



PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS E GEOMORFOLOGIA: CONEXÕES E APROXIMAÇÕES

BEST MANAGEMENT PRACTICES AND GEOMORPHOLOGY: CONNECTIONS AND APPROXIMATIONS

PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN Y GEOMORFOLOGÍA: CONEXIONES Y APROXIMACIONES

Fábio Luiz Mação Campos¹

¹Professor do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

E-mail: fabiomacao@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9119-6421>

André Luiz Nascentes Coelho²

² Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

E-mail: alnc.ufes@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9068-495X>

Jonas Otaviano Praça de Souza³

³ Professor adjunto da Universidade Federal da Paraíba e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPB

E-mail: jonas.souza@academico.ufpb.br

 <https://orcid.org/0000-0002-1405-0944>

Eberval Marchioro⁴

⁴ Professor associado da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

E-mail: ebervalm@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0207-6087>

RESUMO

As práticas conservacionistas (BMPs) são medidas que contribuem para mitigação de processos de degradação do solo e das águas decorrentes de processos erosivos, configurando-se em uma alternativa promissora para a busca de um ambiente mais equilibrado. A relação dessas práticas com a geomorfologia foi desenvolvida a partir da literatura geomorfológica tradicional e contemporânea. As aproximações revelaram que alguns campos como a antropogeomorfologia, a cartografia geomorfológica, a conectividade de água e sedimentos, a geomorfologia experimental e a integração da geomorfologia aos modelos hidrossedimentológicos em escala de bacia hidrográfica podem contribuir efetivamente para o aprimoramento da utilização das BMPs. O trabalho evidencia que a integração dos estudos sobre BMPs nas pesquisas sobre o relevo pode trazer grande aplicabilidade aos conhecimentos produzidos pela geomorfologia e sugere que geomorfólogos com diferentes áreas de atuação estejam mais atentos à incorporação desta temática em suas pesquisas.

Palavras-chave: Cartografia Geomorfológica. Conectividade. Antropogeomorfologia. Geomorfologia Experimental. Modelagem Hidrossedimentológica.

ABSTRACT

Best Management Practices (BMPs) are measures that contribute to mitigating soil and water degradation processes resulting from erosive processes, representing a promising alternative to search a more balanced environment. The relationship of these practices with geomorphology was developed from traditional and contemporary geomorphological literature. These approaches revealed that some fields such as anthropogeomorphology, geomorphological mapping, water and sediment

Margarida Penteado – Revista de Geomorfologia. v.2 n.1, junho de 2025, p.1-19

<https://doi.org/10.29327/ISSN2966-2958.v2n1.2025.021>

connectivity, experimental geomorphology and integration of geomorphology with hydrosedimentological models on a watershed scale can effectively contribute to improving the use of BMPs. This work shows that the integration of studies on BMPs in research on relief can bring great applicability to the knowledge produced by geomorphology and suggests that geomorphologists with different areas of expertise be more attentive to incorporating BMP into their research.

Keywords: Geomorphological Mapping. Connectivity. Anthropogeomorphology. Experimental Geomorphology. Hydrosedimentological Modeling.

RESUMEN

Las prácticas de conservación (BMP) son medidas que contribuyen a mitigar los procesos de degradación del suelo y del agua resultantes de procesos erosivos, representando una alternativa prometedora para la búsqueda de un medio ambiente más equilibrado. La relación de estas prácticas con la geomorfología se desarrolló a partir de la literatura geomorfológica tradicional y contemporánea. Estos enfoques revelaron que algunos campos como la antropogeomorfología, la cartografía geomorfológica, la conectividad de agua y sedimentos, la geomorfología experimental y la integración de la geomorfología con modelos hidrosedimentológicos a escala de cuenca fluvial pueden contribuir eficazmente a mejorar el uso de las BMP. El trabajo muestra que la integración de los estudios sobre BMP en la investigación sobre el relieve puede aportar una gran aplicabilidad al conocimiento producido por la geomorfología y sugiere que los geomorfólogos con diferentes áreas de actividad estén más atentos a incorporar este tema en sus investigaciones.

Palabras clave: Cartografía Geomorfológica. Conectividad. Antropogeomorfología. Geomorfología Experimental. Modelación Hidrosedimentológica.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia inclui o estudo da ação dos seres humanos como agentes geomórficos, em particular, seus impactos nas formas e processos que ocorrem na superfície terrestre (Huggett, 2011). Sua aplicação ocorre em diversos campos de conhecimento, em especial no Planejamento Ambiental e tem multiplicado o seu papel, no sentido de poder ser empregada para diagnosticar e, principalmente, para prognosticar como promover o desenvolvimento sustentável (GUERRA, 2018). Atualmente, as aplicações em geomorfologia envolvem o uso de princípios e métodos para abordar problemas sociais e de pesquisa em diversas áreas das ciências físicas e biológicas (Keller *et al.*, 2020). No Brasil, a questão ambiental pode ser considerada o agente cimentante geomorfológica (Vitte, 2010).

A geomorfologia, no seu sentido amplo, apresenta importância no suporte à adoção de práticas conservacionistas (BMPs), visto que elas são um conjunto de diretrizes, ações e controles projetados para conservar a paisagem, em especial, os solos e os recursos hídricos (mas não somente), controlando ou mitigando os efeitos da erosão e da poluição de fontes difusas (Hsieh *et al.*, 2010; Martins; Kaleita; Gelder, 2021). O fato de as BMPs serem, predominantemente, estudadas por profissionais e cientistas das engenharias agrícolas e ambientais preocupados com seus efeitos sobre o solo e as águas, enquanto a dinâmica do relevo e sua influência no fluxo de água e sedimentos serem mais analisados por profissionais das geociências contribui para que as relações entre os temas ainda sejam escassas, necessitando ser visitado para ampliar o debate sobre as BMPs.

Uma busca realizada no ano de 2023, na Revista *Geomorphology*, em títulos, resumos e palavras-chave por artigos que possuísem as expressões “*Conservation Practices*”, “*Best Management Practices*” ou “BMPs”, retornou apenas dezesseis correspondências e a leitura/análise dessas publicações evidenciou que os termos eram meramente citados ou o tema era abordado apenas transversalmente. Já na Revista Brasileira de Geomorfologia, o termo “Práticas Conservacionistas” teve apenas dois resultados, cujas pesquisas apenas citavam a não adoção dessas práticas em suas respectivas áreas de estudo.

Um exemplo de ferramenta preditiva para estimar a degradação e perda de solos e auxiliar na adoção de práticas conservacionistas é a Equação Universal da Perda de Solo – USLE (Wischmeier; Smith, 1965) e suas variações. Essa equação prevê a perda de solo com base em cinco fatores: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), uso e manejo do solo (C), práticas conservacionistas (P) e comprimento e declividade da rampa (LS). Embora mudanças metodológicas venham sendo implementadas e tenham gerado outras metodologias (ex.:

RUSLE, MUSLE) desde a criação da equação, os fatores ligados ao relevo (L e S) e às práticas conservacionistas (P) são elementos sempre presentes e reconhecidamente importantes para o tema.

Com o cenário de degradação ambiental cada vez mais intenso que o mundo vivencia, países e instituições de pesquisa têm sido atraídas para a pesquisa de BMPs, que experimentou uma expansão global significativa em anos recentes (Zhuang *et al.*, 2016). Aliado a isso, estudos contemporâneos evidenciam que as características do relevo são primordiais na adoção dessas práticas (ex.: Qin *et al.*, 2018; Shen; Chen; Xu, 2013; Zhu *et al.*, 2019; Zhu; Qin; Zhu, 2020).

Fundamentado nessas considerações, este trabalho buscou apresentar aproximações entre os estudos do relevo e dos processos erosivos e a implantação de práticas conservacionistas (BMPs), com o objetivo de identificar tendências e possibilidades técnicas e científicas em aplicações de pesquisas voltadas para a redução da erosão hídrica e da perda de solo, produção de sedimentos e assoreamento de corpos d'água, aumento da disponibilidade hídrica, melhoria da qualidade e da gestão de águas.

DEFINIÇÕES, CONCEITOS E TIPOLOGIAS DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTA

Em nível nacional, as definições de práticas conservacionistas estão ligadas ao controle dos processos erosivos e são frequentemente usadas na pedologia. Bertoni e Lombardi Neto (2008) definem essas práticas como técnicas que visam aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo. Lepsch (2016) acrescenta que essas práticas permitem controlar a erosão evitando o impacto da chuva e/ou o escoamento das enxurradas.

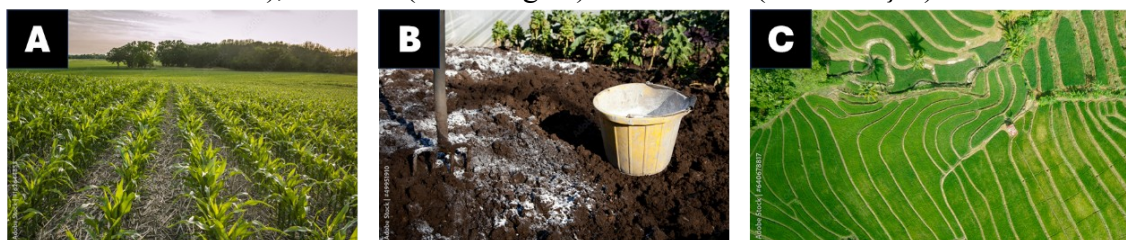
Na literatura internacional, essas técnicas são mais comumente chamadas de Agricultural BMP, *Best Management Practices* ou simplesmente BMPs (Anne-Arundel, 2017; Arroio Júnior, 2017; Campos; Coelho, 2022b; Silva *et al.*, 2023). No entanto, a expressão BMP também é usada para outros fins correlatos aos recursos hídricos, como para gestão de águas pluviais, operações florestais e aquicultura (Cristan *et al.*, 2016; Dickson *et al.*, 2016; Kuruppu; Rahman; Rahman, 2019) e como expressão genérica para diversas outras aplicações.

No que diz respeito à conservação do solo e da água, a expressão BMP é, frequentemente, associada à redução da poluição por fontes difusas e contenção dos efeitos da erosão (Fox *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2023; Rittenburg *et al.*, 2015; Xie; Chen; Shen, 2015; Yuan; Dabney; Bingner, 2002), por isso, neste artigo, a expressão BMPs será usada como sinônimo de práticas conservacionistas.

As BMPs podem ser consideradas soluções baseadas na natureza (*Nature Based Solutions* – *NbS*) para mitigar os picos de escoamento/vazão, a erosão do solo e a poluição de fontes difusas (Srivastava *et al.*, 2023; Uniyal *et al.*, 2020). Além disso, podem ser definidas também como operações agrícolas e estratégias de manejo conduzidas com o objetivo de controlar a erosão do solo, prevenindo ou limitando o desprendimento e o transporte de partículas do solo (Baumhardt; Blanco-Canqui, 2014).

A classificação dos tipos de práticas conservacionistas pode variar conforme a abordagem de diferentes autores. A abordagem mais comum no Brasil divide essas práticas em três categorias: as vegetativas, as edáficas e as mecânicas (Bertoni; Lombardi Neto, 2008; EPAMIG, 2023; Guerra; Silva; Botelho, 1999; Lepsch, 2016) – ver exemplos da Figura 1.

Figura 1 - Exemplos de práticas conservacionistas de água e solo vegetativas (A – Plantio direto), Edáficas (B – Calagem) e Mecânicas (C – Terraços).



Fonte: Adobe Stock (2023).

As práticas de caráter edáfico dizem respeito ao solo e procuram manter e melhorar sua fertilidade e, por conseguinte, melhoram indiretamente o controle da erosão, com a utilização de fertilizantes e nutrientes. Práticas de caráter vegetativo, por sua vez, são métodos de cultivo que visam controlar a erosão pelo aumento da cobertura vegetal do solo. Por fim, as práticas mecânicas dizem respeito ao trabalho de conservação do solo com utilização de máquinas, que introduzem alterações no relevo ou se utilizam de estruturas artificiais para redução da velocidade do escoamento da água sobre a superfície do terreno e aumento da infiltração (Guerra; Silva; Botelho, 1999; Lepsch, 2016; Pruski, 2006). Como exemplos mais comuns utilizados por esses autores podem-se citar o Reflorestamento, o Manejo de pastagens, o Plantio direto e culturas em faixas (práticas vegetativas), a Adubação verde, a Calagem, a Adubação orgânica, a Eliminação e controle do fogo (edáficas), os Terraços, as Barraginhas e os Canais escoadouros (mecânicas).

Similarmente a essa classificação, Morgan (2005) divide as práticas conservacionistas em agronômicas e mecânicas, reconhecendo na primeira categoria a existência das práticas chamadas de caráter vegetativo e edáfico pelos autores brasileiros.

Outra forma de classificar as práticas são as categorias de BMPs não estruturais e estruturais (Hsieh *et al.*, 2010; Kaini; Artita; Nicklow, 2012; Martins; Kaleita; Gelder, 2021), que se assemelham ao que, Uniyal *et al.* (2020), chamam de BMPs baseadas em solo e em paisagem, em que as do primeiro grupo visam conservar e melhorar a saúde do solo e suas funções e as do segundo focam no conceito de conectividade de fluxos com transferência de sedimentos entre diferentes compartimentos da paisagem/relevo. A análise das classificações oferecidas por esses autores permite concluir que as categorias de BMPs estruturais e baseadas em paisagem são similares ao que é classificado como práticas mecânicas pelos autores brasileiros.

Kaini, Artita e Nicklow (2012) argumentam que as BMPs estruturais têm sido amplamente utilizadas para controlar o escoamento, sedimentos e nutrientes, tanto em bacias urbanas quanto agrícolas e agem, principalmente, na alteração do relevo e do fluxo hídrico. Martins, Kaleita e Gelder (2021) acrescentam que essas práticas são tipicamente implementadas nas áreas mais sensíveis. Outros autores (ex.: Bertoni; Lombardi Neto, 2008; Morgan, 2005) advertem, porém, que as medidas mecânicas ou estruturais são largamente ineficazes por si só e sua principal função é complementar as medidas agronômicas ou vegetativas que têm um custo de implantação menor e, isoladamente, são mais efetivas que as práticas mecânicas (Silva *et al.*, 2023).

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA GESTÃO DE ÁGUAS

A deterioração da qualidade do solo e da água devido à erosão é um problema mundial em áreas agrícolas e a erosão severa pode tornar a terra improdutiva (Daggupati *et al.*, 2010; Nepal; Parajuli, 2022). Por isso, práticas conservacionistas têm sido desenvolvidas e utilizadas para melhorar a qualidade e quantidade da água (Chang; Lo; Huang, 2008; Martins;

Kaleita; Gelder, 2021) e sua implementação pode ajudar a controlar o transporte de sedimentos e nutrientes poluentes das bacias hidrográficas, prevenir a degradação do ecossistema e melhorar a produtividade agrícola (Bhattarai; Parajuli, 2023; Mtibaa; Hotta; Irie, 2018; Uniyal *et al.*, 2020).

Elas podem ser implementadas em diferentes escalas espaciais para controlar a erosão, reduzir a poluição de fontes difusas e proteger o ambiente de uma bacia hidrográfica (Qin *et al.*, 2018). Nos últimos anos, a implementação de BMPs se expandiu da escala de campo para grandes bacias hidrográficas e escalas regionais com o desenvolvimento do sensoriamento remoto, dos Sistemas de Informações Geográficas e dos Modelos de bacias hidrográficas (Zhuang *et al.*, 2016).

A aplicação das práticas conservacionistas auxilia na gestão dos recursos hídricos por meio da redução do aporte de sedimentos nos corpos d'água. Os sedimentos são considerados importantes vetores de nutrientes e contaminantes, os quais podem afetar negativamente as áreas a jusante de bacias e seu gerenciamento pode ajudar a minimizar os impactos de outros contaminantes (Noe *et al.*, 2020).

O gerenciamento dos processos hidrológicos e de sedimentos por meio das BMPs, no entanto, precisa ser adequadamente planejado. Morgan (2005) argumenta que o controle da erosão depende de uma boa gestão, o que implica o estabelecimento de cobertura vegetal suficiente e a seleção de práticas adequadas, acrescentando que a conservação do solo depende fortemente de métodos agronômicos e edáficos, com práticas mecânicas desempenhando um papel de apoio.

A boa gestão do controle da erosão via BMPs passa, portanto, pela seleção, design e alocação adequados, pois se os gestores de terras não reconhecerem a hidrologia dominante de uma paisagem, as BMPs provavelmente serão ineficazes (Brooks *et al.*, 2015). Como a hidrologia e o transporte de sedimentos numa bacia hidrográfica guardam forte relação com as características do relevo, a geomorfologia, enquanto ciência responsável por esse objeto de estudo, tem papel importante no aprimoramento da utilização das BMPs.

RELAÇÕES COM O RELEVO

Considerada a relevância, o potencial do uso das BMPs no atual contexto ambiental e social e suas principais características, as primeiras aproximações entre essa temática e a ciência geomorfológica podem ser empreendidas.

O relevo apresenta-se como elemento fundamental para a otimização da alocação das BMPs, passo essencial para alcançar um planejamento e gestão eficientes de bacias hidrográficas (Maringanti; Chaubey; Popp, 2009).

No que diz respeito à alocação das práticas conservacionistas, vários estudos vêm desenvolvendo e aprimorando metodologias e procedimentos a fim de otimizar a alocação de BMPs em bacias hidrográficas de várias escalas. Seja com o objetivo de atingir determinadas metas ou de aproveitar melhor os recursos disponíveis para investimento, essas avaliações têm sido realizadas por meio do uso de modelos hidrossedimentológicos.

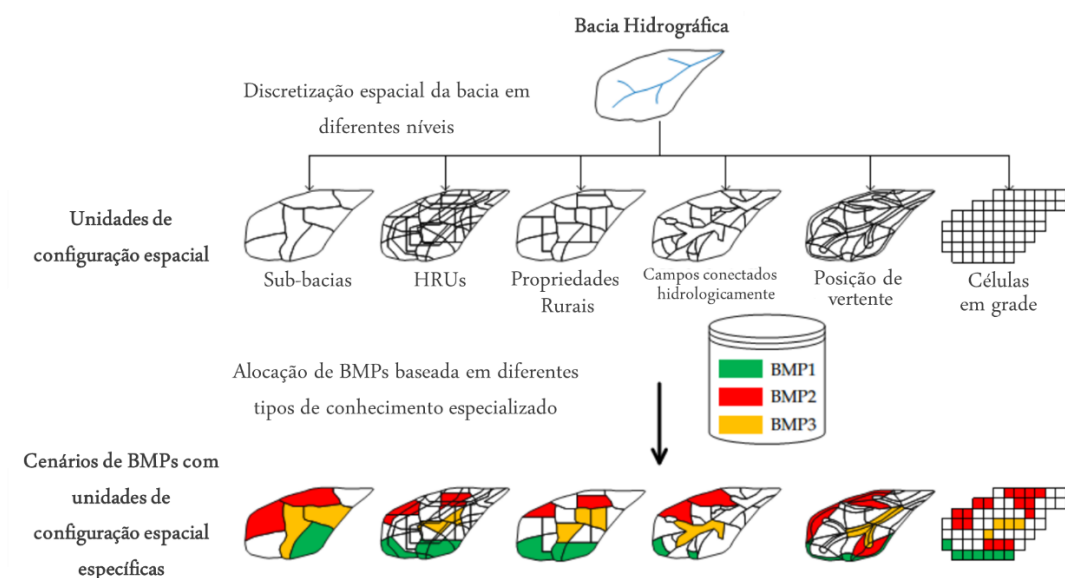
Na análise desses estudos pode-se perceber que as unidades espaciais ou compartimentos da paisagem utilizados são diversos, entre os quais se destacam as Unidades de Resposta Hidrológica – HRUs (Unidades de paisagem criadas pelo modelo hidrológico SWAT), as sub-bacias hidrográficas e os campos agrícolas. No entanto, diferentes configurações espaciais para a aplicação de BMPs na escala de bacia hidrográfica podem ter eficácia ambiental, eficiência econômica e praticidade para o manejo integrado das bacias hidrográficas significativamente diferentes (Zhu *et al.*, 2019).

A literatura mais recente sobre o tema vem apontando para a importância do relevo na criação de cenários ótimos de alocação de BMPs em bacias hidrográficas, como o que foi

realizado por Qin *et al.*, (2018). Nele, os autores se utilizaram de um algoritmo genético para encontrar um cenário ótimo de distribuição das BMPs numa bacia hidrográfica, mas propuseram uma abordagem de otimização espacial baseada na posição da vertente (Topo, Encosta e Vale). Eles compararam essas unidades da paisagem com outras formas de distribuição das BMPs pela área da bacia gerados pelo mesmo algoritmo. Por fim, os resultados experimentais mostraram que a abordagem é eficaz e eficiente na proposição de cenários de BMP praticáveis para a gestão integrada de bacias hidrográficas, quando comparados com a abordagem aleatória (Qin *et al.*, 2018).

A fim de avaliar a efetividade da implementação de BMPs em diferentes compartimentos espaciais existentes nas bacias (Figura 2) Zhu *et al.*, (2019) realizaram a comparação de quatro tipos de compartimentos (HRUs, HRUs espacialmente explícitas, campos hidrologicamente conectados e posições da encosta). A conclusão revela que os campos hidrologicamente conectados e as unidades de posição de encosta, por adotarem um conhecimento geomorfológico, são os compartimentos mais valiosos para alocação de BMPs.

Figura 2 - Combinações de unidades espaciais e BMPs testados por Zhu et al (2019).



Fonte: Adaptado de Zhu et al (2019).

Em outro estudo foi proposto um limite adaptativo para as unidades onde as BMPs deviam ser implementadas. Nesse estudo, Zhu, Qin & Zhu (2020) concluíram que o ajuste das configurações das unidades espaciais não foram adequadamente considerados em métodos existentes anteriormente. Os autores afirmaram que a otimização de cenários de BMP com base em limites adaptativos das posições da vertente são mais eficientes, evidenciando que os conhecimentos ligados ao relevo vêm mostrando ter grande potencial para auxiliar nesses processos.

CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA E A QUESTÃO DA ESCALA NA ALOCAÇÃO DE BMPS

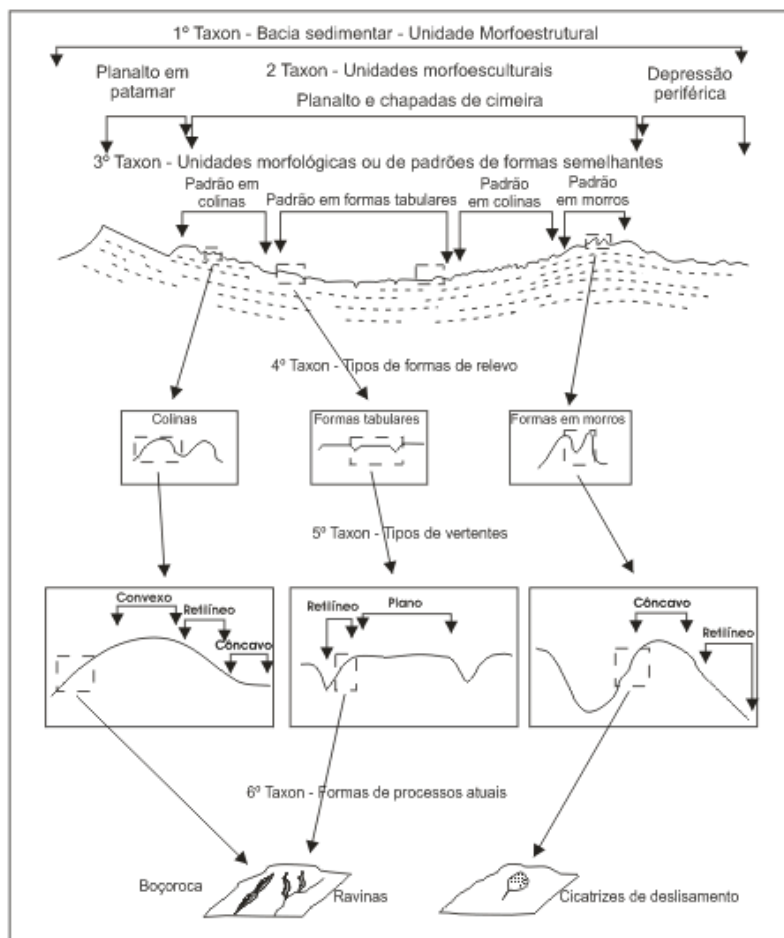
Os procedimentos para escolha de escala, explicação e resolução precisam ser planejados de forma a permitir a representação apropriada dos interesses relacionados à escala (Cash *et al.*, 2006). Assim, a identificação de áreas de gestão prioritária pode ser considerada como o primeiro passo na configuração espacial de BMPs para o gerenciamento de bacias hidrográficas, cujos fatores que afetam as decisões como planos de investimento, disposição das partes interessadas, metas ambientais e eficácia das BMPs, podem ser considerados (Wu *et al.*, 2023). Portanto, a identificação de áreas sensíveis é uma questão fundamental para a gestão de bacias hidrográficas (Chen *et al.*, 2022). Considerando que o relevo é um dos mais importantes fatores para identificação dessas áreas, a cartografia geomorfológica é uma abordagem com grande potencial para auxiliar nos processos de seleção e alocação de BMPs, haja vista seu potencial de espacializar feições e formas de relevo e correlacioná-las com os processos atuantes.

As formas de relevo definem as condições de contorno para os processos operativos nos campos da geomorfologia, hidrologia, ecologia, pedologia e outros, e tem sido consistentemente usadas para interpretar ou inferir processos de formação de encostas, como erosão e denudação, acumulação e deposição (MacMillan; Shary, 2009). O mapeamento dessas formas pode ser correlacionado às melhores áreas para aplicação das BMPs. Técnicas de cartografia geomorfológica possibilitam realizar uma compartimentação topográfica, destacando as feições do relevo onde determinadas BMPs tendem a ter maior eficácia e identificando as porções do espaço geográfico que são mais aptas a serem utilizadas para sua alocação (Theler *et al.*, 2010).

A escala é uma das principais questões no mapeamento geomorfológico (Smith; Paron; Griffiths, 2011) e os compartimentos de relevo podem ser identificados em diferentes escalas de abordagem, podendo, por exemplo, ser classificados em níveis taxonômicos. A fim de ilustrar e relacionar a questão da escala e dos táxons do relevo com a sua possível utilização para fins de alocação de BMPs, podem-se tomar como exemplo os seis níveis para a representação geomorfológica propostos por Ross (1992), nos quais os táxons representam diferentes escalas de mapeamento (Figura 3). Essa proposta (Ross, 1992) exemplifica uma questão importante: identificar quais táxon(s) irão responder melhor ao objetivo que se pretende atingir, pois pode ser correlacionado com a escala mais apropriada para mapeamento do relevo.

A depender do planejamento que se deseja fazer, diferentes unidades taxonômicas podem ser utilizadas. Um planejamento em escala regional para definição de áreas prioritárias numa determinada região hidrográfica, o mapeamento do relevo a partir do 3º táxon, como o realizado na escala 1:250.000 pelo IBGE (2023) poderia indicar áreas de maior tendência erosiva, uma vez que um dos critérios para espacialização das unidades é o índice de dissecação do relevo proposto por Ross (1992). Para unidades de planejamento menores, um maior detalhamento das unidades/formas deve ser realizado, podendo chegar até o 6º táxon, quando se tratar de uma pequena propriedade ou campo agrícola.

Figura 3 - Proposta taxonômica de cartografia geomorfológica de Ross (1992).



Fonte: Ross (1992).

É importante ressaltar que, com um maior detalhamento, pode-se identificar a condição topográfica local, característica essencial para definição de fontes críticas de erosão (Mtibaa; Hotta; Irie, 2018) e áreas de gestão prioritárias (Wu *et al.*, 2023). As características topográficas condicionam o comportamento hidrológico superficial e, consequentemente, os processos erosivos (Chen *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). Em relação à morfologia das encostas, Gray (2013) mostrou que os perfis de encostas côncavas parecem ser mais estáveis e geram menos sedimentos do que encostas planas e uniformes. Outros autores como Sabzevari e Noroozpour (2014) mostram que as encostas divergentes tendem a manter maior fluxo de água. De Lima *et al.* (2018) evidenciam que a forma das encostas afeta o processo de produção de sedimentos para todos os tipos de precipitações e que encostas convexas produzem mais transporte de sedimentos do que formas de encostas uniformes e côncavas. Ao analisar o comportamento do escoamento em encostas de diferentes configurações, Meshkat *et al.* (2019) constataram que os menores valores médios de escoamento foram obtidos em encostas convexo-convergente e convexo-divergente. Os autores reconhecem que esses resultados podem ser úteis para projetar medidas planejadas de controle da erosão do solo onde a rugosidade do solo e a morfologia das encostas desempenham um papel fundamental na ativação da geração de escoamento superficial.

O mapeamento dessas unidades/feições geomorfológicas pode ser realizado de forma automatizada, como proposto, por exemplo, por Guimarães *et al.* (2017) para o 3º táxon, Bortolini *et al.* (2018) para o 4º ou Campos e Coelho (2022) para o 5º, haja vista que o acesso e utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) globais e regionais facilitam a utilização

de dados geomorfométricos (Pike; Evans; Hengl, 2009) na análise geomorfológica e, consequentemente, no planejamento e alocação das BMPs.

Escala cartográfica mais generalistas podem ser aplicadas à definição de áreas prioritárias. Porém, para a escolha de onde cada BMPs deve ser aplicada, pode-se considerar que as interpretações mais adequadas dos sistemas geomorfológicos devem ser aquelas citadas por Marques Neto (2020) como escalas locais de semidetalhe (1:50.000) e escala local de detalhe (1:10.000 ou maiores).

Dessa forma, uma análise dos efeitos da aplicação das BMPs sobre a dinâmica do relevo e dos fluxos de matéria e energia também devem ser analisados numa perspectiva multiescalar, alinhada com os objetivos dos projetos e estudos em questão, sendo necessário o aprofundamento dos estudos envolvendo os dois temas a fim de apontar diretrizes mais assertivas.

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS COMO ESTUDOS DE ANTROPOGEOMORFOLOGIA

No escopo da antropogeomorfologia, tanto as formas naturais de relevo quanto os processos atuantes são influenciados pelo ser humano, de forma que as taxas dos processos antropogeomorfológicos estão correlacionadas com graus de desenvolvimento da sociedade (Nir, 1983). Outros estudiosos também reconhecem o potencial da geomorfologia aplicada para a área ambiental. Hart (1986), por exemplo, destaca o manejo ambiental como um dos três principais ramos de atuação nessa disciplina.

Utilizando os princípios da antropogeomorfologia, Rodrigues (2005) destaca a necessidade de superação de abordagens com ênfase nos elementos exclusivamente naturais e reforça a importância do tratamento simultâneo e sistemático das interferências antrópicas. Assim, o estudo dos desdobramentos da intervenção humana nas paisagens e processos configura-se como um dos aspectos mais relevantes dessa abordagem.

Essa tendência de estudo conjunto dos processos naturais e das ações humanas sobre o relevo relaciona-se diretamente com o uso dos conhecimentos geomorfológicos para o planejamento e alocação de práticas conservacionistas. Afinal, essas práticas são intervenções humanas que resultam na alteração da dinâmica de água e sedimentos e, consequentemente relacionam-se com a dinâmica do solo e do relevo.

Cada tipo de BMP tem uma eficiência diferente na retenção de sedimentos e, portanto, diferentes impactos nas cargas sedimentares nos cursos d'água (Noe *et al.*, 2020). Dessa forma, o entendimento de como as práticas conservacionistas influenciam os processos geomorfológicos tem uma grande aplicabilidade na gestão de recursos hídricos e inúmeras possibilidades de investigação no âmbito da geomorfologia.

A título de exemplos do potencial da avaliação de práticas conservacionistas e sua relação com o relevo, podem-se citar experimentos realizados por Zhang *et al.* (2018) que testaram a eficiência da retenção de sedimentos por uma prática denominada faixas de grama (*grass strips*) em diferentes posições da encosta e concluíram que, a 60% do comprimento, as funções de conservação do solo e da água eram ótimas, tendo o escoamento superficial de água e sedimentos reduzidos em até 62,93%. Os autores mostraram ainda que a aplicação da técnica em encostas convexas foi mais eficaz para controlar a perda de solo e água.

Mtibaa, Hotta e Irie (2018) constataram que a eficácia das BMPs na redução da produção de sedimentos depende do ângulo de inclinação da área alvo. Por exemplo, as práticas de cultivo em faixas de grama e de cristas de contorno foram mais eficazes quando implementadas em áreas com declives suaves do que em áreas com declives acentuados. Rittenburg *et al.* (2015) reuniram estudos sobre a efetividade de BMPs e mostram que os terraços são altamente eficazes

em tipos de terrenos íngremes e moderadamente íngremes para determinadas condições do solo, mas não têm efetividade para outras.

Apesar da ampla implementação de BMPs, questões sobre qual a eficiência e combinação de práticas atingirá melhor determinados objetivos permanecem e existe uma série de oportunidades e questões-chave para as pesquisas com BMPs que precisam ser resolvidas, entre as quais o entendimento da eficiência das diversas práticas, conforme as variações das condições de locais de relevo (Liu *et al.*, 2017).

Desse modo, a quantificação das taxas de perda de solo e da transferência de sedimentos antes e após a implantação de diferentes BMPs em diferentes configurações de relevo ou mesmo a aplicação de uma mesma BMP em configurações geomorfológicas diferentes são informações que certamente ajudariam a demonstrar as melhores maneiras de planejar e alocar essas práticas numa bacia hidrográfica.

Estudos nesse sentido podem se configurar um campo útil, promissor e aplicado para as pesquisas geomorfológicas, abrangendo tanto a antropogeomorfologia como a geomorfologia experimental e teriam aplicação praticamente imediata como subsídio ao planejamento e à alocação de BMPs.

CONECTIVIDADE DE ÁGUA E SEDIMENTOS

Outra abordagem emergente na geomorfologia com potencial para auxiliar o planejamento e a alocação de BMPs é a conectividade de água e sedimentos. A conectividade de sedimentos pode ser entendida como a transferência de sedimentos entre diferentes compartimentos da paisagem através das relações entre seus componentes (Zanandrea *et al.*, 2020) ou, como definiu Bracken *et al.* (2015), entre as zonas geomórficas de uma bacia hidrográfica. Já a conectividade hidrológica é a dinâmica de transferência da água entre compartimentos da paisagem e/ou ciclo hidrológico, entendendo-se o deslocamento da água como meio de transporte de matéria e energia, em especial sedimentos e nutrientes (Bracken *et al.*, 2015).

O conceito de conectividade surgiu no gerenciamento de sedimentos para descrever a transferência de sedimentos de diferentes seções de paisagens em várias escalas espaciais e temporais (Najafi *et al.*, 2021) e diversas BMPs tendem a atuar no controle ou gerenciamento do transporte de sedimentos.

Nas geociências, o conceito de conectividade está sendo utilizado e ampliado de diversas maneiras (Baartman *et al.*, 2020) e tem se mostrado útil para explicar como a configuração de uma bacia hidrográfica controla o transporte de sedimentos (Mahoney; Fox; Al Aamery, 2018). Sua análise provou ser uma abordagem muito valiosa na compreensão dos fluxos de escoamento nas bacias hidrográficas (Hooke; Souza; Marchamalo, 2021).

Para Zanandrea *et al.* (2020), a conectividade dos sedimentos é uma ferramenta potencial aos gestores de recursos hídricos, trazendo benefícios por meio da manutenção ou restauração de formas variadas de conectividade. Para os autores, os índices de conectividade podem auxiliar na gestão de bacias hidrográficas, vinculando diversas áreas e auxiliando no entendimento da dinâmica dos sistemas naturais, por isso, infere-se que esses índices podem ser usados também como parâmetros para desenvolvimento, definição e alocação de práticas conservacionistas. Atualmente, existem índices que são recorrentemente utilizados no mundo, sendo os de Borselli, Cassi e Torri (2008) e de Cavalli *et al.* (2013) os mais utilizados.

Quando a paisagem é “desconectada”, a transformação das chuvas no escoamento é reduzida o que, por sua vez, diminui o risco de inundações, secas e problemas de erosão (Uniyal *et al.*, 2020). Assim, o entendimento e a consideração do conceito de conectividade e de seus índices para a implantação de BMPs pode ter grande utilidade por sua capacidade de relacionar os processos de perda de solo e o aporte de sedimentos nos corpos d’água.

Noe *et al.* (2020) demonstram como a melhor compreensão das fontes de sedimentos, áreas de armazenamento e tempos de residência e transporte podem ajudar a direcionar as escolhas de tipos e locais de BMPs para melhor gerenciar os problemas de sedimentos.

Marchioro *et al.* (2023) demonstraram a importância da cobertura vegetal como fator minimizador da conectividade de sedimentos, sendo que a sua retirada contribui para o aumento no índice de conectividade de até três vezes na ordem de grandeza.

O aprimoramento de índices de conectividade e sua aplicação junto aos estudos sobre práticas conservacionistas também configura um promissor campo de estudo para a geomorfologia. Corroborando com isso, Wu *et al.* (2023) destacam que uma das questões que merecem atenção de pesquisas futuras é como quantificar a conectividade entre posições da paisagem e canais e seus efeitos na identificação de prioritárias para aplicação de BMPs.

MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E BMPs

Os modelos hidrossedimentológicos tem sido cada vez mais usados para avaliar a eficácia das práticas conservacionistas (Wang *et al.*, 2018). Esses modelos podem ser úteis para conectar os temas geomorfologia e BMPs, haja vista que a modelagem dos processos erosivos pode permitir testar quanto e como conceitos e diretrizes advindos da geomorfologia podem contribuir para redução do aporte de sedimentos e da perda de solo por meio da implementação de BMPs.

Fox *et al.* (2021) afirmam que as BMPs demonstraram ser eficazes na melhoria da qualidade da água na escala da parcela e de campo agrícola, mas adverte, assim como Parsons *et al.* (2006), que sua eficácia nessas escalas não se traduz necessariamente em melhorias na escala da bacia hidrográfica. Por isso, o uso de modelos que representem bem essa relação é de suma importância.

A seleção, avaliação e otimização de BMPs baseados em SIG e modelagem tem se tornado uma direção de pesquisa próspera para estabelecer a relação custo-benefício dessas práticas e é uma tendência inevitável que o design e a combinação otimizada de novos BMPs sejam necessários no futuro Zhuang *et al.* (2016). No que diz respeito à interação com a geomorfologia, os resultados da modelagem podem ajudar a identificar quais são as feições e escalas/táxons mais apropriados para aplicação de BMPs e auxiliar no planejamento da distribuição das práticas ao longo da bacia hidrográfica.

Muitos pesquisadores têm feito esforços para fornecer estratégias à alocação de BMPs por métodos ideais (Wang *et al.*, 2023) e identificação das áreas críticas para sua aplicação é uma questão que merece atenção de futuras pesquisas, propondo outros tipos de unidades espaciais com o auxílio de modelos (Wu *et al.*, 2023). A abordagem geomorfológica, neste contexto, pode ser usada para testar a efetividade de BMPs em diferentes compartimentos de relevo.

A busca por essa distribuição otimizada vem sendo realizada por vários estudos e a incorporação dos conceitos ligados à geomorfologia e à transferência/conectividade de sedimentos ainda podem avançar nessa direção, conforme apontado por Qin *et al.* (2018; Zhu *et al.* (2019) e Zhu, Qin e Zhu (2020).

Com base numa revisão de literatura, Xie, Chen e Shen (2015) identificaram dezessete modelos que foram utilizados para avaliação de BMPs agrícolas. Entre esses, os autores destacaram quatro para uma avaliação mais detalhada e demonstraram que o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) foi capaz de avaliar o efeito de mais de tipos de BMPs (Figura 4).

O modelo SWAT é usado para avaliar o impacto das BMPs na poluição de fontes difusas em áreas altamente propensas à erosão dentro de uma bacia hidrográfica (Arnold *et al.*, 1998; Nepal; Parajuli, 2022) e pode ser acoplado a técnicas de otimização multiobjetivo para seleção

e alocação de BMPs para um equilíbrio entre a viabilidade econômica desejada e os resultados ambientais alcançados (Himanshu *et al.*, 2019).

Figura 4 - Práticas conservacionistas simuladas por diferentes modelos hidrológicos com destaque para performance do SWAT.

[illegible]

Fonte: Adaptado de Xie et al (2015).

A modelagem hidrossedimentológica e a geomorfologia experimental podem ainda se retroalimentar, contribuindo com o desenvolvimento de uma e outra. Experimentos de campo e de laboratório com BMPs, como os sumarizados por Liu *et al.*, (2017), permitem a testagem dos efeitos dessas práticas sobre diferentes configurações de relevo. As informações advindas desses experimentos podem ajudar a aprimorar os modelos hidrossedimentológicos para que esses simulem mais adequadamente os efeitos da aplicação dessas práticas em termos da alteração da erosão, do aporte de sedimentos e do fluxo da água.

Isso poderia tornar as simulações dos efeitos das BMPs sobre a disponibilidade hídrica mais precisas e seria possível compreender melhor como a aplicação das BMPs em diferentes formas de relevo e diferentes locais das bacias hidrográficas influenciaria seu comportamento hidrossedimentológico.

CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi realizar uma aproximação entre a geomorfologia e seu potencial para desenvolvimento de estudos sobre a alocação de BMPs. A revisão de literatura realizada e as aproximações entre os conceitos ora tratados, apontam que a geomorfologia e os estudos do relevo têm um grande potencial para contribuir tanto para *design*, quanto para o desenvolvimento e a alocação das práticas conservacionistas.

A geomorfologia experimental pode expandir suas possibilidades de atuação ao tratar dos problemas práticos da alocação de BMPs e buscar resultados que contribuam para um uso mais eficiente dessas práticas. Experimentos relativos à perda de solo e transferência de sedimentos nas diferentes formas de relevo, podem trazer informações importantes para indicar a eficácia de diferentes BMPs em diferentes locais.

A cartografia do relevo constitui-se num instrumento essencial para o aprimoramento da alocação de práticas conservacionistas, haja vista estudos recentes sobre otimização de alocação de BMPs que têm indicado o relevo como fator primordial nesse processo. Ressalta-se a importância de uma abordagem multiescalar, multitemporal e adaptada aos objetivos que se deseja alcançar. As técnicas de geomorfometria e de modelagem espacial do relevo são especialmente valiosas para o mapeamento destinado à alocação de BMPs.

A utilização de modelos hidrossedimentológicos incorporando conceitos geomorfológicos pode render frutos importantes para a gestão ambiental, hídrica e territorial.

Conceitos relativamente recentes como o de conectividade de sedimentos, podem ser fortemente incorporados ao estudo da eficácia BMPs, sendo um campo promissor para a pesquisa em geomorfologia.

Não esteve no escopo deste estudo aprofundar-se em nenhum aspecto em especial e, obviamente, outras abordagens podem identificar outros *fronts* de atuação da geomorfologia com relação às BMPs. Estudos que correlacionem de maneira direta os conhecimentos sobre a morfodinâmica e cartografia geomorfológica com os processos de alocação das BMPs tendem a ser muito bem-vindos no meio científico.

Sugere-se que investigações, considerando aspectos mais específicos e/ou quantitativos da perda de solo e da transferência de sedimentos, sejam realizadas focando no preenchimento de lacunas acerca da aplicação de BMPs embasados nos conhecimentos geomorfológicos novos ou já consolidados. A multidisciplinaridade das pesquisas sobre BMPs pode ser enriquecida com a incorporação dos estudos oriundos da geomorfologia.

Por fim, torna-se importante que os geomorfólogos tenham mais atenção às aplicações práticas de seus conhecimentos, às implicações da dinâmica atual do relevo sobre a qualidade ambiental e a outros aspectos que se relacionam ao uso, aprimoramento, planejamento e alocação de BMPs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo apoio à pesquisa por meio do financiamento de projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADOBE-STOCK. **Adobe Stock images**. 25 mar. 2023. **Website**. [Banco de Imagens]. Disponível em: <https://stock.adobe.com/>.

ANNE-ARUNDEL, S. C. D. **Best Management Practices**. 2017. **Anne Arundel Soil Conservation District**. Disponível em: <https://www.annearundelscd.org/agriculture/best-management-practices/>.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.

ARROIO JÚNIOR, P. P. **Aprimoramento das rotinas e parâmetros dos processos hidrológicos do modelo computacional Soil and Water Assessment Tool - SWAT**. 2017. Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. DOI 10.11606/T.18.2017.tde-25052017-084925. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-25052017-084925/>. Acesso em: 6 out. 2020.

BAARTMAN, J. E. M.; NUNES, J. P.; MASSELINK, R.; DARBOUX, F.; BIELDERS, C.; DEGRÉ, A.; CANTREUL, V.; CERDAN, O.; GRANGEON, T.; FIENER, P.; WILKEN, F.; SCHINDEWOLF, M.; WAINWRIGHT, J. What do models tell us about water and sediment connectivity? **Geomorphology**, [s. l.], v. 367, p. 107300, out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107300>.

BAUMHARDT, R. L.; BLANCO-CANQUI, H. Soil: Conservation Practices. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 153–165. DOI 10.1016/B978-0-444-52512-3.00091-7. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444525123000917>. Acesso em: 17 out. 2023.

BERTONI, José.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6[®] ed. São Paulo: Ícone Editora, 2008.

BHATTARAI, S.; PARAJULI, P. B. Best Management Practices Affect Water Quality in Coastal Watersheds. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 4045, 23 fev. 2023.

<https://doi.org/10.3390/su15054045>.

BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **CATENA**, [s. l.], v. 75, n. 3, p. 268–277, 15 nov. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>.

BORTOLINI, W.; TABORDA DA SILVEIRA, C.; PINHEIRO SILVEIRA, R. M.; FRANÇA DA SILVA, J. M. Técnicas Geomorfométricas Para a Identificação de Padrões de Relevô: Aplicação nas Cartas Curitiba e Cerro Azul, Estado do Paraná. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 36, p. 15–32, 20 dez. 2018.

<https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.144285>.

BRACKEN, L. J.; TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales: SEDIMENT CONNECTIVITY: SEDIMENT TRANSFER AT MULTIPLE SCALES. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 177–188, fev. 2015.

<https://doi.org/10.1002/esp.3635>.

BROOKS, E. S.; SAIA, S. M.; BOLL, J.; WETZEL, L.; EASTON, Z. M.; STEENHUIS, T. S. Assessing BMP Effectiveness and Guiding BMP Planning Using Process-Based Modeling. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 343–358, abr. 2015. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12296>.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N. Cartografia do relevo aplicada à alocação de práticas conservacionistas em bacias hidrográficas. In: SANTOS, F. D. (org.). **Geografia no Século XXI – Volume 8**. [S. l.]: Editora Poisson, 2022a. DOI 10.36229/978-65-5866-200-6.CAP.02. Disponível em:

https://www.poisson.com.br/livros/geografia/seculo/volume8/GeoSec_vol8.pdf. Acesso em: 23 maio 2023.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N. Geotecnologias, geomorfologia e modelos hidrológicos: Possibilidades para o planejamento hídrico e ambiental. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, [s. l.], v. 24, p. 1–14, 2022b. .

CASH, D. W.; ADGER, W. N.; BERKES, F.; GARDEN, P.; LEBEL, L.; OLSSON, P.; PRITCHARD, L.; YOUNG, O. Scale and Cross-Scale Dynamics: Governance and Information in a Multilevel World. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. art8, 2006. <https://doi.org/10.5751/ES-01759-110208>.

CAVALLI, M.; TREVISANI, S.; COMITI, F.; MARCHI, L. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. **Geomorphology**, [s. l.], v. 188, p. 31–41, abr. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.007>.

CHANG, C.-L.; LO, S.-L.; HUANG, S. Optimal strategies for best management practice placement in a synthetic watershed. **Environmental monitoring and assessment**, [s. l.], v. 153, p. 359–64, 1 jul. 2008. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0362-y>.

CHEN, L.; LI, J.; XU, J.; LIU, G.; WANG, W.; JIANG, J.; SHEN, Z. New framework for nonpoint source pollution management based on downscaling priority management areas. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 606, p. 127433, mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127433>.

CRISTAN, R.; AUST, W. M.; BOLDING, M. C.; BARRETT, S. M.; MUNSELL, J. F.; SCHILLING, E. Effectiveness of forestry best management practices in the United States: Literature review. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 360, p. 133–151, jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.025>.

DAGGUPATI; KYLE R DOUGLAS-MANKIN; ALEKSEY Y SHESHUKOV; PHILIP L BARNES. Targeting BMP Placement using SWAT Sediment Yield Estimates for Field-Scale BMPs. In: **TMDL 2010: Watershed Management to Improve Water Quality Proceedings, 14-17 November 2010 Hyatt Regency Baltimore on the Inner Harbor, Baltimore, Maryland USA [...]**. [S. l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2010. DOI 10.13031/2013.35741. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=1&AID=35741&CID=tmdl2010&T=1>. Acesso em: 21 ago. 2023.

DE LIMA, J. L. M. P.; ISIDORO, J. M. G. P.; DE LIMA, M. I. P.; SINGH, V. P. Longitudinal Hillslope Shape Effects on Runoff and Sediment Loss: Laboratory Flume Experiments. **Journal of Environmental Engineering**, [s. l.], v. 144, n. 2, p. 04017097, fev. 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001302](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001302).

DICKSON, M.; NASR-ALLAH, A.; KENAWY, D.; KRUIJSSEN, F. Increasing fish farm profitability through aquaculture best management practice training in Egypt. **Aquaculture**, [s. l.], v. 465, p. 172–178, dez. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.015>.

FOX, R. J.; FISHER, T. R.; GUSTAFSON, A. B.; KOONTZ, E. L.; LEPORI-BUI, M.; KVALNES, K. L.; BUNNELL-YOUNG, D. E.; GARDNER, J. R.; LEWIS, J.; WINSTEN, J. R.; FISHER, K. A.; SILAPHONE, K. An evaluation of the Chesapeake Bay management strategy to improve water quality in small agricultural watersheds. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 299, p. 113478, dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113478>.

GRAY, D. H. Influence of Slope Morphology on the Stability of Earthen Slopes. [s. l.], p. 1895–1904, 28 mar. 2013. <https://doi.org/10.1061/9780784412787.191>.

GUERRA, Antonio Jose Teixeira. Geomorfologia e planejamento ambiental – conceitos e aplicações. **Revista de Geografia**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 269, 18 set. 2018. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238227>.

GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 155–167, 2017. .

HIMANSHU, S. K.; PANDEY, A.; YADAV, B.; GUPTA, A. Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 192, p. 42–58, set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016>.

HOOKE, J.; SOUZA, J.; MARCHAMALO, M. Evaluation of connectivity indices applied to a Mediterranean agricultural catchment. **CATENA**, [s. l.], v. 207, p. 105713, dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105713>.

HSIEH, P.-H.; KUO, J.-T.; WU, E. M.-Y.; CIOU, S.-K.; LIU, W.-C. Optimal Best Management Practice Placement Strategies for Nonpoint Source Pollution Management in the Fei-Tsui Reservoir Watershed. **Environmental Engineering Science**, [s. l.], v. 27, n. 6, p. 441–449, jun. 2010. <https://doi.org/10.1089/ees.2010.0003>.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. 3. ed. London: Routledge, 2011(Routledge fundamentals of physical geography series).

IBGE, I. B. de G. e E. **Compartimentos de Relevo do Brasil (1:250.000)**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/24252-macrocaracterizacao-dos-recursos-naturais-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 1 jul. 2023.

KAINI, P.; ARTITA, K.; NICKLOW, J. W. Optimizing Structural Best Management Practices Using SWAT and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 26, n. 7, p. 1827–1845, 1 maio 2012. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9989-0>.

KELLER, E.; ADAMAITIS, C.; ALESSIO, P.; ANDERSON, S.; GOTO, E.; GRAY, S.; GURROLA, L.; MORELL, K. Applications in geomorphology. **Geomorphology**, The Binghamton Geomorphology Symposium: 50 years of Enhancing Geomorphology. [s. l.], v. 366, p. 106729, 1 out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.001>.

KURUPPU, U.; RAHMAN, A.; RAHMAN, M. A. Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 78, n. 10, p. 327, maio 2019. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8312-2>.

LEE, G.; LEE, S.; HONG, J.; CHOI, Y.; KIM, J.; LIM, K. J.; YANG, J. E.; JANG, W. S. Applicability evaluation of agricultural Best Management Practices to estimate reduction efficiency of suspended solids. **CATENA**, [s. l.], v. 225, p. 107028, maio 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107028>.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. [S. l.]: Oficina de Textos, 2016.

LIU, Y.; ENGEL, B. A.; FLANAGAN, D. C.; GITAU, M. W.; MCMILLAN, S. K.; CHAUBEY, I. A review on effectiveness of best management practices in improving hydrology and water quality: Needs and opportunities. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 601–602, p. 580–593, dez. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.212>.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Chapter 9 Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. **Developments in Soil Science**. [S. l.]: Elsevier, 2009. v. 33, p. 227–254. DOI 10.1016/S0166-2481(08)00009-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166248108000093>. Acesso em: 17 maio 2022.

MAHONEY, D. T.; FOX, J. F.; AL AAMERY, N. Watershed erosion modeling using the probability of sediment connectivity in a gently rolling system. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 561, p. 862–883, jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.034>.

MARCHIORO, E.; SILVA, F. B.; NOGUEIRA, G. S.; LOBO, Í. A.; SOUZA, A. G. D.; BARRETO, G. A. R.; EFFGEN, J. F.; SOUZA, J. O. P.; BUARQUE, D. C. Sediment connectivity in a hot and humidity tropical watershed: Contribution to environmental planning and management. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 132, p. 104657, dez. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104657>.

MARINGANTI, C.; CHAUBEY, I.; POPP, J. Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control. **Water Resources Research**, [s. l.], v. 45, n. 6, 2009. DOI 10.1029/2008WR007094. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2008WR007094>. Acesso em: 21 set. 2020.

MARQUES NETO, R. **CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA: revisões, aplicações e proposições**. 1. ed. [S. l.]: EDITORA CRV, 2020. DOI 10.24824/978655578868.6. Disponível em: <https://editoracrv.com.br/produtos/detalhes/35245-crv>. Acesso em: 7 nov. 2022.

MARTINS, V. S.; KALEITA, A. L.; GELDER, B. K. Digital mapping of structural conservation practices in the Midwest U.S. croplands: Implementation and preliminary analysis. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 772, p. 145191, jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145191>.

MESHKAT, M.; AMANIAN, N.; TALEBI, A.; KIANI-HARCHEGANI, M.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of Roughness Coefficients and Complex Hillslope Morphology on Runoff Variables under Laboratory Conditions. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 2550, 3 dez. 2019. <https://doi.org/10.3390/w1122550>.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3rd ed. Malden, MA: Blackwell Pub, 2005.

MTIBAA, S.; HOTTA, N.; IRIE, M. Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: A case study of the Joumine watershed, Tunisia. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 616–617, p. 1–16, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.290>.

NAJAFI, S.; DRAGOVICH, D.; HECKMANN, T.; SADEGHI, S. H. Sediment connectivity concepts and approaches. **CATENA**, [s. l.], v. 196, p. 104880, jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104880>.

NEPAL, D.; PARAJULI, P. B. Assessment of Best Management Practices on Hydrology and Sediment Yield at Watershed Scale in Mississippi Using SWAT. **Agriculture**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 518, abr. 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040518>.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalem, Israel : Dordrecht, Holland ; Boston, U.S.A. : Hingham, MA: Keter Pub. House ; D. Reidel ; Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Boston, 1983.

NOE, G. B.; CASHMAN, M. J.; SKALAK, K.; GELLIS, A.; HOPKINS, K. G.; MOYER, D.; WEBBER, J.; BENTHEM, A.; MALONEY, K.; BRAKEBILL, J.; SEKELLICK, A.; LANGLAND, M.; ZHANG, Q.; SHENK, G.; KEISMAN, J.; HUPP, C. Sediment dynamics and implications for management: State of the science from long-term research in the Chesapeake Bay watershed, USA. **WIREs Water**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. e1454, jul. 2020. <https://doi.org/10.1002/wat2.1454>.

PARSONS, A. J.; BRAZIER, R. E.; WAINWRIGHT, J.; POWELL, D. M. Scale relationships in hillslope runoff and erosion. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 31, n. 11, p. 1384–1393, out. 2006. <https://doi.org/10.1002/esp.1345>.

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Chapter 1 Geomorphometry: A Brief Guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (orgs.). **Developments in Soil Science**. Geomorphometry. [S. l.]: Elsevier, 2009. v. 33, p. 3–30. DOI 10.1016/S0166-2481(08)00001-9. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166248108000019>. Acesso em: 7 dez. 2021.

PRUSKI, F. F. (Org.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2006.

QIN, C.-Z.; GAO, H.-R.; ZHU, L.-J.; ZHU, A.-X.; LIU, J.-Z.; WU, H. Spatial optimization of watershed best management practices based on slope position units. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 73, n. 5, p. 504–517, 2018.
<https://doi.org/10.2489/jswc.73.5.504>.

RITTENBURG, R. A.; SQUIRES, A. L.; BOLL, J.; BROOKS, E. S.; EASTON, Z. M.; STEENHUIS, T. S. Agricultural BMP Effectiveness and Dominant Hydrological Flow Paths: Concepts and a Review. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 305–329, abr. 2015. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12293>.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Geography Department, University of Sao Paulo**, [s. l.], p. 101–111, 2005.
<https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0008>.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, [s. l.], v. 6, p. 17–29, 1992.
<https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>.

SABZEVARI, T.; NOROOZPOUR, S. Effects of hillslope geometry on surface and subsurface flows. **Hydrogeology Journal**, [s. l.], v. 22, n. 7, p. 1593–1604, nov. 2014.
<https://doi.org/10.1007/s10040-014-1149-6>.

SHEN, Z.; CHEN, L.; XU, L. A Topography Analysis Incorporated Optimization Method for the Selection and Placement of Best Management Practices. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. e54520, 21 jan. 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054520>.

SILVA, T. P.; BRESSIANI, D.; EBLING, É. D.; REICHERT, J. M. Best management practices to reduce soil erosion and change water balance components in watersheds under grain and dairy production. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], p. S2095633923000424, jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.06.003>.

SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. 1st ed. Amsterdam ; New York: Elsevier, 2011 (Developments in earth surface processes, 15).

SRIVASTAVA, S.; BASCHE, A.; TRAYLOR, E.; ROY, T. The efficacy of conservation practices in reducing floods and improving water quality. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 11, p. 1136989, 15 maio 2023. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1136989>.

THELER, D.; REYNARD, E.; LAMBIEL, C.; BARDOU, E. The contribution of geomorphological mapping to sediment transfer evaluation in small alpine catchments. **Geomorphology**, [s. l.], v. 124, n. 3–4, p. 113–123, dez. 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.03.006>.

UNIYAL, B.; JHA, M. K.; VERMA, A. K.; ANEBAGILU, P. K. Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 744, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>.

VITTE, A. C. Breves considerações sobre a história da geomorfologia geográfica no Brasil / Brief observations on the history of geographical geomorphology in Brazil. **Geo UERJ**, [s. l.], v. 1, n. 21, p. 1 à 19, 15 jul. 2010. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2010.1445>.

WANG, S.; TAN, Q.; LI, C.; ZHANG, S.; ZHANG, T. Planning of best management practices for watershed-scale pollution control: A simulation-based inexact fractional programming approach. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 617, p. 129063, fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129063>.

WANG, W.; XIE, Y.; BI, M.; WANG, X.; LU, Y.; FAN, Z. Effects of best management practices on nitrogen load reduction in tea fields with different slope gradients using the SWAT model. **Applied Geography**, [s. l.], v. 90, p. 200–213, jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.08.020>.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Prediction Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: A Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation**. [S. l.]: Agricultural Research Service, 1965.

WU, T.; ZHU, L.-J.; SHEN, S.; ZHU, A.-X.; SHI, M.; QIN, C.-Z. Identification of watershed priority management areas based on landscape positions: An implementation using SWAT+. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 619, p. 129281, abr. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129281>.

XIE, H.; CHEN, L.; SHEN, Z. Assessment of Agricultural Best Management Practices Using Models: Current Issues and Future Perspectives. **Water**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 1088–1108, mar. 2015. <https://doi.org/10.3390/w7031088>.

YUAN, Y.; DABNEY, S. M.; BINGNER, R. L. Cost effectiveness of agricultural BMPs for sediment reduction in the Mississippi Delta. [s. l.], , p. 8, 2002. .

ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; ZANINI, A. da S.; ABATTI, B. H. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 21, n. 2, 1 abr. 2020. DOI 10.20502/rbg.v21i2.1754. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1754>. Acesso em: 23 maio 2022.

ZHANG, X.; LI, P.; LI, Z. B.; YU, G. Q.; LI, C. Effects of precipitation and different distributions of grass strips on runoff and sediment in the loess convex hillslope. **CATENA**, [s. l.], v. 162, p. 130–140, mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.002>.

ZHU, L.-J.; QIN, C.-Z.; ZHU, A.-X. Spatial optimization of watershed best management practice scenarios based on boundary-adaptive configuration units. **Progress in Physical Geography**, [s. l.], 2020. <https://doi.org/10.1177/0309133320939002>.

ZHU, L.-J.; QIN, C.-Z.; ZHU, A.-X.; LIU, J.; WU, H. Effects of different spatial configuration units for the spatial optimization of watershed best management practice scenarios. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11020262>.

ZHUANG, Y.; ZHANG, L.; DU, Y.; CHEN, G. Current patterns and future perspectives of best management practices research: A bibliometric analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 71, n. 4, p. 98A-104A, 1 jul. 2016. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.4.98A>.