

CLASSIFICAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE RIOS: UMA BREVE DISCUSSÃO TEÓRICA

GEOMORPHIC CLASSIFICATIONS OF RIVERS: A BRIEF THEORETICAL DISCUSSION

CLASIFICACIONES GEOMORFOLÓGICAS DE RÍOS: BREVE DISCUSIÓN TEÓRICA

ANDRÉ SOUZA PELECH ¹

¹ Pesquisador da Diretoria de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE.

E-mail: andre.pelech@ibge.gov.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3394-3035>

Recebido 05/10/2021

Aceito 25/11/2021

RESUMO

As classificações geomorfológicas de rios se apresentam atualmente como importantes ferramentas para a compreensão das características e do funcionamento dos rios, principalmente sob um contexto em que há cada vez mais necessidade de soluções ambientais robustas que também levem em consideração os aspectos geomorfológicos. Para isto, a geomorfologia fluvial precisou percorrer um longo caminho de investigações sobre processos, formas e fatores controladores, desde as estruturas conceituais iniciais da ciência geomorfológica voltadas para a evolução do relevo, até os estudos recentes de caráter mais local. O presente artigo revisa e discute a literatura sobre o tema focando em dois eixos principais: a) o papel da rede de drenagem na configuração do relevo regional ao longo do tempo geológico; e b) os rios enquanto objetos de estudo propriamente e as classificações geomorfológicas de rios modernas. Por fim, diante de alguns desafios recentes dentro da ciência geomorfológica – necessidade de padronização; reconhecimento e crescimento da Geodiversidade; e questões relativas ao Antropoceno – algumas perspectivas das classificações geomorfológicas de rios são traçadas.

Palavras-chave: Classificação Geomorfológica de Rios. Geomorfologia Fluvial. Canais Fluviais. Rede de Drenagem.

ABSTRACT

Geomorphic classifications of rivers are currently presented as important tools for understanding characteristics and functioning of rivers, especially in a context in which there is an increasing need for robust environmental solutions that also take into account geomorphological aspects. For this, fluvial geomorphology needed to walk a long way in investigating processes, forms and controlling factors, from the initial conceptual structures of geomorphological science which focused on the evolution of large landforms, to recent studies of a more local character. This article reviews and discusses the literature on the subject focusing on two main axes: a) the role of drainage network in configuration of regional relief over geological time; and b) rivers as objects of study properly and modern geomorphological classifications of rivers. Finally, given some recent challenges within geomorphological science – need for standardization; recognition and growth of Geodiversity; and issues related to the Anthropocene – some perspectives on geomorphological classifications of rivers are drawn.

Palavras-chave: Geomorphic Classification of Rivers. Fluvial Geomorphology. River Channels. Drainage Network.

RESUMEN

Las clasificaciones geomorfológicas de los ríos se presentan actualmente como herramientas importantes para comprender las características y funcionamiento de los ríos, especialmente en un contexto en que existe una necesidad creciente de soluciones ambientales robustas que también tengan en cuenta aspectos geomorfológicos. Para ello, la geomorfología fluvial necesitaba recorrer un largo camino en la investigación de procesos, formas y factores de control, desde las estructuras conceptuales iniciales de la ciencia geomorfológica orientadas a la evolución del relieve, hasta estudios recientes de carácter más local. Este artículo revisa y discute la literatura sobre el tema centrándose en dos ejes principales: a) el papel de la red de drenaje en la configuración del relieve regional a lo largo del tiempo geológico; y b) los ríos como objetos de estudio propriamente y clasificaciones geomorfológicas de los ríos modernos. Finalmente, dados algunos desafíos recientes dentro de la ciencia geomorfológica - necesidad de estandarización; reconocimiento y crecimiento de la Geodiversidad; y cuestiones relacionadas con el Antropoceno - se extraen algunas perspectivas sobre las clasificaciones geomorfológicas de los ríos.

Palabras-chave: Clasificación Geomorfológica de Ríos. Geomorfología Fluvial. Canales Fluviales. Red de Drenaje.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre a paisagem física (*physical landscapes*) têm se preocupado principalmente com a evolução das feições da superfície terrestre, tais como as montanhas, colinas e rios (CROZIER et al., 2010). Tais pesquisas investigam como as feições mudam suas morfologias, tanto de modo natural como por intervenção ou influência da atividade humana, verificando, para isto, as taxas em que essas mudanças ocorrem e os seus fatores controladores.

A Geomorfologia, ciência com fundamentos ligados à Geografia e à Geologia, tem se dedicado, desde seu surgimento, a entender o funcionamento, as características e dinâmicas dos rios, ou seja, as propriedades destes componentes da natureza e seu papel na configuração e dinâmica das paisagens. A compreensão das propriedades de uma entidade permite a realização de classificações e padronizações (INKPEN; WILSON, 2013) que, no caso do rio¹, significa o reconhecimento de tipos, com base em similaridades e diferenças. Brierley e Fryirs (2005) enfatizam a categorização como um ato fundamental de compreensão da realidade:

A categorização é a principal maneira de entender a experiência. A fixação de rótulos para designar categorias que possuem qualidades discretas fornece uma base comum para comunicação. (...) Idealmente, a ordenação da informação fornece um método claro, sistemático e organizado com o qual enxergar a realidade². (BRIERLEY; FRYIRS, 2005, p. 49, tradução nossa).

Nesse sentido, entender o rio como objeto de estudo científico, dentro do escopo da Geomorfologia, é uma tarefa que vem sendo desempenhada principalmente por profissionais geógrafos, geólogos e engenheiros, de modo especial desde o final do século XIX.

Este aspecto é evidenciado pelo fato de as primeiras teorias geomorfológicas consolidadas em estudos acadêmicos, no final do século XIX, já apontarem o trabalho realizado pelos rios como de grande importância na evolução do modelado terrestre. O geógrafo William Morris Davis, em seu famoso Ciclo Geográfico (ou Ciclo de Erosão), apresentou três estágios do ciclo – Juventude, Maturidade e Senilidade – baseados no desenvolvimento da rede hidrográfica ao longo do tempo, em um determinado recorte do relevo continental (DAVIS, 1899).

Em meados do século XX, aumenta a ênfase nos canais fluviais e na rede drenagem como objetos de estudo. A classificação de canais proposta por Horton (1945) e Strahler (1957) – a hierarquia fluvial ou ordem de canais – revoluciona as análises geomorfológicas da rede drenagem, sendo amplamente utilizada até os dias atuais. Apesar de não se basear em critérios geomorfológicos propriamente – trata-se de uma classificação relativa de caráter descritivo – esta classificação fornece uma ideia de magnitude do canal em relação à rede de drenagem da bacia a qual pertence, permitindo comparações entre canais da mesma ordem.

A classificação geomorfológica de rios, isto é, a identificação dos tipos de rios baseada fundamentalmente na geomorfologia, não possui uma data certa de origem e, na verdade, apenas recentemente tem havido uma formalização e dimensionamento do que são

¹ O rio é uma entidade estudada por diversos ramos da ciência, tais como a Hidrologia, a Geografia, a Geologia, a Biologia, dentre outras, estando suas concepções e definições ligadas às diferentes construções teóricas e percepções empíricas sobre sua existência. Segundo o Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, rio é o “grande curso de água natural, quase sempre oriunda das montanhas, que recebe no trajeto águas de regatos e ribeiros, e deságua em outro curso de água, num lago ou no mar” (DICIONÁRIO..., 2020). Tal definição, enraizada no senso comum, está ligada à maneira como percebemos a entidade que definimos como rio.

² “Categorization is the main way of making sense of experience. Attachment of labels to designated categories that possess discrete qualities provides a common basis for communication. (...) Ideally, ordering of information provides a clear, systematic, and organized method with which to view reality.” (BRIERLEY; FRYIRS, 2005, p. 49).

propriamente classificações de rios baseadas em critérios geomorfológicos (ROSGEN, 1994; MONTGOMERY; BUFFINGTON, 1997; BRIERLEY; FRYIRS, 2000; 2005; BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013; KONDOLF et al., 2016). Apesar deste reconhecimento recente da classificação geomorfológica de rios como ferramenta, método ou metodologia de estudo dentro da geomorfologia fluvial, a identificação de padrões de canal e o desenvolvimento de estudos sobre o tema passaram a ter destaque com o trabalho de Leopold e Wolman (1957), no qual os chamados padrões de canal são baseados na forma em planta dos rios.

Desde então, metodologias de classificação geomorfológicas de rios vêm surgindo e evoluindo de acordo com propósitos específicos. Em geral, estas classificações têm apresentado os seguintes objetivos: reconhecimento do funcionamento dos rios; associação entre as feições geomorfológicas fluviais e os respectivos habitats de comunidades de organismos, numa interface com a ecologia; e a restauração (e/ou reabilitação, recuperação e propostas afins) fluvial, em um caráter mais aplicado. Nota-se que desde a década de 1980, maior importância tem sido dada às relações entre formas e processos genéticos, através das classificações baseadas em processos, pois permitem a compreensão das condições atuais do rio de maneira mais precisa, além de possibilitar comparações com cenários do passado e elaboração de prognósticos para o futuro. Concomitantemente, a busca por uma abordagem integradora em relação à bacia hidrográfica e ao contexto geológico, geomorfológico, climático e biótico no qual os rios se inserem, tem estimulado o surgimento de classificações hierárquicas que abrangem, de maneira estruturada e articulada, desde as macroformas ou paisagens de contexto regional, até as microformas das feições hidráulicas de canal ou de microhabitats.

De maneira geral, percebe-se que, com as abordagens voltadas para classificação e padronização, a Geomorfologia tem se desenvolvido em uma perspectiva geográfica inserida no paradigma da ciência espacial, isto é, baseada nos pilares da objetividade e generalidade na busca de processos causais ordenados (SHAW et al., 2010; INKPEN; WILSON, 2013). Assim, dentro desta perspectiva geográfica, nota-se o desenvolvimento de dois caminhos metodológicos principais para a compreensão dos rios, amparados no princípio fundamental de entendimento das formas e processos associados. O primeiro se baseia na evolução do relevo – como visto em Davis (1899) – e trata do trabalho ou da dinâmica fluvial em períodos longos (períodos geológicos), porém ainda discerníveis na configuração de relevo atual. Os mapeamentos geomorfológicos de cunho regional são, desta maneira, oriundos deste olhar metodológico que enxerga o rio como um dos diversos agentes geomorfológicos (ou geológicos) – na verdade, a água transportada pelos rios, para ser mais fidedigno – que esculpem o relevo ao longo do tempo, assim como o vento, as geleiras, os oceanos etc. Sob este contexto encontram-se exemplos de mapeamentos internacionais (e.g., DEMEK et al., 1972; RADOANE et al., 2011; BISHOP et al., 2012) e nacionais, como aqueles realizados pelo Projeto RADAMBRASIL (e.g., BARBOSA; PINTO, 1973; GATTO et al., 1983), pelo IBGE (e.g., IBGE 2006; 2009; 2016; 2017), pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (e.g., CPRM, 2000) e na academia (e.g., ROSS, 1985; 1992; ROSS; MOROZ, 1996; SILVA, 2002; SANTOS et al., 2006, AUGUSTIN et al., 2011; DINIZ et al., 2017). O segundo caminho metodológico trata o rio como objeto de estudo propriamente e, em geral, está ligado ao tempo geológico mais recente, diretamente relacionado à configuração atual do rio e suas respostas morfológicas diante de diferentes contextos biogeoclimáticos. Os estudos de classificação geomorfológica de rios se encaixam nesta vertente, e são responsáveis pelo desenvolvimento de um amplo arcabouço metodológico (e.g., LEOPOLD; WOLMAN, 1957; BRICE, 1982; FRISSEL et al., 1986; ROSGEN, 1994; MONTGOMERY; BUFFINGTON, 1997; BRIERLEY; FRYIRS, 2000; 2005; dentre outros).

Neste sentido, atentando-se para a questão escalar, Crozier et al. (2010) apontam que as formas de relevo (*landforms*), condicionadas estruturalmente pela tectônica e pelo clima, e localmente por fatores como vegetação e atividade humana, evoluem a diferentes taxas, no espaço e no tempo.

Instrumentos e observações podem fornecer informações diretas sobre a taxa e a causa das mudanças recentes, mas as mudanças de longo prazo, que ocorrem ao longo de séculos ou milênios, devem ser decifradas indiretamente, datando depósitos de sedimentos ou superfícies de erosão ou derivando informações de modelos que retratam componentes do cenário físico e os processos que os modificam³. (CROZIER et al., 2010, p. 94, tradução nossa).

É sob este contexto que aqui pretende-se apresentar e discutir, brevemente, através de uma revisão teórica sobre as classificações geomorfológicas de rios, como a apreensão geomorfológica sobre os rios tem se dado, segundo os dois principais eixos teóricos anteriormente mencionados: o rio enquanto agente geomorfológico de remodelamento do relevo ao longo de milhares ou milhões de anos; e o rio enquanto objeto de estudo, numa perspectiva de sua configuração recente e atual. Ressalta-se a tentativa de trazer à discussão também a literatura produzida na língua portuguesa no Brasil. Por fim, discute-se os atuais desafios e perspectivas teórico-metodológicos sobre o tema.

O PAPEL DA REDE DE DRENAGEM NA CONFIGURAÇÃO DO RELEVO EM ESCALA REGIONAL)

O movimento em direção a uma teorização da evolução do relevo foi preconizado não só por William Morris Davis em seu Ciclo Geográfico (DAVIS, 1899) e os processos de peneplanização, mas também por Walter Penck (PENCK, 1924) e Lester King (KING, 1953), vinculados aos processos de pediplanação.

Segundo a teoria davisiana, um relevo jovem possuiria, devido ao soerguimento do continente em relação ao nível do mar (considerado o nível de base geral, para onde desaguardam as redes hidrográficas), uma rede de rios com grande energia (regime torrencial), propiciando o aparecimento de feições como quedas d'água e corredeiras. Relevos mais velhos possuiriam rios com fluxos de baixa energia, resultado do rebaixamento progressivo do relevo e do alargamento dos vales fluviais ao longo dos estágios de evolução do modelado, sendo o estágio final do ciclo marcado por um rio largo meandrando por um amplo vale aberto. Em síntese, Davis (1899) apresentou uma teoria da gênese das formas de relevo, na qual o rio constituía um elemento e um fator fundamental para o seu entendimento:

A frequência de inundações torrenciais e de deslizamentos em montanhas jovens e maduras, em contraste com a quietude dos canais lentos e o movimento vagaroso de solos nas terras baixas da denudação, são suficientes para mostrar que a taxa de denudação é uma matéria de estrito interesse geográfico, assim como geológico⁴. (DAVIS, 1899, p. 486-487, tradução nossa).

³ “Instruments and observations may provide direct insight into the rate and cause of recent change but long term change, which occurs over centuries or millennia, must be deciphered indirectly, by dating sediment deposits or erosion surfaces, or by deriving information from models that portray components of the physical landscape and the processes that change them.” (CROZIER et al., 2010, p. 94).

⁴ “The frequency of torrential floods and of landslides in young and in mature mountains, in contrast to the quiescence of the sluggish streams and the slow movement of the soil on lowlands of denudation, suffices to show that rate of denudation is a matter of strictly geographical as well as of geological interest.” (DAVIS, 1899, p. 486-487).

De maneira similar, porém com formas resultantes diferentes, a teoria da pediplanação de Walter Penck, do início do século XX, também se baseou no trabalho fluvial de esculturação do relevo, através do recuo paralelo das encostas, formação de pedimentos e conseqüente alargamento dos vales fluviais (CHRISTOFOLLETTI, 1980). Apesar de estes modelos não caracterizarem os rios propriamente – pois o foco é a paisagem geomorfológica e sua evolução ao longo do tempo geológico, englobando processos associados tanto aos rios quanto às encostas e outros ambientes – é possível reconhecer características típicas dos canais fluviais em cada estágio de evolução, e em cada tipo de rio apresentado.

Os estudos geomorfológicos da segunda metade do século XX voltaram-se para a quantificação dos atributos do relevo. Tentando entender o desenvolvimento erosivo de drenagens e bacias de drenagens, o engenheiro Robert E. Horton debruçou-se sobre os fatores fisiográficos quantitativos (segundo sua denominação), através de análises sobre os mecanismos do escoamento superficial e como estes afetam a erosão superficial (HORTON, 1945). Neste estudo pioneiro de uma abordagem quantitativa, o autor assume algumas premissas do modelo evolutivo de Davis (1899), porém salientando que o início do Ciclo Geográfico (ou Ciclo de Erosão) apenas se daria após o desenvolvimento, ao menos parcialmente, do sistema de drenagem; além de introduzir a ideia de uma superfície nivelada (*graded surface*) em contraponto ao “peneplano”, a última etapa do ciclo de Davis. Ademais, o autor explicita claramente a necessidade de quantificação das ideias “subjetivas” do modelo evolutivo Davisiano:

As bacias hidrográficas e suas bacias de drenagem são descritas como "jovens", "maduras", "senis", "mal drenadas" ou "bem drenadas", sem informações específicas sobre como, quanto ou por quê. Provavelmente, esse é o resultado, em grande parte, da falta de ferramentas adequadas para trabalhar, e essas ferramentas devem ser de dois tipos: ferramentas de medição e ferramentas operacionais⁵. (HORTON, 1945, p. 281, tradução nossa).

Com este viés quantitativo, Horton (1945) apresentou diversos índices e relações morfométricas, tais como a relação de bifurcação, a razão canal-comprimento e a densidade de drenagem (esta última, frequentemente utilizada até hoje nos estudos geomorfológicos, resultante do quociente entre a extensão total da rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica e a área desta bacia). Outros diversos autores também propuseram índices e relações morfométricas com o objetivo de entender as características e comportamento das bacias hidrográficas⁶.

Horton também foi responsável por um dos mais famosos conceitos da literatura geomorfológica: a hierarquia fluvial, obtida através da identificação da ordem de canais (HORTON, 1945). Neste sistema, os tributários sem ramificações situados nas nascentes fluviais são considerados de 1ª ordem; canais de 2ª ordem recebem apenas canais de 1ª ordem; canais de 3ª ordem recebem canais de 1ª ou 2ª ordem; e assim sucessivamente. Ao final deste processo de hierarquização fluvial, a mesma ordem do canal principal é atribuída da foz à nascente deste. Strahler (1957), outro importante autor da abordagem quantitativa nos estudos geomorfológicos, modifica o método ao considerar que a ordem de qualquer canal, inclusive o principal, é definida pelo encontro de canais da mesma ordem: o encontro de dois canais de 1ª

⁵ “Stream basins and their drainage basins are described as “youthful,” “mature,” “poorly drained,” without specific information as to how, how much, or why. This is probably the result largely of lack of adequate tools with which to work, and these tools must be of two kinds: measuring tools and operating tools.” (HORTON, 1945, p. 281).

⁶ Apenas para ilustrar a quantidade de índices existentes, ressalta-se que o livro intitulado ‘Geomorfologia’ (CHRISTOFOLLETTI, 1980), publicado no Brasil, reúne mais de vinte índices e parâmetros voltados para análises geomorfológicas de bacias hidrográficas, elaborados por diferentes autores.

ordem resulta em um de 2ª ordem; de dois canais de 2ª ordem resulta em um canal de 3ª ordem, e assim sucessivamente. Isso implica que o canal principal possui todas as classes de ordem fluvial identificadas na bacia de drenagem, e não apenas a maior ordem obtida.

A hierarquia fluvial, proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957), é um tipo de classificação de rios, mas não necessariamente uma classificação geomorfológica na qual o rio é o objeto de estudo: trata-se de um método de analisar a rede de drenagem e, desta maneira, a atribuição da ordem de um canal só pode ser realizada se todos os canais à montante também forem classificados; além disso, esta classificação não leva em consideração as formas e processos existentes em cada trecho do canal fluvial. Assim, esta classificação está diretamente ligada ao contexto das redes de canais em suas bacias hidrográficas, e não ao canal fluvial ou ao rio propriamente dito. Por esta razão não se considera a hierarquia fluvial como uma “classificação geomorfológica de rios” no sentido que se atribui hoje (que será tratado mais adiante).

Segundo Strahler (1957) as propriedades geométricas – os índices e relações morfométricas mencionados – se agregam em duas classes de números descritivos: as medições de escala linear, como a densidade de drenagem, perímetro da bacia, etc.; e os números adimensionais, tal como a ordem de canais. O autor afirma que tais propriedades podem ser aplicadas para descrição sistemática de bacias de drenagem desenvolvidas por processos normais de erosão superficial promovida pela água. De acordo com Strahler (1957, p. 920, tradução nossa), “os exemplos de métodos quantitativos (...) pretendem mostrar que, por mais complexa que seja uma paisagem, (esta) é passível de enunciação quantitativa se (for) sistematicamente dividida em elementos morfológicos componentes”⁷.

A relevância das propriedades geométricas na Geomorfologia praticada na segunda metade do século XX se manifesta, porém, não somente nas pesquisas científicas voltadas para o equacionamento de formas e processos, mas também nas metodologias de representação cartográfica do relevo, especialmente no caso brasileiro.

No início dos anos 1970, o Projeto RADAMBRASIL se propôs a mapear o território brasileiro na escala de 1:1.000.000, utilizando uma taxonomia de relevo (e.g., BARBOSA; PINTO, 1973; GATTO et al., 1983; BARBOSA et al., 1984.). No quarto táxon previsto pela metodologia – os modelados – o trabalho de dissecação fluvial é demonstrado pela densidade de drenagem, de maneira similar a HORTON (1945), e pelo aprofundamento das incisões, isto é, a dissecação vertical da drenagem (GATTO et al., 1983). Posteriormente, o Projeto RADAMBRASIL foi incorporado ao IBGE, que deu continuidade ao mapeamento geomorfológico na escala 1:250.000, e introduziu novos elementos de análise, como a forma dos topos das elevações – um dos resultados da evolução geomorfológica de longo prazo, conforme os estudos geomorfológicos (NUNES et al., 1995; IBGE, 2009). Os mapeamentos geomorfológicos realizados pelo geógrafo Jurandy Ross (e.g., ROSS, 1985; 1992; 2006; ROSS; MOROZ, 1996), sob forte influência do Projeto RADAMBRASIL, também incorporaram, de forma similar, estes índices morfométricos relacionados ao trabalho fluvial. Ademais, todas estas metodologias, oriundas do Projeto RADAMBRASIL, também representam cartograficamente, neste mesmo 4º táxon referido, os depósitos sedimentares de gênese fluvial, isto é, as planícies e terraços.

Cabe ressaltar que algumas unidades geomorfológicas (3º táxon da metodologia do RADAMBRASIL e IBGE, conforme NUNES et al., 1995 e IBGE, 2009) – que correspondem às unidades morfoesculturais de Ross (1992) – apresentam frequentemente nomes relacionados à evolução geomorfológica da principal bacia hidrográfica que abrange (ou é abrangida), tais

⁷ “The examples of quantitative methods (...) are intended to show that, complex as a landscape may be, it is amenable to quantitative statement if systematically broken down into component form elements.” (STRAHLER, 1957, p. 920).

como a Depressão do Médio Paraíba do Sul (GATTO et al., 1983), a Planície do rio Amazonas (ROSS, 2006), os Patamares do Alto Rio Doce (IBGE, 2016), o Planalto Rebaixado do Rio Tietê (IBGE, 2017), dentre tantos outros exemplos.

Evidencia-se, assim, que os mapeamentos geomorfológicos regionais, que pela escala e princípios taxonômicos adotados têm como foco a representação cartográfica do relevo como produto da evolução tectônica e climática ao longo de grandes intervalos de tempo, identificam o trabalho fluvial através do papel da rede drenagem na evolução do relevo, através de modelados (ou padrões de formas semelhantes, de acordo com ROSS, 1992) de dissecação fluvial ou de acumulação sedimentar (e.g., IBGE, 2009).

OS RIOS COMO OBJETO DE ESTUDO E AS CLASSIFICAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS DE RIOS

Para discutir as classificações geomorfológicas de rios, da maneira como são reconhecidas atualmente, isto é, como tipologias de rios que se baseiam nas formas e processos geomorfológicos, em geral, na escala do canal fluvial (*reach*), trataremos de alguns elementos, relações e abordagens encontradas nos estudos geomorfológicos fluviais ao longo do tempo e as classificações utilizadas para diferentes propósitos.

Entendendo formas e processos

De maneira geral, os primeiros estudos de classificação geomorfológica de rios se basearam em elementos da forma (em planta) do canal, na descarga fluvial (vazão) e na carga sedimentar. Na primeira metade do século XX, Russell (1939), por exemplo, já considerava os padrões meandrante e entrelaçado como tipos fundamentais dos canais em agradação (aluviais). Segundo este autor, variações dependeriam do gradiente (do trecho do vale em que se insere), do tipo de material aluvial, variações de carga e no nível do canal e outros fatores relacionados à história evolutiva do canal. Na década de 1950, Leopold e Wolman (1957), baseados na forma em planta dos canais fluviais, sugerem a existência de três padrões principais de canais – reto (ou retilíneo), meandrante e entrelaçado – que se dispõem de acordo com as condições de descarga fluvial e gradiente do rio. Segundo os autores, a existência e intercalação de trechos rasos (*riffle*) e trechos mais profundos (*pools*, ou poços, na tradução frequentemente utilizada para o português) são características universais de qualquer tipo de rio, inclusive com mecânicas semelhantes nos tipos meandrante e retilíneo: os trechos rasos situados nos pontos de inflexão de um meandro correspondem aos bancos rasos dos canais retos, e a distância entre bancos rasos e entre trechos profundos (poços) são também semelhantes nos dois tipos, para uma mesma largura de canal. Já o rio entrelaçado tem como característica principal a divisão do fluxo do canal devido à formação de barras (acumulações de sedimentos transportados pelo rio) no seu leito. Segundo os autores, o processo se inicia com a deposição de uma barra central no canal, que se desenvolve continuamente com a variação dos estágios de fluxo do rio, que correspondem aos níveis de baixa vazão, de alta vazão (ou de canal “cheio” até o nível dos bancos fluviais [*bankfull stage/flow*], que limitam a calha do rio) e à condição de extravasamento do canal. Conforme a barra aumenta sua altura e seu comprimento à jusante, o fluxo de água é forçado a se dividir lateralmente e assim erode e aprofunda o leito nas margens do canal. Esse aprofundamento do leito promove uma certa desconexão do canal fluvial com a barra, que continua a evoluir por processos de deposição em estágios de fluxo mais alto, podendo ao longo do tempo ser estabilizada pela vegetação, formando uma ilha (LEOPOLD; WOLMAN, 1957).

Schumm (1977 apud SCHUMM, 2005) propõe uma tipologia baseada na carga sedimentar dos rios e na estabilidade do canal. Os canais fluviais são classificados de acordo com o modo predominante de transporte da carga sedimentar, sendo denominados de rios: a) de carga suspensa, quando a carga de fundo é inferior a 3% da carga total de sedimentos; b) de carga mista, quando a carga de fundo está compreendida no intervalo entre 3 e 11% da carga total do rio; c) de carga de fundo, quando esta é superior a 11% da carga total do rio. Quanto à estabilidade, os canais fluviais são classificados como estáveis, deposicionais ou erosivos: os deposicionais possuem excesso de carga sedimentar, enquanto canais erosivos possuem deficiência, sendo os canais estáveis aqueles onde existe um equilíbrio entre os montantes de deposição e erosão.

Brice (1982), em estudo voltado para construção de pontes e rodovias sobre rios, utiliza métodos geomorfológicos para avaliação da estabilidade de canais aluviais. Como premissa, o autor considera que canais estáveis são aqueles que mantêm seu tamanho, forma e posição ao longo do tempo. Contudo, como a análise é realizada em canais aluviais, o autor considera que estes sempre possuem algum grau de instabilidade provocada pelas mudanças que ocorrem internamente. Assim, para esse propósito, e baseando-se na largura do canal, na natureza das barras de pontal (unidades geomórficas situadas na margem convexa do canal, anexada à margem) e no grau de entrelaçamento (ligado à frequência de ocorrência de barras de meio de canal), Brice (1982) apresenta quatro tipos principais de canais aluviais: a) canal com largura equivalente e barra em pontal (*equiwidth, point bar*); b) canal com curva larga e barra em pontal (*wide-bend, point bar*); c) canal entrelaçado, com barra em pontal (*braided, point bar*); d) canal entrelaçado, sem barra em pontal (*braided, no point bars*). Segundo o autor, em condição (ou estágio) de vazão de margens plenas (*bankfull discharge*) ou de inundações médias anuais (*mean anual flood*), a largura do canal e a carga de leito tendem a crescer, passando do tipo (a) para o tipo (c), enquanto a sinuosidade tende a diminuir nesta direção de mudança. Ainda segundo o autor, a estabilidade lateral é maior nos canais do tipo (a) e tende a diminuir em direção aos canais do tipo (c), mas voltando a crescer com a ausência de barras em pontal (tipo “d”). Além disso, Brice (1982) introduz o tipo ‘multicanal’ ou ‘canais múltiplos’ (*anabranched* ou *anabanching*), que seriam canais divididos por ilhas maiores que a largura do canal. Segundo o autor, qualquer um dos quatro tipos de canais aluviais citados pode ser concomitantemente do tipo ‘multicanal’, seja localmente ou generalizadamente.

Segundo Thorne (1997 apud SCHUMM, 2005), os canais dos tipos (a) e (b), conforme Brice (1982), correspondem ao que mais recentemente chama-se de meandranes passivos e ativos, respectivamente. Ademais, o conceito de multicanal foi modificado ao longo do tempo. Segundo Nanson e Knighton (1996), rios multicanais (*anabanching rivers*) ou ramificados (tradução utilizada por MAGALHÃES JR. et al., 2020) ocupam ambientes de energia variada e “consistem em múltiplos canais separados por ilhas aluviais semi-permanentes vegetadas, cortadas das planícies de inundação existentes ou formadas por acreção intracanal ou deltaica⁸” (NANSON; KNIGHTON, 1996, p. 217, tradução nossa). Inicialmente, o termo multicanal era utilizado como sinônimo de anastomosado (*anastomosed*), porém, atualmente se reconhece o termo multicanal como uma classe genérica, que abrange desde canais de baixa energia com planícies constituídas por material orgânico e/ou sedimentos finos, até canais de alta energia entalhados no embasamento rochoso (NANSON; KNIGHTON, 1996; NANSON, 2013). Assim, estes primeiros – de baixa energia – são associados, até hoje, ao tipo anastomosado, em razão de uma forte influência da nomenclatura adotada por sedimentólogos (NANSON, 2013).

⁸ “Anabanching rivers consist of multiple channels separated by vegetated semi-permanent alluvial islands excised from existing floodplain or formed by within-channel or deltaic accretion.” (NANSON; KNIGHTON, 1996, p. 217).

Segundo Schumm (2005), o tipo transicional entre os rios do tipo meandrante e entrelaçado é denominado divagante (*wandering*). Brierley e Fryirs (2005) associam os rios divagantes a leitos fluviais cascalhosos que, para estes autores, tendem a ter menos canais e barras ativas, se comparados aos rios do tipo entrelaçado.

Fryirs e Brierley (2013) propõem seis tipos principais de formas em planta para rios aluviais, com base no número de canais, sinuosidade e estabilidade lateral: a) leito de matacões; b) entrelaçado; c) divagante de leito cascalhoso; d) meandrante; e) anastomosado; f) cursos d'água descontínuos. Este último tipo se mostra importante para contextos de rios efêmeros ou intermitentes, ou com fluxos subterrâneos.

De maneira geral, sintetizando os trabalhos analisados nesta seção, observa-se que através da análise da forma em planta e sua relação com a geometria do canal (visualizada na seção transversal do rio, que reflete a localização das formas de barras fluviais, poços, rápidos, etc.) e dos processos e variáveis relacionados à gênese de tais formas (descarga fluvial, gradiente do canal, etc.), chega-se a um conjunto de tipos de rio que são relativamente bem aceitos (mesmo que não haja consenso) e frequentemente utilizados – sobretudo por geógrafos e geólogos – nas pesquisas científicas de cunho geomorfológico voltadas para os rios: reto (ou retilíneo), entrelaçado, meandrante, divagante e multicanal/anastomosado (e.g., SCHUMM, 2005).

As classificações hierárquicas: abordagens holísticas

Os trabalhos apresentados no item anterior, ainda que representem apenas uma parcela da produção sobre o tema – em sua maioria, anglófona – contribuíram significativamente para o entendimento das relações entre as formas e processos encontrados no ambiente fluvial. Desde a década de 1980, com o crescimento dos problemas ambientais em um nível global, constata-se uma mudança nos propósitos das classificações geomorfológicas de rios. Onde outrora eram produzidas pesquisas voltadas para o conhecimento científico do funcionamento de um canal ou para solução de problemas de engenharia, passa-se a buscar também o entendimento do contexto geográfico mais amplo no qual o rio está inserido e suas interrelações.

Nesse sentido, o estudo de Frissel et al. (1986) pode ser considerado um dos pioneiros na proposição de uma estrutura hierárquica (framework) para a classificação de habitats fluviais, de maneira que os canais e suas bacias hidrográficas são organizados dentro de um contexto multiescalar. Este sistema de classificação de rios “ênfatiza o relacionamento do canal com sua bacia hidrográfica em uma ampla variedade de escalas no espaço e no tempo, da rede de canais inteira até poços, bancos rasos (*riffles*) e microhabitats”⁹ (FRISSEL et al., 1986, p. 199, tradução nossa).

Desta maneira, baseados em diferentes escalas espaço-temporais e nos eventos e processos controladores, Frissel et al. (1986) propõem cinco níveis neste modelo hierárquico, da macroescala para a microescala: a) sistema de canais fluviais em bacia hidrográfica (*stream system*); b) sistema de segmento fluvial (*segment system*); c) sistema de trecho de canal (*reach system*); d) sistema de “poço/banco raso” (“*pool/riffle*” system); e) sistema de micro-habitat (*micro-habitat system*). O primeiro nível – o sistema de canais fluviais em bacia hidrográfica – tem seu desenvolvimento ligado à história geológica e climática regional, que se traduz na paisagem através das regiões biogeoclimáticas, da declividade e formas médias dos perfis longitudinais e dos índices morfométricos da rede de drenagem¹⁰. O segundo nível – o sistema

⁹ “(...) and emphasizes a stream's relationship to its watershed across a wide range of scales in space and time, from the entire channel network to pools, riffles, and microhabitats.” (FRISSEL et al., 1986, p. 199).

¹⁰ No que diz respeito aos métodos de representação e escalas de análise, este primeiro nível hierárquico de Frissell et al. (1986) se adequa aos estudos da rede de drenagem vistos no anteriormente.

de segmentos fluviais – é delimitado por confluências de canais tributários, refletindo em geral um tipo de embasamento rochoso específico. O terceiro nível – o sistema de trechos de canal – é uma assembleia homogênea de unidades geomórficas (*geomorphic units*), sendo definido como um trecho do segmento (nível anterior), com valores específicos de declividade do canal, declividade das encostas, largura do canal, vegetação ribeirinha e tipo de material de leito. O quarto nível – o sistema de “poço/banco raso” – é um subsistema de um trecho de canal, isto é, abrange elementos componentes deste, sendo caracterizados pela topografia de leito, declividade da superfície da água, profundidade do leito e velocidade dos fluxos. Os autores informam que os geomorfólogos costumam denominar essas unidades como ‘formas de leito’ (*bedforms*). O último nível – o (sub)sistema de micro-habitat – é definido como uma parte do nível anterior, que apresenta características homogêneas referentes ao substrato, profundidade da água e velocidade. Este nível é comumente utilizado no entendimento da distribuição das comunidades de organismos. Desta forma, a classificação hierárquica proposta por Frissel et al. (1986) se apresenta como um pilar conceitual para o entendimento do funcionamento dos rios em diferentes escalas. Contudo, ressalta-se que os autores não propõem classes específicas para cada nível, apresentando apenas sugestões e exemplos.

O sistema de classificação de Rosgen (1994), voltado para rios naturais, constitui um marco na adoção e popularização de classificações geomorfológicas de rios, sendo amplamente utilizado nos Estados Unidos. Este sistema apresenta dois níveis de classificação principais que envolvem a caracterização geomorfológica (padrão, forma e dimensão do canal) e a descrição geomorfológica (grau de incisão, razão largura-profundidade, sinuosidade, materiais e declividade), resultando em uma quantidade finita e definida de tipos de rios, nomeados através de uma codificação de letras e números.

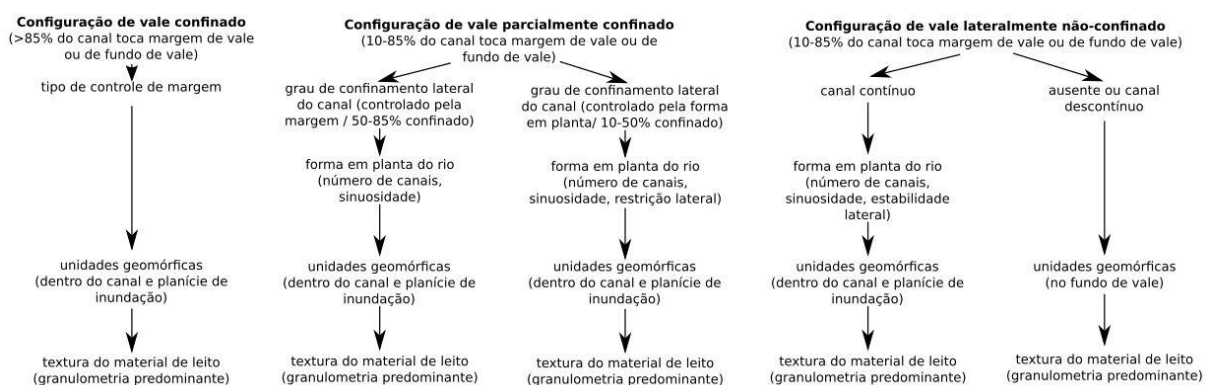
Montgomery e Buffington (1997; 1998), com base em estudos realizados em bacias hidrográficas de ambientes montanhosos, identificam que os canais fluviais são dominados por diferentes processos geomórficos e relações entre capacidade de transporte e suprimento sedimentar. Assim, propõem uma tipologia de rios fundamentada na composição e gênese do material, diferenciando canais desenvolvidos sobre substrato rochoso, daqueles sobre materiais coluviais e aluviais. Os canais aluviais abarcam subtipos, definidos de acordo com energia do rio (vinculada à declividade), cujas morfologias refletem configurações de rugosidade específicas ajustadas para as magnitudes relativas do suprimento sedimentar e da capacidade de transporte. Tais configurações são identificadas em campo pelas características predominantes de declividade, granulometria, tensão de cisalhamento e rugosidade. Assim, além dos tipos de rio ‘coluvial’ e ‘embasamento rochoso’, de acordo com o substrato, os autores propõem uma tipologia de rios aluviais que abrange as seguintes classes: duna – marca de onda (*dune-ripple*); poço – banco raso (*pool-riffle*); leito plano (*plane bed*); degrau – poço (*step-pool*); e cascata (*cascade*).

Tánago e Jálon (2004) sugerem para os rios espanhóis alguns níveis de classificação com definição das classes em cada nível, inspirados no conceito escalar e hierárquico de Frissel et al. (1986). Na escala dos segmentos de rio, os autores adotam classes baseadas na forma em planta, enquanto que no nível do trecho de canal (*reach*) apresentam uma série de classes baseadas e modificadas de Montgomery e Buffington (1997).

Na metodologia de estilos fluviais (*River Styles®*) elaborada por Brierley e Fryirs (2000; 2005) encontra-se uma estrutura de análise abrangente – também fortemente influenciada por Frissel et al. (1986) – envolvendo as seguintes escalas: bacia hidrográfica, unidades de paisagem, trechos de canal, unidades geomórficas e unidades hidráulicas. Os estilos fluviais – isto é, a tipologia de rios propriamente dita – são identificados na escala de trechos de canal, com base no entendimento da configuração do vale – pela identificação do grau de confinamento do rio – e na interpretação das formas e processos pela análise da forma em planta

do canal e das assembleias de unidades geomórficas. Assim a definição dos estilos fluviais consiste na identificação: do grau e tipo de confinamento do vale; da forma do rio em planta (número de canais, sinuosidade, restrição e estabilidade lateral); das unidades geomórficas internas e externas ao canal; e da granulometria predominante dos materiais do leito do canal fluvial (Figura 1).

Figura 1 – Estrutura de identificação dos diferentes estilos de rios dentro do espectro da diversidade fluvial. O grau de confinamento do rio no vale (considerando a relação com as demais feições geomorfológicas no trecho em foco) é o primeiro parâmetro para identificação do estilo fluvial. Em seguida (seguindo a direção das setas), são verificados os tipos de controle de margem, a forma em planta dos canais, as assembleias de unidades geomórficas e a textura dos materiais presentes no leito.



Fonte: Traduzido de Fryirs e Brierley (2018).

Pode-se destacar três características principais que diferenciam esta estrutura de classificação em relação às de Rosgen (1994) e Montgomery e Buffington (1997): a) a importância atribuída ao grau de confinamento do rio em relação ao seu vale (assim como o método de obtenção desta variável); b) a possibilidade de incorporação de novas categorias e atributos à estrutura - o que implica em não se estabelecer um número finito de tipos de rios, a priori; c) a interesalaridade no processo de classificação dos rios, abrangendo elementos de macroescala, como os compartimentos de relevo, e de meso e microescala, como os vales, as unidades geomórficas externas aos canais fluviais (planícies, terraços, leques aluviais, entre outras) e as unidades intracanaís (como barras fluviais, cascatas e rápidos), a composição granulométrica do leito e outras.

No Brasil, desde a década de 2010, percebe-se uma grande e crescente influência desta metodologia dos Estilos Fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2000; 2005) nos estudos voltados para a classificação geomorfológica de rios, localizados principalmente nas regiões Sudeste (PEIXOTO et al., 2010; LIMA; MARÇAL, 2013; OLIVEIRA et al., 2014; BRIERLEY et al., 2019; FRYIRS et al., 2019; MENEZES; SALGADO, 2019; SANTANA; MARÇAL, 2020) e Nordeste (ALMEIDA et al., 2016; SILVA; SILVA, 2016; SOUZA et al., 2016; SILVA et al., 2019), mas também na região Sul (KLEINA et al., 2014).

Recentemente, Gurnell et al. (2016), Rinaldi et al. (2016) e outros pesquisadores e trabalhos associados desenvolveram uma estrutura hierárquica multi-escalar para o continente europeu. Esta estrutura foi desenvolvida dentro do projeto REFORM (*REstoring rivers FOR effective catchment Management*), financiado pela Comissão Europeia – dentro do contexto da *Water Framework Directive* da União Europeia – com o propósito de apoiar o gerenciamento e a restauração fluviais sustentáveis.

Em relação à estrutura hierárquica do REFORM, nota-se uma nítida influência do trabalho de Frissell et al. (1986), com pequenas modificações de nomenclatura e adição de escalas de análise de maior detalhe. De acordo com Gurnell et al. (2016), as unidades espaciais (equivalentes aos níveis hierárquicos de FRISSELL, 2016) estão assim definidas (das maiores feições geográficas para as menores): região (ecorregião, região biogeográfica); bacia hidrográfica; unidade de paisagem; segmento; trecho de canal (*reach*); unidade geomórfica (*geomorphic unit*); unidade hidráulica; e elemento do rio.

No que se refere à classificação dos tipos de rios especificamente, a estrutura do REFORM apresenta uma forte influência da metodologia dos Estilos Fluviais de Brierley e Fryirs (2000; 2005). A classificação é feita no nível hierárquico (ou unidade espacial) do trecho de canal (*reach*), sendo baseada na morfologia do rio (confinamento de vale e forma em planta) e no material de leito, como visto em Brierley e Fryirs (2000; 2005) e Fryirs e Brierley (2018). No entanto, há a incorporação de novos elementos na classificação: a morfologia da planície de inundação, o regime de fluxo, e a interação entre água subterrânea e superficial (GURNELL et al., 2016; RINALDI et al., 2016).

Observa-se, pelo panorama exposto, que as pesquisas geomorfológicas têm apresentado diferentes classificações hierárquicas de rios, que abarcam: a) metodologias fechadas com inúmeras classes arbitrárias (e.g., ROSGEN, 1994); b) metodologias fechadas, mas de caráter simples, voltadas para identificação visual (e.g., MONTGOMERY; BUFFINGTON, 1997); c) metodologias abertas com procedimentos flexíveis – por vezes opcionais – de classificação (e.g., BRIERLEY; FRYIRS, 2005; GURNELL et al., 2016). Esta diferenciação também pode ser relacionada a outras características, como as apontadas por Gurnell et al. (2016). Para estes autores algumas classificações têm caráter conceitual, fornecendo elementos para estruturar os sistemas fluviais e os processos, morfologias e funções associadas (e.g., FRISSELL et al., 1986); outras possuem um caráter direto e quantitativo, gerando índices ou classificações pré-estabelecidos para avaliação dos rios (e.g., ROSGEN, 1994); e há as consideradas intermediárias entre os tipos anteriores, apresentando índices ou classes de caráter aberto (sem classes fechadas), com flexibilidade de interpretação (e.g., BRIERLEY; FRYIRS, 2005). A própria classificação do REFORM (GURNELL et al., 2016; RINALDI et al., 2016) se encaixa neste último tipo.

Unidades geomórficas: as feições geomorfológicas constituintes do ambiente fluvial

As metodologias apresentadas de classificação geomorfológica de rios costumam definir o tipo de rio na escala do trecho de canal (*reach*) – conforme visto em Frissell et al. (1986), Rosgen (1994), Montgomery e Buffington (1997) e Brierley e Fryirs (2000; 2005). Esta avaliação do tipo de rio quase sempre leva em consideração as chamadas unidades geomórficas (*geomorphic units; channel units; etc.*), que são as feições geomorfológicas situadas dentro ou fora do canal (na planície de inundação ou terraços fluviais). Segundo Fryirs e Brierley (2013), unidades geomórficas são feições de relevo (*landforms*) que compõem um trecho de canal (*reach*) – metaforicamente visualizadas como peças ou blocos (*building blocks*) tridimensionais que constroem o arranjo definidor da morfologia do canal. Trata-se de uma abordagem construtivista (*bottom-up*), que sintetiza o comportamento e a evolução das paisagens através de análises sistemáticas das unidades geomórficas (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

Segundo Wheaton et al. (2015), as unidades geomórficas são produzidas pelos processos de erosão e sedimentação, sendo sua identificação importante para o mapeamento geomorfológico de rios. Nesse sentido, estes autores apresentam uma taxonomia para mapeamento geomorfológico de feições fluviais que envolve quatro níveis distintos (da maior feição para a menor): (1) posição vertical; (2) forma; (3) morfologia específica; e (4)

subcategorias morfológicas (Quadro 1). O nível 1 (posição vertical) trata das maiores feições dentro do escopo das unidades geomórficas, tais como planícies, terraços e leques. A identificação destas feições está ligada à posição vertical em relação ao nível de margens cheias (*bankfull stage*) do rio e às margens fluviais – também denominadas na literatura como condição de vazão de “margens plenas”. O nível 2 (forma) consiste em reconhecer se a unidade tem geometria plana, côncava ou convexa (considerando-se a perspectiva em perfil). O nível 3 (morfologia específica) trata das unidades menores que correspondem a formas fluviais específicas ligadas a processos reconhecidos e que podem estar localizadas dentro (nesse caso, denominadas intracanaís) ou fora do canal (o que pode abranger planície de inundação, terraço, leque, rampa etc.). Alguns exemplos de feições intracanaís reconhecidos no nível 3 são ilhas, barras, rápidos (*rapids*) e cascatas (*cascades*), dentre outros.

Quadro 1 – Lista (não exaustiva) de algumas unidades geomórficas reconhecidas nas áreas internas e externas do canal fluvial, tendo como referência o nível do fluxo de margens cheias (ou margens plenas), identificado como BF: *bankfull flow/stage*, segundo Wheaton et al. (2015). Alguns termos em inglês foram mantidos visando a manutenção dos significados originais, tendo em vista a variedade de traduções presentes atualmente na literatura nacional.

| Localização | Níveis Taxonômicos | | | |
|--|-------------------------------|---------------------|--|---------------------------------------|
| | Nível 1 (Situação Vertical) | Nível 2 (Forma) | Nível 3 (Morfologia específica) | |
| Fora do Canal (>BF*) | Encosta (Hillslope or Upland) | Côncava | | |
| | | Convexa | | |
| | | Plana | | |
| | Terraço | Côncava | Paleocanal | |
| | | Plana | Terraço aluvial | |
| | | | Terraço de erosão (Strath terrace) | |
| | Leque | Côncava | Canal de leque | |
| | | Convexa | Leque aluvial | |
| | | | Leque de detritos (Debris fan) | |
| | Rampa | Variada | Encosta de tálus | |
| | | | Rampa de colúvio | |
| | Planície de inundação ativa | Côncava | Tálus | |
| | | | Área úmida de planície / Pântano (Backswamp) | |
| | | | Corte de calha de retrabalhamento (Chute cutoff) | |
| | | | Canal de inundação (Flood channel) | |
| | | | Meandro abandonado (Meander cutoff) | |
| | | | Paleocanal | |
| | | Convexa | Canal secundário | |
| | | | Vala (Swale) | |
| | | | Leque de arrombamento (Crevasse splay) | |
| | | | Lobos de inundação (Floodout) | |
| | | | Ilha | |
| | | | Dique (Levee) | |
| | | Plana | Crista (Ridge) | |
| | | | Planície de inundação | |
| | | | Lençol (Sheet) | |
| | | | Preenchimento de vale (Valley fill) | |
| Dentro do canal (<BF*) | Canal | Convexa | Barra de matacões | |
| | | | Barra composta | |
| | | | Barra de confluência | |
| | | | Barra diagonal | |
| | | | Barra de expansão | |
| | | | Barra lateral | |
| | | | Barra longitudinal | |
| | | | Barra em pontal | |
| | | | Barra em espiral (Scroll bar) | |
| | | | Crista (Ridge) | |
| | | | Banco raso (Riffle) | |
| | | | Degrau (Step) | |
| | | | Plana | Degrau deposicional de margem (Bench) |
| | | | | Degrau erosivo de margem (Ledge) |
| | Lençol arenoso (Sand sheet) | | | |
| | Corrida (Run) | | | |
| | Rápido (Rapid) | | | |
| | Cascata (Cascade) | | | |
| | Degrau (Step) | | | |
| | Côncava | Poço | | |
| | | Remanso (Backwater) | | |
| Poço forçado por barra (Bar-forced pool) | | | | |
| Calha de retrabalhamento (Chute) | | | | |
| Poço de confluência (Confluence pool) | | | | |
| Poço represado (Dammed pool) | | | | |
| Poço de queda d'água (Plunge pool) | | | | |

Fonte: Traduzido e modificado de Wheaton et al. (2015).

Fryirs e Brierley (2013) apresentam estas unidades geomórficas intracanalais em um contínuo longitudinal (acompanhando o perfil longitudinal dos rios), distinguindo-as em grupos de características geomorfológicas semelhantes, que levam em consideração a energia, a declividade, a granulometria, o suprimento sedimentar e a presença de obstruções ao fluxo (Quadro 2): unidades de embasamento rochoso e matacões erodidos e entalhados (*sculpted, erosional bedrock and boulder units*); unidades deposicionais de meio de canal (*mid-channel, depositional units*); unidades deposicionais anexadas à margem (*bank-attached, depositional units*); e unidades de granulometria fina erodidas e entalhadas (*sculpted, erosional fine-grained units*). O nível 4 (subcategorias morfológicas) se baseia nas características sedimentológicas e na vegetação associada, o que, de acordo com Wheaton et al. (2015), não define uma unidade geomórfica, mas pode ser útil para distinguir formas que ocorrem sob variadas condições de fluxo de energia e frequência de inundações.

Quadro 2 – Contínuo longitudinal das unidades geomórficas intracanalais, refletindo características locais de energia, declividade, granulometria predominante do leito, suprimento sedimentar e presença de obstruções ao fluxo (*forcing features*).

| Característica do ambiente | Unidade Geomórfica (Intracanal) | Grupo |
|---|---------------------------------|--|
| Alta energia; Forte declividade; Embasamento rochoso, matacão, bloco. | Queda d'água (cachoeira) | Unidades de embasamento rochoso e matacões erodidos e entalhados |
| | Degrau-poço | |
| | Cascata | |
| | Rápido | |
| | Banco raso | |
| Canais de competência e capacidade limitadas; Média energia; Moderada declividade; Cascalho e areia. | Corrida | Unidades deposicionais de meio de canal |
| | Massa de blocos (boulder mound) | |
| | Barra longitudinal | |
| | Barra diagonal | |
| Baixa carga sedimentar; Baixa energia; Baixa declividade; Cascalho e areia. | Barra transversal | Unidades deposicionais anexadas à margem |
| | Barra lateral | |
| Carga suspensa; Baixa energia; Baixa declividade; Silte e argila | Barra em pontal | Unidades de granulometria fina erodidas e entalhadas |
| | Poço de lavagem (scour pool) | |
| | Barra lateral | |
| | Degrau erosivo de margem | |

Fonte: Traduzido de Fryirs e Brierley (2013).

Recentemente, Belletti et al. (2017) propuseram, para o contexto europeu, um novo sistema multiescalar e hierárquico de classificação das unidades geomórficas, reenfatizando a

importância da identificação destas feições geomorfológicas. De maneira similar ao estudo de Wheaton et al. (2015), estes autores consideram três escalas de unidades geomórficas (macro-unidades, unidades e sub-unidades) que são organizadas em dois domínios espaciais do ambiente fluvial (o canal e a planície de inundação). Segundo Belletti et al. (2017), a identificação das unidades geomórficas é fundamental para a caracterização da morfologia dos canais e rios e dos habitats físicos que, por sua vez, condicionam a biota local.

Limitações das classificações geomorfológicas de rios

Conforme discutido até aqui, as classificações geomorfológicas de rios se apresentam como estruturas importantes para o entendimento das características e do comportamento dos rios e de todo o sistema fluvial. As características específicas de cada metodologia se relacionam com os diferentes propósitos de classificação, sendo impossível satisfazer, de acordo com Montgomery e Buffington (1998), todos os propósitos ou conseguir abranger todas as possibilidades de tipos de canais. Kondolf et al. (2016) apresentam como objetivos principais para a classificação de rios a compreensão científica sobre o seu funcionamento e a constituição de um guia, geomorfológicamente embasado, para informar e gerenciar as decisões sobre manutenção, melhoria, restauração e conservação dos canais fluviais. De acordo com estes autores, a classificação pode ser uma ferramenta útil se aplicada apropriadamente ao(s) problema(s) em foco, apesar de ser frequente a criação de expectativas superestimadas por parte de usuários que não possuem o devido treinamento em geomorfologia fluvial.

É neste sentido que têm surgido críticas em relação ao uso irrestrito das classificações de rios, em projetos ligados à gestão ambiental de rios, notadamente em relação à classificação de Rosgen (1994), que é a mais empregada em projetos de restauração fluvial nos Estados Unidos (LAVE, 2009). Kondolf et al. (2016) relatam, como exemplo, um projeto de restauração nos Estados Unidos em que, para se reduzir a erosão marginal, retirou-se a vegetação ribeirinha e implantou-se meandros simétricos fixos (seguindo ROSGEN, 1994), que não solucionaram o problema.

Apesar de reconhecer a importância das classificações de rios, Wilcock (1997) aponta que sua aplicação em projetos deste tipo, quando se baseia fundamentalmente nas formas, não soluciona a questão do suprimento de sedimentos e água para os canais fluviais. Além disso, há ainda críticas sobre a utilização de classificações baseadas em formas, em detrimento dos processos, como a crítica efetuada por Kondolf et al (2016) em relação ao projeto de restauração mencionado acima.

Kasprak et al. (2016), em contraponto, argumentam que tais críticas podem também ignorar o princípio geomorfológico básico de que a forma do canal reflete os processos hidrogeomórficos responsáveis pela sua formação. Estes autores defendem que classificações de canais fornecem meios para entender a diversidade e a distribuição dos canais e planícies de inundação, enquanto estruturas de identificação de correspondências entre formas e processos geomorfológicos.

É necessário entender as justas críticas do uso indevido de determinadas classificações, para além de suas possibilidades inicialmente previstas. Contudo, não se pode reduzir a importância do reconhecimento das formas, tal como Wilcock (1997) e, por vezes, pode ser entendido em Kondolf et al. (2016). A questão do suprimento sedimentar e de água parece estar sendo contemplada – ao menos do ponto de vista conceitual – por algumas propostas de classificações hierárquicas que também consideram, de forma integrada, unidades espaciais mais abrangentes que o trecho de canal (*reach*) ou o segmento fluvial. Cabe aqui um retorno ao exemplo utilizado em Kondolf et al. (2016) sobre uma restauração fluvial ineficaz realizada nos EUA com base na proposta de Rosgen (1994), no qual talvez tenha havido um direcionamento

equivocado das intervenções realizadas, desconsiderando-se o contexto geral do suprimento sedimentar e de água na bacia hidrográfica em questão (e as conexões entre trechos a montante e a jusante do local de intervenção), bem como os efeitos da retirada da vegetação ribeirinha no trecho de canal modificado. Por outro lado, um canal de sinuosidade alta, com relação largura-profundidade moderada a alta, ligeiramente entrincheirado (feição que indica uma contenção vertical) e de leito cascalhoso – características do tipo identificado segundo a classificação de Rosgen (1994), que foi utilizada como base para o projeto, como já mencionado – não parece estar associado a uma configuração de canal de margens fixas (conforme adotado no projeto de restauração), mas a condições similares às de um rio meandrante ativo (contrariamente aos rios meandranes passivos, onde há predominância de sedimentos finos na planície de inundação, em que se espera margens relativamente fixas). Logo, a adoção de margens fixas pelo projeto aparenta ser um equívoco do projeto em si, em função da interpretação da dinâmica fluvial a partir dos elementos e feições considerados, e não da metodologia de classificação escolhida.

Apesar de se observar na literatura uma busca por classificações “ideais” ou mais aprimoradas que, conforme Kondolf et al. (2016), estão sempre alinhadas com os propósitos da classificação, Buffington e Montgomery (2013) destacam um outro aspecto relevante para a escolha de uma determinada classificação em detrimento de outra: a facilidade de sua utilização. Para estes autores, uma maior facilidade, no entanto, atrai usuários não treinados em geomorfologia fluvial, podendo gerar críticas por parte dos especialistas, o que em parte corresponde a uma questão de rigor científico (no caso dos especialistas) e em parte uma diferença cultural entre acadêmicos e profissionais, visto que enquanto os primeiros estão preocupados com estudos de detalhe, geralmente mais demorados, os últimos buscam aplicações rápidas e práticas.

No que se refere às diferenças de resultados observadas com o uso de classificações distintas, Kasprak et al. (2016) observaram, ao comparar o emprego de quatro metodologias reconhecidas em um mesmo recorte espacial, a existência de uma classificação consistente de tipos de trechos de canal (*reach*) em grupos similares. Por outro lado, as divergências existentes, destacam os autores, foram atribuídas a: escala espacial dos dados de insumo; métricas e parâmetros requeridos para completar uma árvore de decisão em cada estrutura; o foco temporal da estrutura de classificação, ou seja, se a ênfase recai sobre a forma do canal atual ou em uma perspectiva histórica.

Nesse sentido, diante de uma realidade na qual algumas classificações se sobrepõem umas às outras, Buffington e Montgomery (2013) refletem sobre as possibilidades de uma padronização de classificações:

A proliferação e incompatibilidade das classificações de canal requer questionar se a comunidade geomorfológica deveria padronizar as abordagens de classificação, particularmente onde há múltiplos métodos em competição sendo aplicados em escala e tipos de análise similares. Argumentos típicos contra padronização incluem o fato que nenhum método será adequado para todas aplicações e objetivos de estudos, e que isso (a padronização) pode reduzir a flexibilidade e a criatividade. Contudo, a padronização e o exame de métodos de classificação concorrentes beneficiariam esforços de monitoramento e facilitariam o compartilhamento de dados e a comparação de descobertas entre os estudos¹¹. (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013, p. 753, tradução nossa).

¹¹ “The proliferation and incompatibility of channel classifications begs the question of whether the geomorphic community should standardize the classification approaches, particularly where there are multiple, competing methods being applied to similar scales and types of analyses. Typical arguments against standardization include the fact that no single method will be suitable for all applications and study goals, and that it may reduce flexibility and creativity. However, standardizing and vetting competing classification methods would benefit monitoring efforts and would facilitate data sharing and comparison of findings between studies.” (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013, p. 753).

O estudo das formas associadas a processos genéticos específicos, conforme argumentam Kasprak et al. (2016), tem se dado ao longo de todo o século XX, até os dias atuais. Com base nas importantes pesquisas especializadas realizadas sobre os processos geomorfológicos fluviais – como Leopold e Wolman (1957), Leopold et al. (1964), Brice (1982), dentre tantos outros estudos – podemos, nos dias de hoje, construir generalizações coerentes para o mapeamento de formas associadas a processos genéticos específicos.

DESAFIOS E PERSPECTIVAS TEÓRICO-METODOLÓGICAS

A classificação geomorfológica de rios é apenas uma parte da abrangente ciência geomorfológica, de maneira que a tarefa de se avaliar o rumo deste segmento está necessariamente ligado ao todo. Assim, acredita-se que a maioria dos desafios e perspectivas desta área estejam relacionados aos passos atuais da Geomorfologia. A seguir, são enumerados assuntos com potencial de evolução para a década de 2021-2030.

Integração e padronização

Boa parte da discussão levantada neste artigo se permeia no reconhecimento da diferença entre a investigação da rede de drenagem na configuração regional do relevo em uma escala geológica e, por outro lado, dos rios propriamente como objetos de estudo, na escala do trecho de canal (*reach*) numa perspectiva da configuração atual. Neste sentido, uma associação ou intercalação da visão de redes (de canais) e de trechos (de canais) é apontada como necessária por Marçal e Lima (2016), sendo na primeira enfatizados os controles do sistema como um todo e na segunda focada a descontinuidade e os controles locais. Assim, espera-se que, cada vez mais, abordagens holísticas sejam utilizadas nas classificações geomorfológicas de rios, pois permitem avaliar a configuração e evolução do relevo de gênese predominantemente fluvial, identificando o papel de feições e fenômenos multiescalares.

Recentemente, vêm sendo realizadas discussões sobre a necessidade de padronização da classificação de relevo no Brasil (PELECH et al., 2019; BOTELHO; PELECH, 2019, dentre outros) pelo IBGE, CPRM (Serviço Geológico do Brasil), UGB (União da Geomorfologia Brasileira) e universidades, culminando no 1º Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR), no qual se debateu, dentre outros assuntos, a possibilidade de criação de um subsistema de classificação geomorfológica de rios vinculado ao sistema principal de classificação de relevo (IBGE, 2020). Atualmente, um Grupo de Trabalho Direcionado vinculado ao SBCR discute a elaboração de uma estrutura de classificação geomorfológica de rios neste sistema.

(Geo)diversidade de rios e ambientes fluviais

A geodiversidade tenta descrever a diversidade da natureza abiótica, em contraponto à natureza biótica, correspondendo à variedade natural das feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas (GRAY, 2004; 2013). Ademais, sob um contexto de ecossistemas aquáticos, as feições geomorfológicas do ambiente fluvial e suas assembleias – representadas por diversos tipos de rios – correspondem a diferentes biótopos físicos, que atuam como habitats para diversos organismos (NEWSON; NEWSON, 2000).

Em relação aos ambientes fluviais, pode-se conceber as classificações geomorfológicas de rios como maneiras de identificar a variabilidade ou a diversidade de rios e, portanto, pertinente ao escopo do estudo de geodiversidade. Ao discutir a variabilidade dos rios aluviais,

Schumm (2005) aponta três considerações importantes para compreender a complexidade envolvida: a existência de um espectro de tipos de rios dependentes da hidrologia, carga sedimentar e história geológica; as mudanças do rio em razão das mudanças climáticas e hidrológicas; e a compreensão de que os controles geológicos e geomorfológicos podem produzir uma variabilidade considerável na morfologia do canal ao longo de um rio. Sob uma perspectiva de gestão ambiental de rios, Brierley e Fryirs (2005) enfatizam a importância da produção de informações sobre diversidade e abundância de tipos de rios, suas condições e associações ecológicas.

Fryirs e Brierley (2013), ao estruturar os tipos de rios, oriundos da metodologia de estilos fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2000; 2005), para análise da diversidade fluvial, os agrupam em três conjuntos, determinados pelo confinamento de vale: os confinados; os parcialmente confinados e; os lateralmente não-confinados (ou aluviais). A diversidade fluvial possui uma natureza escalar, segundo estes autores:

A análise da diversidade fluvial implica na avaliação dos atributos do fundo de vale ao longo de uma hierarquia estruturada de feições escalares, variando desde o tamanho do material e leito, que molda unidades hidráulicas através de associações forma-processo das unidades geomórficas do canal e da planície de inundação, até assembleias características dessas feições na escala do trecho de canal¹². (FRYIRS; BRIERLEY, 2013, p.530-531, tradução nossa).

Assim, percebe-se que as características das classificações geomorfológicas de rios podem influenciar diretamente na valoração da (geo)diversidade fluvial. Grosso modo, se não utilizada adequadamente, uma metodologia que prevê poucos tipos de rios pode induzir a uma subestimação da (geo)diversidade fluvial. Da mesma maneira, uma metodologia calcada na identificação excessiva de detalhes que não sejam fundamentais para a caracterização de um trecho de canal, pode levar ao extremo oposto. Contudo, salienta-se que as recentes metodologias de classificação de rios parecem convergir para as escalas do trecho de canal (*reach*) e das unidades geomórficas (*geomorphic units*; *channel units*) para a análise da diversidade fluvial, além de utilizarem um conjunto de atributos similares para a caracterização destes (e.g., MONTGOMERY; BUFFINGTON, 1998; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; YU et al., 2013; GURNELL et al., 2016). Nesse sentido, ressalta-se a existência de uma proposta de convenção de nomes para tipos de rios elaborada por Fryirs e Brierley (2018), baseada nos estilos fluviais, com o intuito melhorar a comunicação e entendimento dos rios dentro do amplo espectro da diversidade fluvial.

A geomorfologia fluvial do Antropoceno

Segundo Gibling (2018), os rios são personagens centrais nos debates do Antropoceno, em razão das atividades humanas que, frequentemente, estão situadas nestes ambientes. Macklin e Lewin (2020) apontam a urbanização, a industrialização e a agricultura intensiva como os principais causadores de perturbações nos sistemas fluviais, que tem levado a impactos em escala global e modificações dos modos de vida. Percebe-se que esta realidade impacta os processos que controlam a morfologia e a ecologia dos canais fluviais (e.g., GURNELL et al., 2007; HALAJOVA, 2019), chegando a situações em que o rio pode ser considerado quase que exclusivamente controlado pela ação humana.

¹² “Analysis of river diversity entails assessment of valley floor attributes across a nested hierarchy of scalar features, ranging from bed material sizes that fashion hydraulic units through process–form associations of channel and floodplain geomorphic units to characteristic assemblages of these features at the reach scale.” (FRYIRS; BRIERLEY, 2013, p.530-531)

Pelech e Peixoto (2020) argumentam que, para a compreensão da dinâmica fluvial em rios urbanos na lógica das classificações geomorfológicas de rios, é necessária a incorporação e integração das contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre os Terrenos Tecnogênicos. Nesse sentido, é fundamental que a realidade dos rios modificados por processos antropogênicos não seja ignorada, pois boa parte dos canais fluviais não são mais condicionados exclusivamente por processos naturais e, desta maneira, não se encaixam na maioria dos modelos de classificação vigentes.

CONCLUSÕES

As classificações geomorfológicas de rios se apresentam atualmente como uma ferramenta necessária à compreensão das características e do funcionamento dos rios, assim como dos sistemas fluviais, além de se mostrarem bastante úteis para resolução de problemas ambientais de diversos tipos. No entanto, para isto, a geomorfologia fluvial precisou percorrer um longo caminho de investigações sobre processos, formas e fatores controladores, desde as estruturas conceituais iniciais da ciência geomorfológica, até os estudos presentes.

As pesquisas sobre o tema têm focado, basicamente, duas escalas de análise geomorfológica: a da rede de drenagem e do canal fluvial. Apesar da nítida diferença de aplicações e resultados que cada escala possibilita, observa-se a necessidade de integração das informações geomorfológicas de diferentes escalas e, nesse sentido, as classificações hierárquicas têm promovido um olhar para paisagem geomorfológica como um todo. Considerando a história da geomorfologia fluvial, o caminho para a integração está apenas em seu início, e estruturas de organização (*frameworks*) com diferentes informações temáticas ou com diferentes modos de classificação têm se mostrado eficazes para a compreensão e comunicação dos processos e formas do ambiente fluvial.

A geomorfologia fluvial, assim como os demais campos da ciência geomorfológica, tem sido desafiada a lidar com os ambientes intensamente modificados e controlados pelas atividades humanas, onde as ferramentas utilizadas usualmente não se mostram suficientes para compreender a dinâmica das paisagens. As recentes classificações geomorfológicas de rios têm incorporado elementos e processos artificiais em seus arcabouços (e.g., FRYIRS; BRIERLEY, 2018), mostrando que os estudos do Tecnógeno (ou Antropoceno), amparados pelos novos conceitos da Antropogeomorfologia, são fundamentais nesta tarefa. A incorporação desses importantes conceitos nas classificações geomorfológicas de rios permite construir um arcabouço de informações que auxiliam na compreensão da modificação física das paisagens causadas por dinâmicas políticas, sociais e ecológicas específicas (e.g., PARSONS et al., 2016; LAVE et al., 2018; SOUZA, 2019).

Por fim, mas não menos importante, é necessário realizar um movimento em direção ao reconhecimento da (geo)diversidade fluvial. Além de ser fonte de água e habitat para comunidades de organismos, o rio é um dos principais responsáveis pela dinâmica de transformação e evolução do relevo terrestre, apresentando as mais diversas formas, de acordo com as características (e dinâmicas) de cada local e região. (Re)conhecer estas diferentes configurações constitui parte fundamental para a valorização dos rios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo suporte institucional e financeiro; ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e seu corpo docente pelo estímulo à produção científica, em especial à professora Dra. Maria Naíse de Oliveira Peixoto pela leitura crítica; e

ao Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR) que tem permitido discussões relevantes no contexto da geomorfologia fluvial.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. D. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Dinâmica e caracterização fluvial da bacia do Riacho Grande, Serra Talhada – PE: Abordagem da conectividade da paisagem. **Geo UERJ**, n. 28, p. 308-331, 2016.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; ROCHA, L. C. Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação. **Geonomos**, v. 19, n. 2, p. 50-69, 2011.

BARBOSA, G.V.; PINTO, M.N. Geomorfologia da Folha SA.23 São Luís e parte da Folha SA.24 Fortaleza. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.23 São Luis e parte da folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra** (Levantamento de recursos naturais, 3). Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro: Projeto Radam, 1973.

BARBOSA, G.V.; SILVA, T.C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D.M.; COSTA, R.C.R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Boletim Técnico: Série Geomorfologia**. Ministério de Minas e Energia, Projeto RADAMBRASIL, n.1, capítulo 2, 1984.

BELLETTI, B.; RINALDI, M.; BUSSETTINI, M.; COMITI, F.; GURNELL, A.M.; MAO, L.; NARDI, L.; VEZZA, P. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. **Geomorphology**, v. 283, p. 143-157, 2017.

BISHOP, M. P.; ALLAN JAMES, L.; SHRODER JR., J.; WALSH, S.J. Geospatial Technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, p. 5-26, 2012.

BOTELHO, R. G. M.; PELECH, A. S. Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 64, n. 1, p. 183-201, 2019.

BRICE, J.C. **Stream Channel Stability Assessment**. California: U.S. Geological Survey, 1982.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. River Styles, a Geomorphic Approach to Catchment Characterization: Implications for River Rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia. **Environmental Management**, v. 25, n. 6, p. 661-679, 2000.

_____. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; MARÇAL, M.; LIMA, R. The use of the River Styles Framework as a tool to 'work with nature' in managing rivers in Brazil: examples from the Macaé catchment. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 4, p. 751-771, 2019.

BUFFINGTON, J.M.; MONTGOMERY, D.R. Geomorphic classification of rivers. In: SHRODER, J. (Editor chefe); WOHL, E. (Editor). **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, v. 9, Fluvial Geomorphology, p. 730-767, 2013.

CPRM. **Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Escala: 1:500.000. CPRM, 2000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Projeto-Rio-de-Janeiro---Geomorfologica-613.html>. Acesso em: 17 nov. 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Segunda edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CROZIER, M.J.; HARDENBICKER, U.; GOMEZ, B. Physical Landscapes. In: GOMEZ, B.; JONES III, J.P (editores). **Research Methods in Geography**. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2010.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DEMEK, J. (editor). **Manual of Detailed Geomorphological Mapping**. IGU – International Geographical Union. Commission on Morphological Survey and Mapping. Praga: Academia, 1972.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento geomorfológico do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 689-701, 2017.

FRISSEL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context. **Environmental Management**, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013.

_____. What's in a name? A naming convention for geomorphic river types using the River Styles Framework. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, 2018.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G.; MARÇAL, M.; PEIXOTO, M. N.; LIMA, R. Learning, doing and professional development – The River Styles Framework as a tool to support the development of coherent and strategic approaches for land and water management in Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n.4, p. 773-794, 2019.

GATTO, L.C.S.; RAMOS, V.L.S.; NUNES, B.T.A.; MAMEDE, L.; GÓES, M.H.B.; MAURO, C.A.; ALVARENGA, S.M.; FRANCO, E.M.S.; QUIRICO, A.F.; NEVES, L.B. Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983, p. 305-384. 1 mapa. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

_____. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. Segunda edição. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013.

GIBLING, M. R. River Systems and the Anthropocene: A Late Pleistocene and Holocene Timeline for Human Influence. **Quaternary**, v. 1, n. 3, 21, 2018.

GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change. **Geography Compass**, v.1/5, p. 1118-1137, 2007.

GURNELL, A. M.; RINALDI, M.; BELLETI, B.; BIZZI, S.; BLAMAUER, B.; BRACA, G.; BUIJSE, A. D.; BUSSETINI, M.; CAMENEN, B.; COMITI, F.; DEMARCHI, L.; GARCÍA DE JALÓN, D.; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GRABOWSKI, R. C.; GUNN, I. D. M.; HABERSACK, H.; HENDRIKS, D.; HENSHAW, A. J.; KLÖSCH, M.; LASTORIA, B.; LATAPIE, A.; MARCINKOWSKI, P.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, V.; MOSSELMAN, E.; MOUNTFORD, J. O.; NARDI, L.; OKRUSZKO, T.; O'HARE, M. T.; PALMA, M.; PERCOPO, C.; SURIAN, N.; VAN DE BUND, W.; WEISSTEINER, C.; ZILIANI, L. A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. **Aquatic Sciences**, v. 78, p. 1-16, 2016.

HALAJOVA, D.; HALAJ, P.; MACURA, V.; SKRINAR, A. Urban River Design: A River Restoration Case Study. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 471, 2019.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

_____. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Segunda edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

_____. **Mapa de Geomorfologia da Folha SF.23 - Rio de Janeiro**. Escala 1:250.000. (Dados Geográficos Vetoriais). Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

_____. **Carta Temática Vetorial 1:250.000 – Paranapanema SF.22 – Geomorfologia**. (Dados Geográficos Vetoriais) Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2017. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/recorte_milionesimo/SF22_geom.zip. Acesso em: ago. 2019.

_____. **Relatório Técnico: 1º Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

INKPEN, R.; WILSON, G. **Science, Philosophy and Physical Geography**. Segunda edição. Abingdon: Routledge, 2013.

KASPRAK, A.; HOUGH-SNEE, N.; BEECHIE, T.; BOUWES, N.; BRIERLEY, G.; CAMP, R.; FRYIRS, K.; IMAKI, H.; JENSEN, M.; O'BRIEN, G.; ROSGEN, D.; WHEATON, J. The Blurred Line between Form and Process: A Comparison of Stream Channel Classification Frameworks. **PLoS ONE**, v.11, n.3 (e0150293), 2016.

KING, L. C. Canons of landscape Evolution. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 64, p. 721-752, 1953.

KLEINA, M.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. Análise comparativa dos estilos fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR) para os anos de 2006 e 2011. **Revista Geografar**, v. 9, n. 1, p. 27-44, 2014.

KONDOLF, G.M.; PIÉGAY, H.; SCHMITT, L.; MONTGOMERY, D. Geomorphic classification of rivers and streams. In: KONDOLF, G.M.; PIÉGAY, H. (editores). **Tools in Fluvial Geomorphology**, segunda edição, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2016.

LAVE, R. The controversy over natural channel design: substantive explanations and potential avenues for resolution. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 6, p. 1519-1532, 2009.

LAVE, R.; BIERMANN, C.; LANE, S. N. Introducing Critical Physical Geography. In: LAVE, R.; BIERMANN, C.; LANE, S. N. (editores) **The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography**. Cham: Palgrave Macmillan, p. 3-20, 2018.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. **River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight**. Geological Survey Professional Paper 282-B. Washington: United States Government Printing Office, p. 39-84, 1957.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. New York: Dover, 1964.

LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da condição geomorfológica da bacia do rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação dos estilos fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 171-179, 2013.

MACKLIN, M. G.; LEWIN, J. The Rivers of Humankind. In: MYERS, S.; HEMSTOCK, S.; HANNA, E. (eds) **Science, Faith and the Climate Crisis**. Emerald Publishing Limited, p. 29-46, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-984-020201005>.

MAGALHÃES JR., A. P.; BARROS, L. F. P.; COTA, G. E. M. Classificação de sistemas fluviais. In: MAGALHÃES JR. A. P.; BARROS, L. F. P. (org.) **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 217-257.

MARÇAL, M. S.; LIMA, R. N. S. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 17-33, 2016.

MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. Classificação de estilos fluviais na bacia do rio Bananeiras (alto vale do Rio São João, Silva Jardim – RJ): base para análise da condição geomorfológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 895-912, 2019.

MONTGOMERY, D. R.; BUFFINGTON, J. M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. **GSA Bulletin**, v. 109, n. 5, p. 596-611, 1997.

_____. Channel Processes, Classification and Response. In: NAIMAN, R.; BILBY, R. (editores). **River Ecology and Management**. Springer-Verlag New York, Inc., p. 13-42, 1998.

NANSON, G. C. Anabranching and anastomosing rivers. In: SHRODER, J. (Editor chefe); WOHL, E. (Editor). **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, v. 9, Fluvial Geomorphology, p. 330-345, 2013.

NANSON, G. C.; KNIGHTON, A. D. Anabranching rivers: their cause, character and classification. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 21, p. 217-239, 1996.

NEWSON, M. D.; NEWSON, C. L. Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. **Progress in Physical Geography**, v. 24, p. 195-217, 2000.

NUNES, B.A.; RIBEIRO, M.I.C.; ALMEIDA, V.J.; NATALI FILHO, T. (coord.). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1995.

OLIVEIRA, B. R. G.; SILVA, T. M.; ROSSO, T. C. A. Estilos fluviais nas bacias hidrográficas da Vila Dois Rios, Ilha Grande (RJ). **Revista Geonorte**, edição especial 4, v. 10, n. 1, p. 281-285, 2014.

PARSONS, M.; THOMS, M. C.; FLOTEMERSCHE, J.; REID, M. Monitoring the resilience of rivers as social-ecological systems: a paradigm shift for river assessment in the twenty-first century. In: GILVEAR, D. J.; GREENWOOD, M. T.; THOMS, M. C.; WOOD, P. J. (editores). **River Science: Research and Management for the 21st Century**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, p. 197-220, 2016.

PEIXOTO, M. N. O.; CESÁRIO, F. V.; PIMENTEL, M. L.; MELLO, E. V.; OLIVEIRA, D. F. P. Identificação de estilos de rios em bacias de drenagem inseridas em compartimentos de colinas – Médio Vale do rio Paraíba do Sul. **Revista de Geografia**, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

PELECH, A. S.; NUNES, B. T. A.; GATTO, L. C. S.; BOTELHO, R. G. M. Considerações sobre o mapeamento geomorfológico do território brasileiro: algumas abordagens na representação regional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.20, n.3, p. 681-690, 2019.

PELECH, A. S.; PEIXOTO, M. N. O. Rios urbanos: contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre o Terrenos Tecnogênicos. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 65, n. 1, p. 2-22, 2020.

PENCK, W. **Die Morphologische Analyse**. Stuttgart: J. Engelhorn's Nachf, 1924.

RADOANE, M.; CRISTEA, I.; RADOANE, N. Geomorphological Mapping: Evolution and Trends. **Revista de Geomorfologie**, v. 13, p. 19-39, 2011.

RINALDI, M.; GURNELL, A. M.; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; BUSSETINI, M.; HENDRIKS, D. Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. **Aquatic Sciences**, v. 78, p. 17-33, 2016.

ROSGEN, D. L. A classification of natural rivers. **Catena**, v. 22, p. 169-199, 1994.

ROSS J.L.S. Relevo Brasileiro: Uma Nova Proposta de Classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 4, p. 25-39, 1985.

_____. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p.17-29, 1992.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J.L.S., MOROZ, I.C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, p. 41-58, 1996.

RUSSELL, R. J. Louisiana stream patterns. **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 23, n. 8, p. 1199-1227, 1939.

SANTANA, C. I.; MARÇAL, M. S. Identificação de Estilos Fluviais na Bacia do Rio Macabu (RJ) a Serem Aplicados na Gestão dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1886-1903, 2020.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p. 3-12, 2006.

SILVA, T. M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 265p. Tese de Doutorado em Geografia. Rio de Janeiro: IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. New York: Wiley, 1977.

_____. **River Variability and Complexity**. Cambridge, 2005.

SHAW, I.G.R.; DIXON, D.P.; JONES III, J.P. Theorizing Our World. In: GOMEZ, B.; JONES III, J.P (editores). **Research Methods in Geography**. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2010.

SILVA, A. C.; SILVA, O. G. Análises dos padrões e estilos de canais a partir da paisagem geomorfológica fluvial na Bacia do Rio Una/PE. **Revista Cerrados**, v. 14, n. 2, p. 71-92, 2016.

SILVA, W. F.; ALMEIDA, J. D. M.; SANTOS, L. D. J.; SOUSA, S. G.; LISTO, F. L. R. GIRÃO, O. A proposta de estilos fluviais na análise da morfodinâmica em rio semiárido: Rio Ipanema, Pernambuco. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 13, n. 1, p. 252-272, 2019.

SOUZA, J. O. P.; BARROS, A. C. M.; CORREA, A. C. B. Estilos fluviais num ambiente semiárido, Bacia do Riacho do Saco, Pernambuco. **Finisterra**, v. 102, p. 3-23, 2016.

SOUZA, M. L. O que é Geografia Ambiental? **Ambientes**, v. 1, n. 1, p. 14-37, 2019.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions**, American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TÁNAGO, M. G.; JALÓN, D.G. Hierarchical Classification of Rivers: A proposal for eco-geomorphic characterization of Spanish rivers within the European Water Frame Directive. **Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis and restoration**, 2004.

THORNE, C. R. Channel types and morphological classification. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D.; NEWSON, M. D. (editores). **Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management**. Chichester: Wiley, 1997. p. 175-222.

WHEATON, J. M.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. **Geomorphology**, v. 248, p. 273-295, 2015.

WILCOCK, P. Friction Between Science and Practice: The Case of River Restoration. **EOS**, v. 78, n. 41, 14 de outubro, 1997.

YU, G.; LIU, L.; LI, Z.; HUANG, H.; BRIERLEY, G.; BLUE, B.; WANG, Z.; PAN, B. Fluvial diversity in relation to valley setting in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers. **Journal of Geographical Sciences**, v. 23, n. 5, p. 817-832, 2013.