da obtenção do SRTM e geração das drenagens seguiu-se a aplicação do modelo de hierarquização de drenagem baseado nas colocações de Strahler (1952). Assim, com base na metodologia escolhida, foi possível determinar canais de até quinta ordem para as duas bacias, do rio Ipanema e Traipu (Figura 4). Para Strahler (1952), em um sistema de drenagem bastante desenvolvido podemos prever com certa precisão que canais de primeira ordem e vales são muito mais numerosos que os outros canais de ordem superiores. Há uma grande concentração de canais de primeira ordem. Esses canais eles não possuem tributários e se estende por toda a área das duas bacias, desde suas nascentes até as confluências que irão formar os canais de segunda ordem.

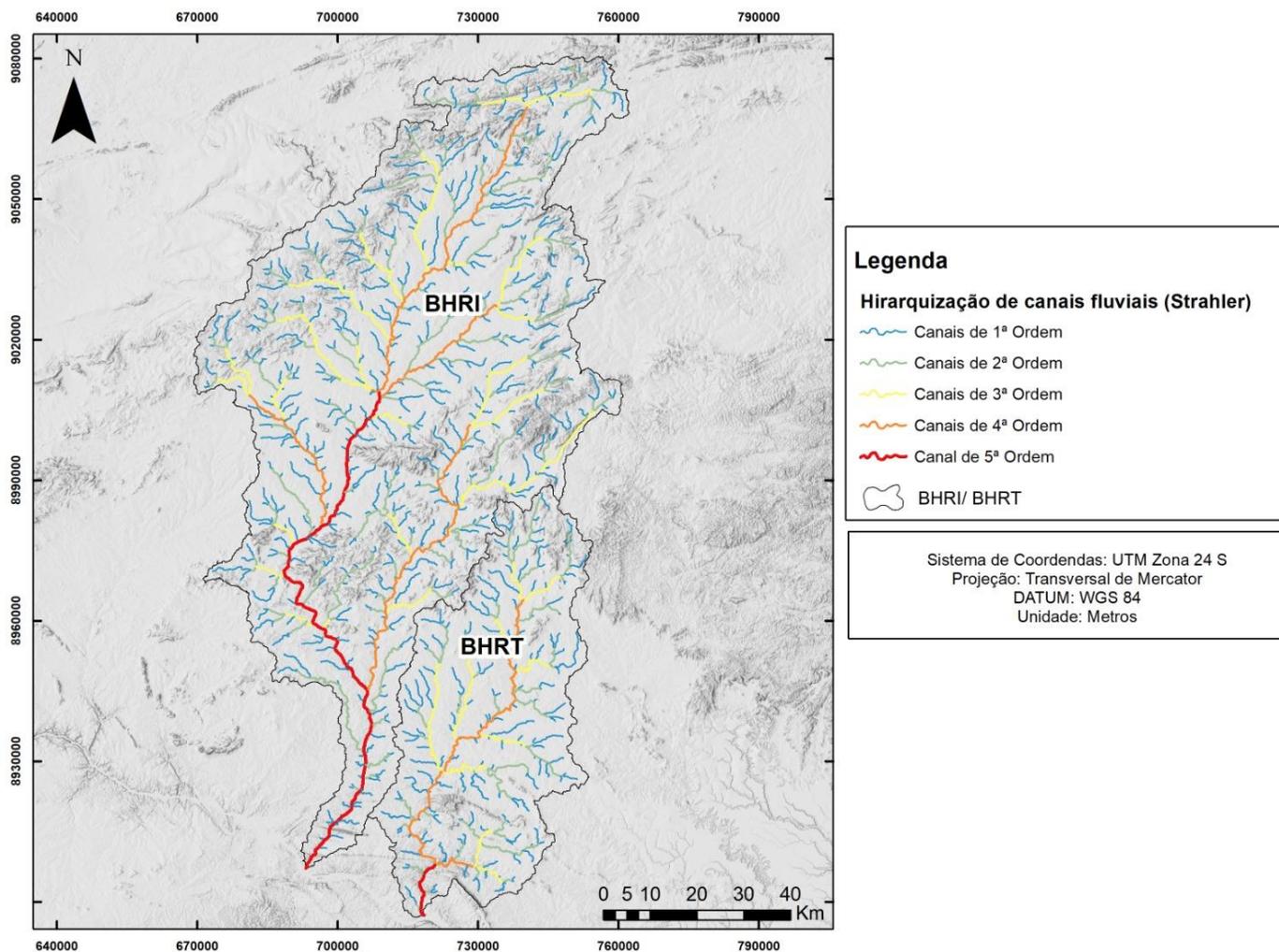
Com base na classificação proposta por Christofoletti (1980), os canais das duas bacias apresentam um provável padrão classificado como drenagem dendrítica. Assim, o mesmo vai comparar esse padrão de drenagem com uma árvore, onde a corrente principal corresponderia ao tronco e os tributários corresponderiam aos seus ramos, distribuindo-se por toda as direções sobre a superfície do terreno.

Figura 4 - Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem.



Fonte: Christofoletti (1980)

Figura 5 - Hierarquia de drenagem da BHRI e BHRT.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

4.2 Densidade de drenagem

Com relação ao índice de densidade de drenagem, a partir do uso da técnica, possibilitou identificar as áreas com altas ou baixas densidades de drenagem.

Portanto, quanto maior o valor do índice de densidade de drenagem, maior será a densidade de canais de drenagem na bacia hidrográfica, indicando que a água é drenada de forma mais eficiente. Por outro lado, valores menores indicam menor densidade de canais de drenagem e, conseqüentemente, menor eficiência na drenagem da água.

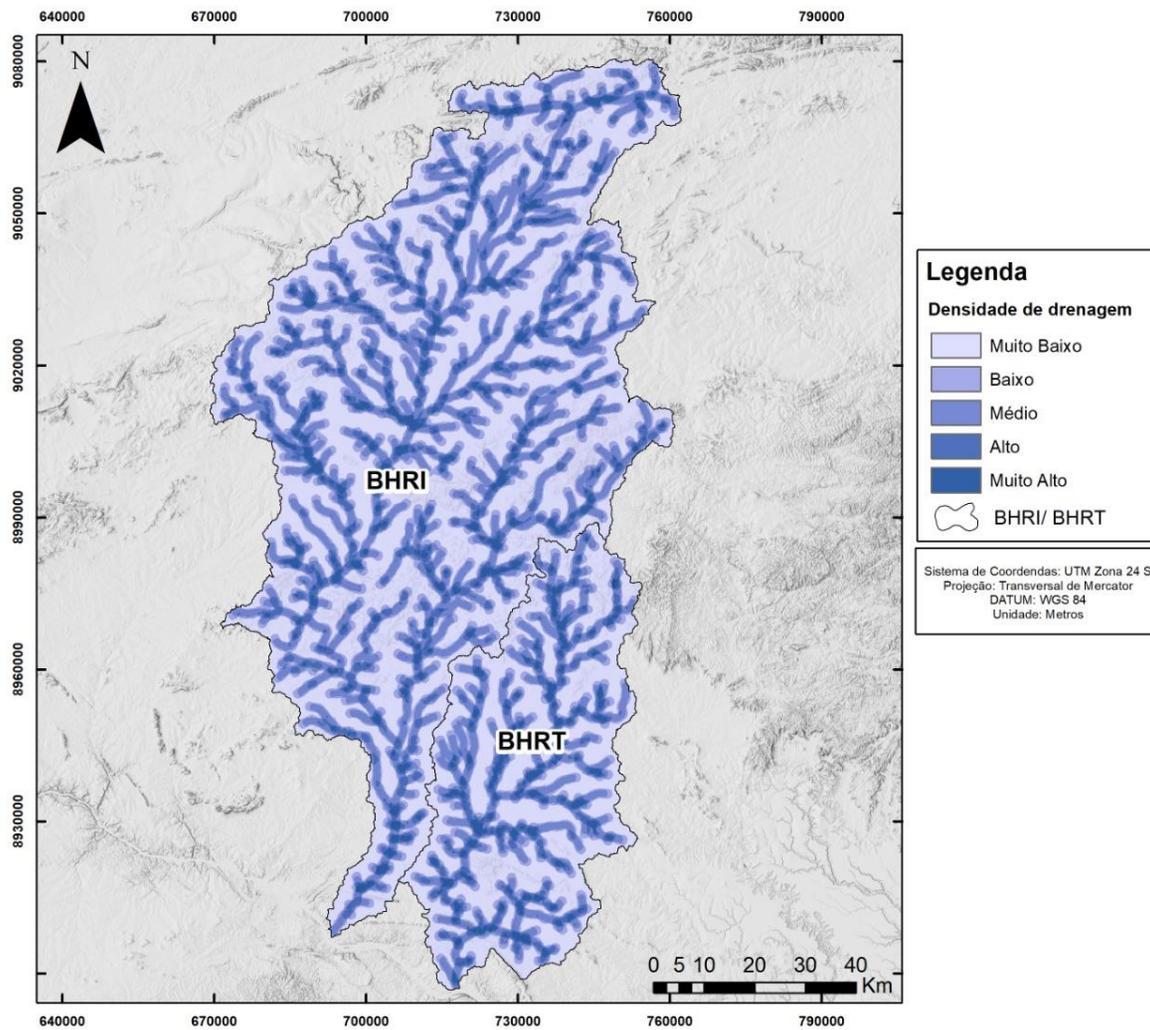
Dessa forma, a partir dos valores das drenagens (Tabela 1) em quilômetros divididos pela área de ambas as bacias em quilômetros quadrado, com base na metodologia escolhida para o trabalho, foi possível obter o valor de 0,389 para a bacia do rio Ipanema e 0,379 para a bacia do rio Traipu. A partir desses valores, pode-se concluir com base na metodologia utilizada que ambas as bacias estão classificadas como bacias com baixas densidade de drenagem (Figura 5). Assim, os valores encontrados sugerem que há um baixo escoamento superficial associado a uma baixa dissecação. Dessa forma, em áreas com menor permeabilidade, o escoamento superficial é maior, possibilitando a criação de canais, e conseqüentemente uma maior densidade de drenagem. O contrário ocorre em áreas com rochas de granulometria grossa.

Tabela 1: Valores de densidade de drenagens da BHRI e BHRT.

Bacia	Comprimento de drenagem (km)	Área da bacia (km²)	Densidade de drenagem (km/km²)
Ipanema	3.064,01	7.884,15	0,389
Traipu	1.008,32	2.661,39	0,379

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Figura 6 - Densidade de drenagem da BHRI e BHRT.



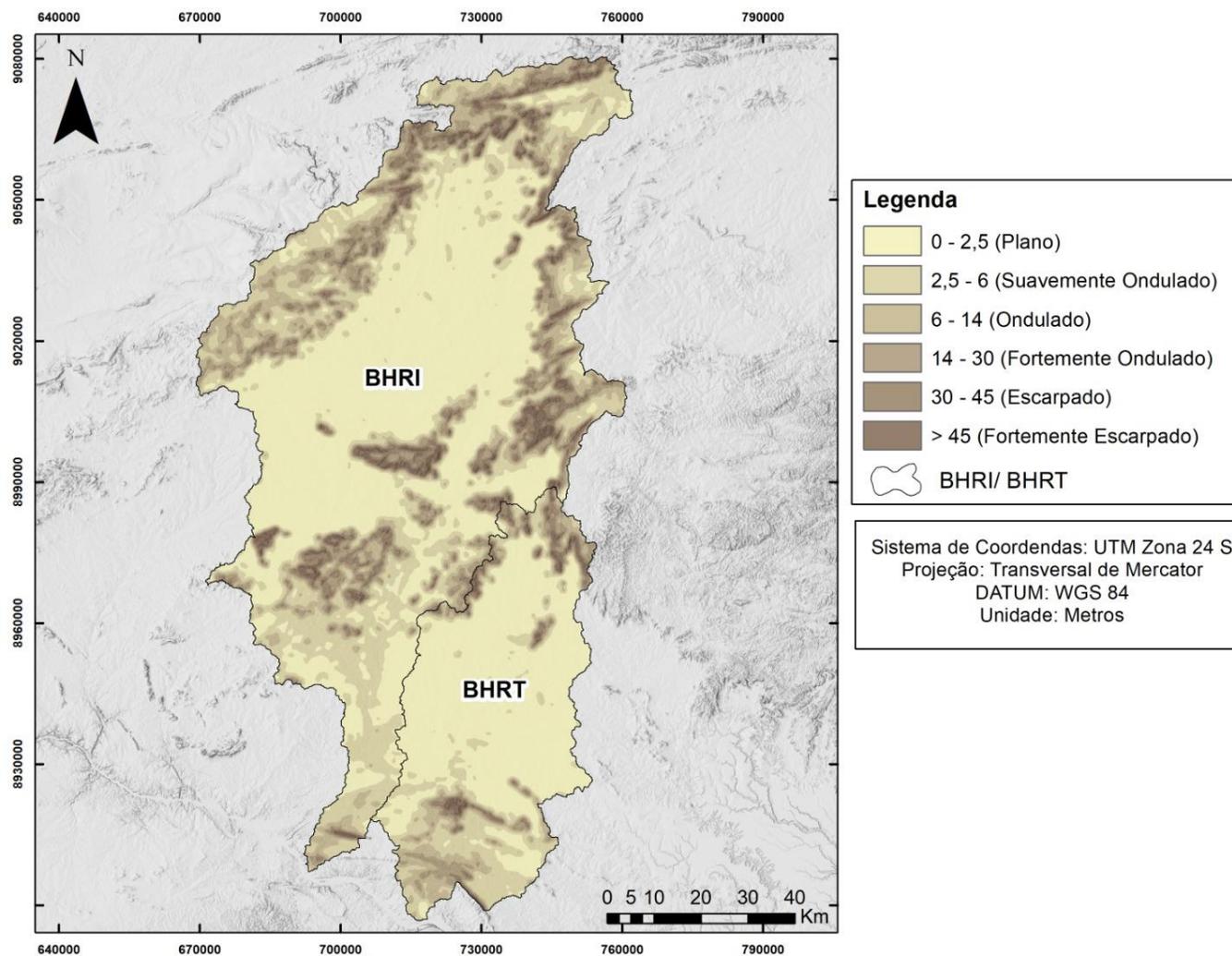
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

4.3 Índice de concentração de rugosidade

Através da metodologia do índice de rugosidade do relevo, foi possível confeccionar o mapa de rugosidade global para as duas bacias, no qual foram estabelecidos intervalos numéricos baseados na metodologia proposta por Augustin e Sampaio (2014).

Portanto, através da observação dos níveis de rugosidade global (Figura 6), possibilitou encontrar cinco classes. As classes suaves ondulada, ondulado, fortemente ondulado se encontram em áreas correspondentes à depressão sertaneja. Identificou-se poucas áreas com níveis escarpados e fortemente escarpados, relacionadas a áreas com marcadas pela maior declividade, no qual essas se encontram predominantemente nas áreas de cabeceiras, tanto na bacia do rio Ipanema quanto na bacia do rio Traipu, e estas áreas são correspondentes escarpas do planalto da Borborema. No entanto, em ambas as bacias, predomina áreas classificadas como suavemente onduladas e onduladas.

Figura 7 - Rugosidade de relevo global da BHRI e BHRT.

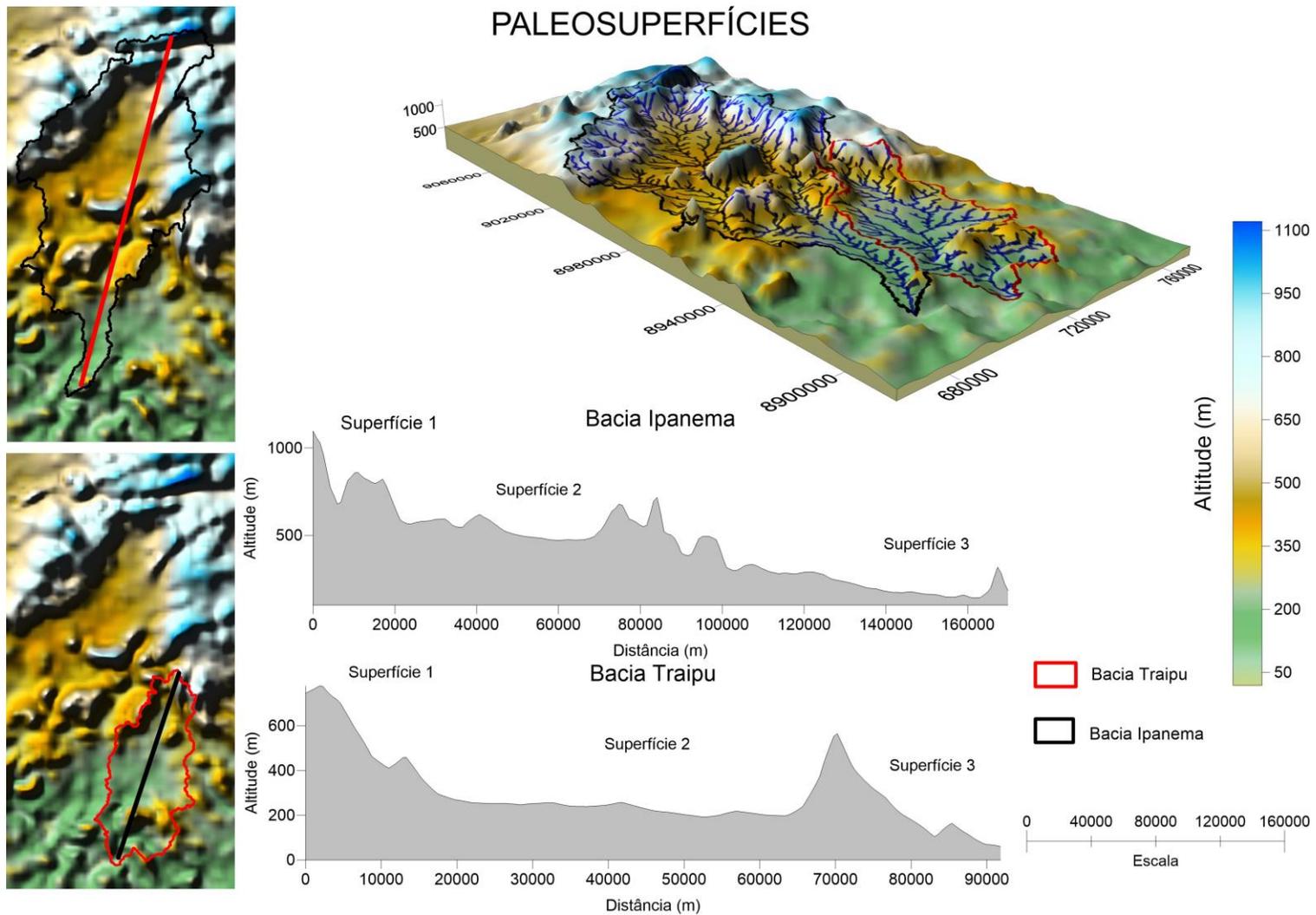


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

4.4 Modelagem de paleosuperfície

A partir da interpretação do modelo tridimensional de paleosuperfície da bacia do rio Ipanema e rio Traipu (Figura 7), foi possível destacar três diferentes superfícies na área da bacia do rio Ipanema e três superfícies para a área da bacia do rio Traipu, onde foi determinado para ambas as bacias: uma superfície elevada, uma superfície intermediária e uma superfície rebaixada.

Figura 8 - Modelo de Paleosuperfícies da BHRI e BHRT.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

4.5 Bacia do rio Ipanema

Superfície 1 – superfície de nível elevado associada ao compartimento dos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal no Planalto da Borborema, com rochas predominantemente do paleoproterozóico em maior parte da bacia e relacionadas ao Complexo Belém do São Francisco, com altitude que variam entre 700m a 1100m. Esta superfície é composta por rochas ígneas e metamórficas.

Superfície 2 – superfície de nível intermediário, abrange áreas dos compartimentos Maciços Remobilizados do Domínio Pernambuco-Alagoas e também da Depressão Intraplanáltica do Ipanema. Sua geologia está relacionada em maior parte ao Complexo Belém do São Francisco, Corpo Plúton Santana do Ipanema, Unidade Cabrobó e Suíte Intrusiva Chorrochó, com ocorrências de maciços e inselbergs e altitude entre 300m a 650m. Composta por rochas metamórficas predominantemente e também rochas ígneas.

Superfície 3 – superfície de nível rebaixado com altitude entre 200m a 50m, corresponde ao baixo curso da bacia do rio Ipanema e drena parte da depressão do São Francisco com rochas datadas do neoproterozóico e relacionadas ao Complexo Aricatum, Corpo Plúton Serra do Catu e Unidade Macururé. Composta por predominantemente por rochas metamórficas e ígneas.

4.6 Bacia do rio Traipu

Superfície 1 – superfície elevada de menor área, associada ao compartimento da Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas no Planalto da Borborema, em seu rebordo ocidental. Sua geologia está relacionada em maior parte ao Complexo Belém do São Francisco e Unidade Cabrobó, no qual possui altitude entre 700m e 450m. Esta superfície é composta totalmente por rochas metamórficas.

Superfície 2 – superfície intermediária associada à depressão sertaneja, com rochas datadas do neoproterozóico e relacionadas em maior parte ao Complexo Aricatum. A altitude varia entre 400m a 100m. Predomina nesta superfície as rochas metamórficas com pequenas presenças de materiais deposicionais ao longo das drenagens.

Superfície 3 – superfície rebaixada no qual vai de encontro ao Baixo São Francisco Com rochas datadas do neoarqueano e relacionadas em maior parte ao Complexo Jirau do Ponciano, Complexo Nicolau – Campo Grande e Unidade Macururé. Essa superfície tem altitude que varia entre 50m a 10m e está estruturada em rochas metamórficas predominantemente.

A partir das superfícies definidas para as duas bacias, é possível se basear em trabalhos clássicos associados a geomorfologia brasileira, como os trabalhos de King (1956) para o Brasil Oriental e ser feito um comparativo entre as superfícies das bacias desse estudo e as superfícies propostas por King. Assim como nesse trabalho, King irá apresentar três diferentes paleosuperfícies: a Sul-Americana que corresponderiam as superfícies elevadas do planalto da Borborema; a superfície do ciclo Velhas corresponderiam as superfícies intermediárias, que é constituída pela depressão sertaneja e as superfícies rebaixadas corresponderiam ao ciclo polifásico Paraguaçu.

Tabela 2: Superfícies de aplainamento de King e as encontradas nesse estudo.

	King (1956)	Presente proposta
Superfícies de aplainamento	Superfície Sul-Americana	Superfície elevada
	Superfície Velhas	Superfície intermediária
	Ciclo Polifásico Paraguaçu	Superfície rebaixada

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

5. CONCLUSÕES

A extração das drenagens possibilitou a criação da hierarquização das drenagens e identificação do número de ordens de canais existentes nas bacias estudadas nesse trabalho. Seguindo a classificação de Strahler (1952), observou-se a existências de canais de até quinta ordem para tanto a bacia do rio Ipanema como também para a bacia do rio Traipu. Observando os canais das bacias e os padrões de drenagens, foi possível identificar um possível padrão de drenagem dendrítico com base na classificação proposta por Christofoletti (1980).

A aplicação do índice de densidade de drenagem mostrou-se satisfatória, visto que, este índice se trata de um dos mais importantes para entender a evolução do relevo dentro do contexto das bacias selecionadas para este estudo. Assim, a partir dos resultados obtidos com a aplicação deste índice, foi possível definir que as duas bacias possuem uma baixa densidade de drenagens, levando em consideração a metodologia de Beltrame (1994) usada para a classificação dessas drenagens. Dessa forma, o baixo valor encontrado se dá por conta da pouca dissecação do relevo, em resposta a litologia presente nas bacias e ao clima atuante.

No que se refere ao índice de rugosidade do relevo, para que fosse possível obter os resultados para este trabalho, foi utilizada a escala global para definir o nível de rugosidade para ambas as bacias. Assim, a partir da criação dos mapas foi possível observar que nas duas bacias há pouca ocorrência de áreas com rugosidade classificada, a partir da metodologia proposta por Augustin e Sampaio (2014), como escarpadas e fortemente escarpadas, no qual estas são encontradas em maior parte nas áreas de cabeceiras e nos declives do Planalto da Borborema.

Por fim, a partir do mapa de paleosuperfícies e o perfil traçado sobre as bacias, possibilitou determinar três diferentes superfícies para as duas bacias: superfície elevada (associada ao Planalto da Borborema), superfície intermediária e superfície rebaixada (associada às baixas depressões próximas ao rio São Francisco). Com isso, foi possível também confrontar as superfícies definidas nesse trabalho com as superfícies estudadas por King (1956) em seu trabalho para o Brasil Oriental.

6. REFERÊNCIAS

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação.** Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

CASSETI, V. **Elemento da Geomorfologia.** Goiás: Editora Contexto, 2001, 137p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981. v. 1.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2ª edição, 1980, 188p.

DE BARROS CORRÊA, A. C. et al. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **Geographical Journal.** v.14, p. 481-504, 1899.

GERASIMOV, I, P.; MESCHEIROV, J, A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R, W. (Ed.) **The Encyclopedia of Geomorphology –Encyclopedia of Earth Sciences.** Pennsylvania –Dowden: Hutchinson e Koss Inc., 731-732. 1968.

GILBERT, G. K. **The geology of the Henry Mountains.** U. S. Depart. of the Interior, Washington, EUA. 1877.

HACK, J. T. Interpretação da topografia erodida em regiões temperadas úmidas. **Notícia Geomorfológica**, v.12. n. 24. Campinas – SP, p. 3-37, 1972.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, v.258, p.80-97, 1960.

- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, p. 275-370, 1945.
- INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. **Geologia de engenharia**. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 131-152, 1998.
- KING, L. C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto Da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31. n. (1/2), p.35-52, 2010.
- MELTON, M. A. An analysis of the relations among of climate, surface properties and geomorphology. **Technical Report**, 11:23-41 (1957).
- MONTEIRO, K. A. **Análise geomorfológica da escarpa oriental da Borborema a partir da aplicação de métodos morfométricos e análises estruturais**. 222 f. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Recife, 2015.
- PENCK, W. **Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie**. J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart, 283 p. 1924.
- SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.
- SOUZA, C. F. de; PERTILLE, C. T.; SCHRAMM CORRÊA, B. J.; VIEIRA, F. S. Caracterização Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Ivaí - Paraná. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 29, 2018

STRAHLER, A. N. hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topographyy. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142. 1952.

TAVARES, B. A. C. **A participação da morfoestrutura na gênese da compartimentação geomorfológica do Gráben do Cariatá, Paraíba**. 137 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Recife, 2010.