



Margarida Penteado

Revista de  
Geomorfologia



**CONCEPÇÕES CLÁSSICAS E ATUAIS ACERCA DO PAPEL DOS  
SISTEMAS FLUVIAIS NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM  
GEOMORFOLÓGICA: PRÁTICAS APLICADAS À BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE**

***CLASSICAL AND CURRENT CONCEPTIONS ABOUT THE ROLE OF RIVER  
SYSTEMS IN THE EVOLUTION OF THE GEOMORPHOLOGICAL LANDSCAPE:  
PRACTICES APPLIED TO THE CAPIBARIBE RIVER WATER BASIN***

***CONCEPTIONS CLASSIQUES ET ACTUELLES SUR LE RÔLE DES SYSTÈMES  
FLUVIAIS DANS L'ÉVOLUTION DU PAYSAGE GÉOMORPHOLOGIQUE :  
PRATIQUES APPLIQUÉES AU BASSIN DE LA RIVIÈRE CAPIBARIBE***

**Wemerson Flávio da Silva**

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco


Email: [wemerson.fsilva@gmail.com](mailto:wemerson.fsilva@gmail.com)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7439-9443>

**George Pereira de Oliveira**

Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco

Email: [georgegeotec15@gmail.com](mailto:georgegeotec15@gmail.com)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-8945>

**Jonas Herisson Santos de Melo**

Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco

Email: [jonas.melo@ufpe.br](mailto:jonas.melo@ufpe.br)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3508-6433>

**Leandro Diomério João dos Santos**

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco

Email: [leandrodiomerio@hotmail.com](mailto:leandrodiomerio@hotmail.com)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1468-8822>

**Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares**

Professor da Universidade Federal de Pernambuco

Email: [bruno.tavares@ufpe.br](mailto:bruno.tavares@ufpe.br)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1823-3016>

**Oswaldo Girão**

Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco

Email: [osvaldo.girao@ufpe.br](mailto:osvaldo.girao@ufpe.br)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5797-4450>

**RESUMO**

A compreensão da evolução do relevo em contexto de margem passiva passa, a priori, por abordagens clássicas com base em uma perspectiva teórico-evolutiva. As construções argumentativas dessas concepções teóricas ocorriam diante da análise da paisagem a partir do enfoque dos sistemas fluviais e seu trabalho de denudação do relevo. Portanto, na busca da elucidação de como as paisagens evoluíram dentro da perspectiva clássica, o sistema fluvial está, por vezes, no centro da abordagem



explicativa, como nas postulações de William Moris Davis, por exemplo, ora é apenas um elemento secundário como na teoria da Etchplanação. A partir da década de 1950, John Tilton Hack aperfeiçoou as técnicas morfométricas, as quais as análises tinham como prioridade o perfil longitudinal dos canais fluviais e as características de evolução das bacias hidrográficas. Novas técnicas ao longo do século XX e XXI foram incorporadas as pesquisas como Fator de Assimetria de bacia hidrográfica (FABD), Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT), Índice de Chi, as quais, aplicadas em contexto de bacia hidrográfica, são ferramentas quantitativas para interpretação da paisagem geomorfológica, análise de canais fluviais de leito rochoso, recuo de knickpoints e compreensão do contexto morfoestrutural da bacia hidrográfica como locus de estudo. Por fim, temos a aplicação de alguns índices morfométricos aplicados na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (BHRC) para exemplificar como essas ferramentas metodológicas podem ser utilizadas na interpretação da paisagem geomorfológica.

**Palavras-chave:** Abordagens Clássicas. Sistema Fluvial. Índices Morfométricos. Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe.

## ABSTRACT

The understanding of the evolution of relief in the context of a passive margin initially involves classical approaches based on a theoretical-evolutionary perspective. The argumentative constructions of these theoretical conceptions took place in the analysis of the landscape from the perspective of fluvial systems and their work in denuding the relief. Therefore, in the quest to elucidate how landscapes evolved within the classical perspective, the fluvial system is sometimes at the center of the explanatory approach, as in the postulations of William Moris Davis, for example, while at other times it is only a secondary element, as in the theory of Etchplanation. From the 1950s, John Tilton Hack refined morphometric techniques, where the analyses prioritized the longitudinal profile of river channels and the evolution characteristics of watersheds. New techniques throughout the 20th and 21st centuries have been incorporated into research, such as the Watershed Asymmetry Factor (WAF), Transverse Topographic Symmetry Factor (TTSF), Chi Index, which, when applied in the context of a watershed, are quantitative tools for interpreting the geomorphological landscape, analyzing rocky bed river channels, retreat of knickpoints, and understanding the morphostructural context of the watershed as a study locus. Finally, there is the application of some morphometric indices in the Capibaribe River Watershed (CRW) to illustrate how these methodological tools can be used in the interpretation of the geomorphological landscape.

**Keywords:** Classical Approaches. Fluvial System. Morphometric Indices. Capibaribe River Watershed.

## INTRODUÇÃO

A compreensão da evolução do relevo em contexto de margem passiva passa, a priori, por abordagens clássicas com base em uma perspectiva teórico-evolutiva. O ponto de partida das análises se davam a partir do controle tectônico regional e, posteriormente, se propunha transformação gradual das paisagens pela ação de processos erosivos em larga escala.

As construções argumentativas dessas concepções teóricas ocorriam diante da análise da paisagem a partir do enfoque dos sistemas fluviais e seu trabalho de denudação do relevo. Apesar das diferentes regiões estudadas (Apalaches e Alpes, por exemplo), a compreensão passava por fatores atrelados a drenagem e sua adaptação à estrutura.

Portanto, na busca da elucidação de como as paisagens evoluíram dentro da perspectiva clássica, o sistema fluvial está, por vezes, no centro da abordagem explicativa, como no caso de William Morris Davis, por exemplo, ora é apenas um elemento secundário como na teoria da Etchplanação.

Em meados do século XX, mais especificamente no final da década de 1950, John Tilton Hack aperfeiçoou as técnicas morfométricas, as quais tinham como prioridade a análise do perfil longitudinal dos canais fluviais e das características de evolução das bacias hidrográficas como os trabalhos *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland* (1957); *Interpretation of erosional topography in humid temperature regions* (1960); *Dinamic Equilibrium and Landscape Evolution* (1965); *Stream-profile analysis and stream-gradient index* (1973). Por conseguinte, a compreensão da evolução do relevo a partir do comportamento da drenagem e atributos das bacias hidrográficas tornou-se mais frequente em estudos dentro Geomorfologia.

Outras técnicas morfométricas foram incorporadas às pesquisas, como o Fator de assimetria de bacia de drenagem (FABD), Fator de Simetria topográfica transversal (FSTT) e Índice Chi (HARE e GADNER, 1985; COX, 1994; EL HAMDOUNI et al., 2008; PERRON e ROYDEN, 2013; SORDI et al., 2018; OLIVEIRA, 2019). Também deve-se destacar o aperfeiçoamento das técnicas para entender os processos de incisão de rio de leito rochoso e

recuo de knickpoints (WHIPPLE, 2004; CROSBY e WHIPPLE, 2006; DIBIASE e WHIPPLE, 2011; WHIPPLE; DBIASE e CROSBY, 2013), por exemplo.

Portanto, cabe ressaltar a compreensão de que o entendimento da evolução geomorfológica passa pela assimilação do processo evolutivo da bacia hidrográfica em ambiente tropical úmido onde a água é o principal agente erosivo. Por conseguinte, estas técnicas morfométricas aplicadas nesse contexto contribuem para a interpretação da paisagem geomorfológica, para compreender fatores como recuo de escarpa, basculamento, reativações ocasionando subsidências, erosão diferencial, adaptação da drenagem a fatores estruturais e/ou tectônicos, entre outros.

Este artigo visa discutir como os principais teóricos clássicos abordaram o sistema fluvial em suas análises, ou seja, como aspectos atrelados às dinâmicas fluviais, redes de drenagem, métodos morfométricos utilizando canais fluviais, entre outros, foram destacados (ou não) pelos respectivos postulados. São ainda objetivos deste artigo realizar uma apresentação de técnicas atuais de análise da drenagem para interpretação do contexto estrutural e tectônico das paisagens geomorfológicas, com prioridade em áreas de margem passiva. A análise completa das teorias clássicas não é objetivo deste trabalho.

### AS CONCEPÇÕES CLÁSSICAS E SUAS ABORDAGENS CONTEXTUALIZANDO OS SISTEMAS FLUVIAIS

As teorias clássicas foram por muito tempo utilizadas como fonte de interpretação da gênese evolutiva de relevos, em áreas de características plataformais e apalachiana, por exemplo, evidenciando que a configuração geomorfológica se apresenta a partir de processos denudacionais como destacado GILBERT (1880); DAVIS (1899); PENCK (1924; 1953); KING (1956); HACK (1957; 1960), para citar os principais autores que influenciaram os estudos geomorfológicos do Ocidente. Estes contextos de evolução anteriormente citados se diferenciam das áreas onde ocorre encontro de placas, sendo algumas com configuração montanhoso-cordilheiro do Cenozoico, onde as atividades tectônicas são intensas e responsáveis pela disposição primária das formas de relevo (TAVARES, 2015).

Antes de adentrarmos nos postulados geomorfológicos, torna-se necessário compreender que a evolução das ciências se deu ao longo da história a partir das inúmeras áreas do conhecimento, todavia, as interações dos conteúdos produzidos pelas mesmas tiveram temporalidades variadas para acontecer. Em relação as Ciências da Terra não foi diferente. A aplicação da mecânica clássica desenvolvida nos séculos XVI e XVII foi ignorada pela maioria dos cientistas da Terra, devido às dispersas e desarticuladas relações, como também, o predomínio dos paradigmas evolutivos (ORME, 2002).

Os conceitos de fluxo uniforme e estabilidades das encostas, por exemplo, confirmados no século XVIII, esperaram quase 200 anos para incorporação em textos geomorfológicos stricto sensu, embora estivessem há muito tempo disponíveis em livros de hidráulica e mecânica dos solos (ORME, 2002). Salienta-se, como indicado por Orme (2002) e Vervloet (2009) que havia conhecimento sobre fluidos dinâmicos, diques de irrigação, controle de enchentes já na Idade Antiga com Mesopotâmios, Egípcios e Chineses, respectivamente, assim como, a melhoria dessas técnicas realizados por gregos e romanos.

Na Renascença com o aprimoramento das formulações mecânicas da física houve contribuições sobre a hidrodinâmica e o trabalho que um rio pode realizar feitos por Leonardo da Vinci (1452 – 1519), sobre o ciclo hidrológico Bernard Palissy (1510 – 1589), hidroestática com Simon Stevin (1548 – 1620), Benedetto Castelli (1577 – 1644) e Blaise Pascal (1623 – 1662) com seus postulados sobre dinâmica de fluidos (ORME 2002; VERVLOET, 2009).

De acordo com Vervloet (2009) no século XVIII e XIX ocorre o significativo avanço na teoria do transporte de sedimentos em estudos feitos em laboratórios de hidráulica. Morisawa

(1985) e Vervloet (2009) destacam as pesquisas realizadas por Osborne Reynolds (1842 - 1912) indicando o valor crítico para a transição entre escoamento laminar e turbulento, e por William Froude (1810 – 1879), que desenvolveu técnicas para testar modelos hidrológicos.

Abreu (1980), ao discorrer sobre os postulados de Surrell (1841), aponta que este estabeleceu as premissas das Leis da Morfologia Fluvial, a qual indicou a importância do nível de base geral e a concepção de erosão regressiva, além dos termos que caracterizam os segmentos do canal fluvial como “bacia de recepção”, “canal de escoamento” e “leito ou cone de dejeção”, que posteriormente deram origem às alcunhas alto, médio e baixo curso fluvial. Todavia, segundo Chorley, Dunn e Beckisale (1964) cabe a James Powell (1834 – 1902) a designação formal e conceitual do conceito de nível de base, considerado um dos mais importantes princípios geomorfológicos.

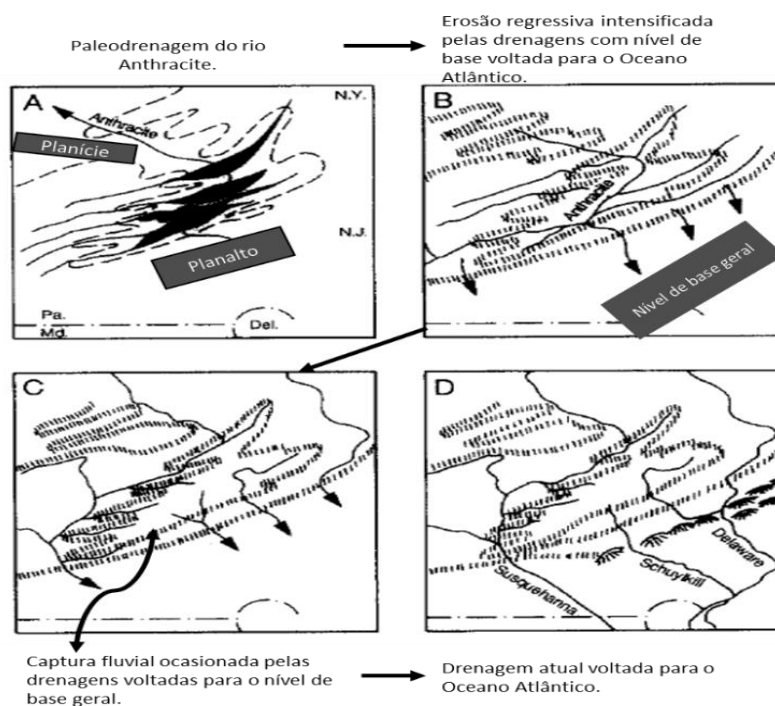
Todos esses trabalhos, por questões de barreira linguística e distanciamento das compreensões técnicas entre os cientistas, além da forte influência do evolucionismo na Geomorfologia, distanciaram esses conhecimentos das teorias de evolução geomorfológica mais tradicionais. Destacam-se os trabalhos de Albrecht Penck (1858–1945) e Grove Karl Gilbert (1843–1918) as quais incorporaram conceitos advindos dos avanços das ciências naturais, principalmente o último, discutindo a ideia de fluxo uniforme e conceito de equilíbrio (ORMES, 2002).

Ao adentrarmos sobre os postulados desenvolvidos na Geomorfologia, o nome de William Morris Davis surge como uma das mais influentes teorias de sua época. Quando se pensa em Davis (1899), é importante salientar a tríade de análise estabelecida pelo mesmo no tocante a estrutura, processo e tempo como controles geográficos que definem a configuração do relevo. Davis (1899) se utiliza do conhecimento dos agentes fluviais que dissecam o relevo, colocando em seus estudos termos como drenagem consequentes, subseqüentes e “inseqüentes” para compreensão da denudação das estruturas e as formas que deixavam sobre a paisagem.

Davis ainda propôs termos e análises sobre superimposição de drenagem, extensão de divisores por pirataria, erosão ao longo de linhas de fraqueza, entre outros (DAVIS, 1899; MORISAWA, 1989). A partir de tais entendimentos, a teoria do Ciclo Geográfico também pode ser denominada por ciclo de erosão davisiana ou ciclo de erosão fluvial. Na figura 01 a seguir, Davis indica como ocorreu, através do ajuste na estrutura, a captura por erosão dos rios Susquehanna, Schuykill e Delaware, provocando uma reversão de drenagem do antigo rio Anthracite (MORISAWA, 1989).

O processo de erosão fluvial se tornou mais eficiente após soerguimento dos Apalaches e aumento da declividade em relação ao nível de base geral (Oceano Atlântico Norte) no contexto de margem passiva, logo, a erosão regressiva capturou a drenagem do rio Anthracite, reorganizando-a em outros três canais fluviais, que atualmente tem seus respectivos cursos voltados para o oceano. As postulações de Davis (1899, 1902, 1938) fizeram uso do conhecimento do poder dos agentes fluviais, os quais consolidaram os argumentos e bases que fundamentaram toda sua proposta teórica do Ciclo Geográfico (VERVLOET, 2009).

**Figura 1.** Exemplo da evolução da drenagem sobre os Apalaches da Pensilvânia, desde sua paleodrenagem até a reversão e captura fluvial do rio Anthracite e a reorganização do fluxo hídrico atual para o Oceano Atlântico.



Fonte: Morisawa (1989) adaptado pelos autores.

Davis (1899) descreve sobre capacidade de carga dos rios em relação aos processos de dissecação, indicando o poder erosivo dos rios em seu período de juventude, e como essa capacidade vai reduzindo devido a diminuição do gradiente ao chegar nas fases de maturidade e senilidade do ciclo geográfico. Davis acrescenta em seu trabalho os métodos de desenvolvimentos dos divisores de drenagens e dos meandros ao longo de cada fase, principalmente durante a maturidade e a senilidade, o que aponta a forte relação com os conhecimentos da Hidrologia e da Geologia, utilizando como área de estudo o relevo Apalacheano na região leste dos Estados Unidos da América. Neste contexto, Chorley et al. (1973) e Morisawa (1989) assinalam que Davis (1899), ao detalhar a origem e história dos rios na Pensilvânia, foi obrigado a resolver, sistematizar e formar sua percepção da evolução do rio e, por conseguinte, do desenvolvimento da paisagem geral.

Portanto, a primeira grande teoria de cunho geomorfológico teve como fonte de explicação de processos o conhecimento de parâmetros fluviais em ambiente úmido temperado de substrato rochoso homogêneo para a compreensão do ciclo fluvial ideal e as fases de denudação do relevo desde o estágio inicial até a senilidade (peneplano) (DAVIS, 1930 apud BIGARELLA, 2003). Salienta-se, segundo Morisawa (1989), que a proposta teórica de Davis tem forte influência do Uniformitarismo de Hutton e do evolucionismo de Darwin, pois observa-se no trabalho um conceito evolutivo das formas topográficas em estágios graduais característico das abordagens científicas de sua temporalidade cronológica.

Todavia, de acordo com Orme (2002), os processos fluviais relatados por Davis eram pressupostos muito mais teórico do que por evidências, principalmente pela falta de indicação dos depósitos correlativos. Segundo Orme (1989, 2002) os debates relativos ao início do século XX, especialmente os de língua inglesa, traziam consigo uma abordagem evolucionista, assim como, fortes considerações climáticas que dominaram a geomorfologia, por influência francesa.

Ao dar seguimento à abordagem clássica, chega-se a Penck (1953), que desenvolveu em seu trabalho o modelo de evolução a partir da interação soerguimento crustal e denudação, analisando principalmente as formas das encostas, indicando que o entalhamento do talvegue e os efeitos denudacionais são variáveis, ou seja, as incisões vão depender do grau de soerguimento e a intensidade de erosão do rio, atrelado à litologia, inclinação da encosta e capacidade do clima em criar manto de intemperismo. Portanto, Penck (1953) não abriu mão da ação fluvial para explicar a evolução das vertentes em seu sistema teórico (VERVLOET, 2009). Todavia, a importância dos processos fluviais era dividida com o soerguimento crustal, ao contrário de Davis, onde as dinâmicas dos rios tinham um detalhamento maior no ciclo de erosão.

É importante salientar a contribuição de Penck (1953), baseado no trabalho de Powel, como afirma Vervloet (2009), sobre os níveis de base de erosão, nível de base local e nível de base de denudação. Houve a compreensão por parte de Penck (1953) das várias escalas espaciais de análise de nível de base, e de como os rios trabalham diante desses diferentes contextos. Por conseguinte, Vervloet (2009) aponta que Penck percebeu que o nível de base geral de denudação não depende diretamente do nível de base geral de erosão, já que o primeiro é controlado pelos gradientes das calhas fluviais. Por conseguinte, sempre levando em consideração as diferenças climáticas de atuação na denudação e o soerguimento crustal para compreender o processo recuo das encostas e a formação dos diferentes níveis de base.

Para Vervloet (2014) é com Penck que os knickpoints fluviais e as vertentes são vistos dentro de um sistema de evolução, com intuito de compreender e demarcar os níveis diferenciais de dissecação da superfície. Entretanto, Penck (1953) constrói sua base narrativa de explicação a partir das dinâmicas de encosta, perfil côncavo (Waning Development); perfil retilíneo (Stationary Development); perfil convexo (Waxing Development), estudando o maciço da Floresta Negra alemã (CHRISTOFOLETTI, 1980; BIGARELLA, 2003).

Portanto, a citação sobre a drenagem em Penck (1953) indica padrões de drenagem formando os vales radiais sobre a fase final de dissecação do relevo dômico, dessa forma, os processos fluviais na abordagem penckiana não têm o mesmo destaque e detalhamento observado em Davis (1899, 1902, 1938), muito menos, os canais fluviais serviram de parâmetros para índices morfométricos, como os utilizados por Hack (1957, 1960, 1965, 1972). São colocados como uma das formas de dissecação do relevo e modelagem da morfologia, juntamente com os processos de encosta.

A abordagem de King (1956) sobre a Geomorfologia do Brasil Oriental teve como foco o recuo das escarpas e a definição das superfícies de erosão, e seus respectivos patamares topográficos. Nesse sentido, tanto os processos de encosta como os processos fluviais foram utilizados. Em relação aos processos fluviais, King (1956) faz relação entre o recuo erosivo da escarpa com o nível de base geral e as dinâmicas climáticas e eustáticas que fizeram parte da análise, ao destacar as paisagens de rios afogados na costa leste do Brasil. Todavia, ao atentar sobre a evolução da paisagem em ambiente semiárido, observa-se que a drenagem tem um papel secundário, justamente pela deficiência hídrica e pela falta de rios perenes, tendo o recuo paralelo das vertentes um destaque maior na modelagem do relevo em ambiente semiárido.

Segundo Vervloet (2009), King foi aquele quem mais aplicou os conhecimentos das disciplinas de hidráulica e morfologia fluvial para explicitar o poder de suas ideias. É sabido que o foco da teoria desenvolvida por King (1956) propõe que a origem das formas de relevo e pediplanação ocorre por recuo das escarpas, vertentes e encostas, no entanto, esses estariam ligados a processos fluviais, seja por escoamento concentrado ou em lençol, ora por compreensão dos fluxos superficiais estudados pela hidráulica. Portanto, as formas agradacionais e degradacionais descritas por King (1956) e os ciclos de erosão que resultaram nas feições morfológicas estão relacionados à influência da linha de costa e do sistema de drenagem.

Desse modo, a datar pelo soerguimento do continente, e como resultante a descida do nível de base, a escarpa vai regredir desde a costa e no interior a partir do vale do rio devido ao aumento de competência erosiva pela descida do nível de base (KING, 1956). Isto posto, o autor supracitado indica em sua análise o papel da rede fluvial na erosão das encostas de forma remontante até atingir o divisor de águas. No entanto, junto ao espaçamento da rede de drenagem, as diferenças litológicas também influenciam no perfil ideal de uma encosta. É importante destacar a citação de King (1956) sobre as capturas das antigas cabeceiras de drenagem do rio Tietê pelo rio Paraíba do Sul indicando o tema captura de drenagem em seu trabalho.

Os postulados de Davis (1899), Penck (1953) e King (1956) tiveram como base a observação, atrelada à perspectiva evolucionista como modelo teórico. De acordo com Vervloet (2009), esses autores tomaram como base a observação e dotados de privilegiado preparo intelectual, fizeram a classificação conceitual dos fenômenos geomorfológicos utilizando como método a observação direta do objeto em trabalho de campo. Por conseguinte, os respectivos autores empregaram modelos mentais sistemáticos, após exaustivas observações das paisagens analisadas.

Os trabalhos sobre a Teoria da Etchplanação descritas nos trabalhos de Büdel (1957, 1963, 1982) aponta sobre a Dupla Superfície de Planação (doppelten Einebnungsflächen), cujo papel do intemperismo que foi estabelecido na análise geomorfológica causou grande impacto nos estudos da geomorfologia, sobretudo em estudos nas regiões tropicais. Por conseguinte, as concepções de Büdel estavam, em grande parte, atreladas às ideias de Wayland (1933), corroborando a teoria de aplainamento de corrosão (BIGARELLA, 2003; VITTE, 2005). Isto posto, o aplainamento ocorre pelo aprofundamento do manto de intemperismo e a remoção da parte superior do manto de alteração (BIGARELLA, 2003).

Büdel (1957, 1963) indica funções diferentes da erosão e da alteração no processo de aplainamento, ou seja, em terrenos topograficamente mais planos, a ação erosiva decorre na porção superior durante a estação úmida, enquanto a alteração química das rochas ocorre sobre toda superfície basal, portanto o intemperismo permanece atuando mesmo na estação seca (BIGARELLA, 2003). Neste sentido, o papel dos sistemas fluviais só ganha mais destaque no período de transição entre o clima mais seco para o clima mais úmido, onde as ações das forças erosivas dissecam o relevo depositando o material sedimentar nos níveis de base local e regional. Contudo, o intemperismo tem uma função fundamental na Teoria da Etchplanação, deixando as dinâmicas fluviais em um contexto de canal, uma função de menor relevância. O escoamento superficial difuso durante o período chuvoso tinha muito mais relevância para explanação do modelo em detrimento ao sistema fluvial.

Destaca-se, eventualmente, que os mantos de intemperismo seriam removidos pelos agentes de denudação durante movimentos de levantamento regional como epirogênese lenta ou descontínua e, posteriormente, esse manto superficial de alteração é gradualmente removido pelas águas episódicas e/ou pela erosão laminar (WAYLAND, 1933; BIGARELLA, 2003). Fato reafirmado por Büdel (1957, 1982), que aponta que a formação de plano de corrosão (“etchplain”) estaria associada principalmente com as regiões tropicais sazonais tectonicamente estáveis e inativas (BIGARELLA, 2003). Desse modo, essas são as condições naturais para a aplicação da teoria da Etchplanação como modelo de evolução do relevo, a qual a drenagem em canais fluviais tem menor relevância na explanação teórica.

## O Método De Hack E O Sistema Fluvial Como Objeto Central De Análise

Hack (1957, 1960, 1965, 1972) foi o autor que mais se destacou ao empregar metodologias cujo foco da análise consiste sobre os canais fluviais. Perfis longitudinais, a compreensão do equilíbrio dinâmico, padrão de drenagem relacionado à geologia,

características morfométricas das bacias hidrográficas e o método do índice de gradiente o colocam como destaque entre os autores clássicos.

Com Hack (1965) e sua abordagem do Equilíbrio Dinâmico, os rios e as características morfométricas do sistema fluvial voltam ao centro da explicação da evolução da paisagem. As características geométricas das bacias hidrográficas passam a ser relacionadas aos tipos de rochas, exposição a fatores ambientais, tamanho e formas das cavidades (hollows), densidade dos vales, curvatura das encostas, entre outros aspectos que foram analisados para explanação de sua proposta. Foi a partir da metodologia utilizando o perfil longitudinal do rio Shenandoah, nos Apalaches Centrais, da observação de vários níveis de terraços, e do comprimento relacionado com a sinuosidade e quebras de declividade (knickpoint), que Hack (1965) propôs o conceito de equilíbrio dinâmico.

É importante salientar que o termo equilíbrio dinâmico já tinha sido trabalhado por Gilbert (1877), cujo estudo sobre as Henry Mountains utilizou-se de relações de declividade, características das rochas e o clima para determinar o grau de erosão de uma área estudada (MONTEIRO, 2015). Ou seja, o clima e a declividade, para Gilbert (1877), seriam os fatores preponderantes na determinação dos processos erosivos, que ocorrem com variabilidade de acordo com a resistência das rochas à erosão (MONTEIRO, 2015). Isto posto, observa-se em Gilbert (1877) uma discordância com Davis em relação ao ciclo de erosão, assim como para com o sistema fluvial, que não está no cerne de sua explanação de Gilbert. Contudo, ao trazer as ideias do equilíbrio dinâmico nas décadas de 1950, 1960, 1970, Hack se utiliza do contexto da organização espacial da drenagem em canais fluviais em sua argumentação teórica e metodológica.

Como a teoria do equilíbrio dinâmico preconiza uma relação entre os processos de denudação e isostasia, é importante compreender segundo Tavares (2015) que as superfícies de erosão não se formariam unicamente como resposta à denudação regional em uma escala temporal de milhares de anos a partir de um aplainamento contínuo, mas se manteriam como feições dinâmicas na paisagem. Por conseguinte, os rios são excelentes objetos de estudos no intuito de compreender essas feições dinâmicas. Neste sentido, a experiência de Hack no estudo fluvial para elaborar a proposta do equilíbrio dinâmico baseando-se na ideia do perfil do rio equilibrado se destaca em seus estudos (MONTEIRO, 2015). Utilizando o sistema de drenagem, Hack (1960) explica as diferenças topográficas que ocorriam ora, pelo contraste de resistência erosiva do leito rochoso dos rios, ora por alteração nas taxas ou histórico de elevação.

Neste contexto, com a necessidade de definir uma ideia de equilíbrio usando a rede de drenagem fluvial como exemplo, Hack (1972) aponta que o estágio de equilíbrio de um rio é atingido quase que imediatamente ao desenvolvimento de um vale. Em vista disso, como todos os componentes estão em equilíbrio, diante da mudança de qualquer elemento, todos os outros se ajustam na busca de rearranjo, portanto, não precisando de milhões de anos para isso. A partir do momento que as forças de soerguimento e de erosão se alterem, ou que um tipo diferente de rocha seja exposto à superfície, o rio buscará um novo equilíbrio, e todos os elementos do sistema serão atingidos proporcionalmente ao grau de alteração (MONTEIRO, 2015).

Hack (1982), tratando o balanço da dinâmica da paisagem, afirma que o balanço pode ser explicado através características de forças envolvendo elevação, erosão e resistência das rochas. Onde os padrões de fluxo de drenagem refletem os estágios de denudação do relevo, a análise do perfil do canal torna-se uma ferramenta relevante com a qual é possível identificar um possível movimento tectônico ou resistência da rocha devido ao fluxo dos rios. Ademais, falhas e dobras e outras características locais são, obviamente, também manifestações de tectonismo potencialmente influentes. Desta forma, Hack (1982) utilizou-se da drenagem a partir dos canais fluviais para explanar sobre a evolução do relevo, sempre levando em consideração a tríade elevação, erosão e resistência das rochas.

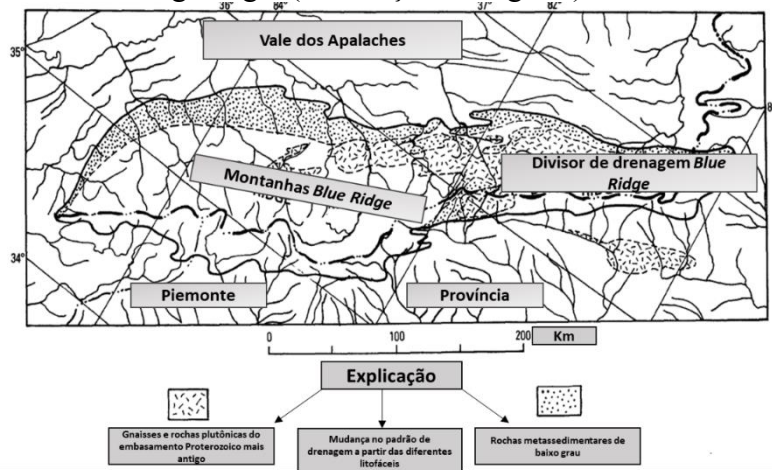


Ao realizar a análise e definir as Divisões Fisiográficas e o Soerguimento Diferencial na Blue Ridge Mountains e seu respectivo Piemonte (FIGURA 02), Hack (1982) usa o padrão de drenagem e as características morfométricas das bacias hidrográficas calculada pela largura e comprimento, através dessa proporção entre a largura e comprimento de canais, é possível alcançar a forma das bacias de drenagem. Arelada as características supracitadas dos canais e forma da bacia hidrográfica, o comportamento do sistema fluvial diante do controle estrutural a partir das diferentes litofácies. Hack (1982) destacou pesquisas como a de Langbein (1947) no Vale do rio Shenandoah, bem como, Leopold e Langbein (1962), as quais indicaram que, à medida que as bacias hidrográficas aumentam a jusante, tendem a desenvolver maior comprimento, ou seja, bacias hidrográficas grandes são geralmente mais alongadas que as pequenas. Essas características das bacias hidrográficas foram estudadas por Hack (1957) utilizando dados sobre as áreas de drenagem e comprimentos dos rios e riachos, incluindo curvas e meandros (HACK, 1982).

Ao aplicar o método do índice de gradiente, Hack (1973) obteve como resultado da extensão e comprimento dos rios um perfil longitudinal onde observa-se as quebras no fluxo de drenagem e as diferenças topográficas no terreno. Hack (1973, 1982) a partir dos perfis longitudinais dos rios Calfpasture, North, Cranberry, Potomac, James, Savannah, Oconne, Neuse, Flint, entre outros, analisou a evolução da paisagem nos Apalaches na região leste dos Estados Unidos. A relação da geometria do fluxo dos canais fluviais, junto à geologia local (resistência das rochas à erosão), assim como, a granulometria dos sedimentos do material de leito, é o cerne dos trabalhos do autor, assinalando que o índice de gradiente, quando usado na compreensão do contexto geral da paisagem, pode fornecer dados interessantes sobre as causas da diversidade geomorfológica de uma área estudada, indicando ajustes feitos pelo sistema de drenagem, bem como forças diastróficas que se opõem a elas (HACK, 1973).

Portanto, fica evidente o papel central que os sistemas fluviais têm nos trabalhos de Hack, desde a compreensão das quebras nos perfis longitudinais e erosão e/ou soerguimento dos rios estudados (HACK, 1957; 1960), passando pelos conceitos de equilíbrio dinâmico, topografia e erosão diferencial por diferença litológica e geometria da rede fluvial como ferramenta para evolução da paisagem (HACK, 1965, 1972, 1973), e interpretação da divisão fisiográfica da paisagem (FIGURA 02), soerguimento diferencial do relevo e capturas fluviais (HACK, 1982).

**Figura 2.** Setor Meridional da Blue Ridge Mountains e a divisão fisiográfica realizada por Hack (1982) a partir da setorização da drenagem e a reposta da geometria fluvial em relação à geologia (diferenças litológicas).



Fonte: Hack (1982) adaptado pelos autores.

## CONCEPÇÕES ATUAIS E O SISTEMA FLUVIAL COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA PAISAGEM GEOMORFOLÓGICA

A análise do sistema de drenagem em estudos de evolução do relevo se faz através do uso ferramentas morfométricas, tanto em áreas tectonicamente ativas, quanto em margem passiva, assim como, levando em consideração contextos climáticos diferenciados na ação do processo de denudação de áreas montanhosas e escarpas a partir da dissecação fluvial. Todavia, padrões de drenagem podem se repetir em contextos climáticos diferentes, como em casos onde se leva em consideração processos de elevação por soerguimento tectônico e resistência litológica. Estas características são comumente encontradas em canais fluviais sobre contexto montanhoso em ambiente tropical e temperado, sem influência glacial, com canais confinados por encostas íngremes, fundo rochoso e presença de clastos grossos (GRANT et al., 1990; PIKE et al., 2010). Vale salientar que os rios de fundo rochoso são os responsáveis por definir a estrutura do relevo em áreas de cordilheiras não glaciais, portanto, são eles os incumbidos em determinar o ritmo de denudação das encostas, e transmitem mudanças no nível de base por toda paisagem (DIBIASE e WHIPPLE, 2011).

A utilização de perfis longitudinais e identificação de knickpoints, junto a geometria hidráulica, tamanho dos grãos presentes em canais fluviais, energia do fluxo e tensão de cisalhamento são parâmetros geomórficos importantes para a compreensão da denudação atrelada ao sistema fluvial em área montanhosa (PIKE et al., 2010). Por conseguinte, essas abordagens também podem ser utilizadas com o intuito de compreender processos de recuo de escarpa em áreas de margem passiva, por exemplo, o realizado por (MONTEIRO e CORRÊA, 2020). Os perfis longitudinais se destacam por, frequentemente, refletir controles litológicos e tectônicos no desenvolvimento do canal fluvial (KIRBY e WHIPPLE, 2001). No caso de canais fluviais com presença de ruptura de declive, o fluxo de energia se comporta de forma não-linear, ou seja, concentrando-se nesses pontos específicos em vez de ser uniformemente disperso, portanto, indicação de forte controle geológico subjacente (GRAF, 1983; LECCE, 1997, PIKE et al., 2010).

Técnicas como análise do padrão do canal são aplicadas como ferramenta de estudo para identificar ação tectônica na paisagem. Chalton (2008) apresenta como exemplo o efeito da tectônica na forma do canal fluvial no rio Indu, onde os elementos estruturais subjacentes em seu vale no baixo curso indicam que o mesmo está passando por diferentes tipos de movimentos tectônicos, as quais incluem elevação, inclinação e subsidência. As mudanças resultantes da inclinação, somado a taxas variáveis de sedimentação, são as principais influências no padrão do canal (HARBOR et al., 1994; CHARLTON, 2008). Trechos fluviais anastomosados são associados a um aumento no nível de base local causado pela elevação imediatamente a jusante (CHARLTON, 2008).

Os rios são extremamente sensíveis a mudanças sutis causadas por elevação tectônica, portanto tais eventos tornam-se ferramentas úteis para identificar deformações epirogênicas de menor escala, tanto em ambiente moderno quanto antigo (HOLBROOK e SCHUMM, 1999). Por exemplo, deformações na crosta terrestre afetam a topografia abaixo do rio, essas podem distorcer o perfil do canal em relação ao gradiente médio regional do vale, nesse sentido, o reflexo sobre os canais fluviais ocorre a partir da convexidade de terraços, fundo de vale e estruturas de fundo rochoso dos rios e, por sua vez, subsidências locais podem resultar em concavidade desses mesmos recursos (HOLBROOK e SCHUMM, 1999).

De acordo com Charlton (2008), as regiões “estáveis”, longe das margens ativas de placas tectônicas, o lento soerguimento de grandes áreas da crosta terrestre pode levar a uma deformação significativa ao longo do tempo. Portanto, nessas áreas as deformações epirogênicas menores e/ou incipientes podem ser identificadas em canais fluviais em escala de tempo pretérita ou atual (HOLBROOK e SCHUMM, 1999).

Ao levar em consideração a abordagem a partir da compreensão dos knickpoints em rios rochosos e seu comportamento transitório, é possível entender melhor as respostas da rede de canais de uma bacia hidrográfica diante das mudanças impostas por fatores tectônicos, estruturais e climáticos (CROSBY e WHIPPLE, 2006). Portanto, as rupturas de declive da rede de drenagem se caracterizam como limite móvel, ou seja, separam as porções da paisagem que estão se ajustando às novas condições daquelas que retêm as relíquias, isto é, as formas do período pré-perturbação (CROSBY e WHIPPLE, 2006).

Torna-se imprescindível trazer à discussão as formas de análise da rede de drenagem a partir dos knickpoints. Diante de uma abordagem morfológica, o termo supracitado refere-se a uma mudança abrupta no gradiente do rio (WHIPPLE e TUCKER, 1999). Contudo, a partir de uma interpretação clássica atrelada ao modelo de Hack (1957;1960), o knickpoint descreve uma convexidade em setores pontuais do perfil de equilíbrio do canal fluvial, cujo o formato “ideal” em geral é côncavo (CROSBY e WHIPPLE, 2006).

Fatores como mudança de nível de base ocorrido devido a variações no nível do mar, reativação de falhas e zonas de cisalhamento, reajuste flexural por compensação isostática, capturas de canais fluviais, entre outras, podem levar a respostas transitórias na rede de drenagem a montante, ajustando as formas dos leitos rochosos como largura do leito, inclinação, distribuição e tamanho dos grãos de sedimentos, assim como, espessura da cobertura aluvionar sobre o leito do canal (WHIPPLE, 2004; CROSBY e WHIPPLE, 2006). Dessa forma, estudar a evolução no tempo geológico de uma bacia hidrográfica através dos knickpoints fornece indícios significativos de como ocorre o recuo de áreas montanhosas de margem ativa e de escarpas de margem passiva, portanto, são técnicas de como utilizar os sistemas fluviais para compreender as mudanças no relevo.

### Um breve sumário de conceitos sobre técnicas atuais para estudo de rios de leito rochoso

A velocidade de retração a montante dos knickpoints em rios de leito rochoso é dada pela lei de potência da área de drenagem (CROSBY e WHIPPLE, 2006). Essa lei se configura como uma norma natural de robusta aplicabilidade na teoria do limite central (GLERIA et al., 2004), tem no índice de declividade do canal ( $k_s$ ) e na taxa de erosão e suas respectivas relações não-lineares, as variáveis imprescindíveis para compreender a evolução do recuo em áreas montanhosas ou escarpadas a partir da ação dos canais fluviais (CROSBY e WHIPPLE, 2006; DIBIASE e WHIPPLE, 2011).

Diante disso, a relação não linear entre a inclinação do canal e taxa de erosão vai depender de vários fatores como: tensão de cisalhamento do leito do canal e tipo de processo erosivo que pode ser por abrasão ou destacamento, este último é mais comum em ambientes de clima temperado, exposição do leito pela retirada da cobertura sedimentar (sujeito a mudança de inclinação do canal), gradientes orográficos de precipitação, mudança da largura e gradiente de inclinação dos canais fluviais e aporte de fluxos de detritos e rugosidade do leito foram destacados por (DIBIASE e WHIPPLE, 2011; WHIPPLE; DIBIASE e CROSBY, 2013).

Modelos desenvolvidos a partir de dados relacionados a declividade do canal, características do relevo e taxa de erosão, usados para compreender os processos de incisão dos rios de leito rochoso, estão se tornando ferramentas eficazes para diagnosticar as influências espaciais e temporais do clima, tectônica e mudança de nível de base na evolução da paisagem (WHIPPLE; DIBIASE e CROSBY, 2013). O conjunto de variáveis atuando juntas no processo de incisão do canal e colocadas em modelos que buscam compreender processo incisão em canais fluviais de leito rochoso (WHIPPLE; DIBIASE e CROSBY, 2013).

Esse conjunto de modelos de fluxo de energia vai indicar que a taxa de erosão do leito varia como uma função de potência da tensão média de cisalhamento do leito quando o mesmo chega a um limite crítico de movimento de carga de leito ou desprendimento de rocha. As

definições dos parâmetros matemáticos utilizados nos modelos foram sendo construídos por autores como (HOWARD e KERBY, 1983; WHIPPLE e TUCKER, 1999; WHIPPLE et al., 2000; SKLAR e DIETRICH, 2004; TUCKER, 2004; DIBIASE e WHIPPLE, 2011; WHIPPLE; DIBIASE e CROSBY, 2013) entre outros.

### Capturas fluviais e a evolução de bacia hidrográfica em margem passiva

Quando se trata, atualmente, sobre a compreensão da evolução do relevo ou de paisagem geomorfológica de uma bacia hidrográfica, o sistema fluvial está sendo usado como ferramenta de análise, principalmente através das capturas fluviais. Trabalhos em várias partes do planeta indicam mudanças dos cursos dos rios, indicando influências estruturais e/ou tectônicas, como Haworth e Ollier (1992), Thomas e Shaw (1992), Cox (1994), Zelilidis (2000). Embora o fenômeno das capturas fluviais já seja conhecido desde o final do século XIX, principalmente por pesquisadores franceses e americanos (OLIVEIRA, 2010), estudos sobre os processos de captura fluvial foi trazido novamente ao debate geomorfológico com auxílio da geotecnologia. O conceito de capturas fluviais corresponde ao desvio natural das águas de uma bacia hidrográfica para outra, promovendo a expansão de uma drenagem em detrimento da vizinha (CHRISTOFOLLETI, 1975; OLIVEIRA, 2010). O processo de pirataria fluvial pode estar sujeito, ou não, a controles estruturais (SUMMERFIELD, 1991; OLIVEIRA, 2010).

Destacam-se alguns trabalhos como o de Haworth e Ollier (1992) sobre o rifteamento continental e a reversão de drenagem, pesquisando o caso do rio Clarence, na parte oriental da Austrália. Baseados em pesquisas anteriores, como a de Taylor (1911) e Ollier (1978), os autores apontam a característica assimétrica da bacia hidrográfica do rio Clarence e, por conseguinte, o fato que o referido rio tem um alinhamento sudeste-noroeste com os rios Condromine e Orara, o que são indícios de captura fluvial (HAWORTH e OLLIER, 1992).

Os padrões de drenagem dos respectivos rios adequaram-se ao contexto geológico com ênfase ao vulcanismo Terciário (hoje denominado de Neógeno) ocorridos sobre os afluentes da margem esquerda do rio Clarence, enquanto a margem direita, com litologia mista, tem características farpadas, sugerindo reversão de drenagem. A abertura do mar da Tasmânia durante o Cretáceo e a formação da separação continental foram os fenômenos tectônicos responsáveis pela captura (HAWORTH e OLLIER, 1992). De acordo com os respectivos autores, a evolução do rio Clarence não se enquadra nos paradigmas geomorfológicos convencionais, como o ciclo de Davis, geomorfologia climática ou formas de relevo de estado estacionário, mas um exemplo de geomorfologia evolucionária.

Thomas e Shaw (1992) realizaram uma discussão sobre as evidências que apontaram sobre a evolução do curso atual do rio Zambeze, em que contestam a teoria proposta por Nugent (1990) no que se refere a mudança do rumo do respectivo canal fluvial. Tanto Nugent (1990) e Thomas e Shaw (1988; 1992) discorrem sobre algumas evidências em relação a captura do rio Zambeze, principalmente sobre o ponto onde ela ocorre, observada pela mudança de direção do canal entre o alto curso do rio Zambeze e as Cataratas de Victória (drenagem que segue sentido contrário ao rio Zambeze). Esse ponto sugere que anteriormente o rio Zambeze corria em direção ao deserto de Kalahari, interligado pelo Paleolago Makgadikgadi. As teorias sobre a captura de drenagem do rio Zambeze passam por uma grande inundação do paleolago, e por questões tectônicas ocorridas após a separação do supercontinente de Gondwana (THOMAS e SHAW, 1992).

Cox (1994), ao empregar técnicas de assimetria apoiadas sobre mapas topográfico e geológico, aponta a migração oeste-sudoeste dos rios Ouachita, Saline e Arkansas na Enseada do Mississipi (Golfo do México) devido a pulsos de soerguimento indicados por dados sísmológicos. A assimetria, assim como a análise dos terraços e paleocursos fluviais, se

mostraram eficientes na análise da área, indicando a inclinação dos blocos que conduziu as alterações nas respectivas bacias hidrográficas.

Zelilidis (2000) em uma pesquisa sobre 24 rios que compõe o Gráben do Corinto, na Grécia, a partir de dados geológicos e tectônicos, com taxas diferenciadas de soerguimento, observaram, respostas da drenagem aos tipos de falhas classificou os canais fluviais antecedentes, reversa, captura de drenagem e drenagem juvenil. Cada variedade de canais destas corresponde a uma adaptação do sistema fluvial às atividades tectônicas ocorridas desde Plioceno até o Holoceno e, portanto, as mudanças identificadas por ambientes deposicionais, idades relativas, padrões de drenagem, assimetria das sub-bacias e morfoestatigrafia (ZELILIDIS 2000).

Trabalhos como o de Goudie (2005), realizando uma revisão da drenagem dos rios africanos após a ruptura de Gondwana no Cretáceo, mencionando a relativa juventude destes canais fluviais, observando a dinâmica dos mesmos sobre a paisagem. A referida pesquisa assinala atividades tectônicas e mudanças climáticas (rifteamento da África Oriental e aridificação durante o Quaternário), as quais explicam as modificações nos rios Saara, Níger, Congo, Cunene, Zambeze, Lompopo e Orange. A pesquisa de Prince, Spotila e Henika (2010), ao tratar o recuo da escarpa das montanhas Blue Ridge (EUA), associa tal processo ao papel dos grandes eventos de captura de drenagem no recuo contínuo da respectiva escarpa e posterior ajuste topográfico.

### *Pesquisas realizadas em bacias hidrográficas brasileiras com destaque para a Região Nordeste*

Levando em consideração os trabalhos no Brasil (margem passiva) que analisam bacias hidrográficas e sistemas de drenagem em relação ao contexto geológico, morfoestrutural, morfotectônico e rearranjo de drenagem, temos a contribuição de Silva et al. (2006), Fortes et al. (2007), Maia, Bezerra e Claudino-Sales (2008), Mantelli e Rossti (2009), Fonseca (2012), Neto e Perez Filho (2013), Fonseca e Augustin (2014), Souza e Perez Filho (2016), Barros, Corrêa e Tavares (2017), Silva e Maia (2017), Rezende, Salgado e Castro (2018), Pinto, Freitas e Almeida (2018), Gonçalves (2018), Correia Filho et al. (2019), Oliveira (2019), Monteiro e Corrêa (2020), Oliveira et al. (2023) entre outros. Esses trabalhos utilizaram tanto técnicas morfométricas sobre Modelos Digitais do Terreno, quanto métodos de datações diretos e indiretos, e até dados de sísmica.

A produção de Sordi et al. (2018) investiga a escarpa de margem passiva no sul do país, especificamente no Estado de Santa Catarina, cujo foco está na captura fluvial do rio Itajaí-Açu que rompeu a Serra do Mar e fixou suas nascentes na escarpa da Serra Geral, localizada a 200 quilômetros da costa Atlântica, aplicando métodos como índices geomórficos (índice de Chi, por exemplo) e métodos de datação como os nucleotídeos cosmogênicos ( $^{10}\text{Be}$ ). Sacek (2014) aplicou o modelo numérico tridimensional, que acopla processos de superfície, isostasia flexural e espessamento crustal para explicar a reversão da drenagem do rio Amazonas.

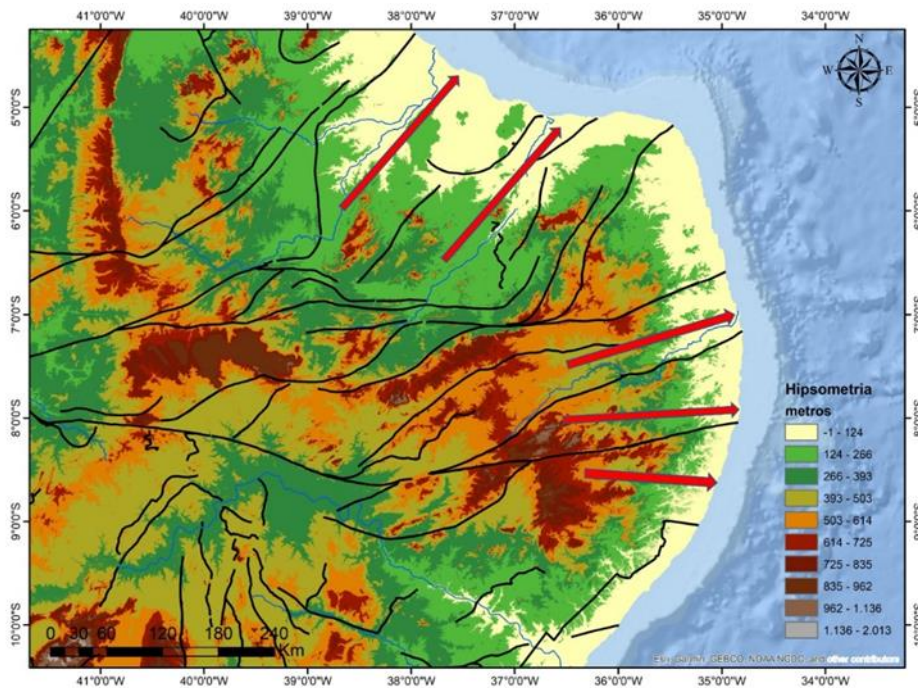
Eventos neotectônicos no nordeste brasileiro em área de margem passiva sobre a bacia sedimentar Paraíba correlacionaram dados geológicos e índices geomórficos, como fator de assimetria, sobre a drenagem da área de estudo (ALVES et al., 2019). Estas e outras pesquisas como Monteiro, Lima e Corrêa (2008), Moura-Lima et al. (2011), Maia e Bezerra (2011; 2012), Silva e Girão (2016) nas quais o sistema fluvial foi empregado como instrumento para discussão da evolução da paisagem geomorfológica.

Deste modo, Maia e Bezerra (2019), ao tratarem do tema tectônica e sistemas fluviais, apontam para a importância de se analisar os campos de paleotensões e sua possível influência na organização do sistema de drenagem para a atualização do conhecimento relacionado a evolução geomorfológica do Nordeste brasileiro (Figura 03). Evidencia-se, a partir de

marcadores morfotectônicos, que a evolução geomorfológica do Nordeste se realizou de maneira mais complexa do que propõem o modelo de Pediplanação, pois este modelo é limitado em relação às recentes concepções referentes ao tectonismo intraplaca (MAIA, BEZERRA e CLAUDINO-SALES, 2008).

**Figura 3.** Zonas de Cisalhamento do Nordeste Brasileiro representadas sobre o modelo de elevação digital. Direção preferencial das drenagens representadas pelas setas vermelhas.

Fonte: CPRM (2017). Elaborado pelos autores.



### Aplicação de índices morfométricos na bacia hidrográfica do rio Capibaribe

Muitos parâmetros morfométricos são interpretados como proxis para condições locais como clima, propriedades das rochas, taxa de erosão ou soerguimento, esses que podem ser influenciados pelas mudanças na área de drenagem (WHIPPLE et al., 2017).

De maneira que o índice de inclinação de canal ( $K_{sn}$ ) (também conhecido como “channel steepness”) é em essência uma métrica de gradiente de canal corrigida para as diferenças na área de drenagem, representado pela seguinte equação:

$$K_{sn} = SA^{\theta_{ref}}$$

Onde:

S (m) é o gradiente local do rio, definido como positivo a jusante;

A (m<sup>2</sup>) é a área de drenagem montante e;

$\theta_{ref}$  é o índice de concavidade de referência, onde universalmente o valor utilizado é de 0,45 (WOBUS et al., 2006).

De acordo com Whipple et al., (2017) ao se observar a equação do índice de inclinação, se torna claro que uma mudança na área de drenagem a montante (A) irá alterar de forma instantânea os valores de  $K_{sn}$ , antes que qualquer resposta erosiva possa modificar o perfil do

rio. Para além disso, ao autor ainda destaca que estudos empíricos apresentam relações robustas e monotônicas entre a inclinação de canal e a taxa de erosão.

Sendo o principal objetivo do presente trabalho, apresentar também as concepções atuais do papel dos sistemas fluviais na evolução da paisagem, utilizou-se como exemplo, para a aplicação dos índices morfométricos, a bacia do rio Capibaribe que possui em grande parte de sua área de drenagem valores de  $K_{sn}$  baixos, muito de tal configuração se dá por áreas bem drenadas; já os valores medianos e elevados que podem ser observados estão relacionados às áreas de maiores cotas altimétricas ou com a presença de estruturas de maior resistência litológica, gerando declividades mais acentuadas e, conseqüentemente, taxas erosivas mais elevadas. É importante ressaltar que o uso do índice de inclinação de canal ( $K_{sn}$ ) também pode ser utilizado para verificar a presença de quebras de patamares, levando em consideração que onde ocorrem quebras, os valores de  $K_{sn}$  vão se destacar devido a inclinação mais acentuada.

Outro elemento de suma importância dentro das análises, são os divisores de drenagem, destacados por Gilbert em 1877, e voltando a receber maior atenção nas últimas duas décadas, com o refinamento de novas técnicas surgindo nos últimos anos como, por exemplo, o índice de assimetria de divisor (IAD), onde para quantificar assimetria morfológica de um divisor Scheler e Schwanghart (2020a; 2020b) propuseram a utilização das diferenças entre divisores no relevo de encosta ( $\Delta HR$ ), normalizada pela soma da diferença de relevo de encosta entre divisores ( $\Sigma HR$ ), e chamamos o valor absoluto disso de índice de assimetria do divisor (IAD):

$$DAI = |\Delta HR / \Sigma HR|$$

O IAD varia entre 0 para divisores totalmente simétricos e 1 para os mais assimétricos, Scheler e Schwanghart (2020a; 2020b) destacam que o índice é baseado apenas nos valores de relevo de encosta (HR), assim, teoricamente um divisor com quantidades iguais de relevo de encosta de ambos os lados, mas contrastes na distância de fluxo (FD) e, portanto, no ângulo de inclinação, resultaria em um IAD de valor zero, contudo, devido à definição de cursos d'água por uma área mínima de drenagem, valores de zero raramente acontecem, além disso, tais ocorrências podem ser identificadas por diferenças de fluxo (FD) entre os lados do divisor.

Destaca-se ainda que análise de divisores de drenagem estão intimamente ligados a processos de captura fluvial e processos de reorganização de drenagem, que são de suma importância para um melhor entendimento das dinâmicas geomórficas das redes fluviais e de que maneira o relevo responde das tais mudanças.

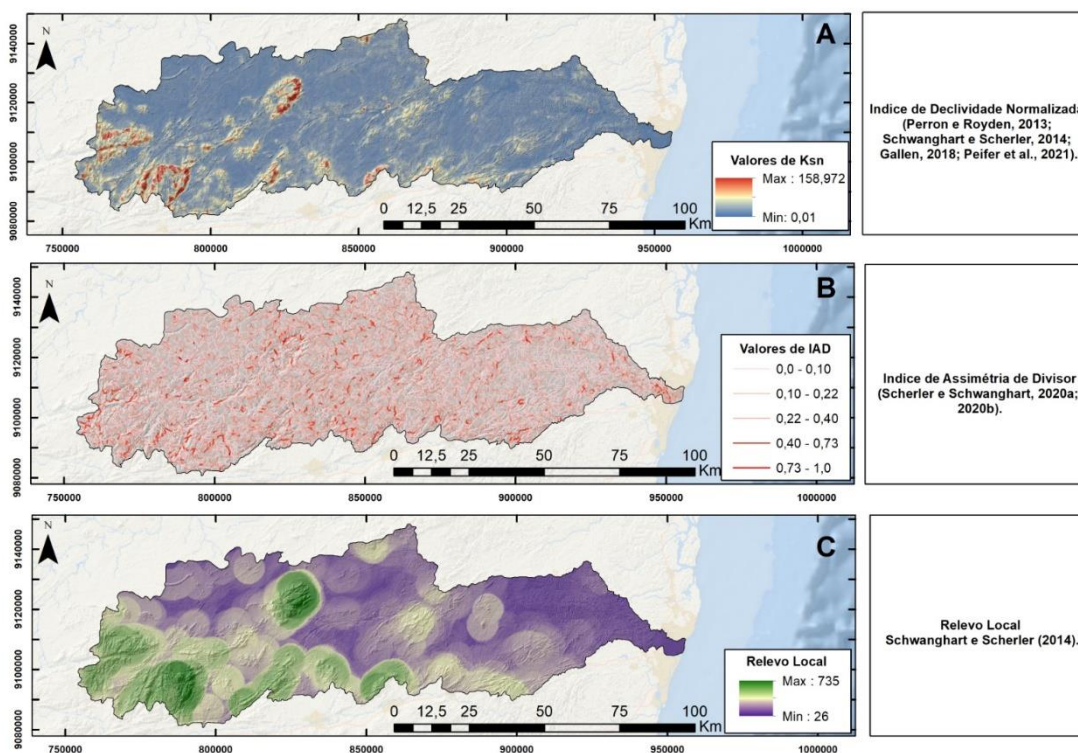
A métrica do relevo local é uma medida importante para analisar as variações de elevação em uma determinada região. Ela permite calcular as diferenças entre as elevações máxima e mínima dentro de um raio específico, fornecendo informações valiosas sobre a topografia local. O raio padrão utilizado para a aplicação desta métrica de 5000 metros, como sugerido por Schwanghart e Scherler (2014). Essa escolha de raio é comumente utilizada na metodologia para garantir uma análise abrangente, capturando as características do relevo em uma escala relevante, contudo os valores do raio podem ser alterados de acordo com a necessidade.

Nos mapas a seguir (Figura 04) temos a aplicação do Índice de  $K_{sn}$ , Índice de Assimetria do Divisor e Relevo Local da bacia hidrográfica do rio Capibaribe (BHRC) localizada na Borda Oriental da Borborema no Estado de Pernambuco. São exemplos de técnicas morfométricas aplicadas em contexto de bacia hidrográfica interpretação do relevo regional.

A partir da interpretação do índice de  $K_{sn}$ , se destaca setores do alto e médio curso da BHRC. Ao correlacionar com o contexto geológico e estrutural, por exemplo, há uma indicação que os setores de  $K_{sn}$  destacados no mapa, ou seja, aqueles com maior relação de entre o relevo mais elevado e setores mais rebaixados, podem ser resultados da ação das Zonas de

Cisalhamentos secundárias de trend regional NE-SW, com destaque para uma Zona de Cisalhamento Compressional mapeada pela CPRM (2017). Efeitos de erosão diferencial pode ter atuado entre a unidade Suíte Taquaritinga e uma Suíte intrusiva indeterminada segundo o mapeamento da CPRM (2017). A intenção do uso dos índices morfométricos é sua capacidade de interpretação dos seus dados, juntamente com o contexto geológico e geomorfológico (Figura 04).

**Figura 4.** Índices morfométricos aplicados na BHRC



Fonte: Os autores.

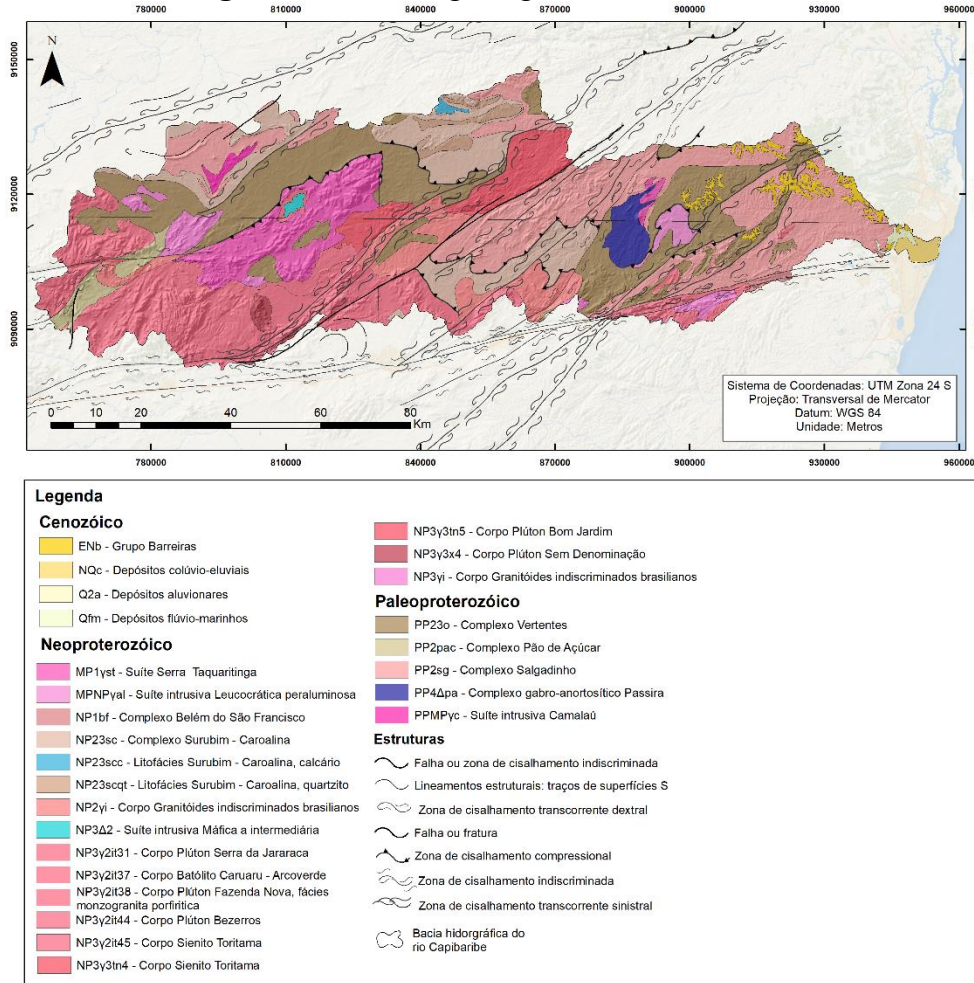
Sobre o mapa de índice de assimetria de divisor, é observado na BHRC setores de assimetria ao longo de toda bacia hidrográfica. Salientando que essas áreas assimétricas correspondem a trechos de reorganização fluvial, desse modo, indicando a adaptação da drenagem em relação as estruturas geológicas e diferenças litológicas. Portanto, os índices morfométricos são ferramentas imprescindíveis para interpretação da paisagem geomorfológica no contexto de bacia hidrográfica.

No mapa de relevo local se destacam os setores de maior cota altimétrica normalizada pela área, como indicado anteriormente. Esses trechos se correlacionam com as áreas destacadas pelo índice de Ksn, onde atuam as Zonas de Cisalhamento de trend regional NE-SW e uma Zona de Cisalhamento Compressional, junto aos processos de erosão diferencial, são responsáveis pelos setores de relevo com altimetria destacada. O relevo em forma de crista ou cristas residuais remobilizadas pelos lineamentos Patos e Pernambuco (CORRÊA, et al. 2010), por vezes, responde às estruturas geológicas, mesmo em áreas de mesma litologia, portanto, indicando a forte influência estrutural apontada no setor SW da BHRC. Já o trecho mais a norte entre o alto e médio curso evidenciado no mapa de relevo local aponta a forte influência do da Zona de Cisalhamento Compressional que divide duas unidades geológicas distintas, provocando a ação de dobras, as quais, expostas sobre a superfície pode ter sofrido a ação da erosão diferencial.





Figura 5. Contexto geológico e estrutural da BHRC.



Fonte: Os autores.

Diante da compartimentação megageomorfológica do Planalto da Borborema feita por Corrêa et al. (2010) o setor onde está inserida a BHRC é a Depressão Interplanáltica Pernambucana. São características deste domínio morfoestrutural a altitude média variando entre 500 a 600 m, com alguns blocos serranos atingindo mais de 800 metros. São complexos litológicos com predomínio de gnaisses e migmatitos do mesoproterozoico, com presença de maciços e cristas residuais, contudo com predomínio de uma depressão interplanáltica, climas semiárido e sub-úmido com deficiência hídrica e drenagem intermitente incapaz de entalhar profundamente os vales (CORRÊA et al., 2010). Quando gerados os índices morfométricos, essas características foram destacadas, principalmente observadas no índice de Ksn e no relevo local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas fluviais organizados em bacias hidrográficas são um dos grandes responsáveis pela denudação do relevo. Quando se trata de áreas montanhosas de margem ativa ou escarpas de margem passiva, esses sistemas complexos de escoamento de fluxo de energia (água e sedimentos), são um dos principais agentes de recuo dessas formas, deixando relíquias fractais como indício de modificação e evolução da paisagem geomorfológica.

Seja através do recuo de knickpoints, seja por processo erosivo em rios leito rochoso, movimentos tectônicos ou oscilações climáticas pretérita e atual, a resposta sobre a paisagem

superficial é primeiramente observada no sistema de drenagem. Essas mudanças podem resultar em capturas fluviais, por exemplo, modificando o sentido dos rios e, por conseguinte, a história natural da evolução do relevo de uma paisagem.

Desse modo, o presente artigo buscou apresentar, através de uma visão teórico-metodológica, a contribuição do papel dos sistemas fluviais na evolução da paisagem geomorfológica. Ora como ponto central da teoria, ora como fatores secundários diante das postulações dos autores clássicos, evolução das técnicas de estudos de canais fluviais de leito rochoso, técnicas morfométricas e processos de capturas fluviais exemplificados em várias regiões do mundo, os sistemas fluviais foram utilizados como forma de compreensão e evolução do relevo. Portanto, ao trazer essa perspectiva, procurou-se explicitar a riqueza de temas referentes aos estudos dos sistemas fluviais e bacias hidrográficas do ponto de vista da evolução da paisagem geomorfológica.

A aplicação de algumas técnicas morfométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe é uma exemplificação de como estas técnicas podem ser úteis para interpretação da paisagem geomorfológica, correlacionando com o contexto geológico estrutural e morfoestrutural da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. Surrell e as Leis da Morfologia Fluvial. In: Craton & Incraton – Escritos e Documentos. São José do Rio Preto, São Paulo, IBILCE-UNESP, 1980.
- ALVES, F.C.; ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES FILHO, C.O. Neotectonics in the South American passive margin: Evidence of Late Quaternary uplifting in the northern Paraíba Basin (NE Brazil). *Geomorphology*, v. 325, p. 1-16, 2019.
- BARROS, A.C.M.; CORRÊA, A.C.B.; TAVARES, B.A.C. Controles Estruturais sobre a Sedimentação de Fundo de Vale na Bacia do Riacho Grande/PB. *Clio Arqueológica*, v. 32, n. 3, p. 1-36, 2017.
- BEZERRA, F. H. R.; NEVES, B. B. B.; CORRÊA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*. v. 01, p. 555-582, 2008.
- BIGARELLA, J.J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. Universitária da UFSC. p. 877-1436. 2003.
- BÜDEL, L, J. Das system der Klimatischen Morphologie. *Deutscher Geographentag*, München, v. 27, n. 4, p. 65-100, 1948.
- BÜDEL, J. Die “Doppelten Einebnungsflächen” in den fenchten tropen. *Zeif. Geomorph.*, 1(2). p. 201-228,1957.
- BÜDEL, J. Klema genetische geomorphologie. *Geograph. Rundschau*. 15(7). p. 269-285, 1963.
- BÜDEL, J. *Climate Geomorphology* . Princenton University Press. 1982.
- CHARLTON, R. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Editora Routledge, 1º ed., 234 p., 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. Capturas fluviais. Enciclopédia Mirador Internacional. São Paulo, vol. 5, p. 2.049-2.051, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Editora Edgar Blücher. 2º edição. 188 pg. 1980.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – CPRM. Dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil – GEOSGB, 2017. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 15/01/2024.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia E Morfoestrutura Do Planalto Da Borborema. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31 (1/2), p.35-52, 2010.

CORREIA FILHO, O.J.; BARBOSA, J.A.; TAVARES, B.A.C.; SILVA, H.A.; MONTEIRO, K.A.; FABIN, C.E.G.; OLIVEIRA, J.T.C.; SANTANA, F.R.; SILVA, S.M. Reativação Tectônica Quaternária no Domínio Sul da Província Borborema, NE do Brasil: Integração de Dados Morfométricos, Geológicos e Geofísicos da Bacia do Rio Una. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 42 – 4, p. 219-237, 2019.

COX, R. T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. GSA Bulletin, v. 106, p 571-581, 1994.

CROSBY, B.T.; WHIPPLE, K.X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand. Geomorphology, v.82, p.16–38, 2006.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. Royal Geographical Society Blackwell Publishing, Vol. 14, Nº 5, p. 481-504, 1899.

DAVIS, W.M. Rock floors in arid humid climates. Journal of Geology. p. 1-27, 1930.

DIBIASE, R.A.; WHIPPLE, K.X. The influence of erosion thresholds and runoff variability on the relationships among topography, climate, and erosion rate. Journal of geophysical research, v. 116, p. 1-17, 2011.

FONSÊCA, D.N. Reconstrução da Paisagem Geomorfológica através da Assinatura Geoquímica dos Eventos Depositionais da Bacia do rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco. Recife, Dissertação de Mestrado (Geografia), 167 p. 2012.

FONSECA, B.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Análise Morfométrica de Bacias de Drenagem e sua Relação com a Estrutura Geológica, Serra do Espinhaço Meridional-MG. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.15, n.2, p.153-172, 2014.

FORTES, E., VOLKMER, S.; STEVAUX, J.C.; MARQUES, A.J. Anomalias de Drenagem e Controles Morfotectônicos da Evolução dos Terraços do Baixo Curso do Rio Ivinhema – MS. Geociências – UNESP, São Paulo, v.26, n. 3, p. 249-261, 2007.

GILBERT, G. K. Geology of the Henry Mountains (Utah). Washington, DC. US Geog

and Geol. Survey of the Rocky Mts. Region, US Govt. Printing Office, 160p. 1877.

GONÇALVES, R. B. Significado Geomorfológico dos Sedimentos Cenozoicos do Baixo Curso do Rio Capibaribe – PE. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado (Geografia), 137 p. 2018.

GOUDIE, A. S. The drainage of Africa since the Cretaceous. *Geomorphology*, v. 67, p. 437-456, 2005.

GLERIA, I.; MATSUSHITA, R.; SILVA, S. Sistemas complexos, criticalidade e leis de potência. *Revista Brasileira de Ensino da Física*, v. 26, n. 2, p. 99-108, 2004.

GRAF W.L. Downstream changes in stream power in the Henry Mountains, Utah. *Annals of the Association of American Geographers*, v.73, p. 373–387, 1983.

GRANT G.E, SWANSON F.J, WOLMAN M.G. Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, western Cascades, Oregon. *Geological Society of America Bulletin*, v.102(3), p. 340–352, 1990.

HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland: U.S. Geological Survey Professional Paper 294-B, p. 45-97, 1957.

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

HACK, J. T. Dynamic Equilibrium and Landscape Evolution. In Melhorn. Ed. *Theories of landform Development*. Boston: Allen and Unwin. p. 87-102, 1965.

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

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

HACK, J. T. Physiographic Divisions and Differential Uplift in the Piedmont and Blue Ridge. U.S. Geological Survey Professional Paper, n. 1, 1265, p. 1 – 55, 1982.

HARBOR, D.J., SCHUMM, S.A., HARVEY, M.D., 1994. Tectonic control of the Indus River in Sindh, Pakistan. In: S.S. Schumm and B.R. Winkley (eds), *The Variability of Large Alluvial Rivers*. American Association of Civil Engineers Press, New York, pp. 161–76. 1994.

HAWORTH, R.J.; OLLIER, C.D. Continental rifting and drainage reversal: the Clarence River of eastern Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 17, p. 387-97, 1992.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S. A. Geomorphic and sedimentar response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing, subtle tectonic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics*, v.305, pp. 287-306, 1999.

HOWARD, A.D., KERBY, G. Channel changes in badlands. *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, p. 739–752, 1983.

KIRBY E, WHIPPLE K. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, v. 29, p. 415–418, 2001.

LANGBEIN, W. B. Topographic characteristics of drainage basins: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 968-C, p. 125-157, 1947.

LECCE S.A. Nonlinear downstream changes in stream power on Wisconsin's Blue River. *Annals of the Association of American Geographers*, v.87, p. 471–486, 1997.

LEOPOLD, L. B., LANGBEIN, W. B. The concept of entropy in landscape evolution: U.S. Geological Survey Professional Paper 500-A, p. A1-A20, 1962.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R.; CLAUDINO-SALES, V. Vales Fluviais do NE: Considerações Geomorfológicas. *Revista Okara: Geografia em debate*, v. 2, n. 2, p. 128-206, 2008.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F. H. R.; CLAUDINO-SALES, V. Geomorfologia do Nordeste: Concepções Clássicas e Atuais Acerca das Superfícies de Aplainamento Nordestinas. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 1, 2010.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: Uma análise preliminar do contexto Nordestino. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, p. 32-42, 2011.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Condicionamento Estrutural do Relevo do Nordeste Setentrional Brasileiro. *Revista Mercator, Fortaleza*, v.13, n. 1, p. 127-141, 2014.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. *Structural Geomorphology in Northeastern Brazil*. Editora Springer, 1ed., 114 p. 2019.

MANTELLI, L.R.; ROSSETTI, D.F Significado tectônico de lineamentos de drenagem no sudoeste da ilha de Marajó. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 39 (1), p. 1-13, 2009.

MONTEIRO, K. A.; LIMA, C. S.; CORRÊA, A. C. B. Contribuições ao entendimento da gênese e evolução do Modelado na Bacia do Rio Tracunhaém, Pernambuco. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte - MG. *Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia*. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2008.

MONTEIRO, K. A. Análise Geomorfológica da Escarpa oriental da Borborema a partir da Aplicação de Métodos Morfométricos e Análises Estruturais. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Tese de Doutorado (Geografia), 222 p., 2015.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of borborema highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 103, p. 1-28, 2020.

MORISAWA, M. *Rivers – Forms e Process (Série – Geomorphology Texts 07)*. Longman Inc., New York, 1985, 221p.

NETO, R.M.; PEREZ FILHO, A. Análise Morfoestrutural e Morfotectônica da Bacia do rio Capivari, Sul de Minas Gerais: A Neotectônica e as Superfícies Geomorfológicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, n° 4, p. 271-277, 2013.

NUGENT, C. The Zambezi River: tectonism, climatic change and drainage evolution. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, v. 78: p. 55-69, 1990.

OLLIER, C. D. Tectonics and geomorphology of the Eastern Highlands. In: Davies, J. L. and Williams, M. A. J. (Eds), *Landform Evolution in Australasia*, Australian National University Press, Canberra, 547 p., 1978.

OLIVEIRA, D. Capturas fluviais como evidências da evolução do relevo: uma revisão bibliográfica. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. 20, p. 37-50, 2010.

OLIVEIRA, G.P. Evolução Morfoestrutural e Morfotectônica Pós-Rifte de Divisores de Drenagem em Ambientes de Margem Passiva: o caso do Nordeste Oriental brasileiro. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, (Geografia), 163 p., 2019.

OLIVEIRA, G.P.; CORRÊA, A.C.B.; TAVARES, B.A.C.; MONTEIRO, K.A. The influence of cenozoic magmatism on drainage rearrangement processes of the northeast sector of the Borborema Highlands, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 121, 2023.

ORME, A.R. The Twin Foundations of Geomorphology. In: Davies, G.L., Orme, A.R. (Eds.), *Two centuries of Earth science, 1650–1850*. Clark Memorial Library, University of California-LA, pp. 29–90, 1989.

ORME, A. R. Shifting Paradigms in Geomorphology: the fate of research ideas in na educational context. *Geomorphology*, ed. 47 p. 325-342, 2002.

PENCK, W. Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie. J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart, 283p., 1924.

PENCK, W. *Morphological Analysis of Landforms*. McMillan, Londres, 1953.

PIKE, A.S.; SCATENA, F.N.; WOHL, E.E. Lithological and fluvial controls on the geomorphology of tropical montane stream channels in Puerto Rico. *Earth Surf. Process. Landforms*, p. 1-16, 2010.

PINTO, R.W.P; FREITAS, M.M.; ALMEIDA, J.C.H. Evolução Geomorfológica do rio Grande, RJ: Influências Geológicas e Capturas de Drenagem. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 407-422, 2018.

PRINCE, P. S.; SPOTILA, J. A.; HENIKA, W. S. New physical evidence of the role of stream capture in active retreat of the Blue Ridge escarpment, southern Appalachians. *Geomorphology*, n. 123, n. 3-4, p. 305–319, 2010.

REZENDE, E.A.; SALGADO, A.A.R.; CASTRO, P.T.A. Evolução da Rede de Drenagem e Evidências de Antigas Conexões entre as Bacias dos rios Grande e São Francisco no Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 483-501, 2018.

SACEK, V. Drainage reversal of the Amazon River due to the coupling of surface and lithospheric processes. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 401, p. 301-312, 2014.

SCHERLER, D., SCHWANGHART, W. Drainage divide networks – Part 1: Identification and ordering in digital elevation models. *Earth Surface Dynamics*, 8, 245–259, 2020a. DOI: 10.5194/esurf-8-245-2020

SCHERLER, D., SCHWANGHART, W. Drainage divide networks – Part 2: Response to perturbations. *Earth Surface Dynamics*, 8, 261-274, 2020b. DOI: 10.5194/esurf-8-261-2020

SCHWANGHART, W. AND SCHERLER, D.: Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences, *Earth Surf. Dynam.*, 2, 1–7, <https://doi.org/10.5194/esurf-2-1-2014>, 2014.

SILVA, T.M.; MONTEIRO, H.S.; CRUZ, M.A.; MOURA, J.R.S. Anomalias de Drenagem e Evolução da Paisagem no Médio Vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP). *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 29 – 2, p. 210-224, 2006.

SILVA, M.B.; MAIA, R.P. Caracterização Morfoestrutural do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 18, n° 3, p. 637-655, 2017.

SKLAR, L., DIETRICH, W.E. A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. *Water Resources Research*, v.40, W06301, 2004.

SORDI, M. V.; SALGADO, A. A. R.; SIAME L.; BOURLÉS, D.; PAISANI, J. C.; LEANNI, L.; BRAUCHER, R; COUTO, E. V. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. *Geomorphology*, v. 306, p. 155-169, 2018.

SOUZA, A.O.; PEREZ FILHO, A. Mudanças na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do ribeirão Araquá: eventos tectônicos e climáticos no Quaternário. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 20, n. 3, p. 636-656, mês. 2016.

SUMMERFIELD, M. A. River capture. In: *Global Geomorphology. An introduction to the study of landforms*. Editora Longman, New York, p. 410-411, 1991.

TAVARES, B. A. C. Evolução Morfotectônica dos Pedimentos Embutidos no Planalto no Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Tese de Doutorado (Geografia), 251 p., 2015.

TAYLOR, T. G. A discussion of the salient features in the physiography of eastern Australia. *Commonwealth Bureau of Meteorology Bulletin*, p. 8-18, 1911.

THOMAS, D.S.G.; SHAW, P.A. The Zambezi River: tectonism, climatic change, and drainage evolution – is there really evidence for a catastrophic flood? A discusson. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 91, p. 175-182, 1992.

TUCKER, G. Drainage basin sensitivity to tectonic and climatic forcing: implications of a stochastic model for the role of entrainment and erosion thresholds. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 29, p. 185–205, 2004.

VERVLOET, R. J. H. M. Condicionantes Morfológicos e Estruturais na Dinâmica Fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo. Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado (Geografia Física), 478p. 2009.

VITTE, A. C. Etchplanação dinâmica e episódica nos trópicos quentes e úmidos. *Revista do Departamento de Geografia – UNICAMP*, Vol. 16, p. 105-118, 2005.

WAYLAND, E. J. Peneplains and some other erosional plataforms. *Annual Report and Bulletin, Protectorate of Uganda Geological Survey, Dept. Mines, Note*, 1:77-79, 1933.

WHIPPLE, K.X., TUCKER, G.E. Dynamics of the stream-power river incision model: implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, v.104 (B8), p. 17,661–17,674, 1999.

WHIPPLE, K.X., HANCOCK, G.S., ANDERSON, R.S. River incision into bedrock: mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation. *Geological Society of America Bulletin*, v.112(3), p. 490–503, 2000.

WHIPPLE, K.; DIBIASE, R. A.; CROSBY, B. T. Bedrock Rivers. In: *Fluvial Geomorphology*, Ed. Elsevier, v. 9, p. 550-573, 2013.

WHIPPLE, K. X., FORTE, A. M., DIBIASE, R. A., GASPARINI, N. M., & OUIMET, W. B. Timescales of landscape response to divide migration and drainage capture: implications for the role of divide mobility in landscape evolution. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122(1), 248-273, 2017. <https://doi.org/10.1002/2016jf003973>

WOHL, E. *Rivers in the Landscape: Science and Management*. Editora Wiley Blackwell. 1º ed. 318 p. 2014.

ZELILIDIS, A. Drainage evolution in Rifted basin, Corinth graben, Greece. *Geomorphology*, v. 35, p. 69–85, 2000.