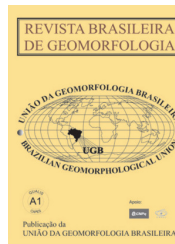


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, n° 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1770>



### MORFOMETRIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PRIMEIRA ORDEM EM ÁREAS AGRÍCOLAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: DELIMITAÇÃO E PROPENSÃO À EROÇÃO E INUNDAÇÃO

### FIRST ORDER CATCHMENTS MORPHOMETRICS IN AGRICULTURAL AREAS UNDER NO-TILL FARMING: DELINEATION AND PRONENESS TO FLOODING AND RAINFALL EROSION

**Hullysses Sabino**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21941-916. Brasil  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3200-9507>  
E-mail: [hsabino@id.uff.br](mailto:hsabino@id.uff.br)*

**Gustavo M. Vasques**

*Embrapa Solos  
Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 22460-000. Brasil  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9463-1898>  
E-mail: [gustavo.vasques@embrapa.br](mailto:gustavo.vasques@embrapa.br)*

**Luís Carlos Hernani**

*Embrapa Solos  
Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 22460-000. Brasil  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1346-466X>  
E-mail: [luis.hernani@embrapa.br](mailto:luis.hernani@embrapa.br)*

**Ricardo O. Dart**

*Embrapa Solos  
Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 22460-000. Brasil  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0541-4742>  
E-mail: [ricardo.dart@embrapa.br](mailto:ricardo.dart@embrapa.br)*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
11/09/2019  
Aceito (Accepted):  
21/04/2020

#### Palavras-chave:

Modelo Digital do Terreno; Modelo Digital de Elevação; ArcSWAT.

#### Resumo:

O Sistema Plantio Direto (SPD) aplica técnicas agrícolas conservacionistas para preservação do solo, controlando processos de erosão. Para isso, é necessário conhecer as características do relevo que afetam a dinâmica e o poder erosivo da água na microbacia hidrográfica (MBH) em que o SPD está inserido. Os objetivos do trabalho foram: adaptar uma metodologia para o delineamento de 12 MBHs de cerca de 1 km<sup>2</sup> sob SPD a partir de modelos digitais de terreno (MDTs) e de elevação (MDEs). Ademais, calcularam-se quatro índices morfométricos relacionados à dinâmica e poder erosivo da água nas MBHs: declividade, coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (IC) e fator de forma

**Keywords:**

Digital Terrain Model; Digital Elevation Model; ArcSWAT.

(FF). Para delimitar as MBHs foi necessário combinar dados de diferentes fontes e resoluções espaciais (MDTs Pleiades e Ultracam D, MDEs ALOS Palsar e SRTM) e usou-se a extensão ArcSWAT. As MBH estavam distribuídas nos seguintes estados: SP, GO, MS, RS e PR. Conforme os valores de declividade, as MBHs

Sarandi e Coxilha são as mais propensas à erosão, enquanto Maracaju 1 e Itaí 1 são as menos propensas. Segundo os índices CC, IC e FF, as MBHs Toledo 2 e Coxilha são as mais propensas à inundação, e as MBHs Maracaju 1 e 2 e Itaí 1 as menos. A metodologia aplicada foi adaptada com êxito para a delimitação de MBHs de primeira ordem. Outrossim, os índices morfométricos calculados subsidiarão a gestão do SPD, permitindo executar medidas de controle da erosão, reduzindo impactos da perda de solo e nutrientes nessas áreas agrícolas.

**Abstract:**

No-till farming (NTF) uses agricultural techniques for soil conservation, controlling erosion processes. For this, it is necessary to know the characteristics of the relief that affect the dynamics and the erosive power of the water in the catchment where NTF is adopted. The study aimed to adapt a methodology for the delineation of 12 catchments of about 1 km<sup>2</sup> under NTF from digital terrain (DTMs) and elevation models (DEMs). Four morphometric indices related to the water dynamics and erosive power in the catchment were calculated, including: slope gradient, compactness coefficient (CC), circularity index (CI) and form factor (FF). To delineate the catchments, it was necessary to combine data from different sources and spatial resolutions (Pleiades and Ultracam D DTMs, and ALOS Palsar and SRTM DEMs), and ArcSWAT was used. MBH were distributed in the states: SP, GO, MS, RS and PR. In agreement with the slope values, the Sarandi and Coxilha catchments are the most prone to erosion, while the Maracaju 1 and Itaí 1 are the least ones. According to the CC, CI and FF indices, the Toledo 2 and Coxilha catchments are the most prone to flooding, and the Maracaju 1 and 2 and Itaí 1 catchments are the least ones. The applied methodology was successfully adapted for the delineation of first-order catchments. Furthermore, the calculated morphometric indices will subsidize the NTF management, allowing to adopt erosion control measures, reducing impacts of soil and nutrient loss in these agricultural areas.

**1. Introdução**

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de produção agrícola conservacionista que tem como uma das principais premissas o controle da erosão hídrica e da compactação do solo (LOPES *et al.*, 2004; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2017; ITAIPU BINACIONAL, 2018). Dessa forma, o SPD pode reduzir a perda de solo em 75% e as perdas de água em 20% (Oliveira *et al.*, 2002), melhorar a estrutura e fertilidade do solo, além de aumentar a produtividade das lavouras quando comparado ao sistema de plantio tradicional (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2017). Conforme dados da Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (2018) e da Companhia Nacional de Abastecimento (2018), o SPD estava implementado em cerca de 32 milhões de hectares em 2012 no Brasil, correspondendo a cerca de 64% da área agrícola brasileira.

Na última década, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013), em áreas sob plantio direto foram constatados processos de ero-

são hídrica e instabilidade produtiva, além de perda de corretivos e fertilizantes por escoamento superficial, problemas até então constatados em sistemas agrícolas convencionais (DENARDIN *et al.*, 2009). Nesse contexto, surgiu a Rede de Pesquisa Solo Vivo, que visa desenvolver e validar ferramentas para avaliar o desempenho do SPD em áreas agrícolas na bacia hidrográfica do Rio Paraná, tendo como áreas de estudo 12 fazendas sob SPD em diversos contextos agrícolas, distribuídas em oito municípios, em cinco unidades da federação.

Em cada fazenda sob SPD foi selecionada uma nascente de córrego, onde foi instalada à jusante uma estação de monitoramento para coleta de dados da vazão do córrego, temperatura e turbidez da água e precipitação pluviométrica. A obtenção desses dados visa correlacioná-los com as práticas de manejo e conservação utilizadas e com índices de qualidade do solo aplicados na área de captação, como o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES), obtido via Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) (Ralisch *et al.*, 2017) e Índice de Qualidade Participativo do

Plantio Direto (IQP) (ROLOFF *et al.*, 2013). Para isso, é necessário delimitar a área de captação do córrego, ou seja, a sua microbacia hidrográfica (MBH). Além da delimitação, a caracterização morfométrica das MBHs permite compreender a dinâmica da água e sedimentos na MBH, corroborando os dados de IQES e IQP e subsidiando o planejamento e a gestão do SPD.

Os modelos digitais de terreno (MDTs) e os modelos digitais de elevação (MDEs) são dados amplamente utilizados em estudos hidrológicos para a delimitação de bacias hidrográficas, previsão de fluxo hídrico, estimativa de impactos de mudança de clima nos regimes hídricos e planejamento e gestão da irrigação (PAZ *et al.*, 2006). O MDT e o MDE são aplicados em diversas metodologias para delimitar bacias hidrográficas usando sistemas de informações geográficas (CECÍLIO *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2016; VEIGA *et al.*, 2019). Todavia, essas metodologias foram elaboradas e são comumente aplicadas para a delimitação de bacias hidrográficas de dimensões como 87, 683 e 2845 km<sup>2</sup> (Sabino *et al.*, 2017a; Pereira e Ficher, 2015; Zamfir e Simulescu, 2011), extensões muito maiores do que as MBHs do presente trabalho, que possuem aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Para MBHs de primeira ordem e pequena extensão, é necessária a adaptação e/ou desenvolvimento de métodos que permitam a sua delimitação com acurácia.

As 12 MBHs sob estudo possuem diferentes características de forma e relevo. Portanto, além da sua delimitação, a análise morfométrica das MBHs é essencial para a interpretação dos dados hidrossedimentológicos, avaliação do potencial erosivo da água da chuva, de inundação, planejamento e adequação do SPD na área. Como exemplo de trabalhos que estudaram microbacias, pode-se citar Costa (1987), que calculou diversos parâmetros morfométricos nas pequenas bacias hidrográficas com as maiores taxas de inundação em um cinturão de terras semiáridas/áridas entre o estado de Washington e Texas (EUA), constatando que as maiores enchentes respondiam às características fisiográficas e morfológicas das bacias. Sarhadi *et al.* (2012) extraíram e analisaram as características hidrogeomorfológicas e de padrões de enchentes para estimar a frequência de inundações e mapear o risco de inundação de alguns rios no Irã. Asfaha *et al.* (2015) correlacionaram parâmetros morfométricos com picos de enchentes, mostrando a relação positiva da precipitação, cobertura vegetal e variáveis morfométricas com a propensão à inundação.

Os objetivos deste artigo são: (1) desenvolver uma metodologia que integre dados de alta resolução espacial de MDTs com dados de menor resolução de MDEs para delimitar 12 MBHs de pequena extensão territorial sob SPD, por meio da adaptação de metodologias existentes para grandes bacias; e (2) calcular a propensão à erosão e inundação dessas MBHs a partir de quatro índices morfométricos (declividade, coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (IC) e fator de forma (FF)).

## **2. Materias e Métodos**

### **2.1 Áreas de estudo**

As 12 MBHs estudadas situam-se em fazendas sob SPD. Estão distribuídas em oito municípios, em cinco estados brasileiros (Figura 1), sendo: Goiás (MBHs Montividiu 1 e Montividiu 2), Mato Grosso do Sul (Maracaju 1 e Maracaju 2), São Paulo (Itaí 1 e Itaí 2), Paraná (Toledo 1, Toledo 2, Cambé e Rolândia) e Rio Grande do Sul (Coxilha e Sarandi). As MBHs foram alocadas nas diferentes regiões em pares, de modo a permitir a comparação da qualidade do solo e do SPD entre as fazendas próximas que compõem cada par, um dos objetivos principais da Rede de Pesquisa Solo Vivo que necessita dos dados e informações gerados pelo presente estudo.

### **2.2 Delimitação das microbacias hidrográficas**

Em cada uma das 12 fazendas foi identificado um local adequado para a realização dos estudos da Rede de Pesquisa Solo Vivo. Este local deveria possuir uma nascente d'água em cuja área de captação, ou seja, em cuja MBH fosse praticada agricultura sob SPD. Em cada área de estudo foi instalada uma estação de monitoramento hidrossedimentológica a aproximadamente 100 m à jusante da nascente, na parte retilínea do córrego de menor ordem da MBH. Este tipo de local evita os efeitos de eventuais represamentos e embaciamentos à montante da estação e garante a correta mensuração da vazão, turbidez e outras propriedades da água pelos equipamentos instalados na estação. O ponto em que a estação foi instalada foi considerado como o exutório da MBH para fins de delimitação da mesma. Dessa forma, a MBH considerada neste estudo é toda a área de captação das águas até a estação hidrossedimentológica.

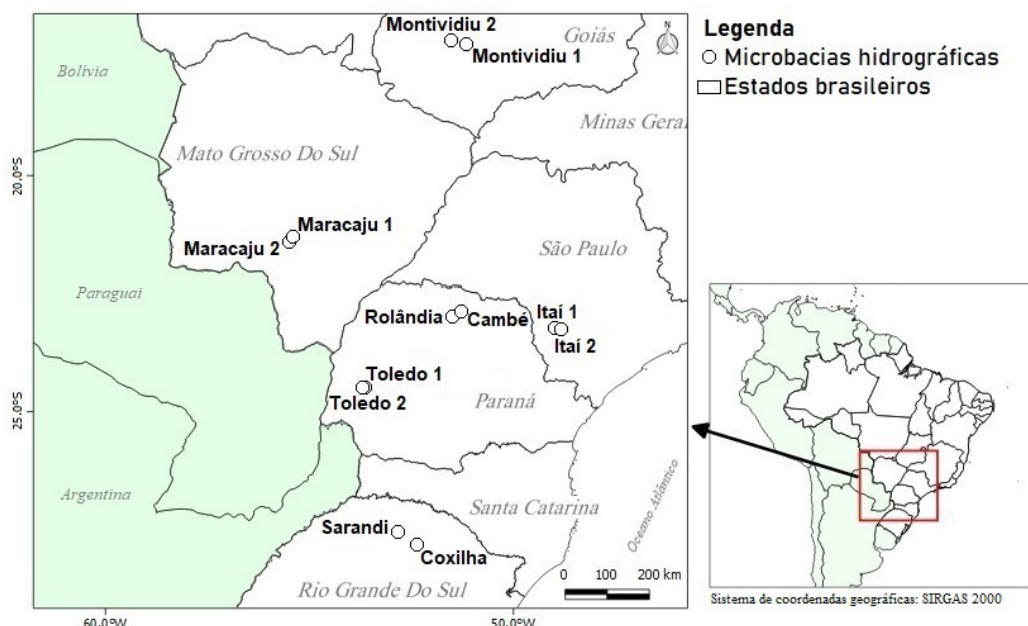


Figura 1 - Mapa de localização das 12 microbacias hidrográficas da Rede de Pesquisa Solo Vivo.

Para delimitar as MBHs foi utilizada a extensão ArcSWAT versão 2012.10.2.19 (Texas A&M University, 2019) no programa ArcGIS versão 10.2 (ESRI, 2019). Esta extensão utiliza o método denominado *Deterministic 8 (D8)* (O’Callaghan e Mark, 1984) para extração da rede hidrológica. O método D8 detecta a direção do fluxo a partir das células mais altas (maior valor de altitude) para as mais baixas (menor valor de altitude), delineando uma série de fluxos que se confluem à jusante, formando assim a rede de drenagem (JENSON e DOMINGUE, 1988). Este método é amplamente aplicado e ratificado na literatura (WU e LANE, 2017; MÉNDEZ-BARROSO *et al.*, 2018; MACIEL JUNIOR e MENDES, 2019). Além disso, o ArcSWAT é uma extensão simples de ser utilizada e

oferece ferramentas para o cálculo automático da área e perímetro da bacia e do comprimento dos rios, entre outras funções (SABINO *et al.*, 2017b). A metodologia aplicada para delimitar as 12 MBHs consistiu-se em 13 passos, apresentados na Tabela 1 e resumidos esquematicamente na Figura 2.

Como base inicial para a delimitação, utilizaram-se MDTs com resolução espacial de 1 m produzidos a partir de pares estereoscópicos de imagens do sensor orbital Pleiades (Airbus Defence and Space, Toulouse, França) ou do sensor aerotransportado Ultracam D (Vexcel Corp., Boulder, EUA), ambos adquiridos com 0,5 m de resolução espacial; e das curvas de nível com 1 m de equidistância, em formato vetorial, obtidas a partir dos MDTs desses sensores.

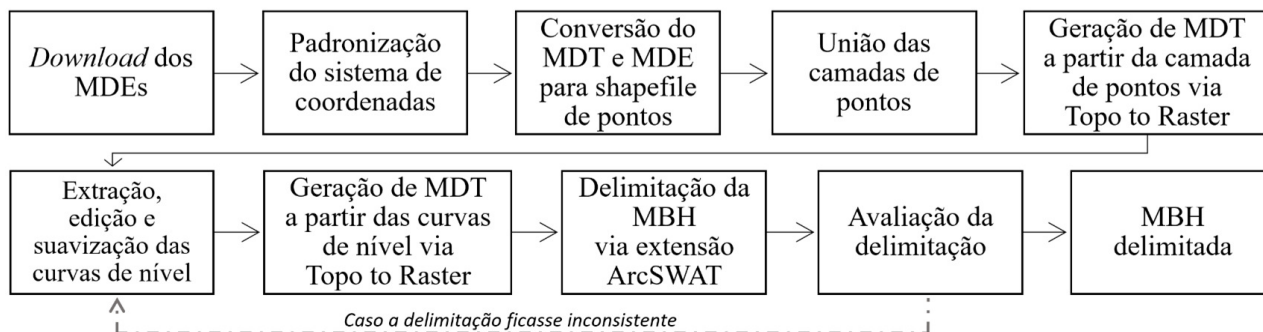


Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada para delimitar as microbacias hidrográficas (MBHs). MDE: modelo digital de elevação; MDT: modelo digital do terreno.

**Tabela 1: Metodologia passo a passo aplicada para delimitar as microbacias hidrográficas (MBHs).**

Passo	Procedimento
1	Tentativa de delimitação da MBH a partir do MDT com 1 m de resolução espacial (Pleiades ou Ultracam D) usando a extensão ArcSWAT no programa ArcGIS.
2	Download de MDEs da ALOS Palsar (12,5 m) e da SRTM (30 m).
3	Padronização do sistema de coordenadas geográficas de todos os dados de entrada, convertendo-os para o datum SIRGAS 2000 e projeção UTM zona 22 S.
4	Correção dos valores de altitude geométrica (elipsoidal) dos MDEs da ALOS Palsar e SRTM para altitude ortométrica (acima do nível do mar) usando o modelo brasileiro de ondulações geoidais (IBGE e EPUSP, 2015), equiparando-os aos valores de altitude do MDT de 1 m.
5	Conversão dos MDEs corrigidos e MDT de 1 m do formato <i>raster</i> para formato vetorial do tipo pontos, seguida da união dos pontos em uma única camada.
6	Interpolação da camada de pontos usando a ferramenta <i>Topo to Raster</i> (Hutchinson, 1989) no programa ArcGIS para gerar um novo MDT (formato <i>raster</i> ) com 5 m de resolução espacial.
7	Extração de curvas de nível com equidistância de 1 m a partir do MDT gerado (5 m) e do MDT original (1 m).
8	União das curvas de nível obtidas a partir do MDT gerado (5 m) e do MDT original (1 m), respectivamente, excluindo-se da união as curvas de nível obtidas do MDT de 5 m que estavam na área de abrangência do MDT de 1 m, preservando ali as curvas do MDT de 1 m.
9	Edição manual e suavização das curvas de nível unidas usando o algoritmo <i>Paek</i> (ArcGIS PRO, 2017), tendo como referência visual as imagens de alta resolução dos sensores Pleiades ou Ultracam D e o MDT original com 1 m de resolução.
10	Interpolação das curvas de nível editadas/suavizadas via <i>Topo to Raster</i> para gerar um novo MDT com 5 m de resolução espacial.
11	Delimitação da MBH a partir do novo MDT de 5 m usando a extensão ArcSWAT.
12	Avaliação da qualidade do delineamento da MBH usando como referência visual as imagens de alta resolução espacial dos sensores Pleiades ou Ultracam D e pontos cotados de campo.
13	Em caso de pouca acurácia na delimitação da MBH, repetiram-se os passos 7 a 12 até que a delimitação fosse considerada satisfatória, alterando-se, em cada passo, os parâmetros de ajuste da ferramenta utilizada, por exemplo, a equidistância entre curvas de nível no passo 7, o algoritmo de suavização das curvas de nível no passo 9, entre outros.

MDT: modelo digital do terreno; MDE: modelo digital de elevação; SRTM: Shuttle Radar Topography Mission; UTM: Universal Transverse Mercator.

Além desses, foram usados MDEs da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) versão 3.0, com 1 segundo de arco (cerca de 30 metros) de resolução espacial, obtidos gratuitamente da página do United States Geological Survey (2019); e MDEs do sensor orbital ALOS Palsar, com 12,5 m de resolução espacial, baixados gratuitamente da página da Alaska Satellite Facility (2019). Os MDEs da SRTM e da ALOS Palsar foram utilizados com a finalidade de agregar outros dados cotados da MBH de fontes/escalas espaciais diferentes para melhorar o delineamento das direções de fluxo d'água e da rede de drenagem, além de ampliar a área de abrangência dos MDTs de 1 m no intuito de melhor caracterizar o relevo

na parte que contorna a área da MBH, melhorando a acurácia da delimitação da própria MBH.

### 2.3 Análise morfométrica das microbacias hidrográficas

Após a delimitação, foi realizada a caracterização morfométrica das MBHs. Para tal, foram calculados atributos básicos, sendo: área, perímetro, declividade e comprimento axial. A partir destes dados básicos, foram calculados os seguintes índices morfométricos compostos: coeficiente de compacidade (CC), índice de circularidade (IC) e fator de forma (FF).

A declividade do terreno é um dos principais fatores responsáveis pela ocorrência e velocidade do escoamento superficial e, portanto, da erosão do solo. Por isso, a declividade do terreno influencia na propensão e magnitude de inundações e na susceptibilidade à erosão (VILLELA e MATTOS, 1975). A declividade do terreno foi calculada no programa ArcGIS (ESRI, 2019) por meio da função *Slope*, que é fundamentada nos conceitos de Burrough e McDonnell (1998). Esta função calcula, para cada célula, a taxa máxima de diferença da altitude da respectiva célula para seus vizinhos, considerando a maior variação altimétrica entre a célula e seus oito vizinhos, ou seja, a descida mais íngreme a partir da célula de referência.

O CC (Equação 1), ou índice de Gravellus, um índice de irregularidade do formato da bacia que mede a relação entre o perímetro e a área da bacia, sendo que, quanto mais irregular for a bacia, maior é o valor do CC (VILLELA e MATTOS, 1975). Quanto mais próximo o valor do CC for de 1, mais circular é a bacia, logo, mais suscetível à inundação.

$$CC = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

onde CC: coeficiente de compacidade (adimensional); P: perímetro da bacia (km); A: área da bacia (km<sup>2</sup>).

O IC (Equação 2), segundo Cardoso *et al.* (2006), é a medida de quanto a bacia se aproxima da forma circular. Quanto mais próximo o valor do IC for de 1, mais circular é a bacia e maior a sua propensão à inundação.

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (2)$$

onde IC: índice de circularidade (adimensional); A: área da bacia (km<sup>2</sup>); P: perímetro da bacia (km).

O FF (Equação 3) caracteriza a forma da bacia mediante a razão entre a sua área e o seu comprimento axial. Quanto maior o FF, mais sujeita à inundação é a bacia, e vice-versa. Isso se deve ao fato de que, numa bacia estreita e longa, com FF baixo, há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão (VILLELA e MATTOS, 1975).

$$FF = \frac{A}{Ca^2} \quad (3)$$

onde FF: fator de forma (adimensional); A: área da bacia (km<sup>2</sup>); Ca: comprimento axial da bacia (km).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Delimitação das microbacias hidrográficas

Para a conversão de dados de uma camada de pontos do tipo vetorial para MDE, conforme passos 5 e 6 da Tabela 1, diferentes mecanismos de interpolação foram inicialmente testados, como o *Inverse Distance Weighted* (IDW) (Watson e Philip, 1985), *Topo to Raster* (Hutchinson, 1989), *Natural Neighbor* (Sibson, 1981) e *Kriging* (OLIVER, 1990). Entre esses métodos, o método *Topo to Raster* foi desenvolvido para ter sensibilidade às propriedades de drenagem, mesmo com um pequeno conjunto de dados de elevação da superfície terrestre, uma vez que ele foi elaborado com um algoritmo de imposição de drenagem (HUTCHINSON, 1989). Sendo assim, este método de interpolação possui vantagens sobre outros métodos para geração de MDEs hidrológicamente consistentes (PIRES *et al.*, 2005; CECÍLIO *et al.*, 2013). Diante disso e dos resultados dos testes realizados, foi adotado neste trabalho o método de interpolação *Topo to Raster*.

Após tentativas de delimitações de MBHs com MDTs/MDEs interpolados com resoluções espaciais de saída de 1, 2, 5, 10, 15 e 20 m, o valor de saída padrão selecionado para este trabalho foi de 5 m, como visto nos passos 6 e 10 da metodologia (Tabela 1). Essa escolha se deve ao fato dos MDEs produzidos com 1 ou 2 m de resolução não permitirem ao ArcSWAT delimitar as MBHs adequadamente. Por outro lado, os MDEs com resolução de 5, 10, 15 ou 20 m permitiram delinear as MBHs, sendo que a resolução de 5 m foi escolhida porque, além de manter com maior detalhe os dados topográficos, foi a que melhor compatibilizou o MDE da ALOS Palsar (de 12,5 m) e da SRTM (de ~30 m) com os MDTs de 1 m, caracterizando adequadamente o relevo conforme observado em campo.

Os MDTs originais com 1 m de resolução espacial foram capazes de delimitar adequadamente três das 12 MBHs, sendo elas: Coxilha (RS), Itai 2 (SP) e Toledo 1 (PR). Excepcionalmente, para delinear corretamente a rede de drenagem em Coxilha, foi preciso reamostrar o MDT original de 1 m para 15 m. Foi necessário agregar os MDEs da ALOS Palsar ou da SRTM para permitir a delimitação correta das outras MBHs.

Os MDEs da ALOS Palsar possuem uma resolução espacial (12,5 m) que permite melhor observação e aquisição de dados do que os MDEs da SRTM (~30 m). Diante disso, os dados da ALOS Palsar foram usados prioritariamente com os MDTs de 1m, obtendo êxito na delimitação de cinco MBHs, sendo: Maracaju 1 (MS), Montividiu 1 e 2 (MS), Rolândia (PR) e Sarandi (RS). Os MDEs da SRTM foram usados na delimitação das MBHs de Itai 1 (SP), Cambé (PR), Maracaju 2 (MS) e Toledo 2 (PR), e produziram delimitações congruentes com a topografia das regiões.

Acredita-se que a combinação dos MDTs de 1 m com os MDEs de 12,5 ou 30 m foi eficaz porque esses MDEs contribuíram com dados de elevação em diferentes escalas espaciais, obtidos por diferentes métodos de aquisição, que complementaram os dados de MDT com 1 m de resolução. Pode-se dizer que, enquanto os MDTs de 1 m representam a variação local do relevo da área, marcando as inflexões sutis do terreno, o encaixe do córrego e a posição correta dos canais de drenagem no relevo, os MDEs da ALOS Palsar e da SRTM mostram a variação do relevo em menor escala, permitindo a caracterização da forma do terreno quando a variação do mesmo é pequena. Os MDEs também abrangem uma área maior do que os MDTs de 1 m, permitindo ao algoritmo de delimitação encontrar a localização dos limites da MBH de maneira mais abrangente.

A direção do fluxo é o caminho pelo qual a água irá fluir de uma célula para outra no MDT. O conjunto dos fluxos forma a rede de drenagem da bacia, podendo ser extraída por diversos algoritmos, como o *Kinematic Routing Algorithm* (KRA), o *Deterministic Infinity* (DInf), *Digital Elevation Model Networks* (DEMON) e *Deterministic 8* (D8), conforme estudos de Lea (1992), Tarboton (1997), Costa-Cabral e Burgues (1994) e O'Callaghan e Mark (1984). No presente trabalho, foi aplicado o método D8, em que o fluxo de cada célula é direcionado para a célula vizinha que possui a maior diferença de altitude dentre as oito células vizinhas (O'CALLAGHAN e MARK, 1984; JENSON e DOMINGUE, 1988; TARBOTON *et al.*, 1988). Como recomendação para futuros estudos, sugere-se a comparação entre as redes de drenagem de MBHs obtidas através desses diferentes algoritmos, contanto que os mesmos sejam acessíveis ao usuário.

A metodologia aplicada neste trabalho priorizou os dados dos MDTs de 1 m frente os dados dos MDEs da ALOS Palsar (12,5 m) ou SRTM (~30 m). Dessa forma, a extração dos fluxos d'água e da rede de drenagem a partir do método D8 foi executada usando as bases de dados de cotas altimétricas com maior detalhamento, garantindo maior fidelidade na representação topográfica

e hídrica das áreas de estudo. Os MDEs da ALOS Palsar e SRTM ofereceram outros pontos cotados e maior abrangência geográfica, assegurando a captura dos limites das MBHs e sendo necessários para melhor delimitação de nove das 12 MBHs.

Dois problemas comuns na delimitação de bacias hidrográficas a partir de MDTs ou MDEs são: a presença de depressões espúrias (*sinks*) (Srivastava, 2010; Lindsay, 2016) e áreas planas sem valores de queda (*equal drops*) entre células vizinhas (JENSON e DOMINGUE, 1988; LIU *et al.*, 2017). Ao delimitar uma rede de drenagem em uma base com depressões espúrias, o algoritmo conclui a delimitação na depressão e inicia uma nova e independente rede após a mesma. No caso de *equal drops*, como os fluxos d'água são designados para fluir para uma célula vizinha somente se a mesma tiver uma direção de fluxo definida em que a água não retorne para a célula central (Jenson e Domingue, 1988), a delimitação pode gerar canais de drenagem colaterais em grande número, gerando uma rede de drenagem do tipo paralela e de alta densidade que não representa a realidade do local.

Ao combinar pontos cotados de diferentes fontes e adotar um tamanho de *pixel* de saída do novo MDT/MDE de 5 m ao invés de 1 m (Tabela 1, passos 4 a 10), se ampliou a distância entre as células vizinhas, o que aumentou a variação altimétrica, ou seja, o valor de queda, entre as mesmas. Isso permitiu ao algoritmo do ArcSWAT delinear de forma mais precisa os fluxos d'água e a rede de drenagem (Figura 3) e, posteriormente, delimitar corretamente as MBHs.

A pequena área das MBHs dificultou a sua delimitação, o que era esperado, dado que o uso da extensão ArcSWAT para delimitar MBHs de pequena extensão, seja a partir de MDTs de alta resolução espacial ou de MDEs de relativamente baixa resolução, foi pouco validado na literatura (SABINO *et al.*, 2017b, 2017c). Por exemplo, a princípio, o detalhamento e precisão dos dados de MDE de entrada (com 12,5 ou 30 m de resolução) seriam adequados para a delimitação de uma bacia de maior extensão geográfica. Isso fez com que, em algumas MBHs, fossem necessárias sucessivas edições das curvas de nível (passo 9 da Tabela 1), interpolações para geração de novos MDTs de entrada (passo 10) e tentativas de delimitação e validação (passos 11 e 12), para se obter uma delimitação consistente das MBHs.

As 12 MBHs delimitadas podem ser vistas na Figura 4, onde são mostradas, além dos limites das MBHs, as curvas de nível com 1 m de equidistância. As MBHs foram delimitadas usando como ponto de exutório o local onde a estação hidrossedimentológica foi instalada (ponto branco nos mapas), conforme descrito anteriormente.

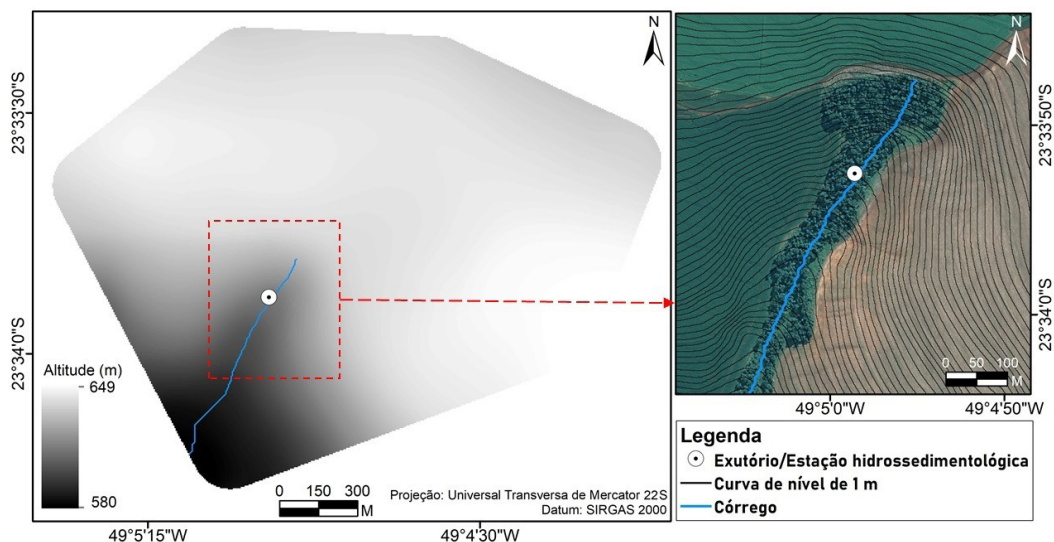


Figura 3 - Córrego delineado corretamente usando a extensão ArcSWAT a partir do modelo digital do terreno com 1 m de resolução espacial combinado com o modelo digital de elevação com resolução espacial de ~30 m da Shuttle Radar Topography Mission na área de estudo em Itai 1. Em detalhe, região da nascente do córrego delineado visto a partir de imagem multiespectral do satélite Pleiades.

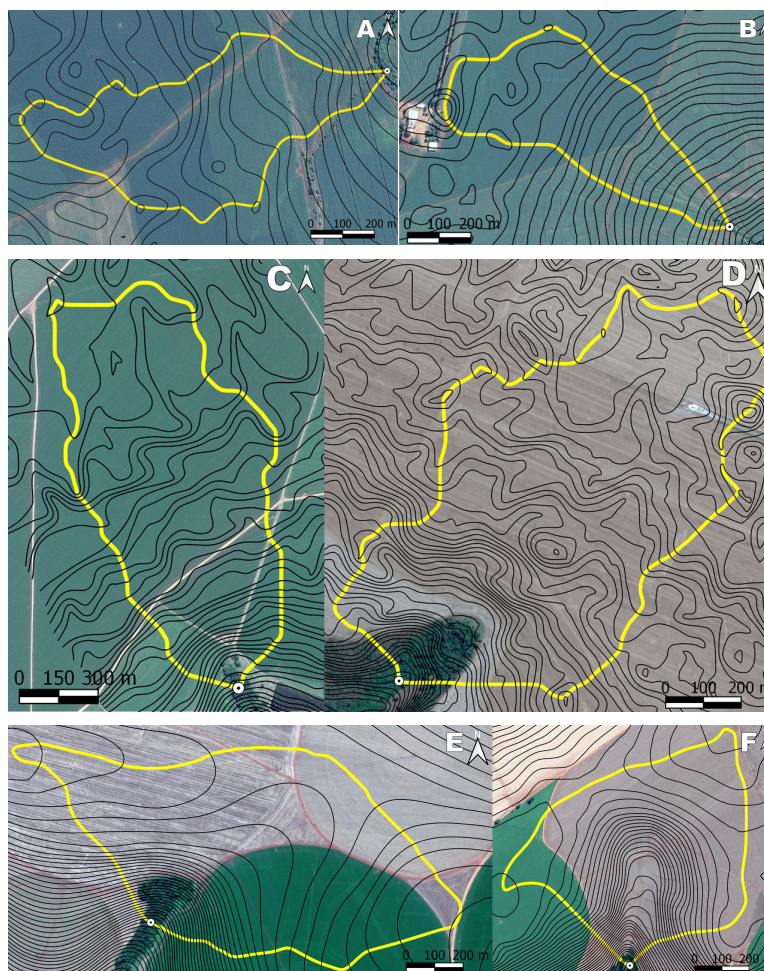


Figura 4 - Microbacias hidrográficas da Rede de Pesquisa Solo Vivo delimitadas (em amarelo), mostrando as curvas de nível com 1 m de equidistância (em preto), exutório/estação hidrossedimentológica (ponto branco) e imagem multiespectral em pseudocor (R,G,B = vermelho,verde,azul) ao fundo, sendo: (A) Maracaju 1 (MS), (B) Maracaju 2 (MS), (C) Montividiu 1 (GO), (D) Montividiu 2 (GO), (E) Itai 1 (SP), (F) Itai 2 (SP), (G) Cambé (PR), (H) Rolândia (PR), (I) Toledo 1 (PR), (J) Toledo 2 (PR), (K) Sarandi (RS), e (L) Coxilha (RS).



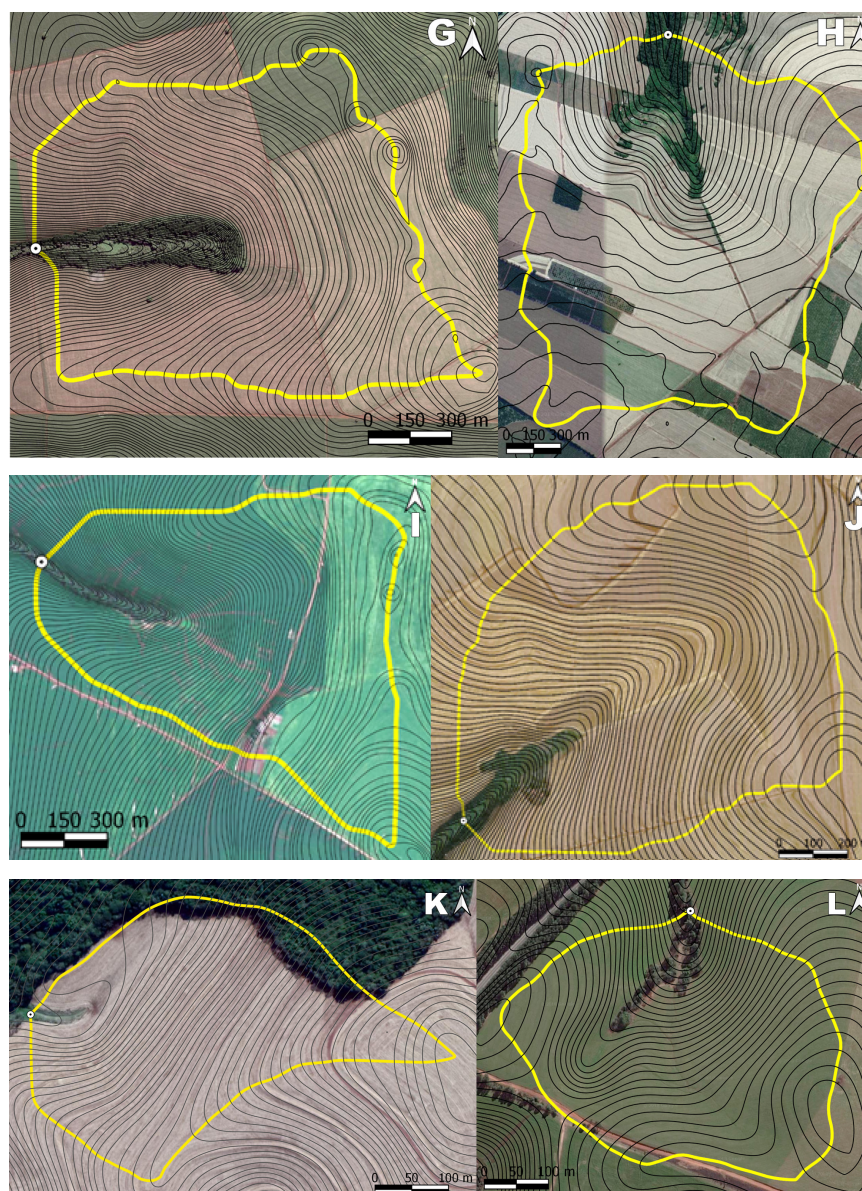


Figura 4 - Microbacias hidrográficas da Rede de Pesquisa Solo Vivo delimitadas (em amarelo), mostrando as curvas de nível com 1 m de equidistância (em preto), exutório/estação hidrossedimentológica (ponto branco) e imagem multiespectral em pseudocor (R,G,B = vermelho,verde,azul) ao fundo, sendo: (A) Maracaju 1 (MS), (B) Maracaju 2 (MS), (C) Montividiu 1 (GO), (D) Montividiu 2 (GO), (E) Itai 1 (SP), (F) Itai 2 (SP), (G) Cambé (PR), (H) Rolândia (PR), (I) Toledo 1 (PR), (J) Toledo 2 (PR), (K) Sarandi (RS), e (L) Coxilha (RS).

### 3.2 Morfometria das microbacias hidrográficas

As MBHs delimitadas possuem dimensões variando entre 0,12 a 3,15 km<sup>2</sup> e perímetros entre 1,5 e 7,3 km (Tabela 2). O maior comprimento de rio observado entre as MBHs delimitadas foi de 0,9 km. As declividades médias do terreno variaram entre 1,8 e 10,2% (Tabela 3), o que, segundo parâmetros da Embrapa (Santos *et al.*, 2018), classifica o tipo de relevo da maioria das

MBHs como suave a suave ondulado, sendo as maiores declividades encontradas na região de encaixe do córrego no terreno. Os desvios padrão das declividades do terreno mostram grandes variações dentro de algumas MBHs, com destaque para a MBH de Rolândia, que varia de relevo plano (0,004 % de declividade) até forte ondulado (23,2 %), com média de declividade de 6,8 % e desvio padrão de 5,3 %.

**Tabela 2: Índices morfométricos básicos das 12 microbacias hidrográficas (MBHs) da Rede de Pesquisa Solo Vivo, em ordem crescente de área da MBH.**

MBH	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Comprimento do rio (km)	Comprimento axial da bacia (km)
Sarandi (RS)	0,12	1,5	0,070	0,58
Coxilha (RS)	0,16	1,5	0,207	0,44
Maracaju 2 (MS)	0,25	2,3	0,058	1,00
Maracaju 1 (MS)	0,32	2,8	0,030	1,15
Itaí 2 (SP)	0,47	2,8	0,091	0,94
Montividiu 2 (GO)	0,70	3,7	0,237	1,34
Itaí 1 (SP)	0,74	3,8	0,148	1,90
Montividiu 1 (GO)	0,78	3,9	0,067	1,50
Toledo 2 (PR)	0,78	3,3	0,398	1,16
Toledo 1 (PR)	0,99	4,2	0,494	1,56
Cambé (PR)	1,42	4,9	0,697	1,66
Rolândia (PR)	3,15	7,3	0,961	2,70

A declividade do terreno é importante parâmetro para a gestão da propriedade agrícola. Em terrenos mais declivosos é necessário que se tomem mais medidas protecionistas contra a erosão a fim de evitar que o solo e seus

nutrientes sejam levados pelas águas das chuvas. Sendo assim, com base somente na declividade do terreno, maior atenção deve ser dada à proteção do solo contra erosão nas MBHs de Toledo 1, Coxilha e Sarandi (Tabela 3).

**Tabela 3: Declividade do terreno nas 12 microbacias hidrográficas (MBHs) da Rede de Pesquisa Solo Vivo, em ordem crescente de propensão à erosão considerando a declividade média.**

MBH	Declividade (%)				Propensão à erosão
	Mínima	Máxima	Média	Desvio padrão	
Maracaju 1 (MS)	0,011	5,8	1,8	1,1	Menor propensão à erosão
Itaí 1 (SP)	0,003	11,8	2,3	2,8	
Montividiu 1 (GO)	0,005	9,1	2,6	1,8	
Maracaju 2 (MS)	0,033	10,0	2,6	1,2	
Itaí 2 (SP)	0,037	13,9	4,2	3,2	
Montividiu 2 (GO)	0,020	15,7	4,2	2,7	
Toledo 2 (PR)	0,002	34,4	6,0	2,9	Maior propensão à erosão
Cambé (PR)	0,006	24,5	6,1	3,8	
Rolândia (PR)	0,004	23,2	6,8	5,3	
Toledo 1 (PR)	0,037	23,5	6,9	3,7	
Coxilha (RS)	0,000	17,7	8,4	3,8	
Sarandi (RS)	0,261	18,7	10,2	4,3	

Segundo Villela e Mattos (1975), a forma de uma bacia hidrográfica é importante para análise do tempo de concentração da precipitação desde o momento em que ela ocorre até o instante em que a água sai dos limites da bacia. A menor propensão à inundação ocorre quando a bacia hidrográfica é mais alongada e irregular, pois a água da chuva demora mais tempo para chegar até as áreas de acumulação mais baixas propensas à inundação.

No caso das MBHs de primeira ordem e pequena extensão territorial (média de 0,82 km<sup>2</sup>) presentes nesse trabalho, onde raramente a chuva não atinge toda a MBH ao mesmo tempo, a declividade do terreno talvez seria mais relevante do que os índices morfométricos para avaliar a propensão à inundação. A declividade do terreno, nesse caso, também controla o poder erosivo da chuva, pois ela determina a velocidade do escoamento superficial no terreno. A forma da bacia,

caracterizada pelos índices morfométricos compostos (CC, IC e FF), regula de quais direções e com que velocidade a água da chuva flui das partes mais altas para as mais baixas e se distribui na MBH. Sendo assim, a análise concomitante da declividade e dos índices morfométricos compostos melhora a avaliação da propensão à inundação da MBH.

Ao analisar conjuntamente a declividade do terreno (Tabela 3) e os outros índices morfométricos (Tabela 4), constata-se que, em geral, as MBHs Maracaju 1, Maracaju 2, Itai 1 e Montividiu 1 possuem menor propensão à erosão superficial, devido às suas baixas declividades do terreno, e menor propensão à inundação, pois possuem formato mais irregular/menos circular, com valores mais altos do CC e mais baixos do IC e FF em relação às outras MBHs. A propensão à inundação das MBHs é alta quando os valores desses índices (CC, IC e FF) se aproximam do valor de referência (1).

**Tabela 4: Índices morfométricos compostos das 12 microbacias hidrográficas (MBHs) da Rede de Pesquisa Solo Vivo, em ordem crescente de propensão à inundação.**

MBH	CC	MBH	IC	MBH	FF	Propensão à inundação
Maracaju 1 (MS)	1,42	Maracaju 1 (MS)	0,49	Itai 1 (SP)	0,20	Menor propensão à inundação
Maracaju 2 (MS)	1,33	Maracaju 2 (MS)	0,56	Maracaju 1 (MS)	0,24	
Itai 1 (SP)	1,26	Itai 1 (SP)	0,62	Maracaju 2 (MS)	0,25	
Montividiu 2 (GO)	1,26	Montividiu 2 (GO)	0,62	Montividiu 1 (GO)	0,35	
Montividiu 1 (GO)	1,24	Montividiu 1 (GO)	0,64	Sarandi (RS)	0,36	
Sarandi (RS)	1,21	Sarandi (RS)	0,67	Montividiu 2 (GO)	0,39	
Toledo 1 (PR)	1,18	Toledo 1 (PR)	0,71	Toledo 1 (PR)	0,41	Maior propensão à inundação
Cambé (PR)	1,17	Cambé (PR)	0,72	Rolândia (PR)	0,43	
Itai 2 (SP)	1,16	Itai 2 (SP)	0,73	Cambé (PR)	0,52	
Rolândia (PR)	1,16	Rolândia (PR)	0,74	Itai 2 (PR)	0,53	
Toledo 2 (PR)	1,06	Toledo 2 (PR)	0,88	Toledo 2 (PR)	0,58	
Coxilha (RS)	1,05	Coxilha (RS)	0,89	Coxilha (RS)	0,83	

CC: Coeficiente de compacidade; IC: Índice de circularidade; FF: Fator de forma.

Em oposição, as MBHs de Coxilha, Toledo 2, Rolândia e Itai 2 foram as que apresentaram os valores de CC, IC e FF mais próximos do valor de referência (1), revelando que essas MBHs possuem formatos mais regulares/circulares, sendo, portanto, mais propensas à inundação. Em geral, os valores dos índices morfométricos calculados são consistentes, corroborando a tendência observada nos outros índices. Isso mostra que os índices calculados foram adequados para a

caracterização de MBHs de primeira ordem, ainda que outros índices comumente usados para a caracterização de bacias de maior extensão territorial não possam ser aplicados, como é o caso da densidade de drenagem, cujo o cálculo em MBHs de primeira ordem é inconsistente, pois só há um córrego presente na MBH.

A acurácia da delimitação das MBHs foi comprovada a partir dos pontos de altimetria levantados em campo e por referência visual das imagens de alta

resolução espacial dos sensores Ultracam D ou Pleiades. Os valores encontrados pelos índices morfométricos vão orientar futuras campanhas de campo, onde os pesquisadores poderão identificar as áreas mais vulneráveis e ajustar as medidas conservacionistas para maior preservação do solo e manejo do SPD, principalmente nas MHBs com maiores propensões à erosão e inundação.

## Conclusões

A combinação de MDTs de alta resolução espacial e MDEs de diferentes fontes e resoluções espaciais foi essencial para caracterizar a variação de altitude nas MBHs de primeira ordem, desde as partes mais baixas e declivosas até as partes mais altas e planas onde se localizam os limites das MBHs. Isso permitiu o delineamento adequado das direções de fluxo e da rede de drenagem e, por conseguinte, dos limites das MBHs utilizando a extensão ArcSWAT no programa ArcGIS.

Contudo, foi preciso realizar algumas adaptações metodológicas e testar diferentes parâmetros de ajuste na geração de produtos intermediários, como curvas de nível e MDEs, para permitir a correta delimitação da MBH pela extensão ArcSWAT e permitir o cálculo correto dos índices morfométricos da MBH, conforme descrito no trabalho.

Os índices morfométricos calculados mostram diferentes propensões à erosão superficial e à inundação das MBHs, sendo as MBHs mais declivosas aquelas mais propensas à erosão (Sarandi-RS e Coxilha-RS), e as mais regulares (menor CC), mais circulares (maior IC) e menos alongadas (maior FF) as mais propensas à inundação (Coxilha-RS e Toledo 2-PR). O Sistema Plantio Direto, como sistema agrícola que preconiza o uso sustentável e a conservação do solo, é indicado para as MBHs estudadas, notadamente para aquelas com maior propensão à erosão superficial e inundação, devidamente caracterizadas pelos índices morfométricos calculados neste trabalho. Nessas MBHs há maior necessidade de aplicação de métodos conservacionistas de manejo do solo a fim de evitar a perda de solo e nutrientes e a queda da capacidade produtiva do terreno como um todo, assegurando a sustentabilidade do solo e do sistema produtivo.

## Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com recursos oriundos do projeto “Aprimoramento de processos para

a qualificação do manejo de terras no Centro-Sul do Brasil” (Embrapa/Itaipu Binacional processo número 02.12.12.004.00.01), o qual instituiu a Rede de Pesquisa Solo Vivo. Os autores agradecem o apoio da Rede de Pesquisa Solo Vivo e do Núcleo de Geomática da Embrapa Solos. Agradecem também as contribuições dos revisores anônimos, que ajudaram a melhorar a robustez do trabalho.

## Referências Bibliográficas

- ALASKA SATELLITE FACILITY. **Vertex**. 2019. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>. Acesso em: 19 fev. 2019.
- ASFAHA, T. G.; FRANKL, A.; HAILE, M.; ZENEBE, A.; NYSSSEN, J. Determinants of peak discharge in steep mountain catchments – Case of the Rift Valley escarpment of Northern Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 529, part 3, p. 1725-1739, 2015. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.08.013
- BURROUGH, P. A.; MCDONELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1998. 432p.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. M. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. DOI: 1590/S0100-67622006000200011
- CECÍLIO, R. A.; COUTINHO, L. M.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. C.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O. Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2007–2024, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2007
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, safra 2017/18, sétimo levantamento**. Brasília: CONAB, 2018. 139p.
- COSTA, F. R.; SOUZA, R. F.; SILVA, S. M. P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do rio Doce – RN. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 3, p. 429-442, 2016. DOI: 10.1590/1982-451320160308
- COSTA, J. E. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. **Journal of Hydrology**, v. 93, n. 3-4, p. 313-338, 1987. DOI: 10.1016/0022-1694(87)90102-8
- COSTA-CABRAL, M. C.; BURGESS, S. J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes

- for computation of contributing and dispersal areas. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1681-1692, 1994. DOI: 10.1029/93WR03512
- DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implantação do sistema plantio direto. **A Lavoura**, v. 112, p. 20-22, 2009.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Projeto busca indicadores de qualidade em plantio direto**. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1502887/projeto-busca-indicadores-de-qualidade-em-plantio-direto>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- ESRI. **ArcGIS**. 2019. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Área do Sistema Plantio Direto**. 2018. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3-4, p. 211-232, 1989. DOI: 10.1016/0022-1694(89)90073-5
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). **Modelo de Ondulação Geoidal**. 2015. Disponível em: [https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm). Acesso em: 28 jan. 2019.
- ITAIPU BINACIONAL. **Plantio Direto**. 2018. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/meio-ambiente/plantio-direto>. Acesso em: 6 jul. 2019.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
- LEA, N. L. An Aspect driven kinematic routing algorithm. In: Parsons, A. J.; Abrahams, A. D. (Ed). **Overland flow: hydraulics and erosion mechanics**. Londres: UCL PRESS, p. 393-407, 1992.
- LINDSAY, J. B. Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models: Efficient Hybrid Sink Removal Methods for Flow Path Enforcement. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 6, p. 846-857, 2016. DOI: 10.1002/hyp.10648
- LIU, X.; WANG, N.; SHAO, J.; CHU, X. An Automated Processing Algorithm for Flat Areas Resulting from DEM Filling and Interpolation. **International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, 2017. DOI: 10.3390/ijgi6110376
- LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 110p.
- MACIEL JUNIOR, S.; MENDES, A. T. Delineation of the Matança River Basin by the TauDEM automatic demarcation tool. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 11, 2019. DOI: 10.22161/ijaers.611.77
- MÉNDEZ-BARROSO, L. A.; ZÁRATE-VALDEZ, J. L.; ROBLES-MORÚA, A. Estimation of hydromorphological attributes of a small forested catchment by applying the Structure from Motion (SfM) approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 69, p. 186-197, 2018. DOI: 10.1016/j.jag.2018.02.015
- O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from Digital Elevation Data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984. DOI: 10.1016/S0734-189X(84)80011-0
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 393-486, 2002.
- OLIVER, M. A. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. **International Journal of Geographic Information Systems**, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990. DOI: 10.1080/02693799008941549
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; SILVEIRA, A. L. L. Improvements in large-scale drainage networks derived from digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 42, n. 8, 2006. DOI: 10.1029/2005WR004544
- PEREIRA, D. R.; FICHER, K. N. Delimitação de bacia hidrográfica a partir de diferentes modelos digitais de elevação. In: XXV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 35., 2015, Sergipe. **Anais...** Sergipe: UFS. 2015. p. 1289-1294.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. D.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005. DOI: 10.21168/rbrh.v10n2.p39-47
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; DE BONA, F. D. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63p.

- ROLOFF, G.; LUTZ, R.A.T; MELLO, I.; RALISCH, R. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto – IQP. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (CBCS), 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBCS, 2013. p. 1-4.
- SABINO, H.; VASQUES, G. M.; DART, R. O.; HERNANI, L. C. Comparação de quatro métodos para a delimitação de uma microbacia hidrográfica de 1km<sup>2</sup>: GRASS e extensões Spatial Analyst, ArcSwat e Hec-GeoHMS no ArcGIS. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017b, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2017b. p. 1-8.
- SABINO, H.; VASQUES, G. M.; DART, R. O.; HERNANI, L. C. Delimitação de microbacias hidrográficas a partir de um ponto de exutório específico (pour point) utilizando dados SRTM. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17, 2017c, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP. 2017c. p. 941-946. DOI: 10.20396/sbgfa.v1i2017.2130
- SABINO, H.; VASQUES, G. M.; HERNANI, L. C. Comparação dos limites da bacia hidrográfica do rio Doce disponíveis em fontes oficiais com aquela produzida usando a extensão ArcSWAT do ArcGIS. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017a, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2017a. p. 1-8.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.
- SARHADI, A.; SOLTANI, S.; MODARRES, R. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 458-459, n. 1, p. 68-86, 2012. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.039
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Plantio Direto pode aumentar a produtividade em até 30%**. 2017. Disponível em: <http://www.senar.org.br/abc-senar/plantio-direto-pode-aumentar-a-produtividade-em-ate-30>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- SIBSON, R. A brief description of natural neighbor interpolation. In: Barnett, V. (ed.). **Interpreting Multivariate Data**. Chichester: John Wiley. p. 21–36. 1981.
- SRIVASTAVA, A. **Comparison of two algorithms for removing depressions and delineating flow networks from grid digital elevation models**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Biológicos) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Estados Unidos. 2000. 132p.
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997. DOI: 10.1029/96WR03137
- TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. The fractal nature of river networks. **Water resources research**, v. 24, n. 8, p. 1317-1322, 1988. DOI: 10.1029/WR024i008p01317
- TEXAS A&M UNIVERSITY. **Software: ArcSWAT**. 2019. Disponível em: <http://swat.tamu.edu/software/arcswat/>. Acesso: 21 fev. 2019.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2019. **EarthExplorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 09 jan. 2019.
- VEIGA, D. P. B.; CRUZ, B. B.; NARDOCCI, A. C.; MANFRÉ, L. A.; MACHADO, C. A. S.; QUINTANILHA, J. A. **Current Environmental Management**, v. 6, n. 3, p. 210-219, 2019. DOI: 10.2174/2212717806666191016115423
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WATSON, D. F.; PHILIP, G. M. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. **Geoprocessing**, v. 2, p. 315–327, 1985.
- WU, Q.; LANE, C. R. Delineating wetland catchments and modeling hydrologic connectivity using lidar data and aerial imagery. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 7, p. 3579-3595, 2017. DOI: 10.5194/hess-21-3579-2017
- ZAMFIR, A.; SIMULESCU, D. Automatic delineation of a watershed using a DEM. Case study – the Olteț watershed. **Georeview**, v. 20, n. 1, p. 83-92, 2011. DOI: 10.4316/GEOREVIEW.2011.20.1.25