

# Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliandra



ORGANIZADORES

Osmar Abílio de Carvalho Júnior  
Maria Carolina Villaça Gomes  
Renato Fontes Guimarães  
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes



## CONSELHO EDITORIAL

### **Membros internos:**

Prof. Dr. André Cabral Honor (HIS/UnB) - **Presidente**

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof. Dr. Rafael Sânzio Araújo dos Anjos (GEA/UnB)

### **Membros externos:**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha)

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Marine Pereira (UFABC)

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)



A UnB quem faz  
**é a gente**

Organizadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior  
Maria Carolina Villança Gomes  
Renato Fontes Guimarães  
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Título: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira

Volume: 1

Local: Brasília

Editor: Selo Caliandra

Ano: 2022

Parecerista: João Cândido André da Silva Neto

Capa: Luiz H S Cella



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília  
Heloiza Faustino dos Santos - CRB 1/1913

R454      Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.  
1057 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:  
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.  
ISBN 978-65-86503-85-2.

1. Geomorfologia - Brasil. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio de.

CDU 551.4

## Lista de autores

Abner Monteiro Nunes Cordeiro  
Adão Osdayan Cândido de Castro  
Alberto Oliva  
Alex de Carvalho  
Ana Camila Silva  
André Augusto Rodrigues Salgado  
André Luiz Carvalho da Silva  
André Paulo Ferreira da Costa  
Antônio Carlos de Barros Corrêa  
Antonio José Teixeira Guerra  
Antônio Pereira Magalhães Junior  
Antonio Rodrigues Ximenes Neto  
Archimedes Perez Filho  
Beatriz Abreu Machado  
Breno Ribeiro Marent  
Bruno Venancio da Silva  
Carlos de Oliveira Bispo  
Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira  
César Augusto Chicarino Varajão  
Claudia Rakel Pena Pereira  
Cristiano da Silva Rocha  
Cristina Helena Ribeiro Augustin  
Daniel Françoso de Godoy  
Daniel Peifer  
Danielle Lopes de Sousa Lima  
Danilo Vieira dos Santos  
David Hélio Miranda de Medeiros  
Delano Nogueira Amaral  
Dirce Maria Antunes Suertegaray  
Edison Fortes  
Edivando Vitor do Couto  
Eduardo Souza de Moraes  
Edwilson Medeiros dos Santos  
Éric Andrade Rezende  
Fabiana Souza Ferreira  
Fábio Perdigão Vasconcelos  
Fabrizio de Luiz Rosito Listo  
Fabrizio do Nascimento Garritano  
Felipe Gomes Rubira  
Flávio Rodrigues do Nascimento  
Francisco Dourado  
Francisco Edmar de Sousa Silva  
Francisco Leandro de Almeida Santos  
Frederico de Holanda Bastos  
Gisele Barbosa dos Santos  
Giselle Ferreira Borges  
Guilherme Borges Fernandez  
Hugo Alves Soares Loureiro  
Idjarrury Gomes Firmino  
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia  
Jáder Onofre de Moraes  
Jémison Mattos dos Santos  
João Paulo de Carvalho Araújo  
José Fernando Rodrigues Bezerra  
Juliana Sousa Pereira  
Julio Cesar Paisani  
Jurandyr L. Sanches Ross  
Karine Bueno Vargas  
Kleython de Araújo Monteiro  
Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes  
Leonardo dos Santos Pereira  
Leonardo José Cordeiro Santos  
Letícia Augusta Faria de Oliveira  
Lidriana de Souza Pinheiro,  
Lígia Padilha Novak  
Luiz Fernando de Paula Barros  
Manoel do Couto Fernandes  
Marcel Hideyuki Fumiya,  
Marcelo Martins de Moura Fé  
Marcos César Pereira Santos  
Maria Bonfim Casemiro  
Mariana Silva Figueiredo  
Marli Carina Siqueira Ribeiro  
Martim de Almeida Braga Moulton  
Michael Vinicius de Sordi  
Mônica dos Santos Marçal  
Neiva Barbalho de Moraes  
Nelson Ferreira Fernandes  
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto  
Oswaldo Girão da Silva  
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra  
Otávio Cristiano Montanher  
Paulo Cesar Rocha  
Paulo de Tarso Amorim Castro  
Paulo Roberto Silva Pessoa  
Pedro Val  
Peter Christian Hackspacher  
Rafaela Soares Niemann  
Raphael Nunes de Souza Lima  
Roberto Marques Neto

Roberto Verdum  
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa  
Rubson Pinheiro Maia  
Sandra Baptista da Cunha  
Sarah Lawall  
Sérgio Cadena de Vasconcelos  
Sérgio Murilo Santos de Araújo  
Silvio Carlos Rodrigues  
Silvio Roberto de Oliveira Filho  
Simone Cardoso Ribeiro  
Tania Cristina Gomes

Thais Baptista da Rocha  
Thiago Gonçalves Pereira  
Thiago Pereira Gonçalves  
Thomaz Alvisi de Oliveira  
Tulius Dias Nery  
Úrsula de Azevedo Ruchkys  
Vanda de Claudino-Sales  
Vanessa Martins Lopes  
Vinícius Borges Moreira  
Vitor Hugo Rosa Biffi

## PREFÁCIO

O presente livro consiste em um conjunto de revisões sobre os avanços teóricos e tecnológicos nos diversos temas da Geomorfologia. Concebido para estar em uma plataforma on-line com acesso gratuito, o livro destina-se aos cursos de graduação e pós-graduação que utilizam os conhecimentos geomorfológicos, incluindo Geografia, Geologia, Ecologia, Engenharia, Planejamento Territorial, entre outros. Para atender o escopo e o desafio imposto, a obra possui um total de 36 capítulos que congregam 111 pesquisadores das diversas regiões do Brasil, trazendo relatos relevantes de nossa paisagem e dos avanços alcançados pela Geomorfologia brasileira. Os capítulos do livro estão segmentados em contextos temáticos e geográficos de estudo, incluindo: dinâmica fluvial, ambientes costeiros, evolução de vertentes, micro relevo, ambientes cársticos, geomorfologia regional, geomorfologia estrutural; mapeamento geomorfológico, patrimônio natural, mitigação de riscos naturais; interações pedo-geomorfológicas, etnogeomorfologia, modelos numéricos, novas abordagens tecnológicas em geomorfologia. Além de abranger os conceitos e o estado da arte na análise dos processos e sistemas geomorfológicos, os capítulos realizam uma visão crítica dos diversos temas abordados.

Na última década, inúmeros avanços foram alcançados com o aumento da disponibilidade de dados de monitoramento da superfície terrestre, métodos computacionais e compartilhamento de experiências. A grande quantidade de dados e métodos resulta em novos desafios de análise e processamento na busca de respostas científicas dentro de uma apreciação crítica. A concepção desse livro integra revisões e discussões sobre essas novas abordagens teóricas, instrumentais e tecnológicas que passam a ter um fator primordial para estabelecer os novos rumos da ciência geomorfológica.

Dada a magnitude continental do nosso território, não é surpreendente que a paisagem brasileira seja evidenciada e detalhada em suas peculiaridades nos textos. Portanto, vários capítulos exploram e refletem a natureza distinta da paisagem e da biota brasileira, revelando os processos naturais e as perturbações antrópicas que alteram o meio ambiente e desencadeiam processos erosivos, movimento de massa, inundações, entre outros. Nesse contexto, as pesquisas aplicadas são extremamente oportunas devido à alta demanda para solução de problemas prementes e complexo de nossos ambientes e sociedade, necessitando continuamente de alternativas, novos conceitos, perspectivas tecnológicas e inovações metodológicas. Muitos capítulos abordam revisões sobre trabalhos aplicados na investigação geomorfológica e resolução de problemas, normalmente desencadeados por perturbações humanas com consequências variadas nos diferentes sistemas.

Os editores abnegaram a oportunidade de contribuir com capítulos para garantir a imparcialidade na seleção dos textos que compõe o livro. Por fim, os editores agradecem especialmente a União de Geomorfologia Brasileira e a todos os colaboradores que contribuíram com seus conhecimentos específicos para a elaboração dessa obra abrangente e de grande relevância para o conhecimento da Geomorfologia nacional.

Osmar Abílio de Carvalho Júnior  
Maria Carolina Villaça Gomes  
Renato Fontes Guimarães  
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

# SUMARIO

## 1. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM TORNO DA PESQUISA EM GEOMORFOLOGIA: DO PROJETO AO ARTIGO CIENTÍFICO

André Augusto Rodrigues Salgado  
Alberto Oliva

----- 16

## 2. ARQUIVOS FLUVIAIS QUATERNÁRIOS NO INTERIOR CONTINENTAL: O CONTEXTO SERRANO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Antônio Pereira Magalhães Junior  
Luiz Fernando de Paula Barros  
Alex de Carvalho  
Letícia Augusta Faria de Oliveira

----- 39

## 3. PROCESSOS DE REORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO BRASIL

Breno Ribeiro Marent  
Éric Andrade Rezende  
Michael Vinícius de Sordi  
André Augusto Rodrigues Salgado

----- 76

## 4. AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SISTEMAS FLUVIAIS: SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VALORES PATRIMONIAIS

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira  
Paulo de Tarso Amorim Castro  
Úrsula de Azevedo Ruchkys

----- 98

## 5. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira  
Sandra Baptista da Cunha

----- 124

6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS	
Eduardo Souza de Morais Otávio Cristiano Montanher	
-----	143
7. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO BRASIL ASSOCIADA AO ATUAL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	
Giselle Ferreira Borges Neiva Barbalho de Morais Ana Camila Silva Leonardo dos Santos Pereira Sarah Lawall	
-----	176
8. CONTROLE TECTONO-ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM: REVISÃO LITERÁRIA E PROPOSTAS METODOLÓGICAS	
Idjarrury Gomes Firmino Karine Bueno Vargas Edison Fortes	
-----	212
9. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DOS RIOS NO BRASIL	
Mônica dos Santos Marçal Adão Osdayan Cândido de Castro Raphael Nunes de Souza Lima	
-----	240
10. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA.	
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa Paulo Cesar Rocha	
-----	265
11. SISTEMAS LACUSTRES INTERIORES: AVANÇOS E TÉCNICAS DE ESTUDO	
Gisele Barbosa dos Santos Paulo de Tarso Amorim Castro	
-----	278

12. EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE PLANÍCIES COSTEIRAS:  
DO QUATERNÁRIO AOS EVENTOS ATUAIS

Guilherme Borges Fernandez  
Thais Baptista da Rocha  
Silvio Roberto de Oliveira Filho  
Sérgio Cadena de Vasconcelos  
André Luiz Carvalho da Silva  
Thiago Gonçalves Pereira  
Martim de Almeida Braga Moulton

----- 308

13. MORFOLOGIA COSTEIRA EM LITORAIS URBANOS

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra  
Fábio Perdigão Vasconcelos  
Cristiano da Silva Rocha  
Maria Bonfim Casemiro  
Danilo Vieira dos Santos  
Francisco Edmar de Sousa Silva  
Delano Nogueira Amaral

----- 351

14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL,  
DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO  
DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha  
Sérgio Cadena de Vasconcelos  
André Paulo Ferreira da Costa  
Beatriz Abreu Machado  
Mariana Silva Figueiredo  
Lígia Padilha Novak  
Thiago Pereira Gonçalves  
Guilherme Borges Fernandez

----- 381

15. REGISTROS DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO  
LITORAL BRASILEIRO E AS IMPLICAÇÕES  
PERANTE A MORFOGÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGI-  
CAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Felipe Gomes Rubira  
Archimedes Perez Filho

----- 410

16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA  
CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto  
Lidriana de Souza Pinheiro  
David Hélio Miranda de Medeiros  
Paulo Roberto Silva Pessoa  
Jáder Onofre de Moraes

----- 445

17. GEOMORFOLOGIA EÓLICA CONTINENTAL E OS  
CAMPOS DE DUNAS HOLOCÊNICAS DO PAMPA NO RIO  
GRANDE DO SUL, BRASIL

Tania Cristina Gomes  
Roberto Verdum

----- 471

18. EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE

Juliana Sousa Pereira  
Silvio Carlos Rodrigues

----- 499

19. MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA NO BRASIL:  
DOS MÉTODOS MANUAIS AOS DIGITAIS

Hugo Alves Soares Loureiro  
Antonio José Teixeira Guerra  
José Fernando Rodrigues Bezerra  
Leonardo dos Santos Pereira  
Fabrizio do Nascimento Garritano

----- 526

20. MOVIMENTOS DE MASSA: ESTADO DA ARTE,  
ESCALAS DE ABORDAGEM, ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO  
E DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO

Fabrizio de Luiz Rosito Listo  
Tulius Dias Nery  
Carlos de Oliveira Bispo  
Fabiana Souza Ferreira  
Edwilson Medeiros dos Santos

----- 560

21. MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES  
A MURUNDUS NA PAISAGEM
- Vinícius Borges Moreira  
Archimedes Perez Filho
- 
- 593
22. APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ:  
DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA  
QUATERNÁRIA
- Marcel Hideyuki Fumiya  
Edivando Vitor do Couto  
Leonardo José Cordeiro Santos
- 
- 615
23. GEOMORFOLOGIA DO QUATERNÁRIO E  
GEOARQUEOLOGIA: ASPECTOS CONCEITUAIS, METODOLÓGICOS  
E APLICAÇÕES NO SUL DO BRASIL
- Vitor Hugo Rosa Biffi  
Marcos César Pereira Santos  
Julio Cesar Paisani  
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
- 
- 648
24. TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO  
GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL:  
UMA BREVE REVISÃO
- Francisco Leandro de Almeida Santos  
Flávio Rodrigues do Nascimento  
Peter Christian Hackspacher (In Memoriam)  
Marli Carina Siqueira Ribeiro  
Bruno Venancio da Silva & Daniel França de Godoy
- 
- 677
25. A TAXONOMIA DO RELEVO E A CARTOGRAFIA  
GEOMORFOLÓGICA REGIONAL
- Jurandyr L. Sanches Ross  
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
- 
- 701

26.	RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA	
	Frederico de Holanda Bastos Danielle Lopes de Sousa Lima Abner Monteiro Nunes Cordeiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	733
27.	REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Daniel Peifer Cristina Helena Ribeiro Augustin	
	-----	759
28.	SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Karine Bueno Vargas Idjarrury Firmino Michael Vinicius de Sordi	
	-----	793
29.	A GEOMORFOLOGIA NOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM: ENFOQUE EVOLUTIVO E DINÂMICO NA INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS	
	Roberto Marques Neto Thomaz Alvisi de Oliveira	
	-----	813
30.	ESTADO DA ARTE DOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA SÍNTESE (E VÁRIAS TESES)	
	Vanda de Claudino-Sales Antonio Carlos Barros Côrrea Kleython de Araújo Monteiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	845
31.	AS SUPERFÍCIES DE EROÇÃO DO “BRASIL ORIENTAL”	
	César Augusto Chicarino Varajão	
	-----	875

32.	ETNOGEOMORFOLOGIA - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÕES TRADICIONAIS E A PAISAGEM FÍSICA	
	Simone Cardoso Ribeiro Vanessa Martins Lopes Osvaldo Girão da Silva Antônio Carlos de Barros Corrêa	
	-----	886
33.	DESAFIOS E PERSPECTIVAS DAS PESQUISAS SOBRE O PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL	
	Vanda de Claudino-Sales Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes	
	-----	910
34.	USO DO LIDAR NA GEOMORFOLOGIA: APLICAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS	
	João Paulo de Carvalho Araújo Rafaela Soares Niemann Francisco Dourado Manoel do Couto Fernandes Nelson Ferreira Fernandes	
	-----	927
35.	MODELOS NUMÉRICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO (LEMS) E SUA IMPORTÂNCIA PARA ESTUDOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	
	Nelson F. Fernandes Daniel Peifer Pedro Val	
	-----	953
36.	SOLO HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL	
	Jémison Mattos dos Santos Sérgio Murilo Santos de Araújo Dirce Maria Antunes Suertegaray	
	-----	1000

37. GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL:  
REVISITANDO TEORIAS, MÉTODOS E ESTUDOS  
DE CASO NO NORDESTE BRASILEIRO

Frederico de Holanda Bastos  
Abner Monteiro Nunes Cordeiro  
Marcelo Martins de Moura Fé

----- 1029

## 6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS

Eduardo Souza de Moraes<sup>1</sup> & Otávio Cristiano Montanher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA), Departamento de Geografia (DGE), Universidade Estadual de Maringá (UEM); Av. Colombo, 5.790, Bloco 24, Campus Universitário, Maringá, Paraná CEP 87020-900; esmorais2@uem.br

<sup>2</sup>Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA), Departamento de Geografia (DGE), Universidade Estadual de Maringá (UEM); otaviocmontanher@yahoo.com.br

---

**Resumo:** Agropecuária, urbanização e reservatório possuem capacidades distintas de alterar o fluxo hidrológico e sedimentológico dos rios. Este capítulo reuniu os seguintes objetivos: (i) apresentar uma síntese dos modelos conceituais e técnicas para o estudo do ajustamento fluvial causados por estas atividades e (ii) analisar as publicações científicas que examinaram os respectivos impactos geomorfológicos nos rios brasileiros. Para a análise cientométrica foram avaliadas as causas de ajustamento, variações temporais e espaciais dos estudos, distribuição dos estudos por regiões hidrográficas e as técnicas empregadas. Os resultados demonstraram que há pouco conhecimento científico sobre como ocorrem processos, formas e evolução na paisagem fluvial brasileira induzidas por estas atividades antrópicas. O desenvolvimento das atividades antrópicas no Brasil com modelos culturais e operacionais diversos, aliado ao regime tropical na maior parte do território, ressalta a necessidade destes estudos frente aos modelos já concebidos. Por outro lado, a geomorfologia fluvial com seu amplo conjunto de abordagens possui grande potencial para contribuir com o gerenciamento e a preservação da integridade dos rios brasileiros. **Palavras-Chave:** geomorfologia fluvial, interferência antrópica, mudanças de canal, erosão, cienciometria.

**Abstract:** Agriculture, urbanization, and reservoir have different capacities to alter the hydrological and sedimentological regimes of rivers. In this chapter, the aims are (i) to present a synthesis of models and techniques for the study of the fluvial adjustment caused by these activities, and (ii) to analyse the scientific publications that examined the respective geomorphological impacts in the Brazilian rivers. For the scientometric analysis, we evaluated the causes of adjustment, temporal and spatial variations of the studies, distribution of the studies by hydrographic regions and the techniques. The results demonstrated that scientific knowledge is scarce, about how processes, forms, and evolution, induced by these human activities, take

place in the Brazilian rivers landscapes. The development of anthropogenic activities in Brazil with diverse cultural and operational models, combined with the tropical regime in most of the territory, highlights the need for these studies compared to the models already conceived. In contrast, fluvial geomorphology, with its wide range of approaches, has great potential to contribute to the management and preservation to the integrity of Brazilian rivers.

**Keywords:** fluvial geomorphology, anthropogenic activities, channel change, erosion, scientometry.

**Tema:** Geomorfologia Fluvial.

---

## 1. MUDANÇAS DO CANAL E AJUSTAMENTO FLUVIAL

Rios são essencialmente dinâmicos, exibindo mudanças morfológicas que variam espacialmente e temporalmente em correspondência com a diversidade de padrões fluviais e características da bacia hidrográfica. Entretanto, mudanças nos rios podem também decorrer de atividades antrópicas e o papel do homem como agente geomorfológico está entrelaçado ao desenvolvimento da geomorfologia fluvial (WOLH, 2014b). Atualmente ainda é imperativo a necessidade de se conhecer o comportamento intrínsecos dos sistemas fluviais (MURRAY et al., 2014). Porém, em concomitância, as influências antrópicas estão causando uma nova configuração aos rios, que torna imprescindível o conhecimento dos ajustes fluviais como base para o manejo adequado e sustentável dos recursos naturais (DOWNS e PIÉGAY, 2019).

A sensibilidade é um conceito relevante para se tratar da resiliência de rios, aliás com competência aplicada e útil para aproximar a comunicação entre geomorfólogos e a sociedade (FRYIRS, 2019). Nesse sentido, a sensibilidade é definida por Brunnsden e Thornes (1979) como a probabilidade de que uma determinada alteração nos controles de um sistema produza uma resposta sensível, reconhecível e persistente. Em atenção aos parâmetros morfológicos dos rios, por exemplo, comumente nota-se que rios com leito rochoso apresentam sensibilidade menor, enquanto que rios com leito aluvial possuem sensibilidade maior.

A erosão das margens, a degradação de ilhas e a avulsão de canais são exemplos de processos de rios aluviais que geram mudanças morfológicas expressivas e que podem ocorrer em intervalos de poucos anos. Processos fluviais, como estes, são respostas as variações hidrológicas e sedimentológicas do sistema fluvial e necessários para a manutenção do sistema fluvial e de sua biodiversidade. Deste modo, investigações científicas e aplicadas da geomorfologia fluvial contribuem, por exemplo, avaliando as variações nas taxas (temporal) e distribuições (espacial) das mudanças do canal e determinando quais são os principais fatores reguladores do sistema fluvial.

A definição aqui proposta de ajustamento fluvial correspondente as mudanças morfológicas que ocorrem por meio de processos erosivos e deposicionais como respostas as alterações nos elementos que regulam a dinâmica e a estrutura do sistema. Basicamente

são mudanças morfológicas do canal e de respectivas unidades geomórficas que culminam em uma adaptação do sistema fluvial. O conceito de comportamento fluvial definido por Brierley e Fryirs (2005), por exemplo, refere-se ao ajustamento do rio que produz formas de relevo em uma escala de trecho. Para que mudanças morfológicas ocorram é necessário que limiares sejam atingidos e, conseqüentemente, isso tem um efeito em rede nos componentes da morfologia fluvial (SCHUMM, 1979). Portanto, mudanças morfológicas do canal fluvial tendem a ocorrer de modo acumulativo, ou seja, mais de um atributo morfológico do rio se altera, por exemplo, canais que apresentam diminuição da sinuosidade também podem apresentar concomitantemente aumento de largura e agradação no leito. Em similar perspectiva, as mudanças nos rios também podem ocorrer em decorrência de diversos fatores. Entretanto, em razão da viabilidade técnica ou maior representatividade os estudos em geral, limitam parâmetros ou causas de mudanças morfológicas, para se discutir o ajustamento fluvial.

As mudanças morfológicas dos rios ocorrem, ou ainda mais precisamente se ajustam, aos fatores que se relacionam com o sistema fluvial, e que podem ser classificados em extrínsecos, intrínsecos e antrópicos (PHILLIPS, 2010). Os fatores extrínsecos são aqueles majoritariamente independentes do sistema fluvial, como o clima e a tectônica, com variações inexistentes ou sutis aos limites de bacias hidrográficas, por exemplo. Os fatores intrínsecos são aqueles internos e deste modo promovem uma auto regulação do sistema fluvial, tais como a declividade do leito e vazão. Assim, modificações nestes componentes do sistema fluvial estabelecem uma rede de conectividade de processos e formas fluviais. Enfim, os fatores antrópicos, item de atenção deste capítulo, contempla atividades, por exemplo, de agropecuária, urbanização e reservatório, as quais possuem capacidade de promover drásticas transformações no sistema fluvial.

Como apontado, muitos fatores interferem na dinâmica do sistema fluvial. Para rios aluviais a equação 1 proposta por Lane (1955), contribui para simplificar a relação entre sedimentos e energia, sendo importante para se determinar variações morfodinâmicas do sistema fluvial.

$$Q_s d \propto Q_w S \quad (1)$$

Em que:

$Q_s$  = quantidade de sedimentos de fundo;

$d$  = diâmetro dos sedimentos;

$Q_w$  = vazão líquida;

$S$  = declividade.

A proporcionalidade, ou equilíbrio – termo empregado originalmente para inferir a condição, a partir da erosão, transporte ou deposição, com este modelo - é dado a partir de dois conjuntos de métricas,  $Q_s$  e  $d$ , e  $Q_w$  e  $S$ . Como destacado pelo autor, a principal

utilidade da equação não é a quantificação em si, mas o potencial para a predição de mudanças do canal, considerando a alteração de uma dessas variáveis. Com base nessa premissa (Equação 1), o predomínio de agradação, degradação ou estabilidade em determinado trecho fluvial é o resultado da proporcionalidade entre a potência do canal e a carga de sedimentos. Assim, havendo prevalência de carga de sedimentos elevada ou grosseira, que supera uma dada potência de canal para o transporte de sedimentos, há tendência para que ocorra agradação. Ao contrário, se há condições de declividade ou vazão que gera potência do canal, aquém da carga de sedimentos, tende a ocorrer a degradação do canal. E em um último cenário, há estabilidade do canal, quando em um dado trecho a potência do canal, representada pela declividade e vazão é equivalente ao necessário para o transporte do suprimento de sedimentos, representado pela quantidade e tamanho.

O tempo de resposta dos canais às perturbações do uso do solo ou de intervenções diretas no canal concentra-se geralmente em variações de décadas (DOWNS e PIÉGAY, 2019). As interações entre variáveis, examinadas aqui no âmbito do sistema fluvial, são denominadas de respostas (*feedbacks*) (WOHL, 2014a) e podem ser discriminadas entre respostas positiva e negativa (*positive* e *negative feedbacks*) (CHIN et al., 2014). Essa perspectiva de respostas positivas e negativas é esclarecedora ao entendimento de mudanças morfológicas fluviais e a seguir destaca-se a compreensão também a partir do modelo de Lane (1955). Como exemplo podemos considerar o alto curso do rio Paraná, que exhibe um padrão multicanal com dinâmica holocênica de ilhas, barras e transporte de sedimentos de fundo em forma de dunas subaquáticas (LELI et al., 2019). Posterior à instalação dos reservatórios, a retenção de sedimentos e a regulação do fluxo causou mudanças morfológicas e encouraçamento do leito em concomitância a processos erosivos nas margens e ilhas (STEVAUX et al., 2009). O ajustamento fluvial, como esse em que o canal passa a apresentar um comportamento morfodinâmico distinto (considerando predominância essencialmente deposicional no rio Paraná preliminar ao barramento, para fins didáticos), é resultado dos efeitos de resposta negativa (*negative feedback*) entre as variáveis do sistema fluvial.

Por outro lado, casos reportados como em canais fluviais de primeira ordem (em bacias hidrográficas onde predominam o modelo de Schumm (1977) de zonas de erosão, transporte e deposição, respectivamente, no alto, médio e baixo curso), podem ser usados para exemplificar o ajustamento em detrimento de resposta positiva (*positive feedback*) do sistema fluvial. Neste caso, a urbanização nas proximidades das cabeceiras de drenagem, onde naturalmente predominam os processos erosivos, causa o aumento do volume e da intensidade do escoamento superficial (LEOPOLD, 1991), o que potencializa os processos erosivos e a incisão no leito fluvial. Apesar de, em um primeiro momento ocorrer agradação no leito fluvial como resposta a carga adicional de sedimentos, em um segundo momento, com o aumento das áreas impermeáveis na bacia, inicia-se uma fase de incisão no leito fluvial, conforme o modelo de Wolman (1967). O

progressivo aumento da atuação erosiva e a incisão do canal caracteriza a resposta positiva que repercute com o ajustamento fluvial.

As propostas de investigações das mudanças do canal fluvial são variadas (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; RINALDI et al., 2016). Considerando algumas adaptações na proposta de Charlton (2008) podemos considerar a avaliação dos seguintes parâmetros: geometria hidráulica, rugosidade do leito, declividade e forma em planta. A geometria hidráulica abrange a análise da seção transversal do canal e, em decorrência da escala cartográfica de estudo ou técnica empregada, pode se limitar ao computo da profundidade ou largura do canal. A análise da profundidade permite identificar se há incisão ou agradação no leito fluvial e a largura identifica se há alargamento ou estreitamento do canal. Ademais, medidas de largura comumente são feitas com levantamento no local e com uso de produtos cartográficos, respectivamente, atendendo estudos com escalas de análise de seção e trecho.

A análise da rugosidade do leito abrange as variações da composição e a existência de morfologias em determinado trecho, como ocorrência de dunas. A declividade do canal refere-se a variação altimétrica de determinado trecho e compõe, em conjunto com a vazão, a potência do canal, indicador primordial da capacidade de transporte de sedimentos. Por fim, a morfologia em planta do canal que, provavelmente, abrange o maior emprego para os estudos de mudanças de canal. As avaliações das mudanças em planta do canal compreendem a análise de mudanças morfológicas dos rios com o uso de produtos cartográficos, comumente com o estudo de trechos e sendo dependentes do padrão de canal em estudo. Avalia-se, por exemplo, para rios meandrantés a sinuosidade, para rios entrelaçados a taxa de entrelaçamento e em rios multicanais a relação entre a largura de canais e ilhas.

### **1.1. Agropecuária**

O termo agropecuária, empregado neste capítulo, inclui as atividades de agricultura e pecuária. Essas atividades são precursoras, dentre os fatores antrópicos investigados, das mudanças fluviais. Assim deve-se considerar que os distúrbios na paisagem (primitiva) podem abranger uma escala temporal milenar, obviamente os efeitos de povos antigos tem significado espacial diminuto frente as transformações da paisagem ocorrida ao longo do século passado (FULLER et al., 2015). No século XX o desenvolvimento tecnológico atrelado ao crescente aumento no consumo marcaram o aumento na exploração de novas áreas e a intensidade da atividade da agropecuária, com a chamada Revolução Verde, conseqüentemente, propiciando maior impacto potencial aos rios (JAMES, 2013).

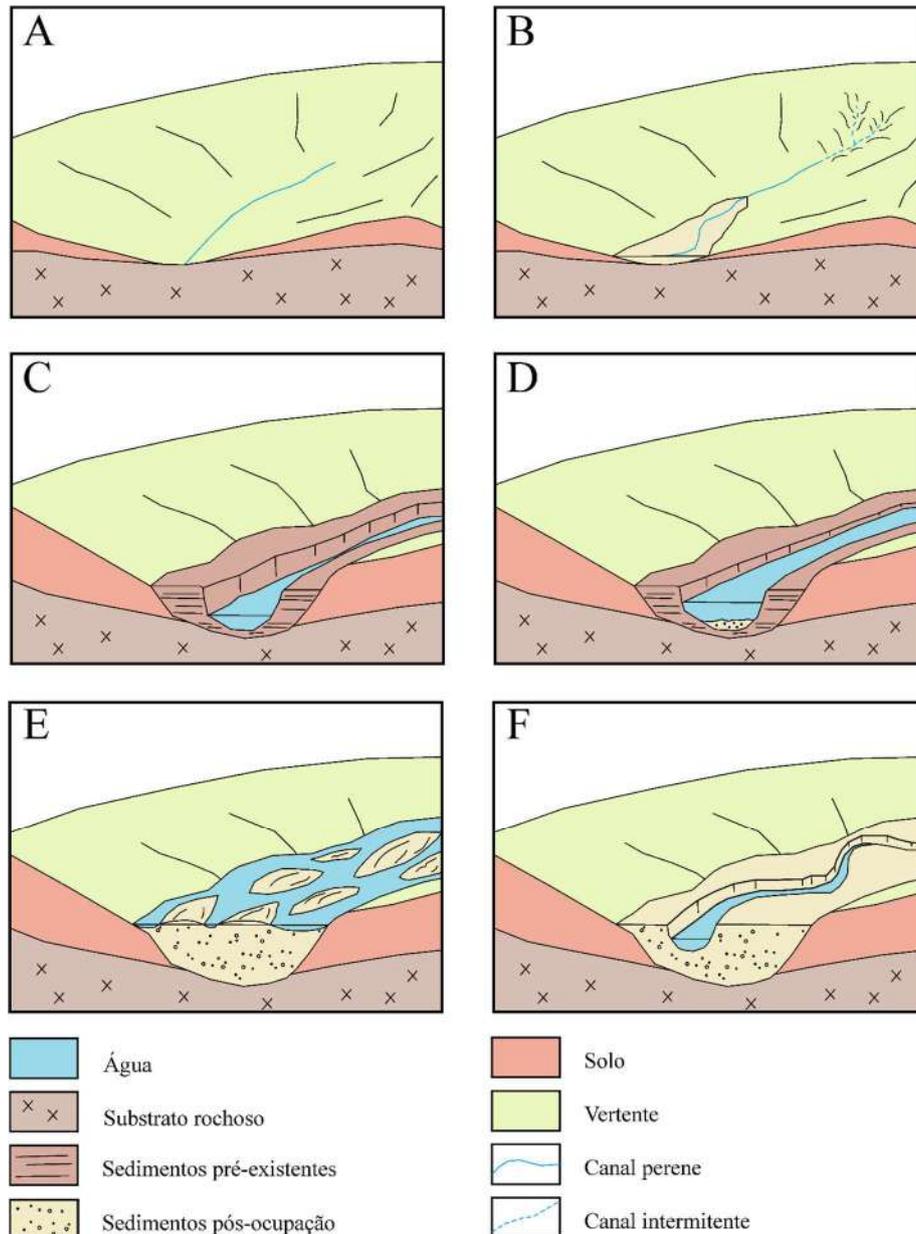
As pesquisas ao longo das últimas décadas têm explicitado que as atividades agropecuárias na bacia hidrográfica são capazes de causar alterações morfológicas e funcionais aos sistemas fluviais (JAMES, 2013; ROYALL, 2013). Como a agropecuária é um uso da terra preliminar e com maior abrangência global, o início da atividade é intimamente atrelado ao desmatamento, sendo, deste modo os efeitos da remoção da

cobertura vegetal frequentemente integrados aos estudos do impacto da agropecuária na dinâmica geomorfológica. O desmatamento e o início das atividades agrícolas frequentemente são registrados com fases de agradação no vale fluvial e o recobrimento de aluviões pós-ocupação é comumente encontrado em paisagens agrícolas (CHARLTON, 2008). Porém, a possível associação entre mudanças de canais com a agropecuária (como também outras influências antrópicas) devem ser avaliadas com cautela, considerando, por exemplo, a dificuldade de discernir estes impactos (WASSON et al., 2010). Há ocorrência de canais com mudanças intensas em bacias hidrográficas com uso do solo inalterado ao longo de décadas (MARTIN e JOHNSON, 1987), mudanças do canal atribuídas à precipitação e sem influência das alterações do uso do solo (VILLAS BOAS e MARÇAL, 2013; SUIZU e NANSON, 2018) bem como taxas de erosão marginal associadas (ANDRADE e MAIA, 2018) ou dissociadas do uso agropecuário (CASTRO et al., 2019).

No contexto do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, a remoção da vegetação implica, principalmente, na alteração dos processos de infiltração e escoamento, com efeitos como a alteração no tempo de permanência da água e a disponibilidade de transporte inicial até o canal com grande quantidade de matéria orgânica, resultante da serrapilheira que é exumada com a erosão laminar. Conseqüentemente, bacias hidrográficas com intenso cultivo agrícola e pouca cobertura vegetal caracterizam-se pelas taxas elevadas de transporte de sedimentos e água e o limitado estoque de atividade biogeoquímica (RHOADS et al., 2016). A subsequente exploração da agropecuária, que inclui o revolvimento e a compactação do solo, tende a intensificar, ao menos inicialmente, o fluxo de água e sedimentos até o canal. Tais alterações são capazes de triplicar a magnitude das inundações e quintuplicar as taxas de deposição (FITZPATRICK e KNOX, 2000), conseqüentemente, alterando a dinâmica de mudanças do canal fluvial.

O uso do solo intenso para agropecuária pode acarretar alterações em toda a extensão da rede hidrográfica. A remoção da vegetação para a prática da agricultura intensa ou sem manejo adequado tem sido relacionada ao desenvolvimento de voçorocas nas cabeceiras de drenagem (COSTA e BACELLAR, 2007; SOUZA e CÔRREA, 2012) bem como a elevada produção de sedimentos tem afetado a declividade dos canais e propiciado o aumento da extensão da rede de drenagem com a formação de nascentes efêmeras (JEFFERSON e MCGEE, 2012) e contribuindo para alterar o modelo de evolução das cabeceiras de drenagem (COELHO NETTO, 2003) (Figura 1 A-B). Outros efeitos longitudinais podem abranger o aumento da largura do canal no médio curso e a deposição no baixo curso (Figura 1 C-D), neste último caso, a agradação com a elevação do leito repercute com o aumento do risco de inundações (GHIMIRE e HIGAKI, 2015). No Pantanal, o aumento da disponibilidade de sedimentos nas áreas de cultivo agrícola da bacia hidrográfica tem sido associado com alterações dos processos avulsivos do mega leque do rio Taquari (ASSINE et al., 2005; MERCANTE e SANTOS, 2009).

Dos estudos desenvolvidos em rios brasileiros destaca-se as mudanças do rio Araguaia documentadas por Latrubesse et al. (2009). As avaliações nesse grande rio, sem interferência direta no canal por barramento, demonstrou o predomínio contemporâneo dos processos de deposição em razão da perda da cobertura florestal e o avanço da agropecuária desde a década de 1960. A intensificação dos processos agradacionais foram identificadas com aumento na carga de fundo de até 31%, expansão de ilhas e aumento de barras centrais. Com essas mudanças repercutindo até mesmo, em alguns trechos, em metamorfose do padrão multicanal para o entrelaçado.



**Figura 1.** Mudanças do canal em bacia hidrográfica associada ao uso intenso e desprovido de manejo adequado da agricultura, com ocorrência de voçorocas com propagação de processos deposicionais no alto curso (A-B) enquanto que no médio e baixo curso destacam-se o aumento da largura e o incremento da carga de fundo (C-D). Em oposição, mudança do padrão de canal em paisagens agrícolas com registro de diminuição da carga de sedimentos (E-F).

A atividade de pecuária na planície de inundação apesar de aparentemente ser menos impactante ao sistema fluvial do que a atividade agrícola, tem também considerável papel para a produção de sedimentos. O estudo de Yu e Rhoads (2018) em uma bacia hidrográfica com uso intenso da agropecuária demonstrou que a carga de sedimentos em suspensão é proveniente principalmente da erosão marginal de planícies ocupadas com pastagem, apesar das pastagens ocuparem uma pequena porção da bacia hidrográfica. Os trabalhos sobre os efeitos da pastagem no sistema fluvial são escassos no Brasil. O trabalho de Dias e Thomaz (2011) sobre os efeitos da pecuária de um faxinal apresenta uma série de interessantes constatações, sumarizadas adiante, pela intensificação dos processos erosivos e deposicionais. Primeiro destaca-se o incremento dos processos deposicionais, pois a inibição da vegetação ripária pela presença do gado, favorece a conectividade dos sedimentos da vertente até à planície, incluindo o acúmulo de materiais lenhosos no canal. Por outro lado, o pisoteio nas margens causa erosão marginal tal como intensifica este processo, pois os sedimentos marginais tornam-se mais compactados. Tais alterações dos processos erosivos e deposicionais pela pecuária resultam em aumento da largura e diminuição da profundidade do canal fluvial.

De modo geral, as mudanças dos canais frente ao intenso uso da agropecuária tendem a se ajustar com variações de décadas. Dentre as poucas investigações que se arriscam a discutir a escala temporal do ajustamento, destaca-se o intervalo de uma a duas décadas, conforme observado por Piegáy et al. (2004) para as mudanças de um rio de padrão entrelaçado em território francês. Entretanto, a resposta do sistema fluvial pode ser rápida, e reversa ao esperado, em casos que demais fatores que influenciam as mudanças morfológicas do canal se sobrepõe à agropecuária (NEIL e YU, 1999).

As premissas apontadas por Knox (1977), sumarizadas por Graff (2013) e apontadas a seguir, reúnem uma série de trajetórias esperadas do ajustamento fluvial causado pela agricultura na rede hidrográfica:

- (1) Aumento da magnitude das inundações;
- (2) Canais com menor profundidade e maior largura no alto curso;
- (3) Canal principal com menor largura e maior profundidade, com a disponibilidade de sedimentos finos coesos;
- (4) A capacidade (ou ausência) dos canais transportarem os materiais grosseiros determina a distribuição e a natureza da resposta do canal;
- (5) Os sedimentos das vertentes e das margens do canal são transportados a uma curta distância e não saem pelo exutório, tornam-se retidos na planície de inundação;
- (6) A resposta no canal é rápida, da ordem de poucos anos.

Apesar destas hipóteses não serem amplamente aplicáveis, e até mesmo com resultados adversos na literatura, dada à geodiversidade das paisagens e a intensidade do uso do solo das bacias hidrográficas, são um importante ponto de referência.

Em contraponto à expansão da agropecuária, alguns estudos têm apresentado resultados interessantes de mudanças do uso do solo reversas, ou seja, de bacias hidrográficas onde a atividade agropecuária diminuiu e houve aumento da vegetação.

Com a redução das áreas cultivadas há a diminuição da produção de sedimentos, entretanto, as mudanças do canal ocorrem com a incisão no estoque de sedimentos que se acumulou na planície de inundação durante os anos de agricultura intensa (GÁRCIA-RUIZ et al., 1997; PIÉGAY et al., 2004).

Algumas práticas da agropecuária também têm sido reportadas com efeito sistêmico e deletério. Lévy et al. (2012) apresentaram uma intrigante relação entre prática agrícola, movimentos de massa e mudanças de canal. Ao avaliar a distribuição dos deslizamentos os autores identificaram que estes eventos estavam associados, dentre outros fatores, à prática de drenagem das terras para o cultivo agrícola. Por sua vez, os deslizamentos causaram uma série de mudanças nos rios. Já Rhoads et al. (2016) identificaram que a prática da drenagem de áreas úmidas para o cultivo agrícola causou significativas alterações na rede de drenagem. A comparação de longo intervalo temporal de dados cartográficos em áreas intensamente cultivadas no estado do Illinois, EUA, demonstrou que a rede de drenagem atual é três vezes mais extensa em relação ao início do século XIX. A construção de valas, prática relativamente também comum no Brasil e carente de interpretação dos efeitos geomorfológicos, gerou trechos retilíneos com resiliência de longa duração, alterando a composição da hidrografia.

Nos últimos anos o interesse pelos processos de conectividade tem aumentado na geomorfologia fluvial (WOHL, 2014b) e intrigantes resultados aparentam até mesmo oportunidades conciliadoras do uso da terra e a manutenção da integridade dos sistemas fluviais. Como amostra disso, destaca-se a pesquisa de Vanacker et al. (2005) que notou pequenas alterações no uso do solo, mas com variações na distribuição espacial dos usos na bacia hidrográfica. A conectividade propiciada pelo reordenamento do uso do solo e o incremento da cobertura vegetal influenciou consideravelmente na dinâmica fluvial, com mudanças no padrão fluvial entrelaçado para um canal único e sinuoso, atribuídas à diferença de fluxo de água e sedimento nas vertentes da bacia hidrográfica (Figura 1 E-F).

## **1.2. Urbanização**

O processo de urbanização possui um aspecto interessante quanto ao potencial de impacto sobre os sistemas fluviais. Por um lado, ao contrário de áreas de agricultura e pecuária, em termos relativos as áreas urbanas ocupam uma pequena porção das superfícies continentais, o que poderia indicar uma baixa capacidade de promover alterações em formas e processos dos sistemas fluviais. No entanto, onde existem áreas urbanas, elas modificam de forma expressiva tais sistemas.

Quando se reflete sobre a dimensão de metrópoles como São Paulo, Tóquio e Nova Iorque, a afirmação de que as áreas urbanas ocupam apenas uma pequena porção da superfície terrestre parece contraditória, o que isso significa? Liu et al. (2014), em artigo esclarecedor sobre o mapeamento de áreas urbanas em abrangência global, indicam que no ano de 2010 as áreas urbanas (a partir de definição político-administrativa), ocupavam em torno de 3% das superfícies continentais (excluindo-se a Antártica e

Groenlândia). Ainda sobre a mesma pesquisa, os autores afirmam que apenas 0,65% dos continentes possuíam áreas urbanizadas construídas e que 0,45% correspondem a superfícies impermeáveis. Portanto, as áreas urbanas, e mais especificamente as superfícies impermeáveis, realmente constituem uma pequena fração do uso e cobertura do solo em escala mundial.

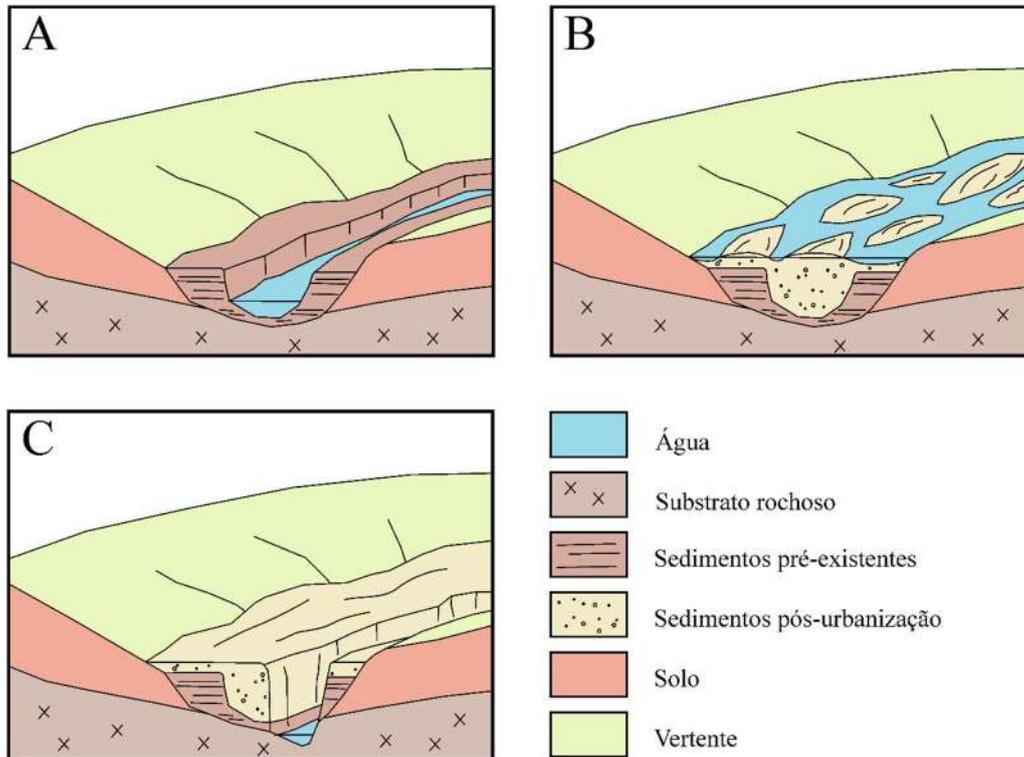
Apesar da pequena extensão, dentre todos os tipos de uso e cobertura do solo, a urbanização possui os efeitos mais profundos e irreversíveis nos sistemas fluviais (CHIN et al., 2020). Embora no contexto de áreas urbanas também possam existir interferências diretas sobre os canais fluviais, como a canalização, soterramento e construções sobre os canais (como pontes) os efeitos mais amplos e recorrentes que a urbanização causa sobre os sistemas fluviais derivam das mudanças na cobertura do solo e suas consequências na hidrologia da bacia.

A estrutura conceitual da hierarquia de processos que relacionam a urbanização com as mudanças fluviais pode ser descrita da seguinte forma: i) uma cidade, ou um novo bairro é construído; ii) tais construções têm o potencial de alterar o ciclo hidrológico por meio da impermeabilização do solo (muitas vezes total); iii) a diminuição da infiltração causa o aumento do escoamento superficial; iv) um maior escoamento superficial pode causar erosão adicional, caso essas águas encontrem solos expostos (nas partes mais baixas da vertente, por exemplo), ou pela descarga concentrada nos canais, favorecendo a erosão das margens e do leito; v) no caso em que o escoamento superficial gera erosão nas vertentes (início do processo de urbanização), o canal fluvial pode receber sedimentos em volume maior do que no contexto pré-urbanização. Por outro lado, no caso de o escoamento superficial ser canalizado diretamente ao canal, haverá um maior volume de água em menor intervalo de tempo quando comparado com a situação pré-urbanização. Essa última condição leva à erosão no próprio canal, seja nas margens (aumentando a largura) ou no leito (aumentando a profundidade).

Portanto, observa-se que há íntima relação entre as construções urbanas, a alteração no ciclo hidrológico e suas consequentes implicações geomorfológicas aos canais fluviais, conforme descrito por uma série de pesquisas (WOLMAN, 1967; HAMMER, 1972; LEOPOLD, 1991; TRIMBLE, 1997; CHIN, 2006; CHIN et al., 2020). A partir da estrutura conceitual apresentada, também é possível observar que em determinadas condições o canal pode adquirir feições derivadas de processos de transporte e deposição, e em outras condições o processo mais ativo é o de erosão. Um aspecto interessante dessa multiplicidade de ajustes geomorfológicos possíveis é que há uma tendência de que os dois processos ocorram (em um mesmo ponto do canal), mas a partir de uma sequência temporal definida. O primeiro pesquisador a notar e descrever com rigor esse padrão foi o geógrafo norte-americano Markley Gordon Wolman (WOLMAN, 1967).

Wolman é um dos grandes autores em geomorfologia fluvial, sendo coautor do clássico *Fluvial processes in geomorphology*, de 1964, e seu artigo (WOLMAN, 1967) foi apontando por Gregory (2006) como umas das cinco principais publicações que

contribuíram para a compreensão de como as atividades antrópicas impactam os canais fluviais. Uma síntese esquemática do modelo de Wolman (1967), que descreve os ajustes fluviais causados pela urbanização, está representada na Figura 2. Esse modelo propõe que um canal fluvial está em condição estável (ou próxima da estabilidade) em um momento pré-urbanização, em que a bacia está ocupada por vegetação natural ou por usos agropecuários (Figura 2A).



**Figura 2.** Sequência de ajustes geomorfológicos de canais fluviais em resposta à urbanização conforme idealização do modelo de Wolman (1967). Estabilidade do canal em momento pré-urbanização (A); fase I, com expressivos processos de agradação (B); fase II, com incisão do canal e consequente formação de terraço com o abandono do antigo leito fluvial (C).

Com o início das construções na bacia hidrográfica iniciam-se as mudanças no canal, no momento em que a extensão de solos expostos aumenta e muitas vezes as obras de canalização de águas pluviais não estão concluídas. Neste momento, doravante denominado como fase I, a produção de sedimentos nas vertentes aumenta, bem como o transporte e a deposição ao longo do canal fluvial (Figura 2B). Já a fase II é caracterizada pelo aumento das áreas construídas, aumento da taxa de impermeabilização do solo na bacia e realização de obras de drenagem. Como resposta à essas mudanças estruturais na bacia, ao mesmo tempo diminui a carga de sedimentos e os picos das ondas de cheias aumentam, no sistema fluvial. Com mais água (em menos tempo) e menos sedimento, gradativamente o canal perde características de agradação e torna-se mais erosivo (Figura 2C).

É possível observar na Figura 2 (situação hipotética), que entre os momentos da seção estável e a fase I o leito do canal elevou-se, com diminuição da profundidade e

aumento de largura do canal. Além disso, a carga adicional de sedimentos também pode aumentar a mobilidade do canal, tornando-o mais ativo, e em situações extremas até levar à metamorfose fluvial com a mudança de padrão de canal (de meandrante para entrelaçado, por exemplo).

Entre as fases I e II o canal escavou os sedimentos recém-depositados e também seu antigo leito. Neste caso, ocorreram processos inversos à primeira fase, com diminuição de largura e aumento da profundidade. Em algumas situações o processo de incisão pode evoluir até atingir o substrato rochoso, alterando-o de rio aluvial para rio de leito rochoso.

Após o início do processo de incisão, tanto os sedimentos mais antigos quanto os recém-depositados (pós-urbanização) podem ser preservados parcialmente, de forma que é possível diferenciá-los a partir de observação em campo (exemplo hipotético na Figura 2C). Utilizando-se em parte desta interpretação e da observação de perfis em voçorocas, Oliveira e Queiroz Neto (1993) deduziram um modelo de evolução para drenagens do planalto ocidental paulista, muito semelhante ao modelo de Wolman (1967). É interessante observar também que o leito na fase I (Figura 2B) pode se tornar uma planície de inundação ou até um terraço, dependendo das condições da nova dinâmica hidrológica, após a incisão (Figura 2C).

Certos aspectos da concepção teórica de Wolman (1967) merecem algumas pontuações: i) a passagem entre as três fases é gradativa, isso quer dizer que há um *continuum* que liga os três estágios; ii) ao contrário do que uma primeira análise do modelo teórico possa transparecer, a evolução dos processos na realidade não é necessariamente linear. Ao invés de ser uma estrutura física constante no espaço-tempo, as cidades constantemente expandem-se e também em áreas já urbanizadas a cobertura do solo se modifica. Como resultado de cada nova alteração no uso e cobertura da bacia, o ciclo de Wolman (1967) repete-se, mas os efeitos da implantação de um novo bairro, por exemplo, interagem com os efeitos de construções anteriores. Alguns efeitos podem ser somados, como o aumento do pico de cheias ocasionado pela nova extensão de superfícies impermeáveis, enquanto outros efeitos podem anular-se parcialmente, como no caso em que uma área fornece mais sedimentos e outras fornece mais carga líquida.

O segundo ponto não necessariamente invalida o modelo de Wolman (1967), apenas demonstra que muitos “mini-ciclos” podem ocorrer ao mesmo tempo, em estágios distintos, visto que casas, bairros, ruas, entre outras construções que compõem as cidades, têm diferentes idades. Essa proposta de concepção do modelo de Wolman (1967) diminui o sentido linear de causa-efeito entre as mudanças de uso e cobertura e os respectivos três estágios geomorfológicos, necessitando do apoio do conceito de respostas complexas em sistemas fluviais (CHARLTON, 2008).

Avançando na discussão, o terceiro ponto: iii) a intensidade e os tipos de ajustes do sistema fluvial à urbanização podem variar bastante ao longo do perfil longitudinal dos canais. A sequência ideal proposta por Wolman (1967), de estabilidade – agradação – erosão, pode ser diferente conforme a posição no perfil e a distância do trecho urbano. Como exemplos desta afirmação, estudos de caso em bacias com trechos urbanos no

noroeste do estado do Paraná podem ser consultados em Montanher (2010) e Montanher (2013).

Por último, o ponto iv) refere-se ao fato de que os ajustes geomorfológicos podem ser muito variados ao serem comparadas diferentes bacias, mesmo que elas possuam extensões semelhantes de áreas urbanas e superfícies impermeáveis. Os tipos e intensidades dos ajustes podem variar conforme uma série de características, entre as mais importantes: manejo das águas pluviais, declividade das vertentes, substrato rochoso, características pedológicas e dinâmica pluvial.

### 1.3. Reservatórios

Reservatórios são formados por pequenas à grandes obras de engenharia construídas transversalmente ao canal com a finalidade, principalmente, de armazenar água para usos *diversos*. Dentre os interesses para o barramento do canal fluvial destacam-se o abastecimento urbano, contenção de inundações, retenção de sedimentos, dessedentação animal, irrigação e geração de energia. Grandes reservatórios geram até 19% da energia global e um terço dos países possuem mais da metade da energia provida por hidroeletricidade, de modo que o fluxo de sedimentos de 25-30% das bacias hidrográficas é interceptado pela existência de ~45.0000 reservatórios (PETTS e GURNELL, 2013).

A transformação de um trecho do rio de fluxo lótico para lântico impõe a montante do reservatório um novo nível de base para o canal principal e tributários a partir do limite do remanso e a jusante do reservatório a paisagem fluvial é alterada principalmente com a retenção dos sedimentos e mudanças no regime de vazões, principalmente as máximas. A regulação no fluxo pode ser severa, com redução do fluxo diário entre 30-94%, diminuição na magnitude das inundações de 16-89% e retenção de da carga de sedimentos de até 99% (SHERRARD e ERSKINE, 1991). Mesmo a remoção de reservatórios pode ainda afetar por um longo período, como as mudanças (em curso) por até um século com erosão das margens dos depósitos acumulados (MERRITS et al., 2011).

No Brasil os estudos sobre o impacto de reservatórios na morfologia dos sistemas fluviais são ainda escassos e concentram-se principalmente em reservatórios de grandes rios. Com relação aos pequenos reservatórios para irrigação e dessedentação animal, apesar de comuns principalmente no Cerrado e Semi Árido do Brasil, pouco se sabe de seus impactos geomorfológicos. Como potencial desta modificação no sistema fluvial, uma bacia hidrográfica na Austrália com produção de sedimentos de aproximadamente quatro vezes superior ao período preliminar a ocupação intensa, teve como efeito dos reservatórios a diminuição de sedimentos no canal em duas vezes e meia ao cenário preliminar ao uso intenso da agropecuária (VERSTRAETEN e PROSSER, 2008).

A incisão do canal a jusante do reservatório é o ajuste mais recorrente à instalação de reservatórios (Figura 3). Em um levantamento amplo em 35 canais com reservatórios nas Grandes Planícies da região central dos EUA os ajustamentos típicos dos barramentos foram sumarizados entre o estreitamento do canal em rios entrelaçados e a diminuição da

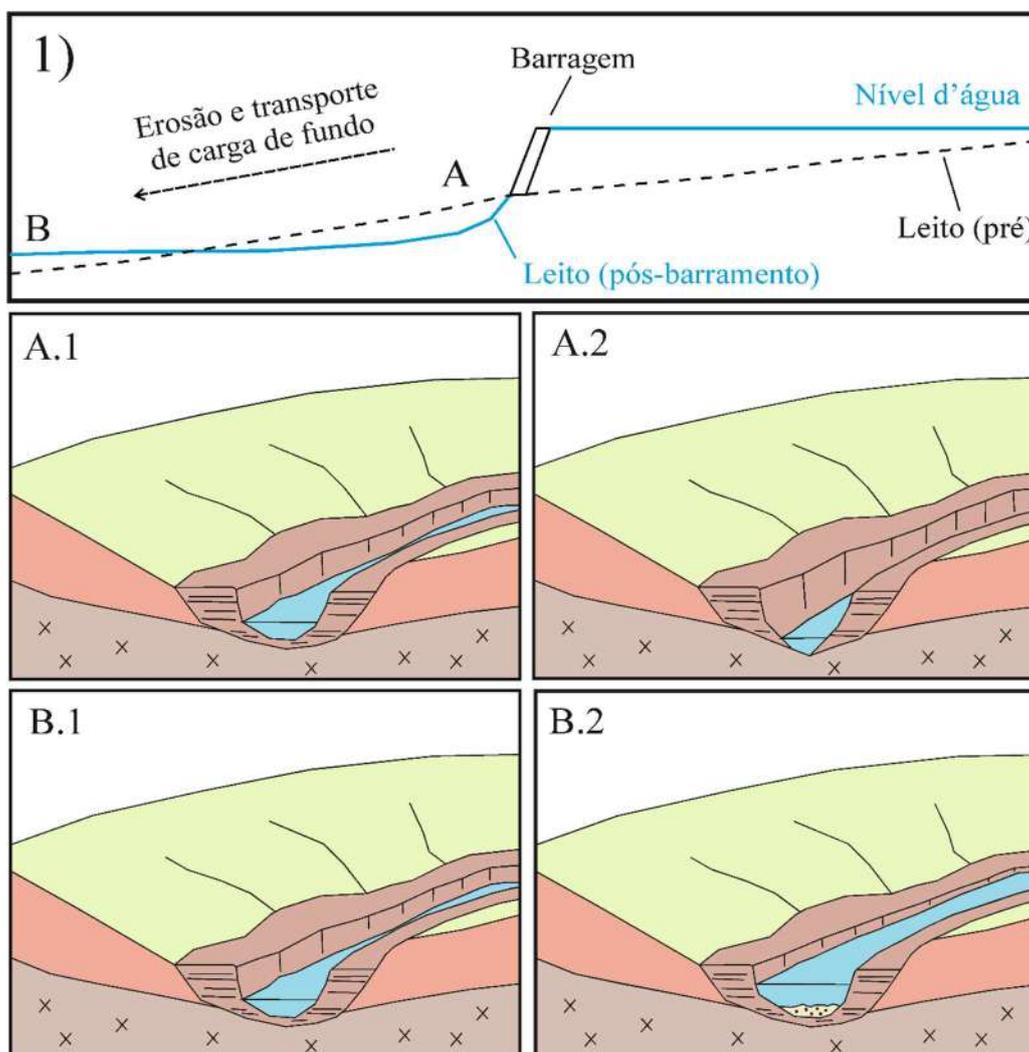
migração lateral em rios meandantes (FRIEDMAN et al., 2008). Para este quadro regional, ambos os ajustes dos padrões de canais podem ser interpretados como evidências indiretas de incisão fluvial. Reservatórios, ainda que com limitado impacto no regime hidrológico, são capazes de promover mudanças substanciais, como demonstrado por Pohl (2004), com o aumento da taxa de incisão do leito em decorrência da retenção de sedimentos, mesmo com pequenas variações na vazão. Por outro lado, salienta-se que poucos reservatórios são dotados com modelos operacionais de vertedouros capazes de liberar o fluxo de sedimentos, contudo, em casos como este podem ocorrer a agradação no leito a jusante, com papel principal associado aos menores fluxos (MA et al., 2012).

O aumento da largura das margens também tem sido um dos efeitos reportados a jusante do reservatório (PETTS e PRATTS, 1983) e para alguns casos o aumento da profundidade ocorre em consonância (MA et al., 2012). Já Hadley e Elmmett (1998) documentaram no estado do Colorado, EUA, um amplo conjunto de mudanças no canal de uma bacia hidrográfica relativamente pequena (673 km<sup>2</sup>) atribuídas a instalação de um reservatório para contenção de inundações. A dinâmica similar à descrita para rios maiores, identificada pelos autores, inclui pequeno aumento na largura, com incisão substancial de 40% no leito e diminuição do gradiente. Em contraste, para canais com carga de sedimentos em suspensão baixa e carga de fundo de cascalhos, o ajustamento é caracterizado pelo estreitamento do canal, formação de barras de confluência e imobilidade dos sedimentos grosseiros (GILVEAR, 2004; CURTIS, 2010). Nesses casos, o fluxo de sedimentos dos tributários desempenha um papel importante no estreitamento, acometido com a formação de barras laterais e colonização da vegetação.

Os efeitos incisivos no leito fluvial associados a erosão marginal podem também propagar-se com demais mudanças ao longo do canal. A degradação do leito do canal principal causa a incisão de tributários com o rebaixamento do nível de base (HEINE e LANT, 2009), agradação na confluência (SHERRARD e ERSKINE, 1991) e ajustes na confluência que variam conforme o uso do solo (MUSSELMAN, 2011). As variações temporais e espaciais da incisão contribuem, em conjunto com tributários, para suprir o canal com sedimentos em suspensão e a manutenção da atividade de migração (HEITMULLER, 2014). Em um quadro mais amplo, Legleiter (2015) identificou a propagação espacial das mudanças provocadas pelo reservatório, notando a atuação erosiva próximo ao reservatório decorrente do déficit na carga de fundo e trechos a jusante predominando a agradação.

Dentre os efeitos a jusante do canal provocados por barramentos recorrentemente aponta-se o encouraçamento do leito fluvial (*armouring*) (HADLEY e ELMETT, 1998; STEVAUX et al., 2009; SMITH et al., 2016). Esse conceito refere-se ao leito fluvial com superfície mais grosseira que os depósitos sotopostos, ou seja, há uma granodecrescência dos depósitos do leito fluvial (FERGUSON, 2003). Apesar deste processo também ocorrer em rios livres de reservatórios (COTA et al., 2018), a retenção de sedimentos com a instalação de reservatórios torna propício tal processo, pois os materiais com menor granulometria são paulatinamente removidos de modo que os sedimentos maiores passam

a dominar os depósitos do leito. Deste modo há uma progressiva granocrescência e resistência dos sedimentos superficiais do leito, favorecendo a rigidez e baixa mobilidade dos materiais do leito. A ocorrência deste processo a jusante da usina de Porto Primavera está relacionada a diminuição da magnitude de inundações, oscilações diárias do nível e decréscimo de sedimentos em suspensão do rio Paraná (STEVAUX et al., 2009).



**Figura 3.** Perfil longitudinal hipotético de um rio antes e depois da implantação de um reservatório (1). A jusante do reservatório, nas proximidades da barragem, os processos erosivos causam incisão do canal (A) e agradação em distâncias maiores devido ao transporte de sedimentos (B).

Ao estudar as características de dunas subaquosas do rio Paraná a jusante da usina hidroelétrica Engenheiro Sérgio Motta, Martins e Stevaux (2005) caracterizaram a extensão, altura e a dinâmica destas formas. Com a cálculo da velocidade de deslocamento destas morfologias, os autores constataram que as mudanças hidrológicas e sedimentológicas causadas pelo reservatório diminuíram a velocidade do deslocamento dos sedimentos do leito fluvial. Ainda a jusante deste reservatório no rio Paraná a mensuração do deslocamento de barras fluviais, avaliada por Souza Filho e Rigon (2012),

apresentou ser aproximadamente a metade da velocidade de deslocamento das dunas subaquosas. Entretanto, nesse caso os autores não observaram alterações causadas pelo reservatório na velocidade do deslocamento das barras fluviais ou relação com os efeitos da cominuição provocado pelo barramento. Por outro lado, um estudo de outro grande rio expôs que, mesmo com vazões máximas inalteradas, houve a cominuição de barras centrais, associada à redução de sedimentos suspensos (LI et al., 2019).

Já as mudanças do canal a jusante de reservatório em região semiárida no Brasil ocorrem de modo rápido, diferente das regiões tropicais úmidas, com alterações inicialmente perceptíveis nos aspectos hidrológicos e sedimentológicos, e posteriormente, na morfologia do canal (CAVALCANTE e CUNHA, 2012). A jusante da hidroelétrica de Xingó notou-se que tanto fatores intrínsecos como antrópicos são propulsores do intenso processo erosivo das margens do rio São Francisco (HOLANDA et al., 2007). Por outro lado, a regularização das vazões em barramentos no rio Jaguaribe, CE, atrelada a períodos de estiagem, é associada ao incremento de processos agradacionais de barras e ilhas fluviais (QUEIROZ et al., 2018).

A partir do balanço de Lane (1954) e a disponibilidade de água e sedimentos do reservatório, a proposta de Brandt (2000) sintetizou nove efeitos esperados de mudanças do canal a jusante de reservatórios. O emprego desse modelo qualitativo prevê que sob mesmo fluxo as mudanças podem variar em decorrência da diversidade dos sedimentos de fundo e dos materiais que compõe o leito fluvial. Críticas quanto aos modelos de ajustamento de Brandt (2000) foram apontadas por Petts e Gurnell (2013) com relação aos canais a jusante de reservatórios poderem não apresentar regime de respostas de mudanças, taxas variáveis entre trechos poderem ocorrer criando aparentemente diferentes respostas, apesar de poderem convergir durante o tempo, e que há uma ausência de estudos de variabilidade natural das mudanças dos canais. Entretanto, Phillips et al. (2005) ressaltam resultados positivos com a capacidade preditiva deste modelo qualitativo de Brandt (2000), que possibilita uma primeira aproximação dos potenciais efeitos do reservatório a jusante. Apesar disso, alguns autores insistem que não há um padrão de respostas fluviais para fluxos regulados (WILLIAMS e WOLMAN, 1984; CURTIS, 2010).

Dado ao contexto geográfico e os modos operacionais de reservatórios, alguns casos para rios aluviais tornam-se até mesmo emblemáticos, porém a compreensão do comportamento fluvial realça a efetividade de uma abordagem ampla integrando à dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica. Phillips (2003) demonstrou que apesar de aproximadamente três quartos dos sedimentos do rio Sabine, localizado nas divisas dos estados do Texas e Louisiana, EUA, serem retidos por um reservatório, apenas um pequeno trecho registra incisão do canal, sendo de um modo geral o trecho a jusante caracterizado por mudanças do canal parecidas com aquelas ocorridas no período preliminar ao barramento. Esse comportamento é explicado pelas características operacionais do reservatório com o vertedouro de sedimentos, que aproxima o sistema ao

cenário preliminar bem como a contribuição do suprimento de sedimento do restante da bacia hidrográfica.

Ainda para o oeste dos EUA em rio multicanal com carga de fundo de cascalhos, a imobilidade do canal foi reportada, porém, limitada a poucos quilômetros a jusante do reservatório (DRAUT et al., 2011). Esses autores realçam que mudanças do canal quantificadas com métricas como os índices de sinuosidade e de entrelaçamento, tem demonstrado uma dinâmica até mesmo comparável com setores a montante do reservatório. Neste caso o comportamento é atribuído à ocorrência de inundações que possibilitam o retrabalhamento de depósitos da planície e da margem os quais abastecem a carga de sedimentos finos e induz a mobilidade lateral e do leito.

O modelo típico de ajustamento do canal descrito com degradação do leito e estreitamento (PETTS e GURNELL, 2013), deve ser entendido com cuidado e precaução. Considerando principalmente por exemplo que no caso do estreitamento do canal, que há ajustamentos reportados com aumento da largura, bem como assegurar que o entendimento da incisão do canal pode propagar-se como agradação para trechos a jusante, essas ressalvas certamente são atribuídas a caracterização de variações complexas de Petts e Gurnell (2013). Poucos são os estudos que ainda analisaram o comportamento fluvial com ampla escala temporal, há casos de barramentos com variabilidade espacial na dinâmica de ajustamento do canal em curso em reservatórios implantados há seis décadas (GILVEAR, 2004). Até mesmo há uma grande escassez de dados geomorfológicos, principalmente, hidrológicos e sedimentológicos preliminares a instalação de reservatórios (MAGILLIGAN et al., 2013).

A conciliação de um regime de fluxo ideal a jusante de um reservatório é difícil, uma vez que envolve a conciliação de interesses econômicos, ecológicos, geomorfológicos e sociais. Como medida de mitigação, o licenciamento de reservatórios nos EUA tem cobrado a inclusão de vertedouros para sedimentos, entretanto dimensionar o fluxo ideal ainda é um desafio (MAGILLIGAN et al., 2013). No intuito de se determinar o funcionamento do canal posterior ao reservatório, uma primeira aproximação sugerida para entender a direção e a magnitude da regulação do fluxo refere-se à sedimentometria do canal a jusante do barramento (GRANT, 2012). Ainda mais aplicada é a sugestão do emprego do coeficiente de transporte de sedimentos, que é a taxa de sedimentos em função da descarga, como uma maneira útil de se calibrar a vazão sólida e líquida a jusante do reservatório em consideração aos menores impactos à dinâmica fluvial (MA et al., 2012). Compatibilizar uma vazão sólida e líquida a jusante de reservatórios é uma tarefa contemporânea e interdisciplinar para a geomorfologia fluvial.

Os estudos sobre o ajustamento fluvial a montante de reservatórios são poucos, quando comparado a quantidade de estudos que abordam as mudanças dos canais a jusante. Uma sequência de ajustes em tributários a montante do reservatório foi proposta por Xu (1990), considerando-se um sistema fluvial meandrante com elevado suprimento de sedimentos em suspensão e carga de fundo de materiais finos. Dentre as mudanças do canal preditas destacam-se como efeito do reservatório o aumento do nível de base que

acentua o aumento da taxa largura/profundidade, oscilações entre o padrão meandrante e entrelaçado e o aumento da frequência de inundações.

Posteriormente, Liro (2014) desenvolveu uma proposta mais sofisticada de ajustamento para tributários a montante de reservatórios. Similar ao antológico modelo de ajustamento de Brandt (2000), em que a fundamentação teórica se baseia no balanço de Lane (1954), três condições de ajustes morfológicos do canal são preditas com a razão entre a potência do canal e a disponibilidade e tamanho de sedimentos. Preliminar ao desenvolvimento deste modelo, Alibert et al. (2011) avaliou mudanças do canal de tributários a montante de um reservatório no Canadá e atribuiu a possível inconsistência dos resultados com a sequência de Xu (1990) a menor disponibilidade de sedimentos em suspensão do rio canadense analisado quanto à sequência de ajustes oriundas do rio chinês. Por outro lado, Liro (2015), com o emprego de análises estatísticas demonstrou a propagação de mudanças na largura do canal para além do remanso do reservatório, porém com os resultados divergentes aos de Alibert et al. (2011) e em consonância com à sequência de ajustes de Xu (1990). O contraste entre os resultados destes autores e a enorme quantidade de reservatórios são alguns dos pilares que exemplificam a necessidade emergente do desenvolvimento de pesquisas para maior conhecimento dos efeitos de mudanças de canal a montante de reservatórios.

## **2. METODOLOGIA DO ESTUDO CIENTOMÉTRICO**

A análise cientométrica de mudanças de canal referente à agropecuária, urbanização e reservatório foi baseada em publicações entre os anos de 2000 e 2019 dos periódicos Revista Brasileira de Geomorfologia (RBG), Sociedade e Natureza, Boletim Goiano de Geografia, GEOUSP espaço e tempo, *Geomorphology*, *Catena* e *Earth Surface Processes and Landforms*. Esse conjunto de periódicos foi determinado considerando a especialidade em publicações em Geomorfologia e por serem classificados no Qualis CAPES como A1 na área de Geografia. Para a seleção dos artigos, todos os volumes dos periódicos nacionais foram avaliados individualmente e no caso dos internacionais foram feitas buscas com a combinação *Brazil* (em qualquer parte do texto) e *river* ou *stream* (no resumo).

Os atributos catalogados, e considerados para avaliação, das publicações científicas foram: nome da publicação, autor(es), ano, variação temporal, escala de análise, região hidrográfica, técnica, instituição, estado e país do primeiro autor. Para definição da instituição em que a pesquisa foi desenvolvida, foi considerada a afiliação apenas do primeiro autor. Um ponto de ressalva é que o primeiro autor de um dos artigos era pesquisador independente, sem relação institucional com alguma universidade. Nessa situação foi observada a instituição do segundo autor. Situação similar também ocorreu em dois casos em que a instituição do primeiro autor não correspondia com a universidade que havia sediado o desenvolvimento científico da pesquisa. Para variação temporal foram considerados os intervalos mais amplos utilizados para a investigação do estudo, divididos em: episódico, anual, decadal e secular. A escala de análise representa o recorte

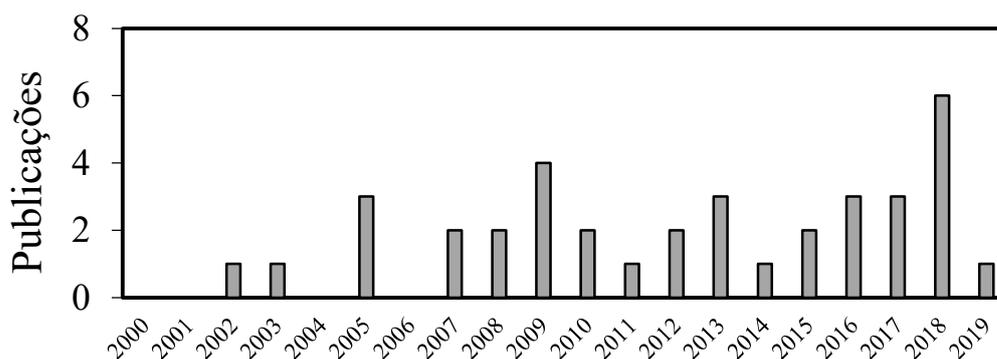
geográfico na qual o fenômeno é analisado e neste trabalho utilizaram-se as seguintes divisões: bacia hidrográfica, trecho e unidade geomórfica.

As regiões hidrográficas referem-se aos 12 compartimentos do território brasileiro delimitados pelo conjunto de bacias com características de paisagem similar, definidas pela Divisão Hidrográfica Nacional para orientar o planejamento dos recursos hídricos (BRASIL, 2003). Com relação à técnica observou-se a existência dos seguintes procedimentos de investigação: geotecnologia, sedimentologia, hidrologia, morfometria, estatística e observações em trabalho de campo. A geotecnologia abrange as ferramentas para coleta e análise de informação com referência geográfica (ROSA, 2005), assim foram considerados nessa classe de técnica o uso de topografia, cartografia, batimetria, GNSS, sensoriamento remoto e geoprocessamento. É necessário realizar uma ressalva sobre a técnica “Observação em campo”. A maioria dos trabalhos avaliados envolveram atividades de campo, seja para coleta de dados, para reconhecimento, ou ambos. Nesses casos, a observação em campo não foi denotada como uma técnica por ser implícita à realização da pesquisa. Nos casos em que a ida a campo foi apenas para reconhecimento, essas pesquisas envolviam outras técnicas, aplicadas em produtos de sensoriamento remoto e/ou séries de dados hidrológicos, por exemplo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca especificada na metodologia retornou um total de 37 artigos, cujas características estão detalhadas na sequência do texto. A busca mais ampla, nos casos dos periódicos internacionais (*Brazil* em qualquer parte do texto e *river* ou *stream* no resumo), gerou um elevado volume de resultados para avaliação. No entanto, essa pesquisa foi necessária, considerando a existência de trabalhos que tratam dos aspectos abordados nesta avaliação cientométrica, mas que não eram reportados com o uso da combinação *Brazil* e *river* or *stream* nos campos de pesquisa “título”, “palavras-chave” ou “resumo”. Isso aponta para necessidade de avaliar com cautela o uso adequado de palavras-chave na publicação.

A quantidade de publicações relacionadas ao ajustamento de canais, perante os três fatores de influência antrópica abordados, aumentou ao longo do tempo analisado (2000-2019, Figura 4), principalmente a partir do ano de 2007. Esse aumento é similar ao incremento de publicações de geomorfologia fluvial na RBG (BARROS e REIS, 2019), sendo ambas tardias ao aumento de publicações de geomorfologia fluvial no cenário internacional (PIÉGAY et al., 2015). Entretanto, há também de se relevar o aumento da quantidade total de publicações na RBG, que concentra parte substancial das publicações nacionais, bem como o incremento de publicações na Geomorphology (PIÉGAY et al., 2015). Preliminarmente, esse aumento de publicações de ajustes fluviais provavelmente assemelha-se ao descrito por Piégay et al., (2015) para o panorama da geomorfologia fluvial, com aumento da quantidade, mas com frequência similar, pois esta última métrica indica um aumento em consideração ao volume da produção científica.



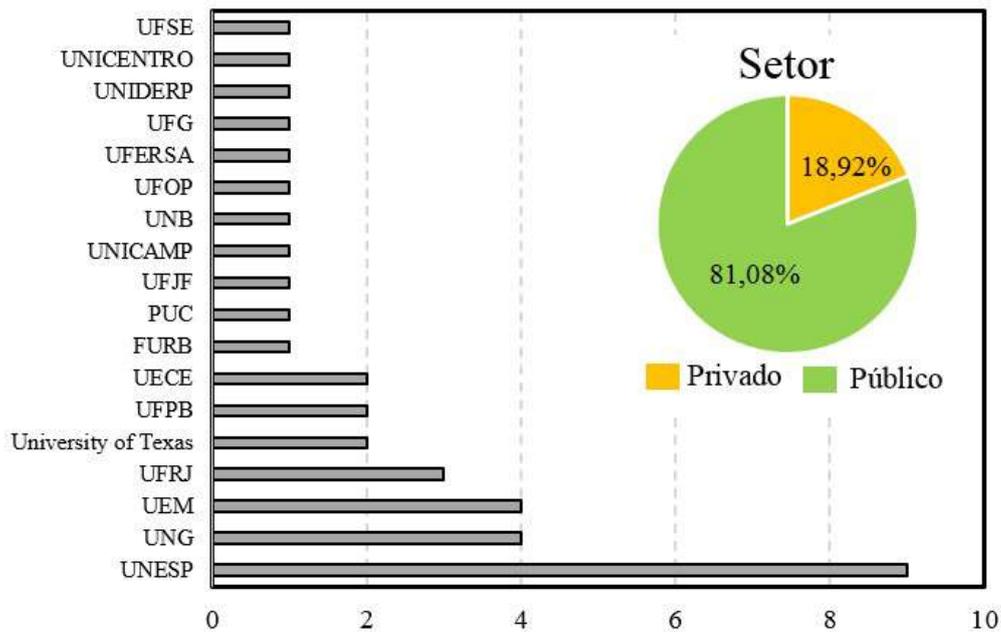
**Figura 4.** Evolução temporal das publicações relacionadas ao ajustamento de canais a partir de influências antrópicas no Brasil.

Com relação às instituições em que o primeiro autor estava filiado no momento da pesquisa, foram observadas 18 diferentes universidades, em que em 11 delas houve o registro de apenas uma publicação (Figura 5). Apenas quatro instituições tiveram três publicações ou mais, com destaque para a UNESP (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho). A soma das publicações, relacionadas à essas universidades, resulta em 54,05% do total. Portanto, observa-se a existência de poucas instituições com certo grau de especialidade sobre o estudo do ajuste de sistemas fluviais, enquanto as outras instituições desenvolveram pesquisas pontualmente.

Dentre as quatro universidades com maior quantidade de publicações, três são da região sudeste (UNESP e UNG, UFRJ) e uma é da região Sul (UEM). É importante mencionar que o fato deste levantamento ter levado em conta apenas o vínculo institucional do primeiro autor fez com que algumas instituições importantes no cenário nacional não apareçam na Figura 5. No entanto, pesquisadores dessas instituições constam entre os coautores de alguns dos artigos levantados. Sobre a nacionalidade das instituições, apenas em dois artigos o primeiro autor não é de universidade brasileira, com pesquisas desenvolvidas na *University of Texas* (EUA).

Com relação à natureza do setor ao qual a universidade atua, grande parte das produções foram feitas por pesquisadores em universidades públicas (81,08%). No entanto, é interessante ressaltar que a UNG (Universidade Guarulhos), do setor privado, é uma das instituições com maior quantidade de publicações (Figura 5). Considerando o cenário de publicações de geomorfologia fluvial na RBG (BARROS e REIS, 2019), nota-se que há proporcionalmente uma diversidade um pouco menor de instituições e algumas semelhanças de instituições com maior quantidade de publicações.

O periódico com maior quantidade de publicações é a RBG, responsável por pouco mais da metade da produção avaliada (Figura 6). O restante da produção está razoavelmente bem distribuído entre os outros periódicos, apenas fazendo-se a consideração de que o Boletim Goiano de Geografia e a GEOUSP possuem uma quantidade menor em relação aos outros periódicos.

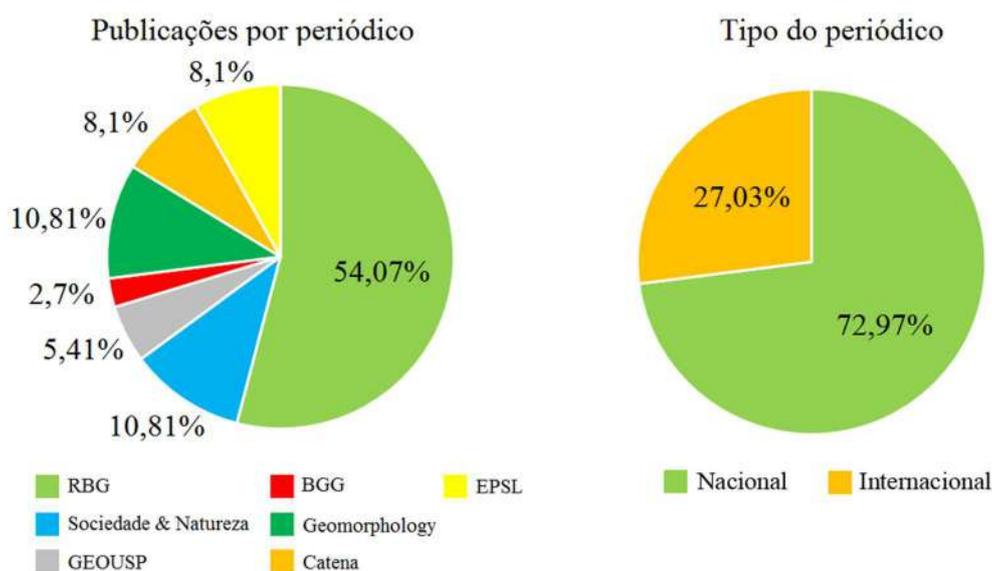


**Figura 5.** Quantidade de publicações por instituição (instituições cujo primeiro autor era filiado no momento da publicação). O gráfico circular indica a proporção de instituições dos setores público e privado.

Com relação à nacionalidade das revistas, aproximadamente três quartos da produção foi publicada em contexto nacional (Figura 6). Apesar do número de revistas nacionais avaliadas ser maior (quatro) do que as internacionais (três) é necessário avaliar a quantidade de publicações dessas revistas. Por exemplo, enquanto a Revista Brasileira de Geomorfologia publicou 48 artigos em quatro volumes no ano de 2019, nesse mesmo período a *Geomorphology* publicou 312 artigos, distribuídos em 24 volumes (Catena e a *Earth Surface Processes e Landforms* possuem periodicidade mensal, também com grande quantidade de publicações). Portanto, apesar da quantidade total de publicações ser muito maior nas revistas internacionais avaliadas, em relação ao total das revistas brasileiras, a participação das pesquisas sobre ajustamento de canais em rios brasileiros em periódicos internacionais é bem menor do que nas nacionais.

Essa opção de divulgação dos resultados científicos pode ser, ao menos parcialmente explicado, pela classificação do sistema Qualis/CAPES de revistas científicas na área de Geografia. O sistema em vigor, por exemplo, equipara publicações em revistas como *Earth Surface Processes and Landforms* ou *Geomorphology* com Sociedade e Natureza ou GEOUSP com avaliação A1 na área de Geografia. Essa situação não estimula ou favorece que o pesquisador submeta um artigo em inglês com alcance internacional, além de se supor, dada a proporção de revisores com experiência no contexto internacional frente ao limitado cenário nacional, a necessidade de análise mais rigorosa para publicação. Por outro lado, uma situação mais coerente ocorre na área de Geociências em que esses periódicos citados são classificados, respectivamente, como A2 e B4/B5.

A distribuição espacial dos estudos avaliados nesta revisão pode ser observada na Figura 7. De modo geral, observa-se dois grandes conjuntos de pontos, um na região centro-sul do Brasil, abrangendo parte das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, e outro conjunto, com menor quantidade de estudos, na Região Nordeste, com destaque para o semiárido. A Figura 7 mostra que extensas áreas do território nacional possuem poucos estudos sobre os ajustes geomorfológicos dos canais frente às mudanças de origem antrópica, notadamente a Região Norte.

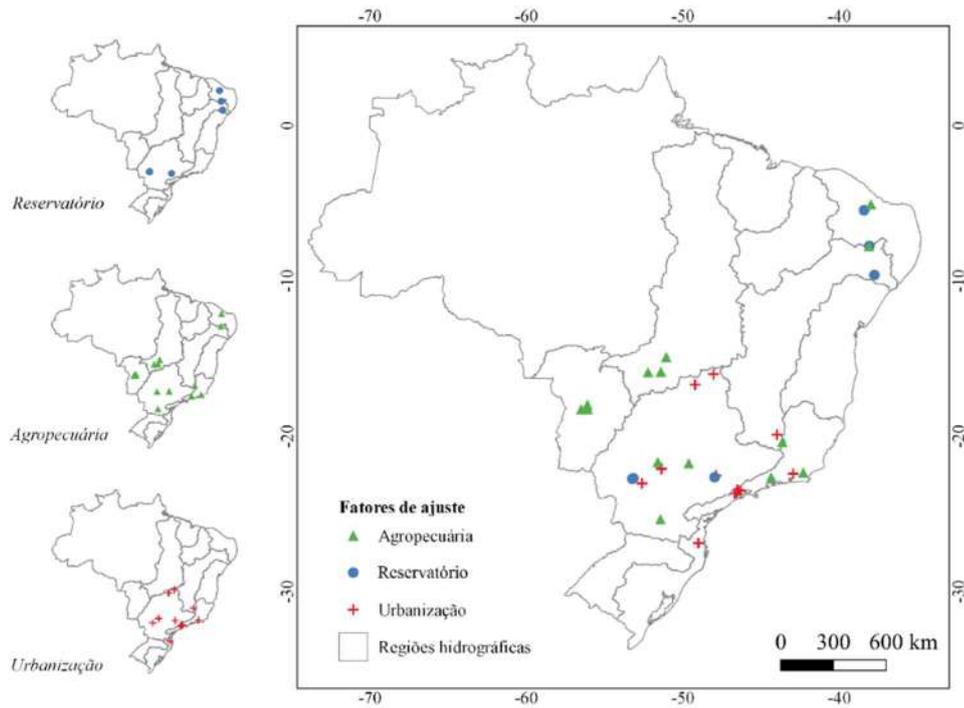


**Figura 6.** O gráfico circular da esquerda indica a proporção de publicações por periódico enquanto o da direita representa a proporção de publicações em periódicos nacionais e internacionais. RBG – Revista Brasileira de Geomorfologia; BGG – Boletim Goiano de Geografia; EPSL – *Earth Surface Processes e Landforms*.

Em termos de regiões hidrográficas, não foram observadas pesquisas na bacia amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Leste e Uruguai. A bacia do Tocantins-Araguaia possui pesquisas apenas em seu alto curso e a bacia do São Francisco possui nos dois extremos (alto e baixo curso). A bacia com maior quantidade e dispersão espacial das pesquisas é a do Paraná. Esse contexto de concentração e ausência de investigações sobre ajustes fluviais é similar à produção de geomorfologia fluvial na RBG (BARROS e REIS, 2019), porém aqui agravado com algumas regiões sem ou com pouco conhecimento sobre o tema.

Uma característica observada na distribuição das pesquisas, de difícil percepção a partir do mapa apresentado na Figura 7, é que algumas áreas possuem uma concentração de estudos (os pontos próximos se sobrepõem, devido à escala pequena). Cinco pesquisas foram feitas na região metropolitana de São Paulo, especificamente sobre mudanças de canais como resposta à urbanização da bacia. Três foram registradas na bacia do Paraguai, referentes às mudanças de canal decorrentes do avanço da agricultura no alto curso das bacias hidrográficas. Por fim, um conjunto de quatro estudos foi observado no alto curso do rio Paraná, referentes aos ajustes decorrentes da implantação de reservatórios a

montante. Esses conjuntos de pesquisas em locais específicos se devem às características geográficas dos locais mencionados e ao desenvolvimento contínuo de estudos por profissionais e por grupos de pesquisa especializados.



**Figura 7.** Localização das áreas de estudo das 37 pesquisas relacionadas ao ajustamento de canais a partir de três fatores antrópicos, para o período de 2000-2019.

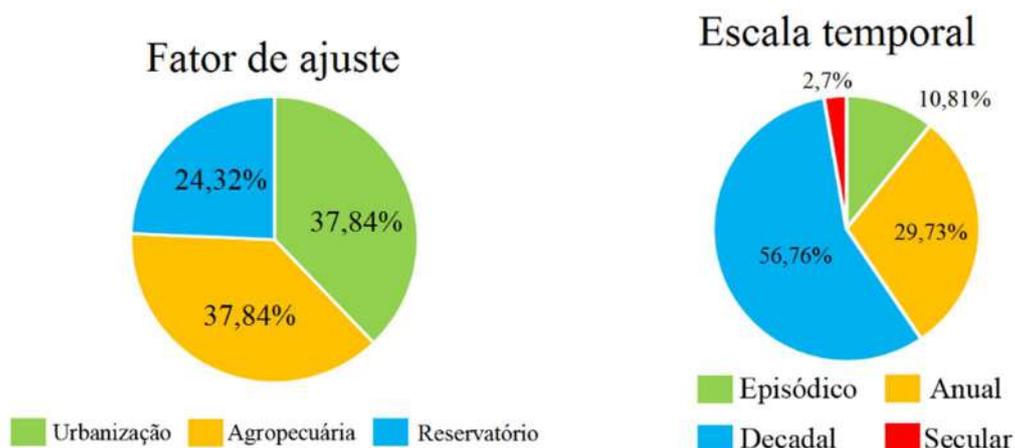
Pesquisas relacionadas aos ajustes decorrentes da agropecuária e da urbanização apresentaram a mesma proporção entre todas as publicações (Figura 8). Apesar de haver menor quantidade de pesquisas relacionadas aos reservatórios, há uma distribuição razoavelmente homogênea entre os três tipos de ajustes avaliados.

A escala temporal em que os ajustes fluviais foram avaliados foram, predominantemente, decadal, seguido do intervalo anual (Figura 8). Esse resultado contrasta com a evolução da produção internacional de geomorfologia fluvial, em que os valores da primeira e segunda classe são relativamente próximos, porém com a escala anual prevalecendo sobre a decadal (PIÉGAY et al., 2015).

A análise de processos no decorrer de um período de tempo extenso (no contexto do tempo da vida humana) por meio de dados obtidos em campo não é comum no Brasil, possivelmente devido à falta de planejamento e incentivo para estações experimentais de longo prazo. Muitas vezes, a única opção de dados sobre condições anteriores de sistemas fluviais é a partir de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais). De fato, grande parte dos estudos que envolvem a escala decadal de análise dos ajustes recorre a esse tipo de base de dados, com a realização de comparações entre imagens e fotografias aéreas obtidas em dois ou mais momentos.

Parte da limitação para conclusões assertivas, especialmente no Brasil, deve-se ao diminuto intervalo temporal dos produtos cartográficos, raramente alcançando um século

ou mais, ao passo que outros países mantêm um registro histórico de produtos cartográficos que alcançam dois a três séculos (SCORPIO et al., 2018). Apenas uma das pesquisas avaliadas nesta revisão possui amplitude temporal similar (escala secular), em que mudanças na planimetria de canais fluviais da região metropolitana de São Paulo foram avaliadas com base em documentos cartográficos históricos, em que o mais antigo é do ano de 1841 (MOROZ-CACCIA GOUVEIA e RODRIGUES, 2017).



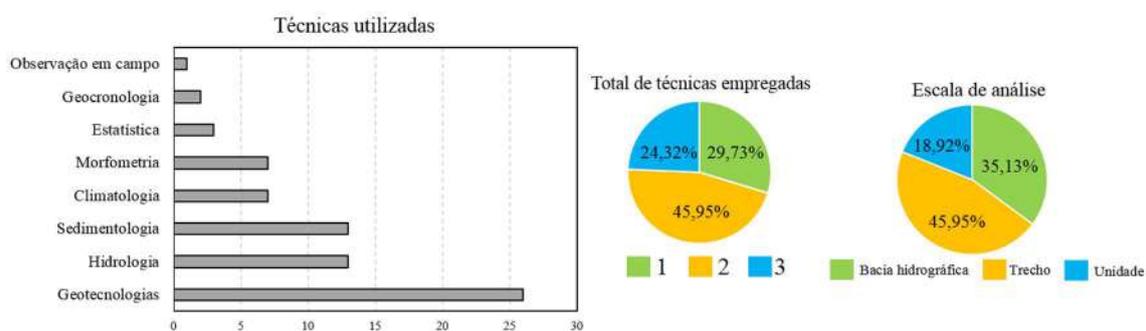
**Figura 8.** Proporção das pesquisas levantadas com base nos três tipos de ajustes avaliados (gráfico circular da esquerda). Proporção das pesquisas com base na escala temporal que cada estudo analisou (gráfico circular da direita).

Com relação à escala de análise, ou abrangência espacial do estudo, a maior quantidade de estudos foi a de trecho de canal, com aproximadamente 46% do total, seguida de bacia hidrográfica e unidade geomorfológica (Figura 9). Entre os nove artigos que trataram de ajustes relacionados a reservatórios, oito avaliaram trechos de canais (88,9%) e apenas um em escala de bacia. Possivelmente, a preferência por esta escala ocorre porque as variações do impacto tem extensão limitada, principalmente a jusante de reservatórios. A escala de trecho também foi a mais adotada nos estudos relacionados à agricultura, embora com menor preponderância (50%).

Outro padrão observado entre tipos de ajustes e escalas foi que 57,14% dos artigos que avaliaram efeitos de urbanização abordaram a escala de bacia hidrográfica. Em alguns desses casos, as pesquisas buscaram levantar os efeitos que a urbanização promovia na planimetria dos canais, na composição e extensão de depósitos nas planícies, e também na ampliação da rede de drenagem por meio de feições erosivas (voçorocas). Nesse contexto, a escala de bacia hidrográfica parece atender as necessidades analíticas dessas pesquisas. Também, a localização da urbanização no alto curso ou próximo às cabeceiras de drenagem fazem com que, dada a capacidade de transformar a paisagem fluvial à jusante, prevaleça o interesse pela bacia hidrográfica.

A técnica mais recorrente no estudo de ajustes fluviais é na realidade um conjunto que foi denominado como geotecnologias, presente em 70% das pesquisas, com grande contribuição de estudos comparativos a partir de produtos de sensoriamento remoto.

Além das geotecnologias, técnicas de sedimentologia e hidrologia também foram recorrentes (presentes em 35% das pesquisas), em que demais técnicas foram menos expressivas. Essa proporção de ferramentas utilizadas é parecida com o empregado em pesquisas de geomorfologia fluvial na RBG (BARROS e REIS, 2019), porém, ambas divergem do cenário internacional da geomorfologia fluvial em que predomina levantamentos topográficos seguidos do uso de fórmulas e granulometria (PIÉGAY et al., 2015). A maioria das pesquisas utilizaram duas técnicas enquanto que pesquisas com uma ou três tiveram emprego secundário (Figura 9). Apenas em uma pesquisa a única fonte de dados foi obtida através da observação em campo, com a determinação de locais de afloramento do lençol freático em contextos de áreas com morfologias alteradas por uso do solo urbano.



**Figura 9.** Quantidade de pesquisas por classificação das técnicas. Proporção da quantidade de técnicas que as pesquisas empregaram (gráfico circular da esquerda). Proporção das escalas de análise das pesquisas (gráfico circular da direita).

Em apenas três pesquisas (8,1% do total) foram utilizadas técnicas estatísticas para análise de dados. Considera-se que tal proporção é muito baixa, de modo que esta área do conhecimento foi subutilizada nos estudos levantados. A transição da geomorfologia fluvial a partir do ano 2000, descrita por Piégay et al. (2015), de uma pesquisa pobre e limitada em dados para uma pesquisa rica em dados e com hipóteses a serem testadas, deve ser considerada frente a esse resultado pouco expressivo do uso da estatística nos trabalhos feitos no Brasil.

Adicionalmente, não foram observadas pesquisas que desenvolvessem ou aplicassem modelagens, baseadas em princípios físicos e estatísticos, para simulação de cenários e previsão de ajustes futuros. Tais modelos, analíticos ou empíricos, têm sido desenvolvidos no contexto da pesquisa internacional há muito tempo (desde a década de 1970) para o auxílio da interpretação de como os canais fluviais podem ajustar-se a diferentes condições hidrológicas ou de uso e cobertura do solo, por exemplo (WOHL, 2014b). Isso pode ter contribuído para que a produção nessa área seja predominante em periódicos nacionais, considerando a ocorrência de publicações com resultados meramente descritivos, uma quantificação pouco desenvolvida e uma seção de discussão desassociada ao contexto da produção científica do problema.

#### 4. CONCLUSÃO

O Brasil possui uma extensa e diversa rede hidrográfica que dá suporte ao desenvolvimento de uma rica atividade agropecuária, ao consumo de pequenas cidades à grandes metrópoles, bem como atende aos milhares de reservatórios de pequeno a grande porte. Apesar da generosa disponibilidade dos recursos hídricos, possuímos pouco conhecimento científico de como e quanto a agropecuária, urbanização e os reservatórios alteram a morfologia dos rios brasileiros. Os estudos científicos desenvolvidos até o momento, realizados em maior parte por pesquisadores de universidades públicas, ainda são incipientes e em diversas regiões hidrográficas são escassos.

Ainda são muitos os temas com potencial capacidade de alteração da morfologia e processos dos rios brasileiros que merecem atenção. Podemos destacar, como exemplos, os possíveis efeitos da rizicultura nos pampas, da fruticultura com irrigação no semiárido e da pecuária na Amazônia. A variação do impacto conforme os tamanhos e modelos de ocupação das áreas urbanas são exemplos de potenciais arcabouços para hipóteses de pesquisas sobre os ajustes fluviais. E com relação aos reservatórios, ainda há uma imensa lacuna para se compreender os efeitos destas obras no Brasil, tanto para CGH's e PHC's, empreendimentos hidroelétricos de grande porte e pequenos reservatórios (como os utilizados para irrigação na região centro oeste); bem como ainda, quais são os ajustes fluviais a montante de reservatórios. Outra atividade antrópica, não tratada nesta revisão, mas importante com implicações ao ajustamento de sistemas fluviais, é a mineração.

O conhecimento de modelos de ajustamento fluvial é, sobretudo, baseado em estudos de outros países, predominantemente da América do Norte e Europa. Porém, o comportamento dos rios tropicais associado ao ordenamento territorial e as práticas culturais empregadas no desenvolvimento das atividades antrópicas do Brasil podem gerar efeitos adversos e variações temporais e espaciais das mudanças de canal que diferem dos modelos conhecidos. É necessário esforço para o desenvolvimento de pesquisas de estudos de casos, mas que sejam pautadas no uso de métodos estatísticos, sempre que possível, e de discussão científica ampla e que englobe o estado da arte do problema. Uma maior visibilidade no contexto da ciência internacional pode ser colocada como um desafio para este ramo específico da geomorfologia fluvial brasileira.

Alterações morfológicas e processuais nos rios têm implicações em seu funcionamento, que por sua vez, causam prejuízos sociais e ecológicos. Mas além disso, ressalta-se o prejuízo econômico, uma vez que atividades como agropecuária, urbanização e reservatórios são dependentes da funcionalidade do rio e isso tem consequências para à lógica capitalista. Portanto, é necessário maior atenção para pesquisa e o manejo dos sistemas fluviais frente às influências de atividades antrópicas, isso para que se preserve a integridade dos rios e se pratique o desenvolvimento sustentável.

## Referências Bibliográficas

- ALIBERT, M. et al. Statistical analysis of the evolution of a semialluvial stream channel upstream from an inversion-type reservoir: The case of the Matawin River (Quebec, Canada). **Geomorphology**, v. 131, n. 1–2, p. 28–34, ago. 2011.
- ANDRADE, J. H. R.; MAIA, C. E. Erosão de margens em rios semiáridos: estudo na sub-bacia do baixo Jaguaribe – Ceará – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018.
- ASSINE, M. L. et al. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato- Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 18 nov. 2005.
- BARROS, L. F. DE P.; REIS, R. A. P. DOS. A produção científica em geomorfologia fluvial na Revista Brasileira de Geomorfologia: panorama bibliográfico, tendências e lacunas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 1 jul. 2019.
- BATALLA, R. J.; VERICAT, D. Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: implications for management in large Mediterranean Rivers. **River Research and Applications**, v. 25, n. 3, p. 297–314, mar. 2009.
- BRANDT, S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. **CATENA**, v. 40, n. 4, p. 375–401, ago. 2000.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n. 32**. Diário Oficial da União. 15 de out. 2003.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**. p. 412, 2005.
- CASTRO, W. D. S.; DE-CAMPOS, A. B.; ZANCOPE, M. H. C. A influência dos materiais das margens e da vegetação ciliar na erosão de meandros: o caso do rio Claro, afluente do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 1 jul. 2019.
- CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. DA. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do rio Jaguaribe-CE-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, 13 ago. 2012.
- CHIN, A. et al. Feedbacks in Human–Landscape Systems. **Environmental Management**, v. 53, n. 1, p. 28–41, jan. 2014.
- CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**. v. 79, n. 3-4, p. 460–487, 2006. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.06.033
- CHIN, A.; GREGORY, K. J.; O'DOWD, A. P. **Urbanizing River Channels**. Treatise on Geomorphology, v 9, p. 809-827. 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.12500-X
- COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, 30 nov. 2003.
- COTA, G. E. M.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. DE P. Processos de encouraçamento de leitos fluviais: sistematização de bases teóricas e estudo de caso na Serra do Espinhaço Meridional (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018.

- CURTIS, K. E. et al. Temporal and spatial scales of geomorphic adjustments to reduced competency following flow regulation in bedload-dominated systems. **Geomorphology**, v. 118, n. 1–2, p. 105–117, maio 2010.
- DEWAN, A. et al. Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data. **Geomorphology**, v. 276, p. 257–279, jan. 2017.
- DIAS, W. A.; THOMAZ, E. L. Avaliação dos efeitos do pastoreio sobre a erosão em margens de canal fluvial em sistema de faxinal. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 1, p. 23–35, 2011.
- DINGLE, E. H. et al. Decadal-scale morphological adjustment of a lowland tropical river. **Geomorphology**, v. 333, p. 30–42, maio 2019.
- DONOVAN, M. et al. Sediment contributions from floodplains and legacy sediments to Piedmont streams of Baltimore County, Maryland. **Geomorphology**, v. 235, p. 88–105, abr. 2015.
- DOWNS, P. W.; PIÉGAY, H. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect. **Geomorphology**, v. 338, p. 88–104, ago. 2019.
- DRAUT, A. E.; LOGAN, J. B.; MASTIN, M. C. Channel evolution on the dammed Elwha River, Washington, USA. **Geomorphology**, v. 127, n. 1–2, p. 71–87, abr. 2011.
- FERGUSON, R. I. Fluvial armour. In: **Encyclopedia of Geomorphology**, v.1, Goudie, A. S. (ed). Routledge: New York; 2004, p. 389–390.
- FITZPATRICK, F. A.; KNOX, J. C. Spatial and temporal sensitivity of hydrogeomorphic response and recovery to deforestation, agriculture, and floods. **Physical Geography**, v. 21, n. 2, p. 89–108, mar. 2000.
- FRIEDMAN et al. Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: Regional patterns in the Great Plains. **Wetlands**, v. 18, n. 4, p. 619–633, dez. 1998.
- FRYIRS, K. A. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology: River sensitivity: A lost foundation concept in fluvial geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 42, n. 1, p. 55–70, jan. 2017.
- FULLER, I. C.; MACKLIN, M. G.; RICHARDSON, J. M. The Geography of the Anthropocene in New Zealand: Differential River Catchment Response to Human Impact: Differential Catchment Response to Human Impact. **Geographical Research**, v. 53, n. 3, p. 255–269, ago. 2015.
- GARCIA-RUIZ, J. M. et al. Assessing the effects of land-use changes on sediment yield and channel dynamics in the central Spanish Pyrenees. **Human Impact on Erosion and Sedimentation** (Proceedings of Rabat Symposium S6, April 1997). IAHS PubH. n. 245, 1997p. 8, 1997.
- GHIMIRE, S.; HIGAKI, D. Dynamic river morphology due to land use change and erosion mitigation measures in a degrading catchment in the Siwalik Hills, Nepal. **International Journal of River Basin Management**, v. 13, n. 1, p. 27–39, 2 jan. 2015.
- GILVEAR, D. J. Patterns of channel adjustment to impoundment of the upper River Spey, Scotland (1942–2000). **River Research and Applications**, v. 20, n. 2, p. 151–165, mar. 2004.

- GRAF, W. L. James C. Knox (1977) Human impacts on Wisconsin stream channels. *Annals of the Association of American Geographers* 67: 224–244. **Progress in Physical Geography**, v. 37, n. 3, p. 422–431, jun. 2013.
- GRANT, G. E. The Geomorphic Response of Gravel-Bed Rivers to Dams: Perspectives and Prospects. In: CHURCH, M.; BIRON, P. M.; ROY, A. G. (Eds.). **Gravel-Bed Rivers**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. p. 165–181.
- GREGORY, K. J. Human influence on the morphological adjustment of river channels: The evolution of pertinent concepts in river science. **River Research and Applications**, v. 35, 7 jun. 2019.
- GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, v. 79, n. 3–4, p. 172–191, set. 2006.
- HADLEY, R. F.; EMMETT, W. W. CHANNEL CHANGES DOWNSTREAM FROM A DAM. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 3, p. 629–637, jun. 1998.
- HAMMER, T. R. Stream channel enlargement due to urbanization. **Water Resources Research**. v. 8, n. 6, p. 1530-1540. 1972. DOI: 10.1029/WR008i006p01530
- HEINE, R. A.; LANT, C. L. Spatial and Temporal Patterns of Stream Channel Incision in the Loess Region of the Missouri River. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 99, n. 2, p. 231–253, 22 abr. 2009.
- HEITMULLER, F. T. Channel adjustments to historical disturbances along the lower Brazos and Sabine Rivers, south-central USA. **Geomorphology**, v. 204, p. 382–398, jan. 2014.
- HOLANDA, F. S. R. et al. Análise multitemporal e caracterização dos processos erosivos no baixo São Francisco sergipano. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 18 dez. 2007.
- JAMES, L. A. 13.4 Impacts of Early Agriculture and Deforestation on Geomorphic Systems. In: **Treatise on Geomorphology**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 48–67.
- JEFFERSON, A. J.; MCGEE, R. W. Channel network extent in the context of historical land use, flow generation processes, and landscape evolution in the North Carolina Piedmont. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 6, p. 601–613, maio 2013.
- KNOX, J. C. Human impacts on Wisconsin stream channels. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 67, n. 3, p. 323–342, set. 1977.
- KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H.; LANDON, N. Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. **Geomorphology**, v. 45, n. 1–2, p. 35–51, jun. 2002.
- LANE, E.W. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. **American Society of Civil Engineers Proceedings Separate**, n. 372, p. 21, 1955.
- LATRUBESSE, E. M. et al. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, n. 3–4, p. 239–252, dez. 2009.
- LEGLEITER, C. J. Downstream Effects of Recent Reservoir Development on the Morphodynamics of a Meandering Channel: Savery Creek, Wyoming, USA. **River Research and Applications**, v. 31, n. 10, p. 1328–1343, dez. 2015.

- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; ASSINE, M. L. Origin, evolution, and sedimentary records of islands in large anabranching tropical rivers: The case of the Upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology**, v. 358, p. 107118, jun. 2020.
- LEOPOLD, L. B. Lag time for small drainage basins. **Catena**, v. 18, n.2, 1991, p. 157-171. DOI: 10.1016/0341-8162(91)90014-O
- LÉVY, S. et al. Erosion and channel change as factors of landslides and valley formation in Champlain Sea Clays: The Chacoura River, Quebec, Canada. **Geomorphology**, v. 145–146, p. 12–18, abr. 2012.
- LI, D. et al. Downstream geomorphic impact of the Three Gorges Dam: With special reference to the channel bars in the Middle Yangtze River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, n. 13, p. 2660–2670, out. 2019.
- LIÉBAULT, F. et al. Contemporary channel changes in the Eygues basin, southern French Prealps: the relationship of subbasin variability to watershed characteristics. **Geomorphology**, v. 45, n. 1–2, p. 53–66, jun. 2002.
- LIRO, M. Conceptual model for assessing the channel changes upstream from dam reservoir. **Quaestiones Geographicae**, v. 33, n. 1, p. 61–74, 1 mar. 2014.
- LIRO, M. Gravel-bed channel changes upstream of a reservoir: The case of the Dunajec River upstream of the Czorsztyn Reservoir, southern Poland. **Geomorphology**, v. 228, p. 694–702, jan. 2015.
- LIU, Z.; HE, C.; ZHOU, Y.; WU, J. How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion. **Landscape Ecology**. v. 29, n. 5, 2014. DOI: 10.1007/s10980-014-0034-y
- LU, S. et al. Forty years' channel change on the Yongdinghe River, China: patterns and causes. **International Journal of River Basin Management**, v. 14, n. 2, p. 183–193, abr. 2016.
- MA, Y. et al. Channel adjustments in response to the operation of large dams: The upper reach of the lower Yellow River. **Geomorphology**, v. 147–148, p. 35–48, abr. 2012.
- MAGILLIGAN, F. J.; NISLOW, K. H.; RENSHAW, C. E. 9.38 Flow Regulation by Dams. In: **Treatise on Geomorphology**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 794–808.
- MARTIN, C. W.; JOHNSON, W. C. Historical Channel Narrowing and Riparian Vegetation Expansion in the Medicine Lodge River Basin, Kansas, 1871–1983. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 77, n. 3, p. 436–449, set. 1987.
- MARTINS, D. P.; STEVAUX, J. C. Formas de leito e transporte de carga de fundo do alto rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, 19 dez. 2005.
- MERCANTE, M. A.; SANTOS, E. T. Avulsões no Pantanal: dimensões naturais e sociais no rio Taquari. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 361–371, dez. 2009.
- MERRITTS, D. et al. Anthropocene streams and base-level controls from historic dams in the unglaciated mid-Atlantic region, USA. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 369, n. 1938, p. 976–1009, 13 mar. 2011.
- MONTANHER, O. C. Ajustes do sistema fluvial à impermeabilização urbana: estudo de caso em terra rica, PR. **Boletim de Geografia**. v. 28, n. 2, p. 185-197, 2010. DOI: 10.4025/bolgeogr.v28i2.10381

- MONTANHER, O. C. Ciclos de erosão e sedimentação em bacias hidrográficas urbanas do noroeste paranaense e suas implicações no ajuste de sistemas fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p.319-325, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i4.401
- MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – Região Metropolitana de São Paulo. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 21, n. 1, p. 257-283, 2017.
- MURRAY, A. B.; COCO, G.; GOLDSTEIN, E. B. Cause and effect in geomorphic systems: Complex systems perspectives. **Geomorphology**, v. 214, p. 1–9, jun. 2014.
- MUSSELMAN, Z. A. The localized role of base level lowering on channel adjustment of tributary streams in the Trinity River basin downstream of Livingston Dam, Texas, USA. **Geomorphology**, v. 128, n. 1–2, p. 42–56, maio 2011.
- NANSON, G. C.; HUANG, H. Q. A philosophy of rivers: Equilibrium states, channel evolution, teleomatic change and least action principle. **Geomorphology**, v. 302, p. 3–19, fev. 2018.
- NEIL, D.; YU, B. A Method of Analysing Stream Channel Response to Environmental Change: Gauge data for the Tully River. **Australian Geographer**, v. 30, n. 2, p. 239–252, jul. 1999.
- OLIVEIRA, A. M. S.; QUEIROZ NETO, J. P. Depósitos Tecnogênicos Induzidos pela erosão acelerada no Planalto ocidental paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, n.73, p. 91-123, 1993.
- PETTS, G. E.; PRATTS, J. D. Channel changes following reservoir construction on a Lowland English River. **CATENA**, v. 10, n. 1–2, p. 77–85, jan. 1983.
- PETTS, G.; GURNELL, A. 13.7 Hydrogeomorphic Effects of Reservoirs, Dams, and Diversions. In: **Treatise on Geomorphology**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 96–114.
- PHILLIPS, J. D. Relative Importance of Intrinsic, Extrinsic, and Anthropogenic Factors in the Geomorphic Zonation of the Trinity River, Texas. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 4, p. 807–823, ago. 2010.
- PHILLIPS, J. D. Toledo Bend reservoir and geomorphic response in the lower Sabine River. **River Research and Applications**, v. 19, n. 2, p. 137–159, mar. 2003.
- PHILLIPS, J. D.; SLATTERY, M. C.; MUSSELMAN, Z. A. Channel adjustments of the lower Trinity River, Texas, downstream of Livingston Dam. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, n. 11, p. 1419–1439, out. 2005.
- PIÉGAY, H. et al. Contemporary changes in sediment yield in an alpine mountain basin due to afforestation (the upper Drôme in France). **CATENA**, v. 55, n. 2, p. 183–212, jan. 2004.
- PIÉGAY, H. et al. Trends in publications in fluvial geomorphology over two decades: A truly new era in the discipline owing to recent technological revolution? **Geomorphology**, v. 248, p. 489–500, nov. 2015.
- POHL, M. Channel Bed Mobility Downstream from the Elwha Dams, Washington. **The Professional Geographer**, v. 56, n. 3, 2004.

- QUEIROZ, P. H. B. et al. Caracterização multitemporal de barras e ilhas fluviais no baixo curso do rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, 13 ago. 2018.
- RHOADS, B. L.; LEWIS, Q. W.; ANDRESEN, W. Historical changes in channel network extent and channel planform in an intensively managed landscape: Natural versus human-induced effects. **Geomorphology**, v. 252, p. 17–31, jan. 2016.
- RINALDI, M. et al. **Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI)**. p. 177, 2016.
- ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81–90, 2005.
- ROYALL, D. Land-Use Impacts on the Hydrogeomorphology of Small Watersheds. In: **Treatise on Geomorphology**. [s.l.] Elsevier, 2013.
- SCHUMM, S. A. Geomorphic Thresholds: The Concept and Its Applications. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 4, n. 4, p. 485, 1979.
- SCHUMM, S.A. **The Fluvial System**. Blackburn Press, Caldwell, NJ, p. 338, 1977.
- SCORPIO, V.; ROSSKOPF, C. M. Channel adjustments in a Mediterranean river over the last 150 years in the context of anthropic and natural controls. **Geomorphology**, v. 275, p. 90–104, dez. 2016.
- SHERARD, J. J.; ERSKINE, W. D. Complex response of a sand-bed stream to upstream impoundment. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 6, n. 1, p. 53–70, jan. 1991.
- SMITH, N. D. et al. Dam-induced and natural channel changes in the Saskatchewan River below the E.B. Campbell Dam, Canada. **Geomorphology**, v. 269, p. 186–202, set. 2016.
- SOUZA FILHO, E. E.; RIGON, B. T. C. Avaliação da velocidade de deslocamento de barras fluviais do rio Paraná por meio de imagens CBERS/CCD. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, 13, ago. 2012.
- SOUZA, J. O. P. DE; CORRÊA, A. C. DE B. Análise da sensibilidade da paisagem na bacia do riacho do Saco – PE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 31, out. 2015.
- SOUZA, J.; CORREA, A. C. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, v. 11, n. 24, p. 149–168, 19 abr. 2012.
- STEVAUX, J. C.; MARTINS, D. P.; MEURER, M. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, n. 3–4, p. 230–238, dez. 2009.
- SUIZU, T. M.; NANSON, G. C. Temporal and spatial adjustments of channel migration and planform geometry: responses to ENSO driven climate anomalies on the tropical freely-meandering Aguapeí River, São Paulo, Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 8, p. 1636–1647, 30 jun. 2018.
- TOMLINSON, M. J. et al. Long-term changes in river–floodplain dynamics: implications for salmonid habitat in the Interior Columbia Basin, USA. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1643–1658, jul. 2011.

- TRIMBLE, S. W. Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed. **Science**, v. 278, n. 5342, 1997. p.1442-1444. DOI: 10.1126/science.278.5342.1442
- VANACKER, V. et al. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**, v. 72, n. 1–4, p. 340–353, dez. 2005.
- VERSTRAETEN, G.; PROSSER, I. P. Modelling the impact of land-use change and farm dam construction on hillslope sediment delivery to rivers at the regional scale. **Geomorphology**, v. 98, n. 3–4, p. 199–212, jun. 2008.
- WASSON, R. J. et al. Sediment sources and channel dynamics, Daly River, Northern Australia. **Geomorphology**, v. 114, n. 3, p. 161–174, jan. 2010.
- WOHL, E. **Rivers in the landscape**. JohnWiley & Sons, Ltd. P. 332, 2014a.
- WOHL, E. Time and the rivers flowing: Fluvial geomorphology since 1960. **Geomorphology**, v. 216, p. 263–282, jul. 2014b. WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geographiska Annaler**, v. 49,, p. 385-395,1967. DOI: 10.2307/520904
- XU, J. Complex response in adjustment of Weihe channel to the construction of the Sanmenxia Reservoir. **Z. Geomorphol.** v. 34, p. 233–245, 1990.
- YU, M.; RHOADS, B. L. Floodplains as a source of fine sediment in grazed landscapes: Tracing the source of suspended sediment in the headwaters of an intensively managed agricultural landscape. **Geomorphology**, v. 308, p. 278–292, 2018.