

Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliantra



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^ª Dr^ª Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

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

Membros externos:

Prof^ª Dr^ª Ângela Santana do Amaral (UFPE)

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

Prof^ª Dr^ª Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof^ª Dr^ª Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^ª Dr^ª Marine Pereira (UFABC)

Prof^ª Dr^ª 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 EROSÃO 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

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

Hugo Alves Soares Loureiro¹, Antonio José Teixeira Guerra², José Fernando Rodrigues Bezerra³, Leonardo dos Santos Pereira⁴ & Fabrizio do Nascimento Garritano⁵

¹ Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Rio de Janeiro; hugogeogr@gmail.com

² Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro; antoniotguerra@gmail.com

³ Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA); jfernangeo@gmail.com

⁴ Secretaria Municipal de Educação do Rio de Janeiro; leospgeo@gmail.com

⁵ Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro; fkbgarritano@hotmail.com

Resumo: Experimentos têm papel fundamental na Geomorfologia, que utiliza desde técnicas de mensuração, monitoramentos, observações de campo, de laboratório e uso de recursos cartográficos, como cartas topográficas e fotografias aéreas, até novas tecnologias, cada vez mais precisas, fáceis e rápidas na aquisição e processamento de dados. Assim, monitorar a erosão hídrica dos solos é, continuamente, tema relevante. Pensar que o tema se esgotou é equivocado, pois muitas lacunas demandam respostas, como: melhorar a compreensão das interações entre fenômenos naturais e antrópicos, do espaço-tempo de processos e taxas erosivas, e o desenvolvimento de técnicas e estratégias inovadoras, que visem sua redução, prevenção e mitigação. Diversos autores têm exposto formas de comparar e avaliar técnicas antigas e atuais. Nesse sentido, o capítulo revisa a literatura brasileira sobre métodos de monitoramento, dos convencionais aos digitais. Aborda o estado da arte no âmbito de parcelas, estacas e pinos de erosão; sensoriamento remoto, através de imagens aéreas, de satélites e suas resoluções espaciais, e modelos digitais diversos, como obtidos por LiDAR. Entende-se, pois, cada técnica como relevante e complementares entre si.

Palavras-Chave: Erosão Laminar; Erosão Linear; Parcelas de Erosão; Pinos de Erosão; LiDAR; Geotêxteis.

Abstract: Experiments play a fundamental role in Geomorphology. Multiple field and laboratory techniques are used. These include measurement techniques, monitoring, field and laboratory observations, and cartographic resources (e.g. topographic maps and aerial photographs).

Together with new technologies, the techniques enable the rapid acquisition and processing of expanding amounts of increasingly accurate data. As a geomorphological process, monitoring hydric erosion is crucial and many important questions remain. These include improving our understanding of interactions between natural and anthropogenic phenomena, space-time relationships, erosion processes and rates, scale issues and the development of innovative techniques. The technologies have applied dimensions, including strategies to prevent, decrease and mitigate the effects of hydric erosion. Many authors have discussed different ways to compare and assess both old and modern techniques. Therefore, this chapter reviews the Brazilian literature on monitoring methods, ranging from conventional techniques to modern advances in digital technology. The chapter addresses the current state-of-the-art, including the use of erosion pins and plots, remote sensing, satellite imagery, aerial images, digital models, and LiDAR techniques. The chapter discusses the potential of each individual technique and the synergistic potential of using multiple complementary techniques.

Key words: Sheet Erosion; Linear Erosion; Erosion Plots; Erosion Pins; LiDAR; Geotextiles.

Tema: Dinâmica das Vertentes e Interações Pedogeomorfológicas

1. INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural de desprendimento e arraste de partículas de solo, e sua deposição, causada por água e/ou vento, podendo ser acelerada pela ação antrópica. É a principal causa de degradação dos solos no mundo, atingindo desde áreas florestadas não alteradas (erosão geológica), até áreas de uso intenso, ou inadequado do solo (erosão acelerada) (IONITA *et al.*, 2015; POESEN, 2018; GOUDIE, 2020). Segundo Valentin *et al.* (2005), até os anos 2000, estudos de erosão baseavam-se no efeito *on site*, focados em questões da agricultura, na escala da parcela, a exemplo da erosão por ravinas e inter-ravinas; contudo, após os anos 2000, Bélgica e China passaram a liderar as pesquisas de efeito *off site*, destacando a importância de estudos na escala da bacia hidrográfica, na compreensão de fontes de poluição, e estratégias de gestão no combate à erosão do solo.

O processo erosivo gera, portanto, consequências como perda de solos agricultáveis e assoreamento de cursos d'água e reservatórios. Entender suas causas e consequências possibilita diagnosticar sua ocorrência e aplicar medidas mitigadoras de conservação para distintos ambientes (BRADY, 1989; GUERRA, 2009; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010; GUERRA *et al.*, 2017). É importante compreender a erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas, fatores controladores que determinam as taxas de perda de solo, água, e nutrientes, fundamentais para a conservação da fauna e flora (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011; THOMAZ & VESTENA, 2012).

A erosão pode ocorrer em áreas com baixa declividade (3° a 5°). Contudo, é importante frisar, que falta de práticas conservacionistas pode acarretar em elevadas taxas de erosão, extrapolando a capacidade de resiliência dos solos (JORGE & GUERRA,

2013; PEREIRA *et al.*, 2016; GOUDIE, 2020). O processo hidroerosivo é, então, a estreita relação da complexa dinâmica da água com as propriedades do solo. A energia da água é fator decisivo para se entender o processo de desagregação e arraste do solo, assim como as características morfológicas do relevo influenciam diretamente as taxas de erosão. Encostas convergentes, por exemplo, dão maior força e velocidade ao escoamento, podendo facilitar a erosão (GUERRA *et al.*, 2017; POESEN, 2018).

Portanto, é fundamental monitorar a erosão. Monitorar significa mensurar sistematicamente um processo, coletando dados e considerando intervalos de tempo. Os experimentos são ensaios com procedimentos controlados, de laboratório ou campo, utilizados como forma de testar hipóteses ou verificar características, sem que seja obrigatório coletar dados em intervalos de tempo determinados (GUERRA, 2005; LEAL & RODRIGUES, 2011; KUHN *et al.*, 2014; BOARDMAN & EVANS, 2019). Pode-se, pois, realizar experimentos que tenham por finalidade o monitoramento.

Assim, o presente capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre diferentes métodos de monitoramento da erosão hídrica dos solos, destacando-se o estado da arte sobre monitoramento, em especial na Geomorfologia Brasileira. São abordados métodos desde os mais convencionais, como parcelas, estacas e pinos de erosão, até os mais sofisticados, como diversos produtos de sensoriamento remoto, sejam imagens de satélites, imagens aéreas e modelos digitais, obtidos entre variadas fontes. O capítulo se divide da seguinte maneira: exposição de relações entre a geomorfologia de caráter experimental e os estudos de erosão hídrica dos solos; e o destaque a cada método de monitoramento, primeiro em seus significados nacionais e internacionais (incluído o estado da arte deste), e por último em seu estado da arte no Brasil.

2. GEOMORFOLOGIA EXPERIMENTAL E EROSÃO HÍDRICA DOS SOLOS

De acordo com Garcia-Ruiz (2015), até antes de Strahler, a geomorfologia era estudada pela perspectiva histórica da interpretação das formas de relevo, e à medida que passou a se dedicar a estudos das relações entre escalas e processos, incorporou o viés experimental. Possui, resumidamente e segundo a literatura (SLAYMAKER, 1991; KUHN *et al.*, 2014; SEEGER, 2017), três tipos de experimentos de campo e seus objetivos: (1) experimento verdadeiro (controle total) - testar hipóteses da interação entre elementos de um dado sistema; (2) quasi-experimento (controle parcial) - medir taxas de processos, para quantificar modelos conceituais, ou testar a relevância de processos específicos num sistema; (3) experimento híbrido (sem controle) - mensurar respostas integradas, seja de processos associados ou manipulados, de forma a gerar dados de entrada para modelagens quantitativas.

Há clara distinção entre os termos “experimento de campo”, em referência a eventos simulados, e “monitoramento de campo”, designando observação de eventos naturais, conforme o trabalho de Kuhn *et al.* (2014). Para estes autores, os experimentos pressupõem ambientes controlados ou semi-controlados, nos quais é possível manter

determinados parâmetros constantes e manipular outros. As parcelas de erosão, ou estações experimentais são exemplos deste tipo de experimento de campo que pode ser monitorado de maneira semi-controlada. Uma das parcelas é usada como controle, enquanto se utiliza a(s) outra(s) para variar o(s) parâmetro(s) que se deseja analisar, através de monitoramento simultâneo (BEZERRA, 2011; KUHN *et al.*, 2014; JARDIM *et al.*, 2017; SEEGER, 2017; PEREIRA, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Claro que se deve considerar que as condições de cada parcela do experimento não serão exatamente as mesmas, uma vez que os sistemas geomorfológicos possuem componentes de difícil isolamento, manipulação ou alteração, mas que devam ser minimamente semelhantes, podendo-se lançar mão, ainda, de mais parcelas de controle (SLAYMAKER, 1991; NEARING *et al.*, 1999; SEEGER, 2017).

Já os monitoramentos possibilitam a observação natural, com a conseqüente falta de controle, sobre quaisquer fatores controladores da erosão, o que sugere a necessidade de períodos mais longos para coleta de dados, na busca por resultados confiáveis e comparáveis, além das devidas relações condicionantes (KUHN *et al.*, 2014).

Ao tratar de geomorfologia experimental, leva-se em conta que, algumas vezes, é preciso desviar ou reprogramar o que seria a forma ideal do experimento, para ser possível alcançar quaisquer objetivos propostos (VENTURI, 2009; KUHN *et al.*, 2014). Em outras palavras, os experimentos devem ser adaptáveis às condições empíricas (do campo), cabendo ao pesquisador reformular ideias e mesmo os ensaios realizados (FRANCISCO, 2018). Inclusive pode haver erros inevitáveis, inerentes à própria realização do monitoramento ou ensaio, ou seja, da própria coleta de dados, tanto pela inserção de objetos no solo, o tráfego dos pesquisadores, medidas manuais, quanto por condições de campo (STOCKING, 1987; MARQUES, 1996; LOUREIRO, 2019).

No que tange à erosão hídrica dos solos, quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração de água no solo, o *runoff* pode se iniciar. A princípio forma-se um lençol de água, de profundidade mais ou menos uniforme, na superfície do solo, que é a erosão em lençol, também conhecida como erosão laminar (GUERRA *et al.*, 2017; POESEN, 2018; BOARDMAN & EVANS, 2019). Quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva. À medida que aumenta a instabilidade, a água se concentra em depressões na superfície, e começa a provocar a incisão do solo. Esses pequenos canais, de pequena profundidade e largura são denominados de ravinas (FULLEN & CATT, 2004; GUERRA *et al.*, 2017; BOARDMAN & EVANS, 2019). Se essas ravinas continuarem a se aprofundar e alargar, chegando a medidas maiores do que 0,5 m, de profundidade e largura, se estará diante de uma voçoroca (MORGAN, 2005; GOUDIE, 2020; GUERRA *et al.*, 2020). Todas essas etapas do processo erosivo podem ser monitorados em campo, na busca pelo cálculo de taxas e compreensão dos processos de acordo com as características do solo, das encostas e das chuvas onde ocorrem (ZEGEYE *et al.*, 2016; HAO *et al.*, 2019; MUSHI *et al.*, 2019).

A erosão por voçorocas tem sido estudada através de variados experimentos para sua melhor compreensão e modelagem, mas nem sempre seus subprocessos são fáceis de

serem mensurados, o que contribui para a falta de padronização dos métodos de mensuração das taxas erosivas destas feições (POESEN *et al.*, 2003; NICHOLS *et al.*, 2016; POESEN, 2018; SOUFI *et al.*, 2020). Por isso, Poesen (2018) reforça a existência de, ainda, muitas lacunas, que mantêm a necessidade de mais monitoramentos, experimentos e modelagens nos estudos sobre voçorocas, para servir de base, inclusive, à melhoria das previsões dos efeitos de mudanças climáticas sobre as taxas de erosão.

Nesse contexto, Garcia-Ruiz *et al.* (2015) analisaram o tempo de monitoramento de taxas erosivas em geral, de diversos estudos, e o consideraram insatisfatório, a maioria deles com apenas um ano, não conferindo confiabilidade a longo prazo. As demais faixas temporais verificadas foram de 10 anos de monitoramento, em parcelas de erosão, e de 2 a 10 anos, na escala de bacias hidrográficas, sendo raros trabalhos com mais de 10 e 25 anos. Já Castillo & Gomez (2016) levantaram cem anos de pesquisas sobre voçorocas, sendo as taxas obtidas, normalmente, no curto prazo (até cinco anos), enquanto estudos de longo prazo (mais de 15 anos), são pautados pela interpretação de ortofotografias.

Portanto, há preocupação constante na literatura acadêmico-científica quanto à testagem de métodos para monitorar e avaliar os processos e taxas de erosão, tanto para tornar os dados mais confiáveis, mais próximos à realidade, quanto compreender melhor seus efeitos, permitindo o planejamento de ações de controle e mitigação (NICHOLS *et al.*, 2016; POESEN, 2018; SOUFI *et al.*, 2020). Por isso, adiante são abordados os principais métodos de monitoramento empregados, dos mais tradicionais, consolidados, aos mais atuais, com potencial de reduzir lacunas no estudo da erosão hídrica dos solos.

3. MÉTODOS DE MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA

Ao tratar do monitoramento da erosão hídrica deve-se compreender que há uma “janela de oportunidade” para a ocorrência deste processo, dependente do momento, quantidade e intensidade de chuva, em determinado período, bem como do início e duração de tal “janela”, além de características do solo e da área ao redor (BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 2014; GUERRA, 2016).

Desse modo, a parcela de erosão é um instrumento capaz de mensurar os elementos ambientais que se deslocam na paisagem, principalmente partículas de solo e água, sendo um método de análise geomorfológico eficiente para entender os processos hidroerosivos. Esta técnica permite monitorar através de medições específicas de determinada área, principalmente o escoamento superficial, coletando indicadores e parâmetros para verificar determinados impactos ambientais, como o total de água e solo que foram escoados (erosão), podendo dimensionar sua magnitude (erosão acelerada) e avaliar a eficácia de medidas preventivas adotadas (BITAR & ORTEGA, 1998; GUERRA, 2005; ROSS & FIERZ, 2009; GUERRA, 2016; PEREIRA, 2019).

Duas outras técnicas convencionais são o uso de estacas e pinos de erosão, dado o baixo custo e a simplicidade de instalação e medição de ambas. Por vezes são confundidas como sinônimos. Porém, a primeira é largamente utilizada para aferir o recuo de bordas de voçorocas, enquanto a segunda pode ser utilizada para verificar a remoção, ou

acúmulo, de material em diferentes ambientes. Nas encostas os pinos podem servir para medir os efeitos da erosão laminar, ou estimar taxas erosivas nas paredes de voçorocas. Esta última é uma abordagem semelhante à sua aplicação em margens de rios (IRELAND *et al.*, 1939; WOLMAN, 1959; LAWLER, 1993; GUERRA, 2005; LOUREIRO, 2013; HART *et al.*, 2017; JUGIE *et al.*, 2018; KEARNEY *et al.*, 2018; MYERS *et al.*, 2019; GUERRA *et al.*, 2020).

Já as geotecnologias, ao passar dos anos, se tornaram ferramentas de valioso suporte à pesquisa geomorfológica. Inicialmente a obtenção dos dados, para formar um banco de dados. Estes são posteriormente trabalhados para elaborar informações passíveis de análise, originando os resultados. No monitoramento da erosão hídrica com geotecnologias, destacam-se variadas técnicas e *softwares* voltados ao mapeamento, com uso de imagens de satélite, radares, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) terrestre ou aerotransportado e, cada vez mais, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs).

Para dar caráter aleatório à pesquisa bibliográfica, não foram seguidas metodologias específicas, representando o que está disponível por fácil acesso. Buscou-se artigos e trabalhos acadêmico-científicos através de palavras-chave como “monitoramento”, “monitoramento de voçorocas”, “pinos de erosão”, “parcelas de erosão”, “estação experimental”, “VANT”, e “*Laser Scanner*”. Os trabalhos selecionados apresentam, obrigatoriamente, monitoramentos da erosão hídrica nos últimos anos.

O Quadro 1 reúne alguns dos principais estudos brasileiros encontrados e mencionados, referentes aos últimos 5 anos (2016-2020). Evidencia-se o estado da arte na Geomorfologia Brasileira, com foco no monitoramento da erosão hídrica dos solos no Brasil, apontando que tipos de técnicas, ou instrumentos, foram utilizados em cada trabalho, o tipo de feição monitorada e os locais de estudo e instituições pesquisadoras.

Cada seção do capítulo perfaz a conceituação dos diferentes métodos de monitoramento, de acordo com a literatura nacional e internacional. Para, em seguida, destacar o estado da arte de cada método na literatura nacional.

3.1. Monitoramento controlado: parcelas experimentais de erosão

A utilização de instrumentação de campo, como parcelas de erosão e pluviômetros, estabelece uma leitura do local, com maior precisão da realidade, auxiliando na aquisição de dados que representam a complexidade dos sistemas ambientais, sendo de grande relevância para adequada tomada de decisão e elaboração de medidas mitigadoras (GUERRA, 2005; ROSS & FIERZ, 2009; GUERRA, 2016).

Para Christofolletti (1999) e Stroosnijder (2005), a abordagem sistêmica dá respaldo à investigação da dinâmica do meio ambiente, valorizando a relação dos fenômenos de diferentes áreas do saber, que se materializam no espaço, abrangendo estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos e sociais. Nessa perspectiva, técnicas de mensuração e monitoramento hidroerosivo (parcelas de erosão) são formas de análise que têm o solo como elemento espacial que se redistribui na paisagem, com efeitos e causas socioambientais *onsite* e *offsite*.

Quadro 1. Relação de trabalhos nacionais publicados sobre monitoramento da erosão hídrica dos solos, nos últimos cinco anos (2016-2020), por tipo de técnicas usadas e feições monitoradas, com indicação dos locais e instituições de realização dos estudos. *Denominação dos autores.

Publicações	Técnicas	Tipos de feições	Locais e Instituições
Alves <i>et al.</i> (2016)	Imagens LANDSAT Drone*	Voçorocas	Serra Geral do Tocantins (TO); UFOB
Barcelos e Rodrigues (2018)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	Faz. Experimental do Glória (Uberlândia); UFU
Faria <i>et al.</i> (2017)	VANT	Voçoroca	Bacia do rio Araguaia (GO); UFG e IFB
Lisboa <i>et al.</i> (2017)	Estacas	Voçorocas	Bacia do rio Bacanga (MA); UEMA
Francisco (2018)	Estacas; Estação Total	Voçorocas	Rancharia (SP); UNESP Presidente Prudente
Vitorino <i>et al.</i> (2019)	Parcelas experimentais; estacas; pinos de erosão	Ravina	Itambé do Mato Dentro (MG); FUNCESI; UEMG
Sousa <i>et al.</i> (2016)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	Iguatu (CE); IFCE - Campus Iguatu e UFC
Jardim <i>et al.</i> (2017)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	Paty do Alferes (MG); UFMG, UFRJ e UERJ
Baldassarini e Nunes (2018)	Parcelas experimentais de erosão; Pinos de erosão	Laminar	Getulina e Vera Cruz (SP); UNESP Presidente Prudente
Silva <i>et al.</i> (2019)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	São Pedro da Serra (RJ); FFP-UERJ
Garritano (2020)	VANT	Voçorocas	Rio Claro (RJ); UFRJ
Pereira <i>et al.</i> (2016); Pereira (2019)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	Ubatuba (SP); UFRJ
Xavier <i>et al.</i> (2016)	Parcelas experimentais de erosão	Laminar	Juazeirinho (PB); UEPB, Campina Grande-PB
Guerra <i>et al.</i> (2020)	Parcelas de erosão; Pinos; LiDAR (LST); VANT	Laminar; Ravinas; Voçorocas	Serra do Mar; UFRJ; São Luís (MA); UFMA e UEMA
Dinotte <i>et al.</i> (2019)	Google Earth™ Pro	Voçorocas	Gouveia (MG); IFMG (<i>campi</i> Bambuí e Ouro Preto)
Loureiro <i>et al.</i> (2020)	LiDAR (LST); VANT	Voçoroca	Rio Claro (RJ); UFRJ; EMBRAPA Solos
Siqueira Júnior <i>et al.</i> (2019)	VANT (MDE; SfM)	Ravinas; Voçorocas	Itumirim (MG); UFLA; Lancaster University.; IAC (SP)
Julian e Nunes (2020)	VANT	Voçoroca	Amadeu Amaral (Marília – SP); UNESP Presidente Prudente
De Albuquerque <i>et al.</i> (2020)	Aerofotogrametria (fotografias digitais e ortofotos)		Vale do Rio Paraíba do Sul; Jacareí (SP); UnB
Etchelar (2017)	Estacas; Google Earth™ Pro; LiDAR (LST)	Voçoroca; Margem de rio	APA do Banhado Grande (RS); UFRGS
Ercole (2019)	VANT	Voçoroca	Nova Lima (MG); CEFET-MG
Aquino da Cunha <i>et al.</i> (2020)	Estação Total; ARP*	Sem feição (proposta)	Salvador (BA); UFBA
Rademann e Trentin, 2020	VANT	Voçoroca	Cacequi (RS); UFSM

Assim, as estações experimentais vêm auxiliando na compreensão da dinâmica dos processos erosivos, seu início e desenvolvimento. Diversas técnicas têm sido empregadas na Geomorfologia Experimental, para compreender e, conseqüentemente, atuar na recuperação de áreas degradadas (SUTHERLAND, 1998; GUERRA, 1999; POESEN *et al.*, 1999; MORGAN, 2001; FULLEN & GUERRA, 2002; KIRKBY *et al.*, 2003; LEKHA, 2004; BHATTACHARYYA *et al.*, 2010; BEZERRA, 2011; BEZERRA *et al.*, 2011; BEZERRA *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2017).

A parcela de erosão é um experimento com limites definidos, que pode simular diferentes tipos de uso e cobertura do solo, avaliar perdas por escoamento superficial e a sedimentação. Geralmente apresentam estrutura que direciona o escoamento superficial a uma saída comum, com calhas e galões coletores, cujo material coletado (água e sedimentos) será quantificado. (PINESE JÚNIOR *et al.*, 2008; BEZERRA, 2011).

Guerra (2005) e Morgan (2005) propõem dimensão mínima de 10m de comprimento por 1m de largura para as parcelas de erosão, para compreensão da dinâmica superficial, entre a geração do escoamento superficial e a remoção de partículas do solo. O primeiro analisou o papel das estações experimentais no monitoramento da erosão dos solos no mundo e concluiu que os resultados mais expressivos são aqueles relacionados à obtenção da Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*), corroborada por WISCHMEIER & SMITH (1978).

Neste tópico serão demonstrados alguns exemplos sobre o papel do monitoramento com estações experimentais. Por ser um monitoramento controlado, seus resultados são fundamentais ao avanço da compreensão dos processos erosivos, além de possibilitar comparações, entre estações em diferentes condições ambientais.

3.1.1. *Papel da água na erosão nos estudos com parcelas*

Segundo Arnáez *et al.* (2015), a falta de práticas conservacionistas pode acarretar taxas erosivas elevadas quando do uso excessivo do solo, que faz a capacidade de resiliência ser extrapolada. Mesmo em áreas florestadas, sedimentos transportados influenciam a dinâmica fluvial, sendo um elemento modificador da paisagem. Valentin *et al.* (2005) e Kirkels *et al.* (2014) salientam que o material orgânico, deslocado e redistribuído no espaço, pode interferir *on site* na qualidade do solo, acelerando a erosão, pela perda de nutrientes. Esse material, cuja mobilização chega a 20 t/ano (FARIA, 2014), irá se depositar, principalmente, em fundos de vales (*off site*), alterando a dinâmica fluvial e poluindo rios e lagos, pelo excesso de diluição na água de materiais orgânicos, comprometendo a geodinâmica da rede hidrográfica.

Dessa forma, é preciso verificar a capacidade de drenagem e armazenamento de água no solo, para entender as taxas por escoamento superficial, processo que influencia na erosão do solo. Conhecer o potencial total da água leva à compreensão sobre sua retenção e movimentação no solo. O movimento da água vai do potencial total negativo mais alto para o mais baixo. A variação de tal processo se relaciona intimamente com a permeabilidade do solo (Figura 1).

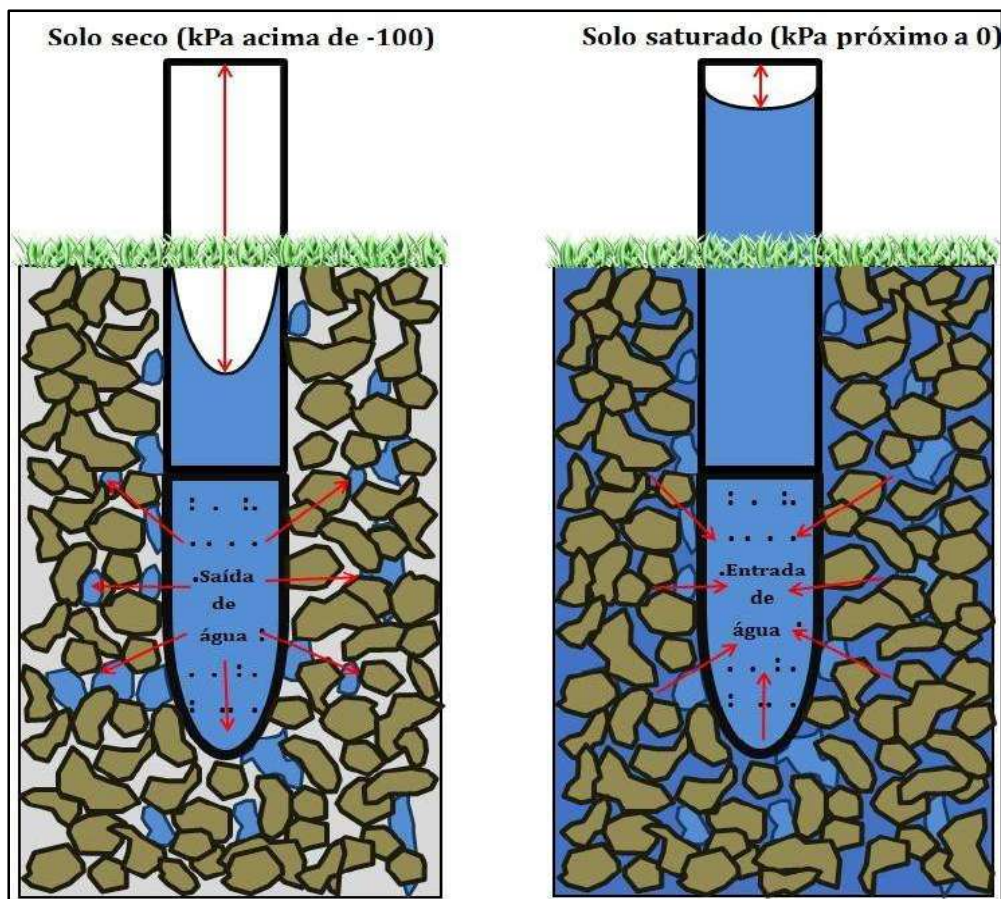


Figura 1. Tensiômetro: método de análise *in situ* para compreender a movimentação da água no solo. Solo seco, ocorre a saída de água do equipamento pela ponta porosa para o solo, aumentando a tensão e a pressão; em solo úmido e saturado, ocorre a entrada de água no tensiômetro, diminuindo a tensão e a pressão. Elaboração: Leonardo S. Pereira.

Nessa perspectiva, um conjunto de diferentes tipos de energia potencial atuam para conferir ao solo o seu potencial total de água (BRADY & WEIL, 2013). Com base nestes autores, observa-se a representatividade da matriz do solo na compreensão da dinâmica dos fluxos de energia e matéria de uma paisagem, bem como o uso e manejo dos solos pode alterar o equilíbrio da interação dos elementos que o compõem. Logo, as partículas de solos erodidas se distribuem espacialmente, modificando constantemente distintas paisagens.

Assim, compreender o processo de infiltração, drenagem, estocagem da água no solo e mensurar o volume de escoamento, é de grande importância em pesquisas Geomorfológicas, pois a dinâmica hidrológica é responsável pela ocorrência dos principais tipos de erosão acelerada em áreas degradadas. O processo hidroerosivo, desse modo, é a estreita relação da complexa dinâmica da água com as propriedades do solo. Observa-se, portanto, que a energia da água é um fator decisivo para se entender o processo de desagregação e arraste do solo.

Os potenciais matricial e gravitacional representam, pois, energias potenciais importantes para o solo, explicativas da dinâmica da água nele. Depois de saturar o solo,

a água se encontra em estado livre, sendo o potencial gravitacional uma das primeiras forças atuantes no deslocamento de água até camadas inferiores do perfil de solo, associada à força gravitacional do planeta. A atuação da água, em mover-se e ser retida, pelo potencial matricial, se dá após a ação do potencial gravitacional, a partir da sucção, quando há atração do nível de energia potencial da água por partículas sólidas na matriz do solo (BRADY & WEIL, 2013; PEREIRA, 2019). Então, o potencial matricial resulta da ação de duas forças: a de coesão, ou seja, a atração das moléculas de H₂O; e a força de adesão, que é a atração entre as moléculas de água e a superfície das partículas sólidas do solo (REICHARDT, 1987; BRADY & WEIL, 2013; PEREIRA, 2019).

3.1.2. Parcelas de erosão no Brasil

Várias pesquisas vêm destacando o papel das parcelas de erosão no monitoramento do escoamento superficial e erosão dos solos no Brasil. Sousa *et al.* (2016) analisaram duas parcelas com coberturas distintas (pasto e solo exposto) para verificar a influência da cobertura vegetal sobre as perdas de água e sedimentos no semiárido brasileiro (Iguatu, Ceará). A parcela com cobertura vegetal (capim) apresentou 99,36% menos perdas de solos e 71,88% menos escoamento superficial, em comparação à parcela de solo exposto. Os autores (SOUSA *et al.*, 2016) ressaltam a importância da vegetação, como elemento dissipador da energia cinética da chuva.

Costa & Rodrigues (2015) monitoraram cinco parcelas no bioma Cerrado (Uberlândia, MG), com as seguintes coberturas: parcela A, gramíneas; parcela B, arbustiva; parcela C, herbáceas para condições úmidas; parcela D, gramíneas e algumas herbáceas; e parcela E, arbórea, de cerca de 5 metros, associada a diversas espécies herbáceas, devido à extensão da área. Destaca-se que a parcela D alcançou as maiores taxas de erosão (1.752 g/m²), ainda que tenha apresentado o escoamento superficial com os menores valores. As parcelas A e E também tiveram alta taxa de remoção, mas as perdas de A (1.511,75 g/m²) ocorreram em eventos específicos, que seguiram os picos de índices elevados de precipitação, enquanto E (1.353 g/m²) sofreu erosão constante, independente dos índices pluviométricos.

Pereira & Rodrigues (2013) e Jardim *et al.* (2017) correlacionaram dados de escoamento superficial e processos erosivos e a influência deles em áreas agrícolas, em regiões tropicais úmidas, monitorando quatro parcelas de erosão, deste modo: sem cobertura vegetal (SC); plantio convencional (PC); plantio em nível (PN); plantio direto ou cultivo mínimo (PD). Os maiores índices de erosão foram verificados na parcela SC, com 20,76 t/ha de média, e média de 20,9 mm de chuva. Na parcela PC ocorreu a segunda maior perda média, de 0,00642 t/ha, e média de chuva de 18,2 mm, e a terceira, na parcela PN (0,00543 t/ha; 18,5mm) e da parcela PD (0,00139 t/ha; 18,2mm).

Xavier *et al.* (2016) monitoram três parcelas hidroerosivas (bacia do rio Taperoá, Juazeirinho, região semiárida da Paraíba), para avaliar a produção de escoamento superficial e erosão sob três usos: palma, pastagem e milho. O maior valor acumulado de erosão foi de 10,4 t/ha na parcela com milho. As demais apresentaram 6,6 t/ha (palma) e

4,3 t/ha (pasto). A maior erosão na parcela com milho se deu pela limpeza feita nos dois primeiros meses, somado à morte do cultivo de milho, mantendo a parcela descoberta.

Em Ubatuba (SP), foi construída uma estação experimental (Figura 2A) na qual foram implantadas três parcelas (1 x 10 m), numa trilha de 4° de declividade e superfície correspondente ao horizonte C de um Latossolo, monitoradas de agosto de 2013 a dezembro de 2017. Nas caixas de armazenagem do escoamento (capacidade de 100 L) foram inseridos baldes graduados de 10L para reter escoamentos inferiores a 10L (PEREIRA, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016; PEREIRA, 2019). Desse volume de escoamento armazenado, é retirado 1L para análise em laboratório, após todo o material erodido ser homogeneizado (PEREIRA, 2015). Nele, esta alíquota é posta para secagem em estufa e, após, é feita a pesagem para determinar o total de solo superficialmente erodido (t/L), pela multiplicação do volume de litros retidos na caixa coletora (L). Ou seja, equivalente a quanto do solo, na área da parcela (ha), foi erodido. Com tais dados, é calculado o resultado em tonelada/hectare (t/ha), em que:

$$\text{Perda } t/ha = [(\text{Sedimento perdido } t/L \times \text{Escoamento } L) / \text{Área da Parcela } ha]$$

Além disso, Pereira (2019) relacionou as propriedades físico-químicas e o potencial matricial encontrados na encosta ao processo de escoamento superficial e à perda de solo. Constatou que o total de chuva acumulado foi de 7.979,7 mm, sendo 4.421,0 mm superficialmente, ou seja, 55,4 % da precipitação não foi absorvida pelo solo. Demais resultados salientam que, apesar da pouca declividade, o solo deixou de absorver a carga de matéria e energia que recebe, degradando o sistema, que perde capacidade de dissipação de energia e processamento da matéria. Observa-se, assim, como o escoamento e o solo não são elementos fixos na paisagem, tendo partículas de solo e nutrientes transportados. Dentre 53 meses monitorados, foram mais de 62,3 t/ha de solo perdido, com as maiores taxas de erosão em janeiro (2,3 t/ha – 3,7%) e setembro de 2015 (1,9 t/ha – 3%), e março de 2017 (1,7 t/ha – 2,7%), correspondentes a volumes elevados de precipitação (PEREIRA, 2019).

Bezerra (2011), através da bioengenharia de solos, demonstrou a eficiência de geotêxteis biodegradáveis, produzidos com fibra de buriti, no controle do escoamento e da perda de sedimentos. Em estação experimental na bacia do rio Bacanga (São Luís, MA), monitorou quatro parcelas: duas com solo exposto – SE; e duas com geotêxtil de buriti – SG (Figura 2B). Foram registrados 2.067,50 mm de chuvas, produzindo fluxos superficiais totais de 208,57 L/m² nas parcelas SG; e 494,63 L/m² nas parcelas SE, mais que o dobro da parcela coberta (BEZERRA, 2011). Os resultados apontam, também, que os geotêxteis foram eficientes e, posteriormente, as gramíneas, para servirem de obstáculos ao transporte de sedimentos. As parcelas SG perderam 255,85 g/m² de solo, enquanto nas parcelas SE, foram 4.390,96 g/m² de solo erodido, quantidade 17 vezes maior (BEZERRA, 2011).

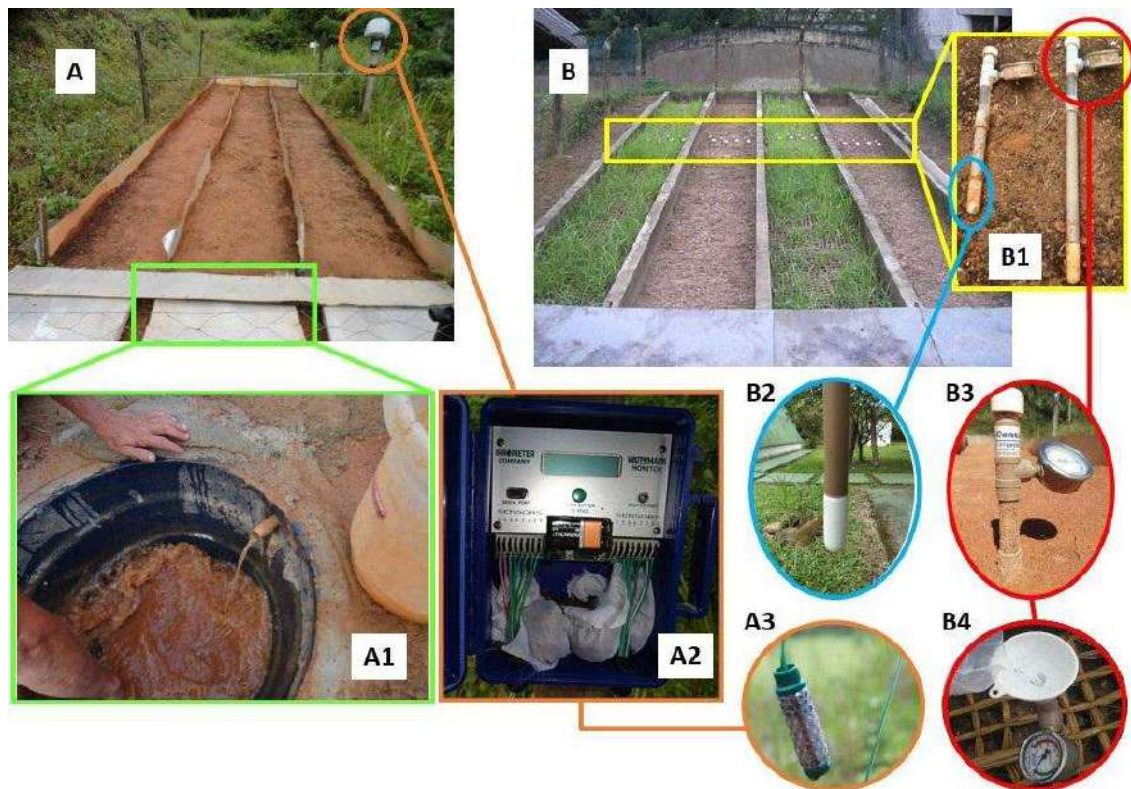


Figura 2. Parcelas de erosão monitoradas por (A) PEREIRA (2019) e (B) BEZERRA (2011). Na estação experimental A, três parcelas com solo exposto. Enquanto em B, quatro parcelas com duas coberturas: solo exposto e geotêxteis de fibra de buriti. Em A1 observa-se a entrada de escoamento superficial e sedimentos no recipiente de uma das parcelas. O monitoramento da umidade do solo de (A) utilizou o Sensor de Matriz Granular (SMG) acoplado a um datalogger (A2 e A3). A mensuração de (B) utilizou tensiômetros à vácuo para medir a umidade do solo (B1, B2, B3 e B4). Fotos: Leonardo S. Pereira; José F. R. Bezerra. Elaboração: Hugo A. S. Loureiro.

3.2. Métodos convencionais: estacas e pinos de erosão

Os pinos de erosão foram aplicados, pioneiramente, por Ireland *et al.* (1939), para mensurar o recuo das paredes de voçorocas (GUERRA *et al.*, 2020; RICHTER *et al.*, 2020). Contudo, para alguns autores (BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 2016; HART *et al.*, 2017; GHOLAMI *et al.*, 2021), sua origem viria dos trabalhos de Schumm e de Colbert, ambos datados de 1956. A partir destes, Haigh (1977) e Wolman (1959) disseminaram duas abordagens: (1) pinos inseridos verticalmente no solo de encostas e voçorocas e (2) inseridos horizontalmente em margens de rios. Assim, e conforme pesquisas bibliográficas nossas desde 2013, a abordagem de Ireland *et al.* (1939), de inserir pinos (então chamados *iron rods*, ao invés de *erosion pins*) de modo horizontal nas paredes íngremes de voçorocas, acabou relegada, em certo modo, ao esquecimento.

Nesse contexto, os métodos foram amplamente utilizados, ao longo das décadas, através das seguintes abordagens: (a) estacas nas bordas de ravinas e voçorocas (BEZERRA, 2011; LEAL & RODRIGUES, 2011; LOUREIRO, 2013; LISBOA *et al.*, 2017; FRANCISCO, 2018), pinos de erosão monitorando; (b) a erosão laminar na superfície das encostas (HAIGH, 1978; DE PLOEY & GABRIELS, 1980; GUERRA,

2005; HANCOCK & LOWRY, 2015; ANTONLI & THOMAZ, 2016; HART *et al.*, 2017; KEARNEY *et al.*, 2018); e, (c) a erosão fluvial nas margens de rios (WOLMAN, 1959; LAWLER, 1993; CUNHA, 1996; PLENNER *et al.*, 2016; JUGIE *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2019; MYERS *et al.*, 2019). Para esta última aplicação, Lawler (1991) apresentou os pinos de erosão foto-eletrônicos (*photo-electronic erosion pins - PEEPs*).

Enquanto isso, se tornou raro, mundialmente, utilizar pinos nas paredes de voçorocas. Mesmo em pesquisas que utilizaram pinos em voçorocas, estes serviram para mensurar a variação vertical do solo, ao serem inseridos perpendicularmente ao piso, ou verticalmente em paredes de baixas declividade e altura. Até mesmo os termos “rebaixamento do solo” e “altura acima do solo” são utilizados, característicos do monitoramento da erosão laminar nas encostas. Isto está presente nos trabalhos de Bartley *et al.* (2007), Hart *et al.* (2017), Luffman *et al.* (2018), e Wilkinson *et al.* (2018). Logo, a aplicação pioneira de Ireland *et al.* (1939) se mantém mundialmente rara. Em termos de Brasil, o estudo de Loureiro (2013) é, potencialmente, pioneiro com tal aplicação.

Já as estacas, são empregadas no monitoramento de voçorocas, para mensurar o avanço da erosão, através do recuo de suas bordas (GUERRA, 2005; LOUREIRO, 2013; LISBOA *et al.*, 2017; FRANCISCO, 2018). Inicialmente utilizado para margens de rios por Hughes (1977), Guerra (1996) propôs seu uso para bordas de voçorocas, modo de exclusividade brasileira, segundo a bibliografia pesquisada. Basicamente, instalam-se estacas no solo ao redor da feição monitorada, com distâncias determinadas umas das outras, a critério e necessidade de cada pesquisa. Guerra (1996; 2005) sugere 10 metros entre a borda e cada estaca. Pode-se, ainda, instalar outras estacas para referência ou auxiliares (LOUREIRO, 2013; FRANCISCO, 2018). Mede-se a distância da borda às estacas, ao longo de determinado período, obtendo-se dados de evolução da feição erosiva. Esses dados são representados e interpretados a partir de croquis ou produtos de geoprocessamento, e relacionados aos índices pluviométricos do período monitorado.

Como as estacas, os pinos são uma técnica simples, barata e eficiente (GUERRA, 2005; BEZERRA, 2011; LOUREIRO, 2013; KEARNEY *et al.*, 2018; MYERS, 2019; GHOLAMI *et al.*, 2021). Mas isto não deve levar à ideia de que a técnica seja simplória, pois a complexidade está nas questões de localização dos pinos, erros em medições, distúrbios e, claro, na interpretação de resultados e relações com os diversos fatores controladores da erosão (BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 2016).

Cada pino permite uma informação pontual (milimétrica a centimétrica), que possibilita, em conjunto, estimar taxas de erosão e deposição em diferentes ambientes (BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 2016; HART *et al.*, 2017; JUGIE *et al.*, 2018; MYERS, 2019; GHOLAMI *et al.*, 2021). Cravam-se os pinos no solo, deixando parte exposta e recomenda-se reproduzir sua distribuição espacial em croqui ou outras formas de diagramação. Sua exposição ou recobrimento devem ser mensurados periodicamente e, conforme os objetivos e possibilidades dos estudos, principalmente após eventos de chuva significativos (GUERRA, 2005; BOARDMAN & FAVIS-MORTLOCK, 2016).

Ainda que nenhuma pesquisa tenha proposto quantificar a acurácia deste método (JUGIE *et al.*, 2018), vários trabalhos realizam comparações e trazem diversos cálculos para validar a técnica e estimar taxas de massa e volume de material mobilizado, respectivamente (LOUREIRO, 2013; 2019; ANTONELI & THOMAZ, 2016; JUGIE *et al.*, 2018; MYERS, 2019; GUERRA *et al.*, 2020; GHOLAMI *et al.*, 2021).

Nesse sentido, o método dos pinos de erosão tem sido vinculado ao monitoramento com geotecnologias, comparando-o a técnicas de fotogrametria, LiDAR e sensoriamento remoto, com VANTs (PLENNER *et al.*, 2016; JUGIE *et al.*, 2018; MYERS *et al.*, 2019; GHOLAMI *et al.*, 2021). Isto confere novas perspectivas no uso dos pinos, que mantém sua simplicidade metodológica. Por exemplo, Myers (2019) foi o primeiro que comparou o uso de pinos, de estação total e de *laser scanner* terrestre, para as mesmas margens de rios. Devido à baixa resolução espacial oferecida pelos pinos, a comparabilidade entre as técnicas tem suas limitações.

Contudo, ao considerar *grids* (ou redes) a partir da distribuição dos pinos, é possível realizar determinados cálculos, principalmente associados a características dos solos, como a densidade (ANTONELI & THOMAZ, 2016; PLENNER *et al.*, 2016; LOUREIRO, 2019; GUERRA, *et al.*, 2020). Kearney *et al.* (2018) citam que a maioria dos estudos calculam taxas anuais que são convertidas em unidades de massa por área (kg/ha/ano), e afirmam que mais pesquisas são necessárias para calibragem da acurácia deste método. Já resultados encontrados por Jugie *et al.* (2018) e Luffman *et al.* (2018) são divergentes, quando as taxas erosivas foram subestimadas para margens de rios e superestimadas para voçorocas (pinos verticalmente instalados), respectivamente.

Dentro do contexto de evolução tecnológica, Gholami *et al.* (2021) recomendam combinar pinos e parcelas de erosão com modelos baseados em Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence - A.I.*), a fim de modelar e mapear os tipos de erosão pluvial e fluvial. Seus estudos utilizaram algoritmo de redes neurais para predizer a erosão através de modelagem rápida e precisa. No mesmo caminho, os trabalhos pioneiros de Nguyen *et al.* (2019) e Nguyen *et al.* (2020) utilizaram pinos de erosão para calibração e testagens de diversos algoritmos através do Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*), para predição da erosão laminar. Já Arabameri *et al.* (2020) não utilizaram pinos, mas testaram algoritmos através de Aprendizado de Máquina para predizer a suscetibilidade à erosão por voçorocas. Por não ser objeto de análise neste capítulo, recomenda-se a consulta das referências bibliográficas para maiores informações.

Portanto, o método dos pinos de erosão, com seus aspectos positivos e negativos, não é substituído por métodos mais modernos, necessariamente. Pelo contrário, podem e têm sido incorporados a técnicas mais precisas e digitais, seja como forma de comparação, seja como forma de calibração de modelos e taxas dos processos erosivos. Contudo, seu uso no Brasil ainda é tradicional, com poucos estudos mesclando comparativamente os métodos convencionais e modernos.

3.2.1. Estacas e pinos de erosão no Brasil.

Levantamento bibliográfico do período 2004-2014, sobre “voçorocas”, realizado por Marchioro *et al.* (2014), em artigos de revista e de anais de simpósio da União da Geomorfologia Brasileira (UGB), encontrou apenas 12 versando sobre monitoramento, 8 deles com estacas. Para os últimos dez anos, a pesquisa realizada neste capítulo expõe, na tabela 1, os estudos de Francisco (2018); Lisboa *et al.* (2017), Vitorino (2019) e Guerra *et al.* (2020). Completam a década 2011-2020, Leal & Rodrigues (2011), Loureiro (2013) e Viana *et al.* (2014). Isso indica que o monitoramento de voçorocas com o método de estaqueamento tem apresentado poucas pesquisas nos últimos anos.

Leal & Rodrigues (2011) desenvolveram estudo comparativo entre estacas, DGPS e Geoprocessamento, apontando que a escala temporal para o monitoramento pode ser diferente de acordo com cada técnica. Desse modo, as estacas funcionam para monitoramentos mensais (cm), o DGPS para semestrais (mm) e o Geoprocessamento para anuais, tendo sido utilizadas fotografias aéreas de 1979, 1997 e 2004. Em termos de posicionamento das estacas, estas foram colocadas ao redor de toda a feição, porém, concentrando maior quantidade na margem direita, onde ocorre mais escoamento superficial e, por conseguinte, mais erosão (LEAL & RODRIGUES, 2011).

Já Lisboa *et al.* (2017) monitoraram três voçorocas com três estacas de referência em cada (9 pontos de medição), sempre posicionadas na área da cabeceira, mais ativa. Seus resultados têm como base imagens das voçorocas obtidas no *software Google Earth™*, sobre as quais foram reproduzidos os croquis de avanço da erosão nas bordas.

Baldassarini & Osvaldo (2018), que chegaram a utilizar o termo “estaca” como sinônimo de “pino”, utilizaram pinos de erosão em parcelas experimentais. Do monitoramento da erosão laminar, os referidos autores calcularam a perda de solo, ao aplicarem a fórmula $P \text{ (t/ha)} = h \text{ (m)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times Ds \text{ (m}^3\text{)}$, na qual P é a perda de solo; h é a média da alteração da superfície medida com os pinos; A é a área da parcela; e Ds é a densidade do solo. Encontraram taxas erosivas de 0,5 e 1,5 t·ha⁻¹·ano.

Antoneli & Thomaz (2016) também utilizaram pinos, em parcelas de 2m² instaladas em barrancos de estradas, e associaram o rebaixamento da superfície monitorada com a densidade do solo, para calcular a perda de solo pela erosão. A fórmula utilizada no referido artigo foi $Ps \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} = Rs \text{ (cm)} \times D \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$, onde Ps é a perda de solo; Rs é o rebaixamento total do solo; e Ds é a densidade do solo. Além disso, Antoneli & Thomaz (2016) realizaram outros cálculos, de acordo com diferentes monitoramentos realizados.

Bezerra (2011) distribuiu pinos em duas parcelas de erosão, com solos sem cobertura, em estação experimental (Figura 3A). Seus dados indicaram áreas de erosão e deposição, conforme a altura do pino em relação à superfície. Disto foi feita a classificação no *software ArcGIS*, considerando mais de 5 cm de altura dos pinos à superfície do solo como áreas de erosão, e menor como área de deposição (BEZERRA, 2011). As maiores taxas registradas de rebaixamento do solo foram 8,2 e 10,8 cm, com 2.067,5 mm de pluviosidade entre fevereiro e junho de 2009 (BEZERRA, 2011).

Outra abordagem para os pinos de erosão foi utilizada por Loureiro (2013), que os inseriu horizontalmente nas paredes de voçorocas (Figura 3B2), resgatando e aprimorando a técnica de monitoramento de Ireland *et al.* (1939). Após diversas pesquisas, foi o único no Brasil a utilizar o método desta forma e trazer uma proposta de cálculos associados. A partir da distribuição dos pinos de forma simétrica, cria-se um *grid* de pinos de erosão (Figura 3B), que possibilita cálculos geométricos para estimar massa e volume de solo erodido, (LOUREIRO, 2013; 2019; GUERRA *et al.*, 2020).

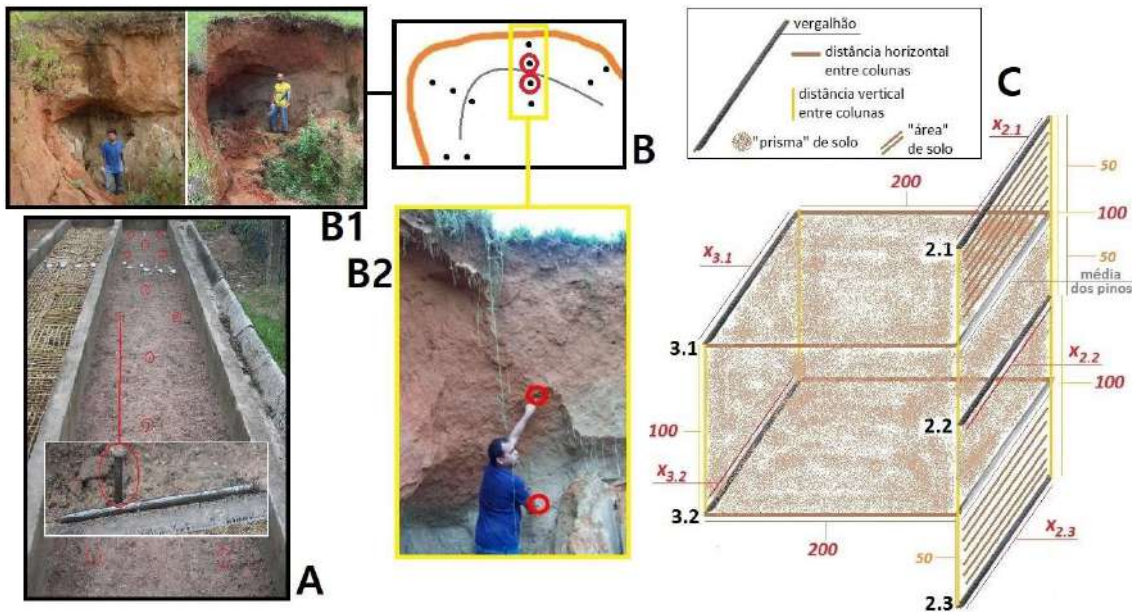


Figura 3. Monitoramentos com pinos de erosão. (A) pregos (circulados em vermelho e no detalhe) utilizados para medir a erosão laminar em parcelas sem cobertura do solo, na UFMA. (B) croqui da distribuição da rede (*grid*) de pinos nas paredes da alcova de regressão, na cabeceira da voçoroca monitorada. No detalhe (B1) a comparação das mudanças na morfologia da alcova de regressão entre os meses de fevereiro de 2011 e janeiro de 2012. No detalhe (B2), os círculos destacam os pinos 2.2 e 2.3 da 2a coluna do *grid* de pinos (2011). (C) representação geométrica do prisma formado pela distribuição dos pinos, que permite estimar o volume de solo erodido, de acordo com a exposição dos vergalhões de ferro. [Recomenda-se aplicar *zoom*, para melhor visualização da imagem]. Fotos, esquemas e elaboração: acervo de Hugo A. S. Loureiro.

Com as medidas finais dos monitoramentos mensais, cuja geometria forma um “prisma de solo” (Figura 3C) para que se calcule o volume de solo erodido, e a média da densidade do solo da voçoroca, utiliza-se a fórmula física $D=m/V$ para chegar à massa de solo removido. A Figura 3B representa a principal área monitorada da voçoroca. As mudanças na cabeceira são visíveis, na Figura 3B1, e correspondem à estimativa de 1,73 m³ e 2,49 t de solo erodido (LOUREIRO, 2013; 2019; GUERRA *et al.*, 2020).

Pode-se concluir, portanto, que métodos convencionais, como estacas e pinos de erosão, têm largo campo para permanecerem presentes no estado da arte da geomorfologia brasileira sobre monitoramento da erosão hídrica dos solos. Principalmente se associadas a técnicas modernas de imageamento. Ainda que sem essa associação, são modos didáticos e práticos para estimar e ensinar sobre o processo erosivo (LOUREIRO, 2019; GUERRA *et al.*, 2020).

3.3. Sensoriamento remoto: imagens de satélites, LiDAR e fotos aéreas com VANT

Técnicas de sensoriamento remoto, fotografias de campo e aéreas sequenciais, equipamentos com data *loggers*, e modelagens numéricas resultantes, vêm sendo desenvolvidas com maior intensidade nos últimos anos (SALGADO, 2016; GOUDIE, 2018). Mas as escalas e resoluções de cada uma determinam seus potenciais e limitações de uso e aplicação ao monitoramento de processos erosivos (PLENNER *et al.*, 2016; KRENZ & KUHN, 2018; LOUREIRO, 2019; LOUREIRO *et al.*, 2020).

Fotografias aéreas têm perdido espaço frente às imagens de satélite, desde a década anterior, pois não possuem resolução espectral e radiométrica, que permitem analisar, por exemplo, tipo de solo e presença de matéria orgânica (LOUREIRO & FERREIRA, 2013). Satélites têm câmeras de diferentes resoluções espaciais. Ao capturarem sucessivas vezes a superfície terrestre, torna-se possível monitorar a erosão através da comparação entre os diferentes intervalos de tempo (MORAES, 2013).

Contudo, mesmo imagens de satélites podem ser mais ou menos adequadas para monitorar a erosão. Ao abrangerem grandes extensões, pode-se comparar em intervalos de tempo constantes, e identificar processos geomorfológicos, como erosão dos solos, movimentos de massa, entre outros (TENG, *et al.*, 2016; ŽIŽALA, *et al.*, 2018). Quando há média resolução espacial (como imagens Landsat 5, CBERS 2, SPOT, ASTER ou dados de altimetria da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM), não é viável o monitoramento de feições, sendo possível apenas sua localização. Já com imagens de alta resolução (Landsat 6 a 8, CBERS 3 e 4, Ikonos, QuickBird, WorldView, RapidEye e GeoEye) o monitoramento pode ser feito, ao menos, pela delimitação de voçorocas, por exemplo (FLORENZANO, 2011; SANTOS & FARIA, 2011; LOUREIRO & FERREIRA, 2013; TEDESCO, 2015; ETCHELAR, 2017; JULIAN, 2020).

Boardman (2016) aborda a relevância no uso do *software Google Earth*TM nas pesquisas geomorfológicas. É consensual sua falta de precisão cartográfica, as diferenças de escala e de ângulos de tomada das imagens, a não homogeneidade de resolução para uma mesma área no todo, e a irregularidade da periodicidade temporal das imagens (LOUREIRO & FERREIRA, 2013; BOARDMAN, 2016). Mas integra com grande valia pesquisas de campo, mapeamentos de reconhecimento e de novas áreas, verificando a evolução de feições erosivas, por exemplo (BOARDMAN, 2016).

Uma maneira de utilizar imagens de satélite no monitoramento de processos erosivos é a elaboração dos modelos digitais de elevação (MDE). A modelagem, porém, possui uma vasta gama de possibilidades de fontes de dados. Podem ser oriundos de técnicas de LiDAR (*Light Detection and Ranging*), a partir de vários instrumentos, como VANTS, escâneres a laser terrestres ou aerotransportados, e mesmo por câmeras digitais ou de smartphones, lançando mão de técnicas de fotogrametria (NIEMANN *et al.*, 2019; SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019; DE ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; FERNÁNDEZ *et al.*, 2020; LOUREIRO *et al.*, 2020; PATEL *et al.*, 2020).

Quanto ao LiDAR, Myers *et al.* (2019), Niemann *et al.* (2019) e Loureiro *et al.* (2020) apontam o que torna esta técnica tão útil ao monitoramento. As nuvens de pontos formadas com esta tecnologia possuem densidade maior que qualquer outra técnica (como por exemplo, pinos de erosão e estações totais), justamente pela capacidade do feixe laser durante a varredura, que confere altos níveis de resolução espacial. Plenner *et al.* (2016) salientam, contudo, que a depender do tipo de equipamento utilizado, haverá diferenças de escala. Nuvens de pontos geradas por *laser scanner* aerotransportado (LSA) é capaz de varrer grandes extensões, mas poderá perder detalhes que somente o *laser scanner* terrestre (LST) consiga captar. Por outro lado, a acessibilidade pode ser um problema quando se utiliza o LST (GOODWIN *et al.*, 2016; KRENZ *et al.*, 2019; LOUREIRO *et al.*, 2020).

No que diz respeito a imagens de veículos aéreos não tripulados (VANT), constitui-se cada vez mais como uma técnica de monitoramento de custos acessíveis e que dão confiabilidade crescente aos estudos, dada a precisão de seus resultados e a aplicação qualitativa e quantitativa, como por exemplo: largura, comprimento, área e volume. Dessa forma, se mostra uma ferramenta cada vez mais promissora (OLTMANN *et al.*, 2012; GARRITANO, 2020; NICULIȚĂ *et al.*, 2020), sobretudo na Geomorfologia, reduzindo, inclusive, a necessidade de deslocamento em campo (KRENZ & KUHN, 2018; SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019; LOUREIRO *et al.*, 2020). Para fins de monitoramento da erosão do solo, os trabalhos de campo devem ser realizados em intervalos constantes de tempo e de forma recorrente, em especial após eventos chuvosos significativos (AMODIO *et al.*, 2017; KRENZ *et al.*, 2019).

Menos comum, porém, com resultados interessantes observados por Nichols *et al.* (2016), há o uso de fotografias lapso-de-tempo, ou sequenciais. Com esta técnica os autores verificaram que os processos erosivos mais recorrentes eram pequenos movimentos de massa nas paredes laterais e cabeceira (*bank and headwall slumping*) e a erosão por queda d'água (*plunge pool erosion*), em consequência da formação de fluxos rápidos de escoamento superficial (*flash flood runoff*), durante o período chuvoso.

3.3.1. Monitoramento com geotecnologias no Brasil

São inúmeras as possibilidades de uso de geotecnologias para o monitoramento da erosão, que vem crescendo no Brasil. Têm tido maior destaque o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) (FARIA *et al.*, 2017; ERCOLE, 2019; SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019; GARRITANO, 2020; JULIAN & NUNES, 2020; RADEMANN & TRENTIN, 2020), mas observa-se a combinação de diferentes fontes de dados (SATO *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2016; ETCHELAR, 2017; LOUREIRO *et al.*, 2020). Ocorre o uso de fotografias aéreas de alta resolução (DE ALBUQUERQUE *et al.*, 2020), imagens de satélites (SANTOS & FARIA, 2011), incluído o *Google Earth*TM (DINOTTE *et al.*, 2019), o uso de Estação Total (MATHIAS & NUNES, 2014), e o uso de *Laser Scanner* Terrestre (LST) (RAMOS *et al.*, 2011). Os dados obtidos com estes equipamentos, após processamento digital, geram produtos diversificados e com cada vez maior importância

para interpretação e análise dos processos geomorfológicos (GUERRA *et al.*, 2020; JULIAN & NUNES, 2020; LOUREIRO *et al.*, 2020; RADEMANN & TRENTIN, 2020).

Com os VANT é realizada a programação prévia de planos de voo, estabelecendo altura, área de imageamento, taxa de sobreposição das imagens e tempo de voo. Após ida a campo, faz-se o PDI em *softwares* específicos. O uso de VANT para monitorar processos erosivos permite identificar com maior facilidade e precisão e acompanhar a evolução dos processos e da forma das feições nas encostas (EMBRAPA, 2018; SIQUEIRA JUNIOR, 2019; GARRITANO, 2020). São produzidos diferentes tipos de mapas, modelos digitais, perfis longitudinais e transversais da superfície do solo, além da morfometria do processo analisado (RADEMANN & TRENTIN, 2020). A figura 4 ilustra uma mesma voçoroca localizada em Rio Claro - RJ, a partir de quatro ângulos da captura durante o voo do VANT, que reunidas, geraram o ortomosaico apresentado no centro da imagem.

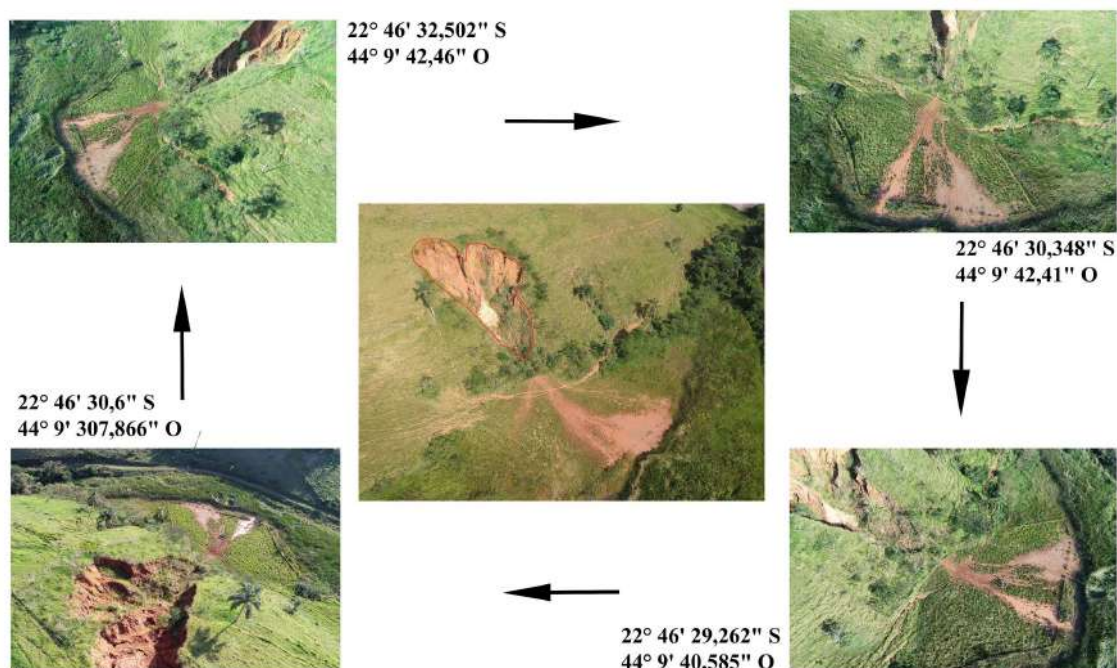


Figura 4. Ortomosaico (centro) gerado pelas imagens (acima e abaixo) obtidas segundo o plano de voo do VANT. Voçoroca no município de Rio Claro-RJ. Autoria: Fabrizio N. Garritano, 2019.

Destacam-se alguns trabalhos com o uso de VANT, conforme o quadro 1. Como Garritano (2020), Faria *et al.* (2017) geraram ortofotos de uma voçoroca, chamada “erosão Chitolina”, perfis longitudinal e transversais. Comparados a cadastro feito em 1998, verificaram que a feição se manteve estável longitudinalmente, mas alargou-se no trecho médio, devido a dutos (*pipings*) e subprocessos do voçorocamento.

Julian & Nunes (2020) utilizaram VANT para estimar o volume de uma voçoroca, em Marília (SP). Foram 19.664,61 m³ de solo erodido, correspondendo a 34.806,25t, calculados a partir de MDT, curvas de nível e ortofotos gerados no *software* QGIS. Os dados contaram com 75% de superposição lateral e longitudinal e 3 cm/*pixel* de resolução

espacial. Concluíram que a metodologia tem potencial para monitorar erosões lineares, com rapidez de aquisição, e que pode ser associada a técnicas convencionais.

Rademann & Trentin (2020) também ressaltam o uso de VANTs no estudo geomorfológico com mapeamentos de detalhe, aplicado à análise da morfometria de voçorocas. Destacam a qualidade e acurácia dos dados, bem como limitações e desafios, como necessidade de maquinário com capacidade de processamento e o volume de dados gerados. Apontam, a partir dos resultados, áreas de avanço da feição, nas partes superior e central, indicando os valores para cada setor.

Siqueira Júnior *et al.* (2019) compararam séries temporais de MDE obtidos com VANT e técnicas de fotogrametria, para voçorocas e ravinas. Citam a rapidez, o baixo custo e a alta resolução e precisão centimétrica dos modelos. Indicam, para este tipo de estudo, que a resolução horizontal e vertical devam ser de 10 e 6 cm, respectivamente. Seu principal resultado indicou que os menores valores de erro nas medidas volumétricas estão associados às maiores taxas de erosão, indicando a prioridade de monitoramento e ações mitigadoras nos trechos correspondentes.

Outras geotecnologias também são de grande relevância. De Albuquerque *et al.* (2020) utilizaram MDE gerados por estereofotogrametria, para identificar padrões espaciais de mudanças geomorfológicas em áreas de voçorocamento, devido à urbanização. Pelas análises dos modelos, verificaram relações diretas entre erosão e urbanização, devido a mudanças no fluxo e volume de água nessas áreas. Já Santos & Faria (2011) utilizaram imagens de satélite *Ikonos*, identificando 3.134 m² de voçorocas e 2.241 m² de áreas em evolução da erosão laminar para ravinamento. Enquanto Alves *et al.* (2016) combinaram o uso de imagens Landsat 5 e 8 (resoluções espaciais de 15 e 30m) com VANT.

Sato *et al.* (2012) utilizaram fotografias aéreas do IBGE, de 2004, imagens do *Google Earth*TM (*Ikonos*, de 2003 e *Geoeye*, de 2010), e estação total, para compreender a relação entre o desenvolvimento de voçorocas e plantios de eucalipto, no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (MVRPS). Avaliaram que o sistema radicular dos eucaliptos influenciou a ativação de voçorocas por meio do escoamento subsuperficial.

Marchioro & Oliveira (2014) reuniram imagem do *Google Earth*TM (*Spot 7*, de 2014), de 6m de resolução, com ortofotos, de 1970 e 2007, de 30m de resolução. Calcularam área e perímetro das feições e verificaram que três voçorocas se tornaram uma. Já Mathias & Nunes (2014) utilizaram apenas a estação total, para analisar em detalhe a topografia e monitorar processos erosivos, a partir do MDT gerado e medições de campo. Enquanto que Dinotte *et al.* (2019) classificaram a morfologia de voçorocas (conforme Ireland *et al.*, 1939), a partir de imagens do *Google Earth*TM, de 2013 e 2018.

Ao utilizar o LST de modo experimental, Loureiro *et al.* (2020) seguiram a afirmação de Kuhn *et al.* (2014), de que o pesquisador tem a difícil tarefa de ajustar os experimentos às condições de campo, elegendo concessões, de modo que se mantenham a relevância científica e a funcionalidade do experimento. Seus resultados demonstram que o LST possui potencial quantitativo muito útil ao monitoramento da erosão, porém,

o equipamento pode ser limitante em condições de campo. Sendo assim, foi possível estimar taxas erosivas, apesar da voçoroca não ter sido 100% escaneada.

Com o processamento da nuvem de pontos e a geração de modelos (Figura 5), foram calculados 2.240,34 m² de área e 8.748,00 m³ de volume de solo erodido. Este volume é alcançado pela subtração entre um modelo da superfície sem erosão e o modelo da voçoroca. Já a massa de solo mobilizada foi alcançada a partir do volume calculado pelo modelo e da média da densidade do solo, obtida em campo e laboratório. Com uma média de densidade do solo de 1,59 g/cm³, a massa de solo removido da encosta seria equivalente a, aproximadamente, 13.909,32 toneladas. Considerando a evolução temporal da feição, com auxílio do recurso “imagens históricas” do Google Earth™, com registros a partir de 2001, a taxa de erosão da voçoroca seria de 3719,07 t·ha⁻¹·ano (LOUREIRO *et al.*, 2020).

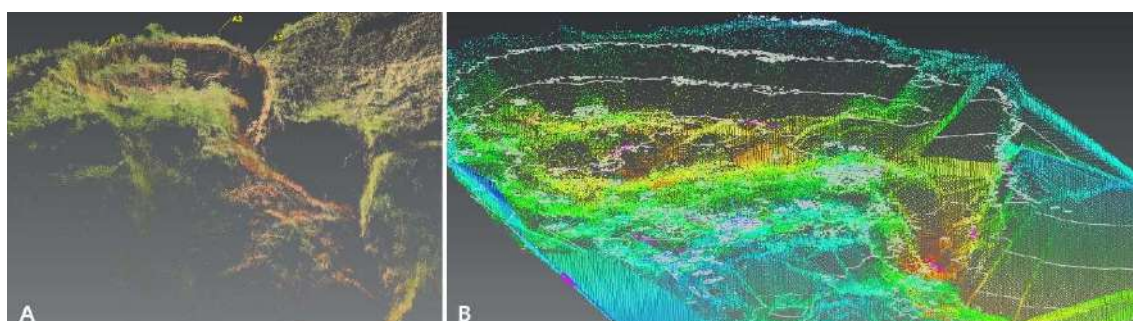


Figura 5. Modelo de voçoroca em Rio Claro (A) e modelo de hipsometria (B), com curvas de nível (linhas brancas), gerados do processamento digital da nuvem de pontos obtida pela varredura com LST. Processamento: Hugo A. S. Loureiro, 2019.

Etchelar (2017) também chegou a mesma conclusão, de que o LST tem potencial, dada, a precisão e rápida varredura em campo. Em seus resultados, verificou a variação de área de uma voçoroca, que aumentou 9.188,08 m² em 12 anos, dentro de uma Área de Proteção Ambiental. Ramos *et al.* (2011) utilizou LST, no MVRPS, para comparar as estimativas de volume de remoção de solo realizadas anteriormente, com métodos tradicionais, chegando a 6.735 m³ de erosão.

Ercole (2019) e Aquino da Cunha *et al.* (2020) também obtiveram estimativas de volume, porém, com obtenção dos dados através de VANT. Duas voçorocas tiveram até 70.000 m³ de remoção para até 1,5 ha de área (ERCOLE, 2019), enquanto outras apresentaram de 150 a 190 m³ (AQUINO DA CUNHA *et al.*, 2020).

4. CONCLUSÕES

Erosão dos solos vem sendo estudada há dezenas de anos, levando-se em conta diferentes técnicas e métodos, desde as mais simples e baratas, até as mais sofisticadas e de preço mais elevado, como é demonstrado nesse capítulo. O avanço da produção científica, nessa área de conhecimento, tem sido possibilitado, através do avanço dessas técnicas e métodos.

Nesse capítulo, foram abordados estudos de caso brasileiros e internacionais, na medida que existe uma vasta produção científica nacional e internacional, que nos coloca em posição de igualdade com outros países, que vêm abordando a erosão dos solos.

Foi feito um extensivo levantamento bibliográfico, no sentido de destacar trabalhos clássicos, bem como pesquisas contemporâneas, onde o processo erosivo é monitorado, no sentido de mostrar sua importância na geomorfologia. Conseqüentemente, as parcelas de erosão foram abordadas nesse capítulo, porque além de serem usadas há muitos anos, em vários projetos internacionais, o LAGESOLOS vem adotando essa técnica, em diversos dos seus projetos, mostrando que se pode obter resultados significativos, como os aqui apresentados.

Os pinos de erosão, para monitoramento de erosão em lençol e para as paredes das voçorocas foram também apresentados nesse capítulo, bem como estacas que são colocadas ao redor das voçorocas e monitoradas a distância entre as mesmas e sua borda. Nessa época não existiam VANT e os resultados obtidos com esse tipo de monitoramento permitiu dar um grande avanço ao estudo dos processos erosivos.

Com o advento dos VANT, o LAGESOLOS vem utilizando há alguns anos, tendo sido apresentados resultados que podem confirmar sua precisão e rapidez, para monitorar não só a evolução das voçorocas, mas também sua profundidade e largura, ao longo do tempo.

As imagens de satélites, bem como o Laser Scanner Terrestre (LST) são também aqui apresentados, no sentido de apontar suas potencialidades no estudo da erosão hídrica dos solos. Esses métodos, usados individualmente, bem como associados, demonstram sua eficiência no tema desse capítulo.

A partir do avanço que o LAGESOLOS obteve no diagnóstico da erosão, com o uso de todos esses métodos de monitoramento, foi possível também atuar na recuperação de áreas degradadas. Alguns exemplos são aqui citados, e a técnica de fotocomparação se mostrou bastante útil, para se monitorar a evolução da área recuperada. Dois exemplos demonstram bem sua aplicação.

Finalmente, como um dos objetivos desse capítulo foi o de analisar os métodos manuais e digitais do monitoramento da erosão hídrica, esse foi atingido, contendo diversos exemplos desenvolvidos pelo LAGESOLOS, ao longo dos seus 26 anos de existência, complementado por trabalhos desenvolvidos por outros pesquisadores brasileiros e estrangeiros. Ao lado da bibliografia clássica sobre essa temática, são apresentadas referências, que representam o estado da arte nacional e internacional do tema em questão.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPERJ, CAPES/EMBRAPA e CNPq. Mike Fullen (UoW); União Europeia; FAPEMA; FAPEMIG; GeoCart-UFRJ; PPGG-UFRJ; IGEO-UFRJ.

Referências Bibliográficas

- ALVES, V. A.; COSTA, D. H.; ALVES, R. R. Identificação e avaliação de processos erosivos através de imagens LANDSAT 5,8 e drone. *In: XI SINAGEO, Geomorfologia: compartimentação de paisagem, processo e dinâmica*, 2016, Maringá/PR. **Anais [...]**. Maringá: UGB, 2016.
- AMODIO, A. M.; AUCELLI, P. DI PAOLA, G. ROSSKOPF, C. UAV Digital photogrammetric analysis for soil erosion evaluation in the Rivo catchment. *In: IX Conference – Italian Society Of Remote Sensing*, Firenze, 2018.
- ANTONELI, V. & THOMAZ, E. L. Perda de solo em estradas rurais em área de cultivo de tabaco na bacia do arroio Boa Vista – Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 227-240, 2016.
- AQUINO DA CUNHA, A.; ALIXANDRINI JÚNIOR, M. J.; FERNANDES, V. de O. Avaliação de erosão por imagens de Aeronave Remotamente Pilotada a baixa altura de voo. **Geografia (Londrina)**, v. 29. n. 1, p. 191-210, 2020.
- ARABAMERI, A.; NALIVAN, O. A.; PAL, S. C.; CHAKRABORTTY, R.; SAHA, A.; LEE, S.; PRADHAN, B.; BUI, D. T. Novel Machine Learning approaches for modelling the gully erosion susceptibility. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2833, 31p., 2020.
- ARNÁEZ, J.; LANA-RENAULT, N.; LASANTA, T.; RUIZ-FLAÑO, P.; CASTROVIEJO, J. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. **Catena** v. 128 p. 122–134, 2015.
- BARCELOS, A. C. & RODRIGUES, S. C. Monitoring of matric potential in degraded area and its relationship with erosive processes, Uberlândia – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 7, p. 2375-2390, 2018.
- BARTLEY, R.; HAWDON, A.; POST, D. A.; ROTH, C. H. A sediment budget for a grazed semi-arid catchment in the Burdekin basin, Australia. **Geomorphology**, v. 87, p. 302-321, 2007.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 70. ed. Rio de Janeiro: Ícone, 2010.
- BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão com Técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís – MA**. 2011. 249 f. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S.C. Análise dos índices pluviométricos aplicada à geração do escoamento superficial em estações experimentais com geotêxteis, Uberlândia, MG. *In: RIBEIRO, I. M. P. (org.). Geografias em questão*. 1. ed. São Luís: EDUEMA, 2016. v. 1, p. 90-104.

- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 93-104, 2011.
- BHATTACHARYYA, R.; SMETS, T.; FULLEN, M. A.; POESEN, J. & BOOTH, C. A. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. **Catena** v. 81, p. 184-195. 2010.
- BITAR, O. Y. & ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 32, p.499-508.
- BOARDMAN, J. The value of *Google Earth*TM for erosion mapping. **Catena** v. 143, p. 123-127, 2016.
- BOARDMAN, J. & EVANS, R. The measurement, estimation and monitoring of soil erosion by runoff at the field scale: challenges and possibilities with particular reference to Britain. **Progress in Physical Geography**, v. 44, n. 1, p. 31-49, 2019.
- BOARDMAN, J. & FAVIS-MORTLOCK, D. T. The significance of drilling date and crop cover with reference to soil erosion by water, with implications for mitigating erosion on agricultural land in South East England. **Soil Use Manage**, v. 30, p. 40-47, 2014.
- BOARDMAN, J. & FAVIS-MORTLOCK, D. T. The use of erosion pins in geomorphology. *In*: COOK, S. J.; CLARKE, L. E.; NIELD, J. M. (eds.). **Geomorphological Technique** (Online Edition). London: British Society for Geomorphology, 2016. 10p. ISSN: 2047-0371.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elements of the Nature and Properties of Soils**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 2013.
- CASTILLO, C. & GÓMEZ, J. A. A century of gully erosion research: urgency, complexity and study approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 160, p. 300-319, 2016.
- CASTRO, W. de S.; CAMPOS, A. B. de; ZANCOPE, M. H. de 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 (Online)**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 623-640. 2019.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.
- COSTA, Y. T. & RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado, **Rev. Geogr. In: Acadêmica**. v. 9, n. 2, 2015.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 157-189.

DE ALBUQUERQUE, A. O.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; HERMUCHE, P. M. Assessment of gully development using geomorphic change detection between pre- and post-urbanization scenarios. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 232, p. 1-14, 2020.

DE PLOEY, J. & GABRIELS, D. Measuring soil loss and experimental studies. *In*: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. **Soil erosion**, London: Wiley and Sons LTDA, 1980. p. 63-108.

DINOTTE, A. C. B. P.; VIEIRA, C. A.; TEIXEIRA, W. A.; SILVA, J. R. Caracterização e análise da evolução espaço temporal das voçorocas: estudo de caso da microbacia do rio Grande em Gouveia/MG. *In*: Pinheiro, L. S.; Gorayeb, A. (orgs.). **Geografia Física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-14.

ERCOLE, R. F. **Estudo dos processos erosivos em uma área de diretrizes especiais de Nova Lima, Minas Gerais com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado**. 2019. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte. 2019.

ETCHELAR, C. B. **Processos Erosivos em Áreas Úmidas, APA do Banhado Grande – RS**. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, 2017.

FARIA, A. P. Transport of Sediments in First Order Streams: Geomorphological Responses. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 2014.

FARIA, K. M. S. de; NETO, G. B. S.; COSTA, J. V. S.; FERREIRA, M. E. Dinâmica erosiva de processos tropicais: três décadas da erosão Chitolina. *In*: PEREZ FILHO, A. & AMORIM, R. R. (orgs.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 6997-7006.

FERNÁNDEZ, T.; PÉREZ-GARCÍA, J. L.; GÓMEZ-LÓPEZ, J.M.; CARDENAL, J.; CALERO, J.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, M.; DELGADO, J.; TOVAR-PESCADOR, J. Multitemporal analysis of gully erosion in olive groves by means of digital elevation models obtained with aerial photogrammetric and LiDAR. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 260, p.1-29, 2020.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

- FRANCISCO, A. B. Proposta metodológica na Geomorfologia Experimental através de monitoramento de erosão de solos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 2, p. 705-712. 2018.
- FULLEN, M. A. & GUERRA, A. J. T. The potencial of palm (*Borassus*) mat geotextiles as a soil conservation technique. *In: IV SINAGEO*. 2002, São Luís. **Anais [...]**. São Luís: UGB, 2002.
- FULLEN, M. A. & CATT, J. A. **Soil Management: Problems and Solutions**. London: Arnold Publishers, 2004. 269p.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. Why geomorphology is a global science. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 41, n. 1, p. 87-105, 2015.
- GARCÍA-RUIZ, J. M.; BEGUERÍA, S.; NADAL-ROMERO, E.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LANA-RENAULT, N.; SANJUÁN, Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. **Geomorphology**, v. 239, p. 160-173, 201.
- GARRITANO, F. do N. **Diagnóstico da degradação do solo na bacia do Alto rio Pirai (RJ) – monitoramento com uso de VANT em áreas com erosão em diferentes estágios de intervenção**. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2020.
- GHOLAMI, V.; SAHOUR, H.; AMRI, M. A. H. Soil erosion modeling using erosion pins and artificial neural networks. **Catena**, v. 196, 11p., 2021.
- GOODWIN, N. R.; ARMSTON, J.; STILLER, I.; MUIR, J. Assessing the repeatability of terrestrial laser scanning for monitoring gully topography: a case study from Aratula Queensland, Australia. **Geomorphology**, v. 262, p. 24-36, 2016.
- GOUDIE, A. S. The human impact in geomorphology – 50 years of change. **Geomorphology**, v. 366, 2018.
- GOUDIE, A. S. Human impact. *In: GOUDIE, A. & MIGÓN, P. (eds.). Landscapes and landforms of England and Wales*. World Geomorphological Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2020. chap. 4, 16 p.
- GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. *In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. (orgs.). A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 191-218.
- GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: abordagens geográficas**. Curitiba: CRV, 2016. 222p.
- GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH-USP, v. 16, p. 32-37, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47282>. Acesso em: 07 de junho de 2020.

- GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O.; RANGEL, L. de A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. A. S.; GARRITANO, F. do N. Soil erosion, different approaches and techniques applied to gullies and trail erosion. **William Morris Davis Revista de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, p. 75-117, 2020.
- GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. Mapping hazard risk. **Geography Review**, v.22, n.3, p. 11-13, 2009.
- GUERRA, A. J. T. Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos. **Sociedade e Natureza**, v. 15. p. 15-19. 1996.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M.A.; JORGE, C.O.M.; BEZERRA, J.F.R.; SHOKR, M.S. Slope processes, mass movement and soil erosion: a review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, p. 27-41. 2017.
- HAIGH, M. J. The use of erosion pins in the study of slope evolution. **Shorter Technical Methods (II). Technical Bulletin n. 18**, Norwich, UK: British Geomorphological Research Group. Geo Abstracts, 1977. p. 31-49.
- HAIGH, M. J. **Evolution of slopes on artificial landforms**. Blaenavon, U.K.: Research Paper - University of Chicago, Department of Geography; no. 183, 1978. 293p.
- HANCOCK, G. R. & LOWRY, J. B. C. Hillslope erosion measurement - a simple approach to a complex process. **Hydrological Processes**, v. 29, p. 4809-4816, 2015.
- HAO, H.; WANG, J.; GUO, Z.; HUA, L. Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow. **Catena**, v. 173, p. 494-504, 2019.
- HART, E. A.; MILLS, H. H.; LI, P. Measuring erosion rates on exposed limestone residuum using erosion pins: a 10-year-record. **Physical Geography**, v. 38, n. 6, p. 541-555, 2017.
- IONITA, I.; FULLEN, M. A.; ZGŁOBICKI, W.; POESEN, J. Gully erosion as a natural and human-induced hazard. **Natural Hazards**, v. 79, p. S1-S5, 2015.
- IRELAND, H.A.; SHARPE, C.F.S.; EARGLE, D.H. **Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina**. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin, 633, 1939. 142p.
- JARDIM, H. L.; FERNANDES, N. F.; SOUZA, A. P. de. Perda de solo em parcelas de erosão, sob diferentes culturas e técnicas de manejo e a análise de estratégias de conservação. *In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (orgs.). Os desafios da Geografia*

Física na fronteira do conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 4394-4405.

JORGE, M. C. O. & GUERRA, A. J. T. Erosão dos Solos e Movimentos de Massa-Recuperação de áreas degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes. *In*: GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. C. O. (orgs.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. P. 7-30.

JUGIE, M.; GOB, F.; VIRMOUX, C.; BRUNSTEIN, D.; TAMISIER, V.; LE COEUR, C.; GRANCHER, D. Characterizing and quantifying the discontinuous bank erosion of a small low energy river using Structure-from-Motion Photogrammetry and erosion pins. **Journal of Hydrology**, v. 563, p. 418-434, 2018.

JULIAN, C. & NUNES, J. O. R. Uso de VANT e geoprocessamento para cálculo de solo erodido em voçoroca localizada no distrito de Amadeu Amaral. Marília/SP – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 835-845, 2020.

KEARNEY, S. P.; FONTE, S. J.; GARCÍA, E.; SMUKLER, S. M. Improving the utility of erosion pins: absolute value of pin height change as an indicator of relative erosion. **Catena**, v. 163, p. 427-432, 2018.

KIRKBY, M. J.; BULL, L. J.; POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VANDEKERCKHOVE, L. Observed and modelled distributions of channel and gully heads—with examples from SE Spain and Belgium. *In*: **Catena**, v. 50, p. 415– 434. 2003.

KIRKELS, F. M. S. A.; CAMMERAAT, L. H.; KUHN, N. J. The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes — A review of different concepts. **Geomorphology** v. 226, p. 94–105, 2014.

KRENZ, J. & KUHN, N. J. Assessing badland sediment sources using Unmanned Aerial Vehicles. *In*: NADAL-ROMERO, E.; MARTÍNEZ-MURILLO, J. F.; KUHN, N. J. (org.). **Badland dynamics in the context of Global Change.** Amsterdam, Oxford and Cambridge: Elsevier, 2018. p. 255-276.

KRENZ, J.; GREENWOOD, P.; KUHN, N. J. Soil Degradation Mapping in Drylands Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data. **Soil Systems**, v. 3, n. 2, 33p., 2019.

KUHN, N. J.; GREENWOOD, P.; FISTER, W. Use of field experiments in soil erosion research. *In*: THORNBUSH, M. J.; ALLEN, C. D.; FITZPATRICK, F. A. (ed.). **Geomorphological Fieldwork.** Developments in Earth Surface Processes, v. 18, 2014, chapter 5.1, p. 175-200.

LAWLER, D. M. A new technique for the automatic monitoring of erosion and deposition rates. **Water Resources Research**, v. 27, n. 8, p. 2125-2128, 1991.

LAWLER, D. M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, p. 777-821, 1993.

- LEAL, P. C. B. & RODRIGUES, S. C. Uso e comparação do método de estaqueamento, o método DGPS e o Geoprocessamento no monitoramento de uma área na fazenda do Glória - Uberlândia, MG. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 29, p. 18-25, 2011.
- LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – a case study. In: **Geotextiles and geomembranes**, v. 22, p. 399-413. 2004.
- LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R.; MORAIS, M. S. de. Monitoramento dos processos erosivos por voçorocamento na bacia do rio Bacanga, São Luís/MA. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 5847-5857.
- LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. 2013. 216 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- LOUREIRO, H. A. S. **Diagnóstico de erosão por voçorocas: experimentos com geotecnologias e solos na bacia do Alto rio Pirai - Rio Claro-RJ**. 2019. 224 f. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- LOUREIRO, H. A. S. & FERREIRA, S. M. O Papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil. In: GUERRA, A. J. T. e JORGE, M. C. O. (org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p.95-125.
- LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de Laser Scanner Terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 871-892, 2020.
- LUFFMAN, I.; NANDI, A.; LUFFMAN, B. Comparison of geometric and volumetric methods to a 3D solid model for measurement of gully erosion and sediment yield. **Geosciences**, v. 8, n. 86, 15p., 2018.
- MARCHIORO, E. & OLIVEIRA, J. C. Evolução espaço-temporal de voçorocas às margens da rodovia ES-482 em Alegre (ES). **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 125-130, 2014.
- MARCHIORO, E.; LEMOS, F. H.; ALMEIDA JÚNIR, H. C.; FERREIRA, I. G.; JAQUES, J. L.; CARVALHO JÚNIOR, S. M.; OLIVEIRA, P.C. R. DOMÍNGUEZ, V.A.; CUPERTINO, W. Voçorocas no Brasil: aspectos conceituais, dimensionais e metodológicos. In: XI SINAGEO, Geomorfologia: compartimentação de paisagem, processo e dinâmica, 2016, Maringá/PR. **Anais [...]**. Maringá: UGB, 2016.

- MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. *In*: CUNHA, S. B. da & GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 103-138.
- MATHIAS, D. T. & NUNES, J. O. R. Levantamento topográfico de detalhe como subsídio ao monitoramento evolutivo de processos erosivos lineares. X SINAGEO, Geomorfologia, ambiente e sustentabilidade, 2014, Manaus/AM. **Anais [...]**. Manaus: UGB, 2014.
- MORAES, T. T. **Inventário das feições erosivas lineares e monitoramento de sua evolução em imagens CBERS e LANDSAT**. 2013. 97 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- MORGAN, R. P. C. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model. **Catena**, v. 44, p. 305–322. 2001.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3.ed. England: Blackwell Publishing, 2005.
- MUSHI, C. A.; NDOMBA, P. M.; TRIGG, M. A.; TSHIMANGA, R. M.; MTALO, F. Assessment of basin-scale soil erosion within the Congo River Basin: a review. **Catena**, v. 178, p. 64-76, 2019.
- MYERS, D. T.; REDISKE, R. R.; MCNAIR, J. N. Measuring streambank erosion: a comparison of Erosion Pins, Total Station, and Terrestrial Laser Scanner. **Water**, v. 11, n. 1846, 19p., 2019.
- NEARING, M. A.; GOVERS, G.; NORTON, L. D. Variability in soil erosion data from replicated plots. **Soil Science Society American Journal**, v. 63, p. 1829-1835, 1999.
- NGUYEN, K. A.; CHEN, W.; LIN, B.-S.; SEEBOONRUANG, U.; THOMAS, K. Predicting sheet and rill erosion of Shihmen Reservoir watershed in Taiwan using Machine Learning. **Sustainability**, v. 11, n. 3615, 18p. 2019.
- NGUYEN, K. A.; CHEN, W.; LIN, B.-S.; SEEBOONRUANG, U. Using Machine Learning-based algorithms to analyse erosion rates of a watershed in Northern Taiwan. **Sustainability**, v. 12, 2022, 16p. 2020.
- NICHOLS, M. H.; NEARING, M.; HERNANDEZ, M.; POLYAKOV, V. O. Monitoring channel head erosion processes in response to an artificially induced abrupt base level change using time-lapse photography. **Geomorphology**, v. 265, p. 107-116, 2016.
- NICULIȚĂ, M.; MĂRGĂRINT, M. C.; CIOTINĂ, C.; NECULA, N.; VĂCULIȘTEANU, G.; STOILOV-LINU, V.: **River-landslide erosion interaction assessed through LiDAR and UAV SfM high-resolution DEMs, SAR and photogrammetry**, *In*: EGU General Assembly 2020.

NIEMANN, R. S.; ARAÚJO, J. P. de C.; FERNANDES, N. F. Uso dos sistemas de escaneamento a laser terrestre (TLS) na geomorfologia. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org.). **Geografia Física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-10.

OLTMANN, S. O.; MARZOLFF, I.; PETER, D. K.; RIES, J. B. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 4, n. 11, p.3390-3416, 7 nov. MDPI AG. 2012.

PATEL, P. P.; DASGUPTA, R.; MONDAL, S. Using ground-based photogrammetry for fine-scale gully morphology studies: some examples. In: SHIT, P.; POURGHASEMI, H.; BHUNIA, G. (ed.). **Gully erosion studies from India and surrounding regions**. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, 2019. p. 207-220.

PEREIRA, L. dos S. **Análises Físico-Químicas de Solos com Distintas Coberturas Vegetais e Processos Hidroerosivos em Área Degradada na Bacia do Rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PEREIRA, L. dos S. **Análise Hidroerosiva de Trilha em Encosta e Métodos e Técnicas de Educação Ambiental Visando à Geoconservação**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

PEREIRA, L. S. & RODRIGUES, A. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, n. 6, 2013.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. Hydro-erosive processes in degraded soils on gentle slope. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, 2016.

PINESE JÚNIOR, J. F.; SILVA, A. H.; LEAL, P. C. B.; ANDRADE, I. F.; RODRIGUES, S. C. Uso de Parcelas Experimentais no monitoramento da Erosão Laminar em Uberlândia, MG. In: VII SINAGEO e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte/MG. **Anais [...]**. Belo Horizonte: UGB, 2008.

PLENNER, S.; EICHINGER, W. E.; BETTIS, E. A. Simple Terrestrial Laser Scanner for measuring streambank retreat. Technical Note. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 142, 6p., 2016.

PLENNER, S.; EICHINGER, W.E.; BETTIS, E.A. Simple Terrestrial Laser Scanner for Measuring Streambank Retreat. **J. Hydraul. Eng.**, v.142, 2016. Technical Note, 2016.

- POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, p. 64-84, 2018.
- POESEN, J.; DE LUNA, E.; FRANCA, A.; NACHTERGAELE, J. & GOVERS, G. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. **Catena**, v. 36, p. 315–329. 1999.
- POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, p. 91-133, 2003.
- RADEMANN, L. K. & TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da voçoroca do areal, Cacequi-RS. **Geotextos**, Bahia, v. 16, n. 1, p. 209-230, 2020.
- RAMOS, I. Q.; FRANCELINO, M. R.; MAGALHÃES, S. F. C. de; OLIVEIRA, C. M. M. de; SALAMENE, S. Uso do laser scanner na modelagem de voçorocas do estado do Rio de Janeiro. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011. p. 5793-5800.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. 1987.
- RICHTER, D. D.; EPPES, M.-C.; AUSTIN, J. C.; BACON, A. R.; BILLINGS, S. A.; BRECHEISEN, Z.; FERGUSON, T. A.; MARKEWITZ, D.; PACHON, J.; SCHROEDER, P.; WADE, A. M. Soil production and the soil geomorphology legacy of Grove Karl Gilbert. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, p. 1-20, 2020.
- ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. **Algumas técnicas de pesquisa em Geomorfologia**. *In: VENTURI, L. A. B. (org.). Praticando Geografia – técnicas de campo e laboratório*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 69-84.
- SALGADO, J. G. Mapeamento de voçoroca utilizando geotecnologia de levantamento por drone. *In: II SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA*, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: UFJF, 2016.
- SANTOS, E. E. dos & FARIA, A. L. L. Mapeamento e monitoramento de processos erosivos a partir de imagens Ikonos: Um estudo de caso da área urbana do Município de Queluzito (MG). *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011.
- SATO, A. M.; FACADIO, A. C. C.; SILVA, A. P. A.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Relação entre a implantação de plantios de eucalipto e o desenvolvimento de voçorocas: bacia do rio Sesmaria, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *In: IX SINAGEO*, Geomorfologia e eventos catastróficos: passado, presente e futuro, 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: UGB, 2012.
- SEEGER, M. Experiments as tools in geomorphology. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 43, n. 1, p. 7-17, 2017.

SILVA, J. R. da; BERTOLINO, A. V. F. A.; PEREIRA, V. C. M.; SANTOS, C. P.; BARBOSA, I. R.; SILVA, V. M. P. da. Monitoramento da erosão e do escoamento superficial em área de agricultura tradicional de corte e queima - São Pedro da Serra/RJ. *In: PINHEIRO, L. S. & GORAYEB, A. (org.). Geografia Física e as mudanças globais.* Fortaleza: Editora UFC, 2019.

SIQUEIRA JUNIOR, P; SILVA, M. L. N.; CÂNDIDO, B. M.; AVALOS, F. A. P.; BATISTA, P. V. G.; CURTI, N; LIMA, W; QUINTON, J. N. Assessing Water Erosion Processes in Degraded Area Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, p. 1-12, 2019.

SLAYMAKER, O. **Field experiments and measurement program in Geomorphology.** Vancouver: Balkema and UBC Press, 1991. 224p.

SOUFI, M.; BAYAT, R.; CHARKHABI, A. H. Gully erosion in I. R. Iran: characteristics, processes, causes and land use. *In: SHIT, P. K.; POURGHASEMI, H.; BHUNIA, G. (ed.). Gully erosion studies from India and surrounding regions. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development).* Springer, 2020. p. 357-368.

SOUSA, M. M. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.; ARAÚJO NETO, J. R.; MOURA, M. M. S. Influência da cobertura vegetal nas perdas de água e solo em parcelas de erosão no Semiárido Brasileiro. **Revista Geonorte**, edição especial 5, v.7, n. 26, p.160-171, 2016.

STOCKING, M. Measuring land degradation. *In: BLAIKIE, P. & BROOKFIELD, H. (eds.). Land degradation and society.* London: Methuen & Co. Ltd., 1987. p. 49-63.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: Is it possible? **Catena**, v. 64, 162-173. 2005.

SUTHERLAND, R. A. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. II. the post-1990 period. *In: Land Degradation & Development*, v. 9, p. 487-511, 1998.

TEDESCO, A. **Delimitação de Voçoroca com Imagens com Alta Resolução e ALS por Meio de Árvore de Decisão e Geobias.** 2015. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TENG, H.; ROSSEL, R. A. V; SHI, Z; BEHRENS, T.; CHAPPELL, A.; BUI, E. Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 77, p. 156-167, mar. Elsevier BV. 2016.

- THOMAZ, E. L. & VESTENA, L. R. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 37, p. 363-373, 2012.
- VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v. 63 p. 132–153. 2005.
- VENTURI, L. A. B. O papel da técnica no processo de produção científica. *In*: VENTURI, L. A. B. (org.). **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 13-18.
- VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223. 2011.
- VITORINO, D. C.; ALMEIDA, V. G.; CORDEIRO, J.; GUINARÃES, J. C. S. Monitoramento de processos erosivos nas proximidades da Cachoeira da Serenata em Itambé do Mato Dentro/MG, utilizando técnicas de nucleação para estabilização. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 4, p. 1-22, 2019.
- WILKINSON, S. N.; KENSEY-HENDERSON, A. E.; HAWDON, A. A.; HAIRSINE, P. B.; BARTLEY, R.; BAKER, B. Grazing impacts on gully dynamics indicate approaches for gully erosion control in northeast Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 8, p. 1711-1725, 2018.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. Guide to Conservation Farming**. US Department of Agriculture Handbook, 537, 1978. 58p.
- WOLMAN, M. G. Factors influencing erosion of a cohesive river bank. **American Journal of Science**, v. 257, p. 204-216, 1959.
- XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; NETO, I. DE O. B. Processos erosivos superficiais no município de Juazeirinho, Região Semiárida da Paraíba. **Revista Regne**. v. 2, n. especial, 2016.
- ZEGEYE, A. D.; LANGENDOEN, E. J.; STOOFF, C. R.; TILAHUN, S. A.; DAGNEW, D. C.; ZIMALE, F. A.; GUZMAN, C. D.; YITAFERU, B.; STEENHUIS, T. S. Morphological dynamics of gully systems in the subhumid Ethiopian highlands: the Debre Mawi watershed. **Soil**, v. 2, p. 443-458, 2016.
- ŽÍŽALA, D.; JUŘICOVÁ, A.; ZÁDOROVÁ, T.; ZELENKOVÁ, K.; MINAŘÍK, R. Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: south-east moravia, czech republic. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 1, p. 108-122, 2018.