

# ESTUDO FISIAGRÁFICO DE UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO UM *REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM* (RPAS)

## **Rute Daniela Chaves**

Mestra em Recursos Hídricos – UFPel

E-mail: rutedanielachaves@gmail.com

## **George Marino Soares Gonçalves**

Eng. Hídrico, Mestre em Recursos Hídricos

Doutorando em Recursos Hídricos – UFPel

E-mail: george.marino.goncalves@gmail.com

## **Lukas dos Santos Boeira**

Eng. Hídrico, Mestre em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas

Doutorando em Recursos Hídricos – UFPel

E-mail: lukasdossantosboeira@gmail.com

## **Gabriel Borges dos Santos**

Eng. Ambiental e Sanitário

Mestrando em Recursos Hídricos – UFPel

E-mail: gabrielqwsantos@gmail.com

## **Viviane Santos Silva Terra**

Eng. Agrícola, Doutora em Agronomia

Professora Adjunta – UFPel

E-mail: vssterra10@gmail.com

## **Gilberto Loguercio Collares**

Eng. Agrícola, Doutor em Ciência dos Solos

Professor Titular – UFPel e Diretor da Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM).

E-mail: gilbertocollares@gmail.com

## **RESUMO**

A bacia hidrográfica constitui uma importante unidade espacial, utilizada para gerenciar as atividades de uso e a conservação dos recursos naturais que a compõem. Quanto à espacialização de ações de planejamento em uma bacia, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado uma ferramenta eficiente por apresentar a capacidade de interação e análise de diferentes planos de informação que compõem uma paisagem. Neste contexto, a análise morfométrica da bacia auxilia como referencial para o planejamento e gestão, pois pode determinar e caracterizar o comportamento hídrico. Com base no exposto, esse trabalho tem por objetivo analisar e avaliar as características fisiográficas da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro, sub-bacia do Arroio Pelotas, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir da aplicação de um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS). Os resultados obtidos permitiram uma visão ampla e geral das características de relevo e da rede de drenagem da bacia. Alguns dos principais resultados são: área de 2,22 km<sup>2</sup>, tempo de concentração de 21,77 minutos, declividade média de 18,28%, tendência mediana a enchentes, relevo suave ondulado a ondulado são os predominantes na bacia, compondo 69% da mesma. Tais dados gerados podem servir de auxílio no gerenciamento e na gestão mais adequada dos recursos da sub-bacia do Arroio do Ouro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo de bacias; Análise morfométrica; SIG; Sensoriamento remoto; Aerofotogrametria.

## **PHYSIOGRAPHIC STUDY ON THE SMALL WATERSHED USING *REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM* (RPAS)**

## ABSTRACT

The watershed is an important spatial unit used to manage the activities of use and the conservation of natural resources that compose it. In terms of the spatialization of planning actions in a watershed, the Geographic Information System (GIS) has proven to be an efficient tool presenting the ability to interact and analyze different information plans that compose a landscape. In this context, the watershed morphometric analysis helps as a reference for planning and management to determine and characterize the water flow. Based on this, this work aims to analyze and evaluate the physiographic characteristics of the Arroio do Ouro watershed, a sub-basin of Arroio Pelotas, located in the south of Rio Grande do Sul state, using a Digital Model of Elevation (MDE) obtained from the application of an *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS). The results allowed a broad, and general view of the relief characteristics and the drainage network of the watershed, some of the main results are: area of 2.22 km<sup>2</sup>, concentration time of 21.77 minutes, the average slope of 18.28%, flooding median tendency, smooth wavy to wavy relief are predominant in the watershed covering 69% of the area. The results obtained can help the water resources management of the Arroio do Ouro subwatershed.

**KEYWORDS:** Watershed management; Morphometric analysis; GIS; Remote sensing; Aerophotogrametric.

## INTRODUÇÃO

De acordo com Tucci (2013), o comportamento natural da água é caracterizado através do conceito de ciclo hidrológico, definido como um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera. Na hidrologia estuda-se com destaque a fase terrestre, onde toma-se como elemento principal a bacia hidrográfica, que é uma área onde a captação de água da chuva converge, através de cursos d'água, para um mesmo ponto, denominado exutório.

Contudo, a bacia hidrográfica funciona como um sistema aberto, onde qualquer interferência que ocorra na mesma irá repercutir, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos ao longo de sua extensão (SOARES *et al.*, 2020). Com isso, conhecer o meio físico se torna essencial no que compete a uma gestão mais adequada dos recursos das bacias, ou seja, conhecer as características morfométricas e físicas destas unidades permite o planejamento da ocupação do espaço de maneira mais sustentável e serve como um referencial no auxílio da tomada de decisão de projetos envolvendo o uso de recursos físicos na região (ALVES *et al.*, 2014; SOARES; SOUZA, 2012).

Vale destacar que as características morfométricas das bacias são todos os dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélites e sendo o primeiro procedimento executado em análises hidrológicas ou ambientais (WENZEL *et al.*, 2017). É possível obter a fisiografia do relevo a partir de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), onde, por meio da interpolação de curvas de níveis e distribuição espacial de dados numéricos de sua altitude e superfície (superfície matricial), geram-se os modelos

digitais de elevação (MDE), de onde se obtêm os índices matemáticos da bacia (OLIVEIRA *et al.*, 2010; CARELLI; LOPES, 2011).

Neste contexto, a revolução tecnológica da última década está transformando o levantamento de informações geomorfológica. Tecnologias recentes, como o escaneamento a *laser* aerotransportado e terrestre, revolucionaram a qualidade de MDEs, ampliando sua resolução e precisão (WESTOBY *et al.*, 2012). Ainda, plataformas leves e baratas para implementar sensores de imagens, como é o caso dos *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS), estão gradativamente se tornando mais utilizadas (WESTOBY *et al.*, 2012).

De acordo com Jesus *et al.* (2017), o emprego de RPAS para obtenção das imagens aéreas tem sido usado em diversos estudos de natureza hidrológica e ambiental. A utilização do RPAS torna possível a criação de um MDE, a partir de imagens coletadas através de voos sucessivos numa mesma área, os quais permitem extrair informações fisiográficas da bacia hidrográfica num determinado período de tempo.

Assim, o uso de um sensor acoplado a um RPAS tornou-se uma alternativa fácil e barata para obtenção de informações de superfície com alta resolução, ideal para pesquisas que necessitam repetibilidade com alta resolução temporal, através de *softwares* com estrutura baseada em movimento (Structure-from-Motion – SfM) (COOK, 2017).

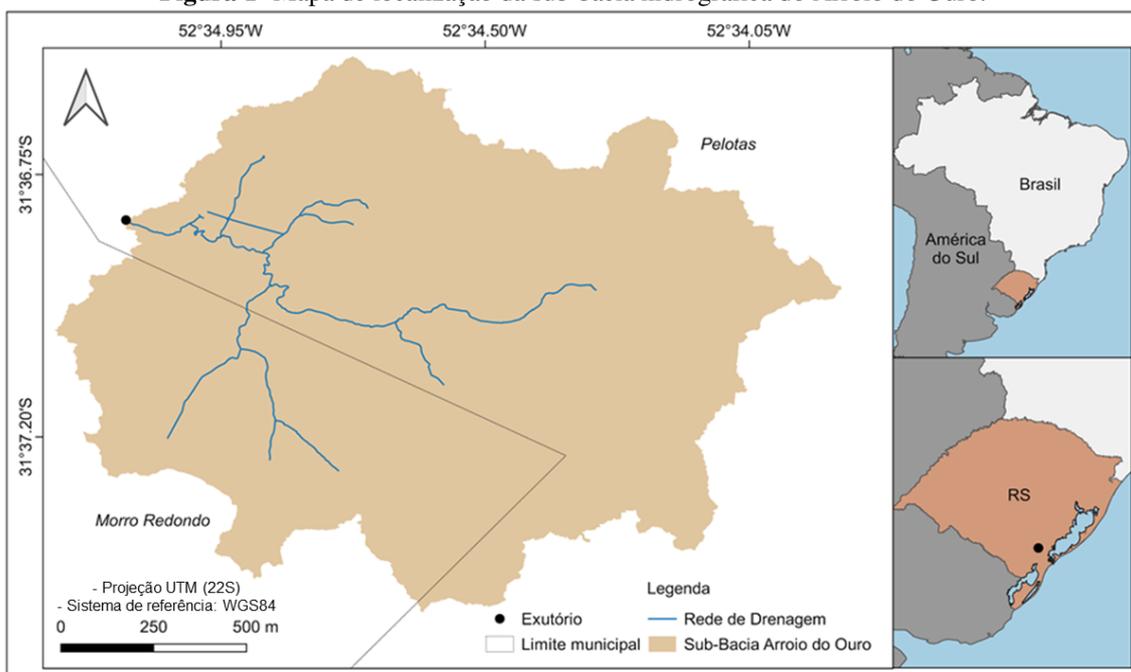
Com isso, esse trabalho tem por objetivo avaliar as características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul, utilizando um MDE obtido a partir da aplicação de um RPAS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O presente estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro (região sudeste da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro), localizada entre os municípios de Morro Redondo e Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul (RS) – Brasil, com área de aproximadamente 221 ha (Figura 1). A bacia em questão é considerada uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, a qual pertence à região geomorfológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. O Arroio do Ouro é um afluente do Arroio Cadeia, que, por sua vez, é um afluente do Arroio Pelotas. Possuindo a maior bacia hidrográfica do município de Pelotas, o Arroio Pelotas possui sua nascente no município de Canguçu-RS e o exutório no canal São Gonçalo.

**Figura 1-** Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.



Organização: Autores.

As classes de solo da região da bacia, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2018), são os Argissolos e Neossolos. Bartels (2015) destaca que o uso principal do solo na bacia é para a agricultura em pequenas propriedades rurais, com o cultivo, por exemplo, de pêsego, milho e tabaco, além disso, atividades de pecuária leiteira e avicultura também são desenvolvidas.

52

### **Aquisição de dados através de levantamento aéreo**

Para o levantamento aerofotogramétrico e obtenção dos dados foi utilizado o microRPAS Zangão V (Figura 2), um veículo aéreo não tripulado, pilotado remotamente, possuindo uma autonomia de voo de 12 minutos, recobrando uma área de aproximadamente 100 ha, com velocidade média de  $20 \text{ m.s}^{-1}$ . O RPAS possui plataforma modular, para esta aplicação, com acoplamento de uma câmera Canon PowerShot modelo ELPH110 HS, com sensor Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) com 16,5 megapixels de resolução. Vale destacar que, para avaliar a qualidade planimétrica dos produtos gerados, foi empregado o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), no qual, estabelece como normas pela legislação brasileira, um erro máximo aceitável de 0,5 mm de escala da carta em 90% dos pontos de controles utilizados, para o caso de cartas topográficas classe A (BRASIL, 1986).

**Figura 2** - MicroRPAS de asa fixa Zangão V utilizado no presente estudo.



Fonte: Autores.

Antes de efetuar o levantamento aerofotogramétrico foi realizado um reconhecimento de campo na área da sub-bacia (área total avaliada possui 221 ha) com o intuito de identificar os melhores locais para lançamento do RPAS. Para o planejamento e execução dos voos utilizou-se o *software* livre Mission Planner<sup>®</sup>. Já para o processamento das imagens utilizou-se o *software* PhotoScan<sup>®</sup> pertencente à empresa Agisoft.

Para melhor acurácia posicional, foram coletados pontos de controle e de verificação na área de estudo, em que, implantou-se um marco topográfico próximo ao exutório da bacia e fixado, com um erro sigma de 0,013 em latitude e longitude e 0,026 para altitude, após 23 horas de levantamento com o receptor GPS Promark 500 geodésico L1/L2. Durante a execução dos voos, com altitude de 200 m, foi colocado placas de madeiras (alvos) espalhadas dentro da área da sub-bacia com o intuito de servirem como pontos de controle e referência para o processamento inicial das imagens. Foram escolhidos 45 pontos de controle, de fácil identificação pelas imagens em elementos fixos (ex: postes, residências, rochas etc.), localizados dentro da área de estudo, definidos como pontos de controle e verificação. Para a obtenção do MDE foi realizado o processo de filtragem da nuvem de pontos, gerando um MDE completo, sob a forma de uma malha triangular.

## CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

A partir do MDE obtido do levantamento aerofotogramétrico, utilizando o *software* QGIS<sup>®</sup>, versão 2.18.24, *software* livre, de código aberto, que permite a visualização, edição e análise de dados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foi realizada a caracterização fisiográfica da referida bacia, começando por sua delimitação, definindo a área e o perímetro. Posteriormente analisou-se as seguintes características físicas:

- Fator forma ( $K_f$ ): razão entre a largura média da bacia e seu comprimento axial (TRAJANO *et al.*, 2012). Para o cálculo do fator de forma utilizou-se a Equação 1.

$$K_f = \frac{L}{L_{ax}} \quad \text{Equação 1.}$$

Em que o  $K_f$  é o fator de forma (adimensional),  $L$  a Largura média da bacia hidrográfica (km) e  $L_{AX}$  o comprimento axial da bacia hidrográfica (km).

Quanto mais próximo de zero, menor a propensão a enchentes, sendo que o  $K_f$  pode ser interpretado da seguinte maneira:

- 1,00 – 0,75: sujeito a enchentes;
- 0,75 – 0,50: tendência mediana a enchentes;
- <0,75: menor tendência a enchentes.

- Coeficiente de compacidade ( $K_C$ ): coeficiente de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia (RIBEIRO; PEREIRA, 2013). Para o cálculo do coeficiente de compacidade utilizou-se a Equação 2.

$$K_C = 0,28x \left( \frac{P_{BH}}{\sqrt{A_{BH}}} \right) \quad \text{Equação 2.}$$

Em que o  $K_C$  é o coeficiente de compacidade (adimensional),  $A_{BH}$  a área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>) e  $P_{BH}$  o perímetro da bacia hidrográfica.

Segundo Mello e Silva (2013), quanto mais próximo de um círculo o formato da bacia hidrográfica, maior propensão a grandes cheias estará a bacia. Portanto, o  $K_C$  pode ser interpretado da seguinte maneira:

- 1,00 – 1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes;
- 1,25 – 1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes;
- >1,50: bacia com menor propensão a grandes cheias.

- Índice de conformação ( $I_c$ ): corresponde à capacidade da bacia hidrográfica em gerar enchentes, onde, quanto mais próximo de 1, maior é a propensão a picos de cheia. O cálculo do  $I_c$  se deu conforme Equação 3, a qual compara a área da sub-bacia hidrográfica com a área de um quadrado de lado igual ao comprimento axial.

$$I_c = \frac{A_{BH}}{(L_{AX})^2} \quad \text{Equação 3.}$$

Em que o  $I_c$  é o índice de conformação (adimensional),  $A_{BH}$  a área da bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ) e  $L_{AX}$  o comprimento axial da bacia hidrográfica (km).

- Sinuosidade do curso d'água principal ( $S$ ): O cálculo da sinuosidade do curso d'água principal se dá através da razão entre o comprimento do dreno principal e o comprimento do talvegue (Equação 4). Conforme Villela e Mattos (1975), este índice demonstra um fator controlador da velocidade de escoamento das águas, sendo que o valor próximo a 1,0 retrata canais fluviais que tendem a ser retilíneos, por sua vez, valores superiores a 2,0 indicam que os canais fluviais tendem a ser sinuosos e valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

$$S = \frac{L}{L_T} \quad \text{Equação 4.}$$

Em que a  $S$  é a sinuosidade do curso d'água principal (adimensional),  $L$  o comprimento do curso d'água principal (km) e  $L_t$  o comprimento do seu talvegue (km).

- Densidade de drenagem ( $D_d$ ): foi obtido pela relação entre comprimento total dos drenos e a área da sub-bacia hidrográfica (Equação 5), e representa de forma direta a quantidade de cursos d'água existentes em uma determinada bacia. Esse índice, segundo Mello e Santos (2013), é bastante dependente da resolução e escala espacial do MDE utilizado, assim como, existem controvérsias sobre a interpretação dos resultados obtidos através desse índice, sendo que o mais usual é a comparação direta de valores de densidade de drenagem obtidos para duas bacias distintas, sendo que a bacia hidrográfica que obtiver o maior  $D_d$  é considerada a bacia mais acidentada em questões de topografia, e tende a gerar mais escoamento superficial direto para um mesmo evento de chuva.

$$D_d = \frac{\sum L}{A_{BH}} \quad \text{Equação 5.}$$

Em que a  $D_d$  é a densidade de drenagem ( $\text{km.km}^{-2}$ ),  $\sum L$  é o somatório do comprimento total dos drenos da bacia (km) e a  $A_{BH}$  é a área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

- Densidade da rede de drenagem ( $D_R$ ): Corresponde à relação entre o número total de cursos d'água e a área total da bacia (Equação 6).

$$D_R = \frac{N}{A} \quad \text{Equação 6.}$$

Em que a  $D_R$  é a densidade da rede de drenagem ( $\text{km}^{-2}$ ),  $N$  o número total de cursos d'água e a  $A_{BH}$  é a área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

- Tempo de concentração ( $t_c$ ): Para calcular o tempo de concentração da bacia, foi usada a equação de Kirpich (Equação 7). Vale destacar que o tempo de concentração representa o tempo no qual o escoamento decorrente de uma determinada precipitação que ocorreu no ponto mais extremo da bacia, levaria para chegar ao exutório.

$$t_c = 57xL^{1,155}xH^{-0,385} \quad \text{Equação 7.}$$

Em que o  $t_c$  é o tempo de concentração (minutos),  $L$  o comprimento do curso d'água principal (km) e o  $H$  o desnível entre a cabeceira e o exutório (m).

- Elevação (mínima, média e máxima) e declividade (mínima, média e máxima): os valores de tais parâmetros foram obtidos mediante o MDE, através do recorte da bacia aqui analisada por meio de ferramentas SIG.

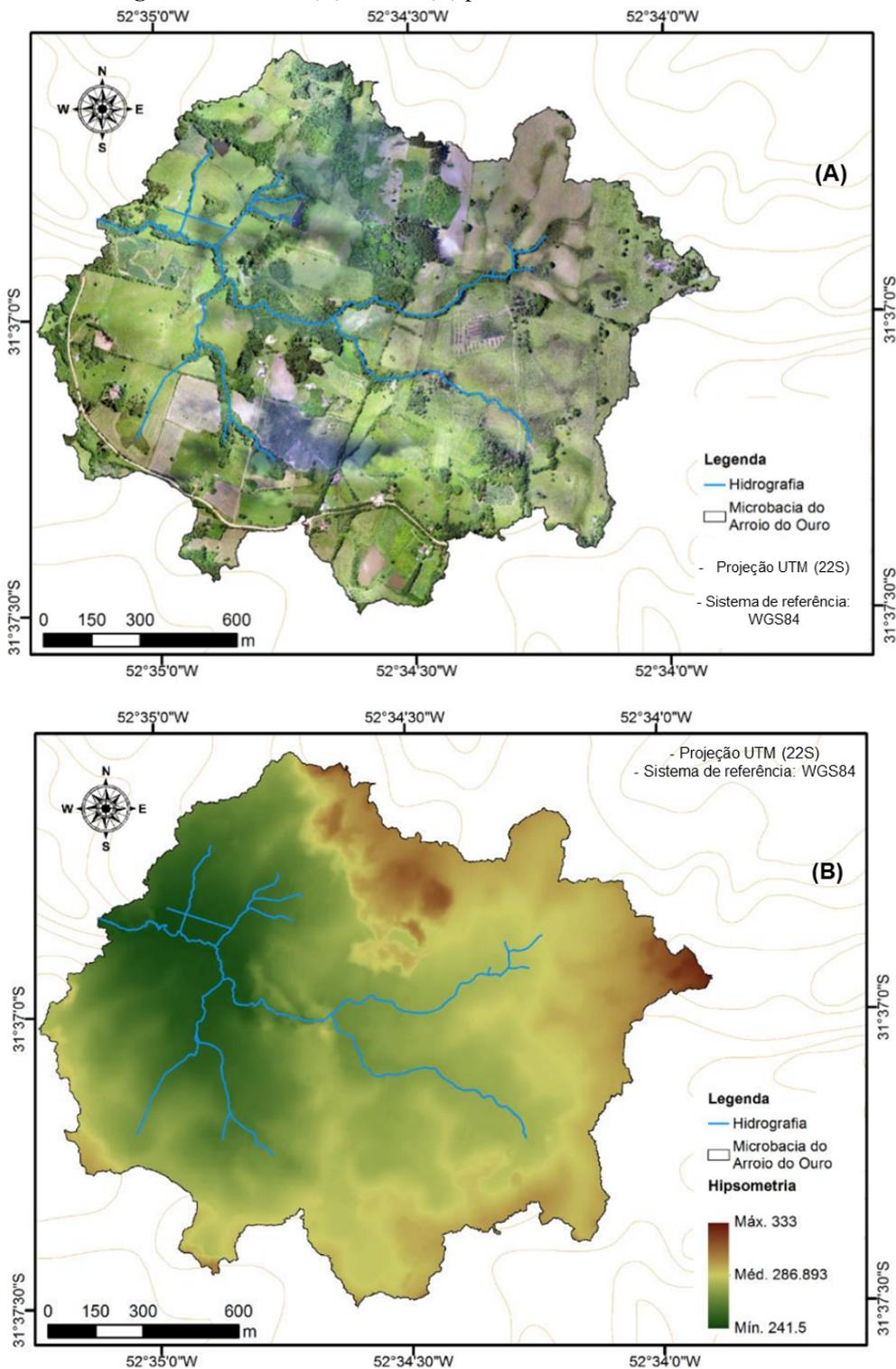
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Levantamento aéreo

Cobrimo uma área total de 477 ha, os levantamentos aéreos resultaram ao todo em 729 fotografias, cada uma obtida com o tamanho de 4608 X 3456 *pixels* e 180 dpi de resolução, que após processamento resultaram em uma ortofoto com resolução espacial de 6,13 cm (Figura 3A). O processamento da ortofoto também resultou em um MDE com resolução espacial de 30 cm (Figura 3B) e, a partir dessa análise, em ambiente SIG, constatou-se que a bacia possui uma amplitude

hipsométrica de 89 m, com elevação ortométrica mínima de 241,5 m, média de 286,89 m e máxima de 333 m.

**Figura 3** - Ortofoto (A) e MDE (B) para a sub-bacia do Arroio do Ouro.



Organização: Autores.

## CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

Após o levantamento aerofotogramétrico e a obtenção do MDE, os primeiros resultados extraídos em ambiente SIG das características fisiográficas iniciais da bacia do Arroio do Ouro se encontram descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** -Características iniciais obtidas para a sub-bacia do Arroio do Ouro.

Variável	Resultado
Área da Bacia	2,22 km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia	8,25 km
Comprimento do rio principal	1,98 km
Comprimento de todos os cursos d'água	5,55 km

Organização: Autores.

Conforme Carvalho *et al.* (2009), a sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro pode ser considerada de pequena dimensão (área de 2,22 km<sup>2</sup> e perímetro de 8,25 km), o que viabiliza o controle dos eventos hidrológicos. Ainda se destaca que essa pequena área, comparada a bacias maiores, pode contribuir na maior concentração do escoamento superficial na bacia e no menor tempo necessário para que este escoamento chegue à seção de controle.

Posteriormente, calculou-se o Kf, razão entre a largura média da bacia (1,16 km) e seu comprimento axial (1,77 km) obtendo um valor de 0,66, o que de acordo com a classificação apresentada na metodologia faz com que a bacia se caracteriza por possuir tendência mediana a enchentes. Já o Kc obtido foi de 1,56, indicando uma bacia com menor propensão a grandes cheias. Vale destacar que a forma da bacia influencia no escoamento superficial durante uma determinada chuva, bacias mais alongadas caracterizam tempos de escoamentos mais lentos, já bacias arredondadas apresentam tempo de resposta a chuva mais rápido (Mello; Silva, 2013). Em relação ao Ic, o resultado obtido foi de 0,70, indicando uma bacia com propensão média a enchentes corroborando com o resultado encontrado para o Kf (OLIVEIRA *et al.*, 2010; MELLO; SILVA, 2013).

O tempo de concentração estimado, tempo no qual o escoamento decorrente de uma determinada precipitação que ocorre no ponto mais extremo da bacia alcança o exutório, nesse caso foi de 21,77 min (Tabela 2). Já a sinuosidade calculada, índice que demonstra um fator controlador da velocidade de escoamento das águas, para o curso d'água principal, foi de 1,16 (Tabela 2) que, de acordo com Villela e Mattos (1975), demonstra que o manancial apresenta baixa sinuosidade, tendendo a ser retilíneo. Em estudo realizado por Santos *et al.* (2014), encontraram os valores de

1,20 e 1,27 para a sinuosidade durante análise de 2 microbacias no semiárido brasileiro, indicando canais com escoamento de velocidade mediana.

A ordem dos cursos d'água reflete no grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia (Macedo *et al.*, 2010). Classificada pelo método de Strahler, a rede de drenagem da sub-bacia do Arroio do Ouro foi classificada como de 3<sup>a</sup> ordem com 19 cursos de água e obteve uma densidade da rede de drenagem (Dr) de 8,57 canais.km<sup>2</sup> (Tabela 2). Conforme Bogaart e Troch (2006), estes parâmetros retratam a grande disponibilidade de canais ou nascentes da bacia, possuindo um significado hidrológico claro ao demarcar o escoamento subsuperficial dos canais de escoamento superficial.

No que compete aos resultados da densidade de drenagem (Dd), obteve-se o valor de 2,52 km.km<sup>-2</sup> para a bacia aqui analisada, indicando um sistema bem drenado (Tabela 2). De acordo com Villela e Mattos (1975) este índice pode variar de 0,50 km.km<sup>-2</sup> em bacias com drenagem escassa a 3,50 km.km<sup>2</sup> ou mais em bacias bem drenadas. Ressalta-se que os resultados da Dd permitem avaliar e analisar o nível de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia e também servem como indicação da sua eficiência. Outro ponto relevante sobre os resultados da Dd é que valores menores podem estar associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação (OLIVEIRA, 2011).

**Tabela 2-** Características hidrológicas da sub-bacia do Arroio do Ouro.

Variável	Resultado
Densidade de rede de drenagem “Dr”	8,57 km <sup>2</sup>
Densidade de drenagem “Dd”	2,52 km.km <sup>2</sup>
Declividade do curso d’água principal	2,16 %
Tempo de concentração	21,77 min
Sinuosidade “S”	1,16
Declividade média da bacia	18,28%

Organização: Autores.

Ainda sobre os resultados expressos na Tabela 2, a declividade média encontrada para a sub-bacia do Arroio do Ouro foi de 18,28%. Em estudo realizado por Bartels *et al.* (2021), identificaram uma declividade média entre 13% a 58% ao longo da bacia do Arroio do Ouro.

O mapa de declividade para a sub-bacia foi gerado a partir do MDE (Figura 4). As classes de declividade sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018)

encontram-se na **Tabela 3**, assim como a distribuição da área de ocupação e da porcentagem de cada declividade da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

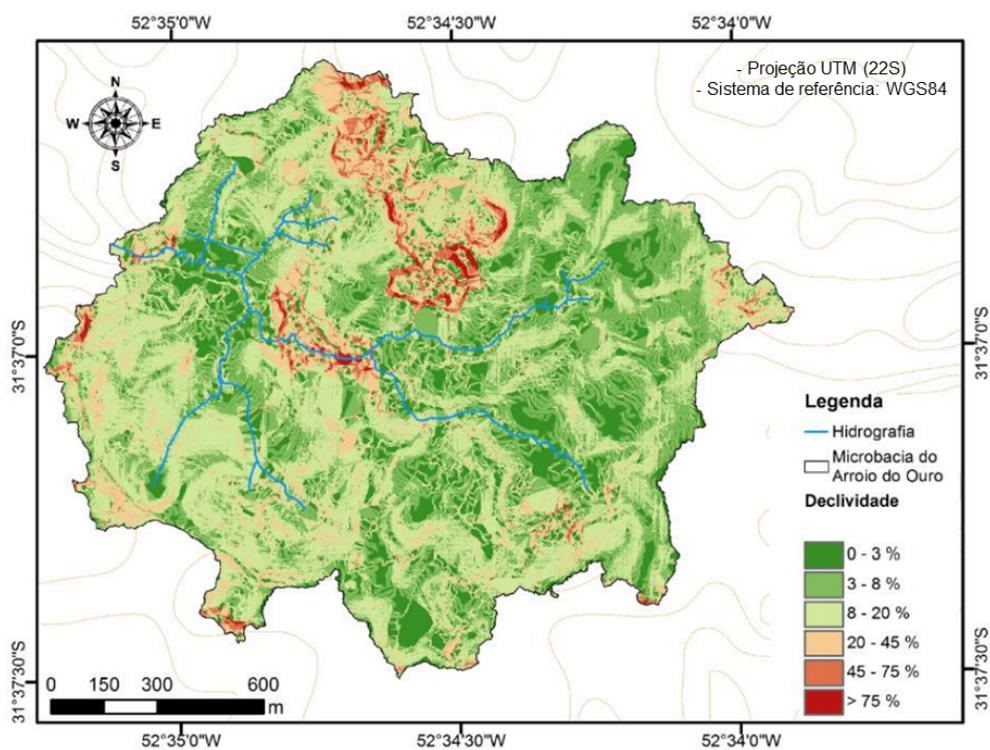
**Tabela 3** - Classificação de declividades do relevo e distribuição da área de ocupação e da porcentagem de cada declividade da sub-bacia do Arroio do Ouro.

<b>Classes do relevo</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Plano	0-3	37,45	16,90
Suave ondulado	3-8	59,05	26,65
Ondulado	8-20	93,37	42,14
Forte ondulado	20-45	24,24	10,94
Montanhoso	45-75	5,68	2,56
Escarpado	>75	1,79	0,81

Organização: Autores.

Conforme a Tabela 3, 42,14% do relevo da área da bacia é classificado como ondulado, e 26,65% suave ondulado, 0,81% é classificado como escarpado (>75%). Os resultados obtidos em ambiente SIG condizem com o observado em campo, possuindo essa área predominância de relevo suave ondulado a ondulado, onde juntos compõem aproximadamente 69% da área total da sub-bacia (Figura 4).

**Figura 4** - Mapa da declividade da sub-bacia do Arroio do Ouro.



Organização: Autores.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados foi possível identificar e avaliar as características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Ouro, através da utilização de um MDE obtido a partir da aplicação de um RPAS. Com o uso dessa técnica foi possível bem descrever as características e propriedades de uma bacia hidrográfica rural e pode ser empregada em outras análises que necessitem diagnosticar um ambiente para seu plano de uso e manejo. Portanto, tais resultados e caracterizações poderão servir de auxílio na tomada de decisões, no manejo e para a conservação dessa específica sub-bacia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim (ALM) pela proposição do tema e auxílio durante o processo de correção desta obra.

Os autores agradecem ao laboratório NEPE-HidroSedi da Universidade Federal de Pelotas (UFPEl) pela disponibilidade dos dados utilizados nesta obra.

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela bolsa concedida ao primeiro, segundo e quarto autores e o terceiro autor agradece à FAPERGS.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, M. T. Análise morfométrica da bacia hidrográfica riacho Namorado, São João do Cariri-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 3, p.130-148, 2014.
- BARTELS, G. K. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 87p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2015.
- BARTELS, G. K.; CASTRO, N. M. R.; COLLARES, G. L.; FAN, F. M. Performance of bedload transport equations in a mixed bedrock–alluvial channel environment. **Catena**, 199, p. 105108, 2021.
- BOGAART, P. W.; TROCH, P. A. Curvature distribution within hillslopes and catchments and its effect in the hydrological response. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 3, n. 3, p. 1071-1104, 2006.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia. **Cartografia e Aerolevanteamento: Legislação**. Brasília, D.F., Brasil, 1986.
- CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos d’Água em Feira de Santana: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011.
- CARVALHO, W. M.; VIEIRA, E. O.; ROCHA, J. M. J.; PEREIRA, A. K. S.; CARMO, T. V. B. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará – MG. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 398-412, julho-setembro, 2009.
- COOK, K. L. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. **Geomorphology**, v. 278, p. 195–208, fev. 2017.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Sistema brasileira de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília – DF: Embrapa Solos, 2018.
- JESUZ, C. R.; GONÇALVES JUNIOR, F. A.; FERREIRA, M. E.; SOUTO, R. N. V. Aplicação de veículos aéreos não tripulados na obtenção de parâmetros para análise da paisagem: um ensaio de pesquisa em Campo Verde – MT. **Geotecnologias e Modelagem Espacial em Geografia Física**, v. 1, p. 4859-4870, 2017.
- MACEDO, F. L.; PEDRA, W. N.; MELLO JUNIOR, A. V. Caracterização fisiográfica da sub-bacia do Riacho Jacaré – SE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, n. 3, p. 163-169, 2010.

MELLO, C. R de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Ver. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.

OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica e seus componentes na sub-bacia hidrográfica do horto florestal terra dura, Eldorado do Sul (RS)**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terræ**, São Paulo, v. 10, n. 1-2, p. 15-20, 2013.

SANTOS, J.Y.G.; SILVA, R.M.; CARVALHO NETO, J.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, A.M. Assessment of land use change on streamflow using GIS, remote sensing and a physically-based model, SWAT. **IAHS-AISH Publication**, v.364, p.38-50, 2014.

SOARES, M.; SOUZA, J. Análise morfométrica da bacia do rio Pequeno em São José dos Pinhais - PR. **Geografia (Londrina)**, v. 21, p. 019-036, 2012.

SOARES, I. G.; SANTOS, L. C. A.; SZLAFSZTEIN, C. F. Aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Rio Preto – MA: uma ferramenta para a gestão ambiental. **Ciência Geográfica**, v. 24, n. 3, p. 1105-1128, 2020.

TRAJANO, S.; SPADOTTO, C.; HOLLER, W.; DALTIO, J.; MARTINHO, P.; FOIS, N.; SANTOS, B.; TOSCHI, H.; LISBOA, F. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape**. Campinas, SP, 33 p., 2012.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. (4aed.) Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WENZEL, D. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; MENDES, M. A. S. A.; SOUZA, L. G. S. Características fisiográficas de sub-bacias do Médio e Alto Rio Teles Pires, Mato Grosso. **Rev. Ciênc. Agroamb**, v. 15, n. 2, p. 123-131, 2017.

WESTOBY, M.J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N.F.; HAMBREY, M.J.; REYNOLDS, J.M. Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, dez. 2012.

Recebido em: 01/04/2021  
Aceito em: 29/11/2021