



O QUE OS MEANDROS NOS DIZEM? UMA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DE MEANDROS ARENOSOS ASSOCIADOS A RETIFICAÇÃO DE CANAIS FLUVIAIS NA BACIA DO RIO MACAÉ

Gustavo Kiss Pinheiro Cabral ¹
Mônica dos Santos Marçal ²

RESUMO

Uma das intervenções mais comuns no Brasil é a retificação de canais, que consiste no alargamento e aprofundamento do leito e na modificação da geometria transversal do canal. Essas mudanças podem alterar os processos hidrossedimentológicos não apenas nos segmentos modificados, mas também em toda a rede de drenagem. No estado do Rio de Janeiro, muitos canais da vertente atlântica da serra do Mar foram retificados, especialmente durante a década de 1960 pelo extinto Departamento Nacional de Obras (DNOS). A bacia do rio Macaé é um dos exemplos em que grande parte da rede de drenagem do baixo curso foi retificada. Esse trabalho discute os efeitos da retificação de canais fluviais na bacia do rio Macaé, a partir de uma investigação dos eventuais processos geomorfológicos desencadeados pelas obras de retificação. A metodologia adotada incluiu a identificação de mudanças em meandros arenosos, mapeamento a partir de imagens de satélite cobrindo o período de 2003 a 2023. Os resultados mostraram que, nos meandros próximos à retificação, ocorreram mudanças mais intensas, como aumento da amplitude e migração a jusante dos meandros, em comparação com áreas mais distantes da intervenção. A discussão ainda inicial indica que tais áreas podem ser eventualmente identificadas como áreas sensíveis para monitoramento e caracterização por representarem pontos-chave na reorganização morfológica do sistema fluvial.

INTRODUÇÃO

Meandros arenosos são feições dinâmicas que podem apresentar mudanças de elevada magnitude em curtos intervalos de tempo nas suas morfologias (Hooke, 2013), em parte pois geralmente estão associados a (1) material de leito arenoso e (2) encontram-se em domínios de pouco controle de vale, como planícies fluviais. Essas características gerais, e há depender das suas condições locais, podem fazer dos meandros arenosos importantes zonas sensíveis que podem representar ajustes expressivos diante das variações e distúrbios eventuais no sistema fluvial (Hooke, 2013).

¹ Doutorando do programa de pós graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, gustavocabral@ufrj.br

² Professora titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, monicamarcal@igeo.ufrj.br



Em bacias compartimentadas, nem sempre é possível identificar segmentos que podem a curto prazo apresentar ajustes morfológicas expressivos, e quando são identificados, podem não ser necessariamente contíguos.

A interpretação de ajustes morfológicos é uma etapa chave na interpretação de atuais ajustes em um sistema fluvial à distúrbios – como mudanças no regime das chuvas, ou configurações de entorno como uso e cobertura da terra – que podem substanciar interpretações sobre a evolução da paisagem fluvial e a tomada de decisões no manejo e gestão de bacias (Brierley; Fryirs, 2005; Fryirs; Brierley, 2013).

Em contextos de ausência de dados, séries históricas e monitoramentos contínuos, como dados pluviométricos, de vazão e seções transversais, os padrões de ajustes em meandros arenosos podem fornecer importantes informações sobre atuais tendências de mudanças nos segmentos de ocorrência como também implicações para todo sistema (Hooke, 2013).

Em paralelo, o cenário se complexifica no contexto de bacias com presença de intervenções hidráulicas e altamente antropizada. As intervenções hidráulicas envolvem alterações nas propriedades transversais dos canais, que podem causar mudanças nas dinâmicas erosivas e deposicionais ao longo da rede de drenagem, conduzindo a um novo equilíbrio dinâmico (Gregory, 2006; Goudie, 2016).

Uma das intervenções mais comuns no Brasil, especialmente em bacias com grandes planícies de inundação e aglomerados urbanos, é a retificação de canais, que consiste no alargamento e aprofundamento do leito e na modificação da geometria transversal do canal (Brookes, 1988). Essas mudanças podem alterar os processos hidrossedimentológicos não apenas nos segmentos modificados, mas também em toda a rede de drenagem.

No estado do Rio de Janeiro, muitos canais da vertente atlântica da serra do Mar foram retificados, especialmente durante a década de 1960 pelo extinto Departamento Nacional de Obras (DNOS) (Assumpção; Marçal, 2012; Soffiati, 2021; Cabral; Marçal, 2024). Apesar da existência de outras intervenções na região, a retificação é comum a grande parte das bacias fluminenses associadas às áreas de extensas planícies de inundação, situando regionalmente um elemento comum entre as bacias hidrográficas do estado (Cabral; Marçal, 2024).

A bacia do rio Macaé é um dos exemplos em que grande parte da rede de drenagem do baixo curso foi retificada, cuja intervenção não se restringiu somente aos

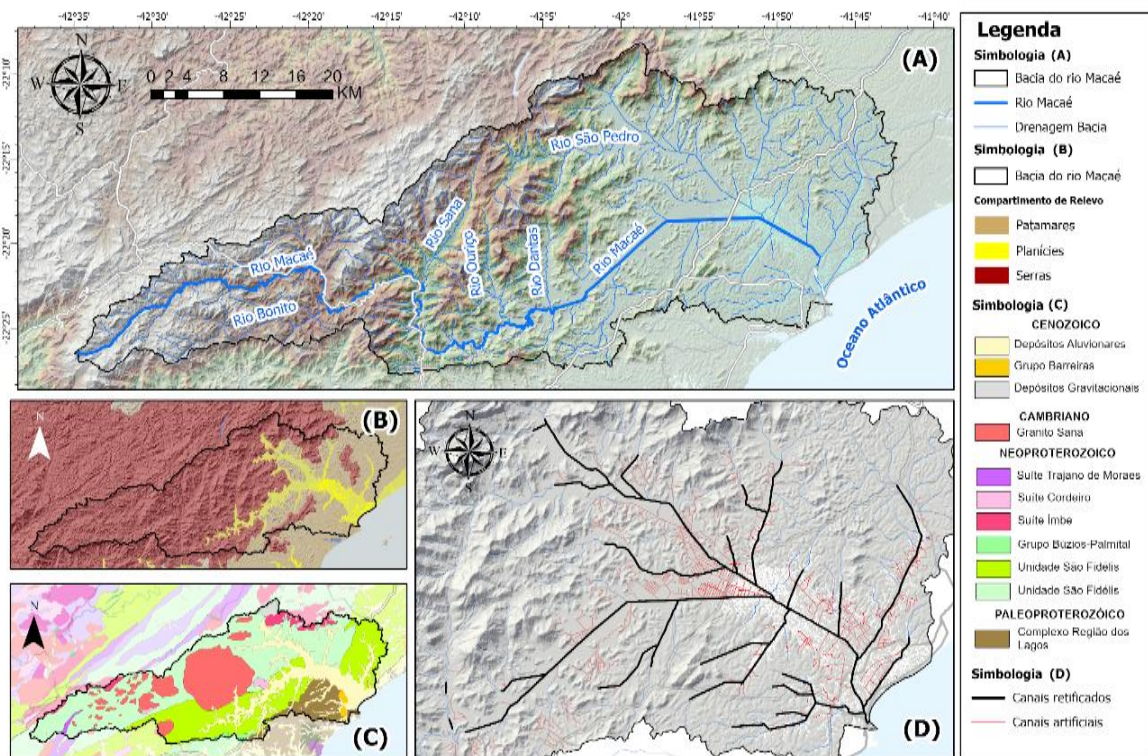
canais principais, mas de modo geral por toda drenagem das áreas de planície (Assumpção; Marçal, 2012; Cabral; Marçal, 2024; Cabral; Marçal, 2025).

O trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de meandros arenosos localizados a montante da obra de retificação dos rio Macaé, São Pedro e Dantas. Por sua vulnerabilidade a perturbações na energia e nos fluxos do sistema, esses meandros são aqui tratados como áreas-sentinela, cujas respostas locais podem revelar efeitos em cadeia ao longo da rede fluvial

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Macaé (figura 1), localizada na vertente atlântica da Serra do Mar, apresenta características geológicas e geomorfológicas diversas, com forte influência das estruturas regionais e variações litológicas. A geologia local inclui rochas Cambrianas da Unidade São Fidélis e sedimentos quaternários, além da presença do Granito Sana no domínio central (Silva; Cunha, 2001).

Figura 1: Localização da área de estudo (A), Compartimento de relevo (B), Geologia local (C) e destaque para área das planícies com as retificações e canais artificiais (D)



Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio do *software Arcgis* a partir da base cartográfica contínua do estado do rio de Janeiro (IBGE, 2018), Modelo digital de elevação *Alos Palsar*, Mapeamento Geológico do estado do rio de Janeiro (Heilbron et al., 2016) e Mapeamento Geomorfológico do Brasil (IBGE, 2023).



A transição para o baixo curso ocorre em áreas de planícies fluviais e flúvio-marinhas, anteriormente marcadas por canais meândricos de alta sinuosidade, mas atualmente descaracterizadas por obras de retificação e canais artificiais na área das planícies (Assumpção e Marçal, 2012; Cabral; Marçal, 2024; Cabral; Marçal, 2025).

Historicamente, a região foi intensamente ocupada desde o período colonial, com destaque para os ciclos da economia açucareira e agropastoril, os quais impulsionaram o desmatamento da Mata Atlântica e a apropriação dos cursos fluviais (Lamego, 1945; Dean, 2004). A partir da década de 1980, o setor agropastoril consolidou-se como o principal agente de modificação da paisagem, embora haja indícios recentes de recuperação da vegetação natural (Guimarães, 2017).

METODOLOGIA

Para a etapa de mapeamento, foram identificados os segmentos retificados e os segmentos de meandros arenosos tendo como base a base cartográfica contínua do estado do Rio de Janeiro (1:25.000) e folhas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000 disponibilizadas entre os anos de 1965 e 1969. Para análise das mudanças morfológicas dos meandros arenosos foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo *Google Earth Pro* entre os anos de 2003, 2013 e 2023 e resultados discutidos anteriormente em Cabral e Marçal (2025).

Além disso foram elaborados perfis longitudinais a partir do modelo digital de elevação *Alos Palsar* referente ao ano de 2011. A interpretação dos perfis foi feita com base no conceito geomorfológico de nível de base (Schumm, 1993; Bowman, 2023), associado aos efeitos esperados em retificação de canais (Brookes, 1988; Cabral; Marçal, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do rio Macaé apresenta uma compartimentação de relevo bem definida que varia entre segmentos controlados por leitos rochosos e vales confinados, para segmentos de leito arenosos, de vale parcialmente confinado e não confinados (Marçal; Brierley; Lima, 2017), seguido para o extenso trecho retificado que é responsável por 30% de toda

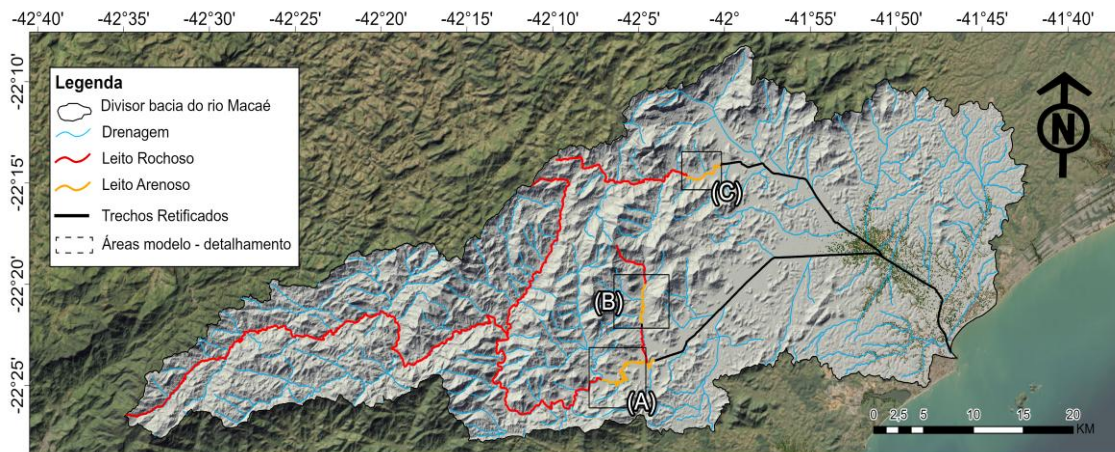
extensão da drenagem do rio Macaé e cerca de 50% do seu principal afluente pela margem esquerda, o rio São Pedro (Cabral; Marçal, 2024).

Esse primeiro contexto geomorfológico – e antropogeomorfológico, do ponto de vista das retificações – imprime uma primeira questão central para análise: qual ou quais segmentos na bacia poderiam apresentar ajustes passíveis de serem mapeados ou identificados?

Na atual configuração da rede de drenagem na bacia do rio Macaé, essas questões são particularmente importantes pois, de um lado discute-se alterações em canais controlados por vale confinados e leitos rochosos – cujas mudanças morfológicas podem estar associados a escalas temporais longas – e segmentos de vales parcialmente ou não confinados de leitos arenosos, cuja possibilidade de alterações na morfologia e organização dos canais são mais expressivas diante das características locais de entorno.

Essa conjuntura nos volta para o contexto dos meandros arenosos na bacia. Esses segmentos representam áreas que se inserem entre zonas de alto controle a montante (considerado confinamento de vale e leitos rochosos) para zonas de controle mais brando (vales parcialmente ou não confinados e leitos arenosos) a jusante (figura 2).

Figura 2: Indicação dos segmentos de leitos rochosos, arenosos e retificados na drenagem principal. Em (A) rio Macaé, (B) rio Dantas e (C) rio São Pedro.



Fonte: Elaborado com auxílio do *software Arcgis* e adaptado de Marçal, Brierley e Lima (2017)

Apesar dos segmentos retificados estarem em zonas de controle brando – extensas planícies fluviais com ausência de leitos rochosos – a retificação pode ser compreendida como um controlador morfológico, tanto do ponto de vista do padrão transversal do canal como da própria organização da drenagem na escala da bacia hidrográfica.

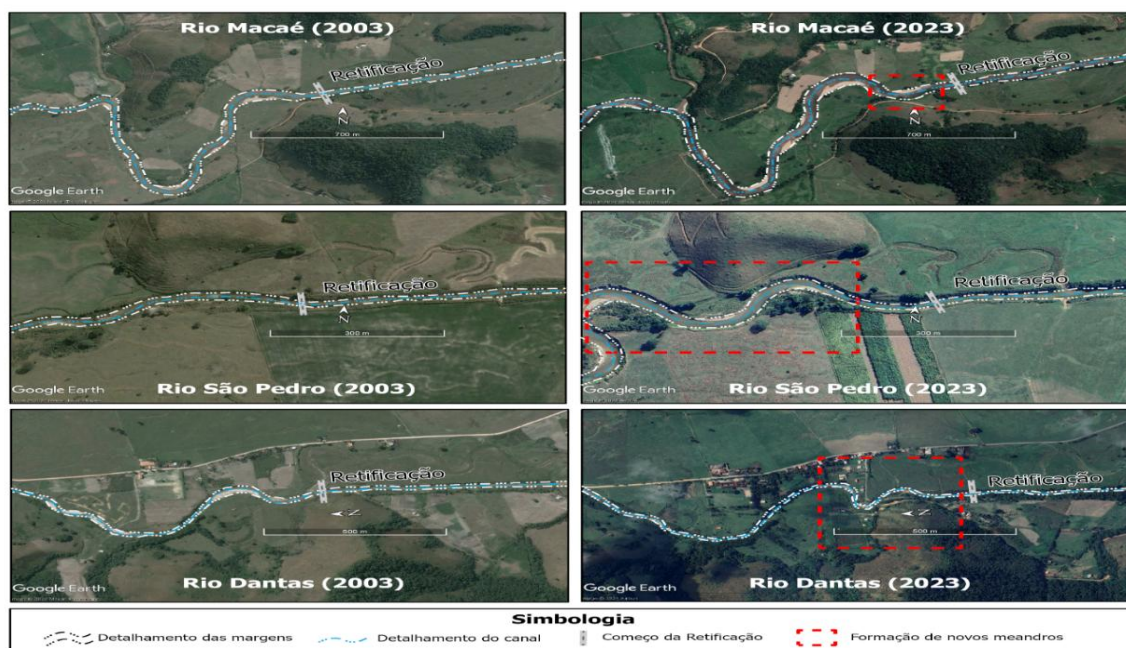
Isso acontece, de um lado, pois a retificação de canais altera as propriedades transversais de um canal meândrico hora com margens côncavas e convexas – com destacada variação de processos erosivos e deposicionais ao longo de suas margens, para um padrão trapezoidal, em que se predomina o transporte longitudinal de sedimentos (Brookes, 1988).

Do ponto de vista da organização do canal, a transformação de trechos sinuosos em segmentos retilíneos implica no encurtamento do canal e na perda da natureza complexa dos ajustes hidrogeomorfológicos que podem gerar uma série de ajustes na organização e morfologia do canal (Cabral; Marçal, 2025).

O que tem sido verificado nos meandros arenosos na Bacia do rio Macaé é que meandros próximos ao começo da retificação têm apresentado ajustes morfológicos mais expressivos em comparação com meandros mais a montante da retificação. Esses ajustes morfológicos são representados por aumento geral da amplitude do meandro e pela migração em direção a jusante da retificação (Cabral; Marçal, 2025).

A Figura 3 apresenta a comparação temporal (2003–2023) dos trechos a montante das retificações nos rios Macaé, São Pedro e Dantas. Nota-se a formação de novos meandros e a intensificação da sinuosidade junto ao início das retificações, evidenciando zonas de ajuste morfológico ativo (Cabral; Marçal, 2025).

Figura 3: Evolução morfológica dos trechos imediatamente a montante das retificações nos rios Macaé, São Pedro e Dantas (2003–2023).

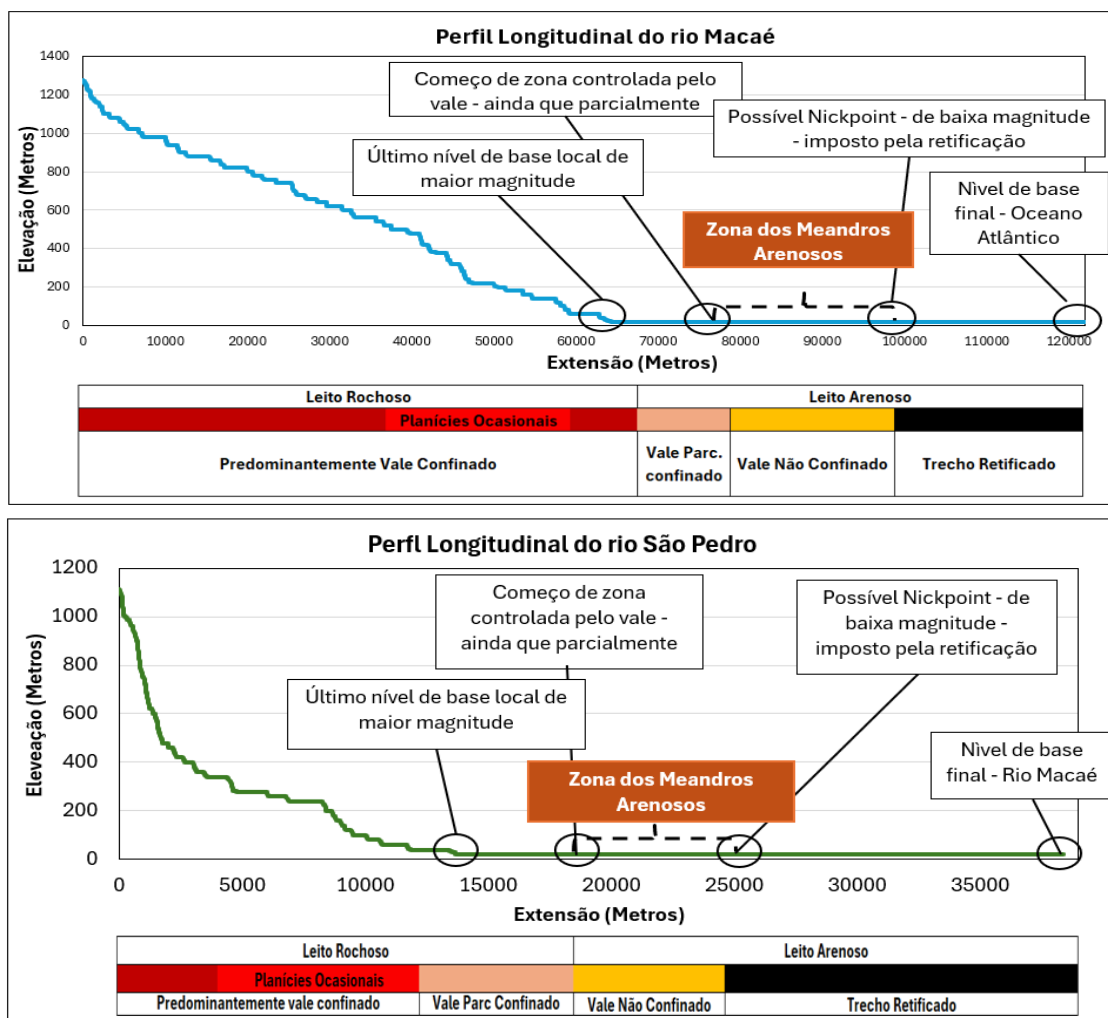


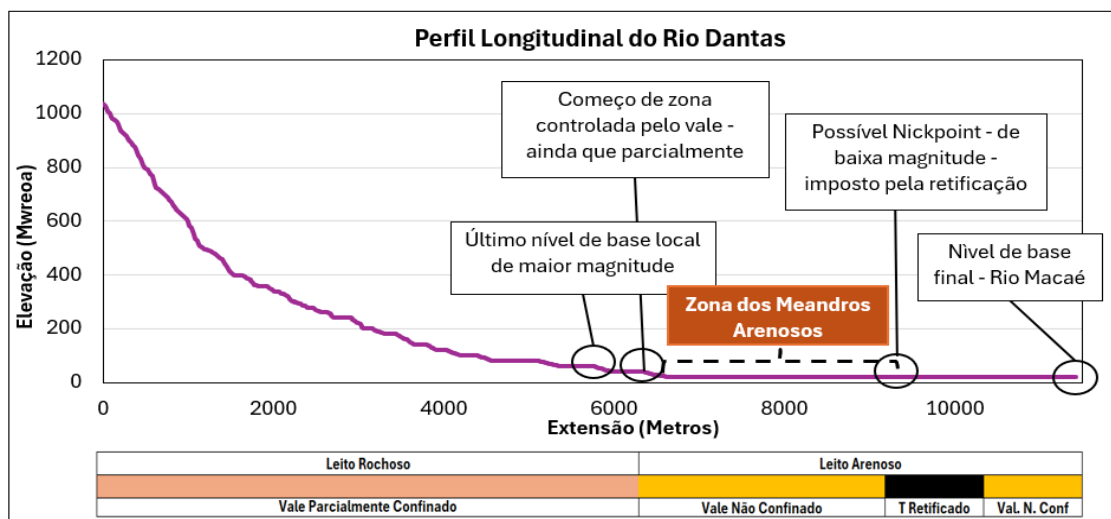
Fonte: Imagens retiradas do *Google Earth Pro*.

Dois debates afloram diante dos padrões discutidos: a eventual inserção de um segmento sensível longitudinalmente situado e pelas mudanças contínuas que a retificação pode ainda estar atuando no sistema fluvial.

A inserção de um segmento sensível longitudinalmente situado diz respeito à posição estratégica da retificação dentro do sistema fluvial. Quando a retificação ocorre em um trecho intermediário ou próximo à foz, como no caso do rio Macaé, ela atua como um ponto de ruptura nos fluxos de energia e sedimentos ao longo do perfil longitudinal do canal. A análise do perfil longitudinal dos três principais canais da bacia, associados as áreas de planície, evidencia como a retificação pode estar atuando na segmentação de trechos entre níveis de base locais naturais e antrópicos (figura 4).

Figura 4: Perfis longitudinais dos rios Macaé e São Pedro, com interpretação dos níveis de base locais e finais, zonas de meandros arenosos, trechos retificados, variações no confinamento do vale e material do leito.





Fonte: elaborado com auxílio do *software Arcgis e Excel*.

Observa-se, antes da zona dos meandros, a presença de um nível de base local de maior magnitude associado a um vale parcialmente confinado. A jusante, já na transição para o vale não confinado, ocorre uma mudança significativa: a implantação da retificação pode ter introduzido um novo nível de base artificial, um possível *Knickpoint* de baixa magnitude.

Esse rebaixamento súbito do perfil pode ter interferido diretamente na conectividade longitudinal do sistema, funcionando como uma barreira energética e sedimentar que interrompe a continuidade dos processos naturais de ajuste (Cabral; Marçal, 2025). A zona dos meandros, situada imediatamente a montante da retificação, passa então a responder a esse novo controle antrópico, expresso pelo ajuste diferencial associado aos padrões de amplitude e migração³.

Do ponto de vista geomorfológico, a zona dos meandros localizada a montante dos trechos retificados pode ser caracterizada como uma zona sensível devido à sua alta capacidade de resposta às alterações no equilíbrio morfodinâmica do sistema. Trata-se de uma área de transição entre o controle natural do relevo e a interferência antrópica direta, marcada por descontinuidades no perfil longitudinal.

Esse segmento sensível pode ser identificado por uma série de marcadores geomorfológicos e hidrossedimentares que o distinguem dos demais trechos do canal. Primeiramente, ele se situa entre dois pontos-chave: o último nível de base local de maior magnitude (natural – associado a foz ou confluências finais) e o novo nível de base

³ Ver Cabral e Marçal (2025).



imposto pela retificação, possivelmente acompanhado de um *Knickpoint* artificial de baixa magnitude (que pode ser móvel e dinâmico)

A resposta morfodinâmica nesse trecho é desproporcional em relação a outros segmentos do canal (Cabral; Marçal, 2025), refletindo um desajuste energético e morfológico que pode estar associado a retificação de canais. Em síntese, longitudinalmente, trata-se de um segmento transicional, distinguível tanto por sua localização estratégica entre controles – níveis de base locais - naturais e antrópicos quanto por seus sinais morfológicos de instabilidade e reorganização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os resultados aqui discutidos se apoiem em análises geomorfológicas integradas e perfis longitudinais representativos, a identificação e compreensão detalhada dessas zonas sensíveis ainda demandam dados mais precisos e mapeamentos de maior resolução espacial e temporal. A caracterização de *Knickpoints* naturais, artificiais, dos padrões de resposta morfológica e da evolução dos meandros requer o uso de séries históricas, levantamentos topobatimétricos e monitoramentos contínuos que permitam acompanhar os processos em andamento.

No entanto, os resultados apontam para possível relevância estratégica desses trechos no funcionamento do sistema fluvial. Podem ser áreas-chave para o planejamento ambiental e a gestão de recursos hídricos, pois podem representar os efeitos iniciais e acumulados das intervenções humanas na morfologia do canal.

Palavras-chave: Intervenções Hidráulicas, Planícies fluviais, Mudanças morfológicas, Zonas sensíveis.

AGRADECIMENTOS:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Edital Universal processo nº 405979/2021-5. À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), edital (APQ1-2023), processo nº SEI-260003/006171/2024.

REFERÊNCIAS

BOWMAN, D. *Base-level Impact: A Geomorphic Approach*. Chichester: Springer, 2023. 154 p.

BRIERLEY, G; FRYIRS, K. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Wiley-Blackwell, 416p. 2005.



BROOKES, A. Channelized Rivers: Perspectives for Environmental Management. Chichester: Wiley, 1988. 400 p.

CABRAL, G. K. P; MARÇAL, M. S. As obras de retificação de canais fluviais e as implicações nas bacias hidrográficas no estado do rio de janeiro. **Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA**, Realize Editora, 2024.

CABRAL, G. K. P; MARÇAL, M. S. Rivers channelization and the (dis)continuous geomorphological effects on the fluvial system of the Macaé River - RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 26, n. 2, 7 maio 2025.

DEAN, W. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. 1. ed. São Paulo: Cia. das Letras, 2004. 484 p.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. *Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape*. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2013. 416 p.

GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. Introduction to the Anthropocene and Anthropogeomorphology. In: *Geomorphology in the Anthropocene*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**. Vol 79, (3–4), p.172-191, 2006.

GUIMARÃES, L. G. **Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Macaé**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação.

HOOKE, J. M. River meandering. In: SHRODER, J; WOHL, E. (Eds.), **Treatise on Geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA, Vol. 9, Fluvial Geomorphology, pp. 260–288, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Base cartográfica contínua do estado do Rio de Janeiro. Escala 1:25.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento geomorfológico Brasil. Escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

LAMEGO, A. R. **O Homem e o Brejo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 [1945].

MARÇAL, M. S.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. *Applied Geography*, v. 84, p. 23-41, 2017.

SCHUMM, S. A. River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraphy. **The Journal of Geology**. Vol. 101, (2), 100th Anniversary Symposium: Evolution of the Earth's Surface, pp. 279-294, 1993.

SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S. (Org.). **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do estado do Rio de Janeiro (escala de 1:500.000)**. Brasília: CPRM, 2001.

SOFFIATI, A. A grande transformação da planície do norte do Rio de Janeiro (1933-1990). *Ambientes*, v. 3, n. 1, p. 151-189, 2021.