

# CÁLCULO DA LARGURA OBJETIVA DA CALHA DO LEITO REGULAR DE UM CURSO D'ÁGUA USANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

CALCULATION OF THE OBJECTIVE WIDTH OF A WATERCOURSE'S  
REGULAR RIVERBED USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Emanuelle Zordan de Melo** 

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Uberlândia (MG), Brasil.

**Claudionor Ribeiro da Silva** 

Docente do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da UFU – Uberlândia (MG), Brasil.

**Endereço para correspondência:**

Emanuelle Zordan de Melo –  
Universidade Federal de Uberlândia,  
BR 050, km 78, Campus Glória,  
Bloco 1CCG - Salas: 204A  
(Secretaria) – CEP: 38410-337 –  
Uberlândia (MG), Brasil – E-mail:  
emanuellezm@gmail.com

**Recebido em:** 26/12/2018

**Aceito em:** 27/5/2019

## RESUMO

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), segundo o atual Código Florestal Brasileiro (CFB), são delimitadas a partir da largura da calha do leito regular do rio. Contudo, a medida da largura supracitada não é bem definida no CFB, apresentando subjetividade. Assim, o objetivo deste estudo é delimitar, de forma objetiva, a largura do leito regular. Para tanto, foram utilizadas imagens obtidas com um veículo aéreo não tripulado (VANT), aplicando técnicas de segmentação de imagens e o diagrama Voronoi. O experimento foi realizado em um trecho do Rio Uberabinha, Minas Gerais. A região de APP medida com esse método apresentou diferenças de 5,18% em relação à APP obtida por meio de técnicas convencionais, que desconsideram a calha do leito regular dos corpos d'água. A vantagem do método proposto está na eliminação da subjetividade das técnicas convencionais, que usam uma aproximação para essa medida.

**Palavras-chave:** sistema de informações geográfica; área de preservação permanente; geotecnologias; recursos naturais.

## ABSTRACT

The Permanent Preservation Areas (PPAs), according to the current Brazilian Forest Code (BFC), are delimited from the width of the regular riverbed. However, the measurement of the aforementioned width is not well defined in the BFC, presenting subjectivity. Thus, the objective of this study is to objectively delineate the width of the regular riverbed. For this, images obtained with an unmanned aerial vehicle (UAV) were used, applying image segmentation techniques and the Voronoi diagram. The experiment was carried out in a stretch of the Uberabinha River, Minas Gerais. The region of APP measured with this method showed differences of 5.18% in relation to APP obtained by conventional techniques, which disregard the gutter the regular bed of water bodies. The advantage of the proposed method is in eliminating the subjectivity of conventional techniques, which use a approximation for this measure.

**Keywords:** geographic information system; permanent preservation area; geotechnologies; natural resources.

## INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta e complexa malha hidrográfica, na qual as formas de uso e ocupação do solo, bem como a expansão agrícola e o desenvolvimento industrial, compreendem fatores que interferem diretamente na disponibilidade e na qualidade do recurso hídrico ofertado, necessitando, portanto, de um acompanhamento acerca da conservação deste recurso natural (TE-RUYA JUNIOR *et al.*, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Entre os marcos regulatórios que regem sobre a temática hídrica no país, importa destacar o atual Código Florestal — Lei nº 12.651/2012, que revoga a Lei nº 4.771/1965, antigo Código Florestal, sendo alterado e complementado pela Lei nº 12.727/2012 e pelo Decreto nº 7.830/2012, sancionado efetivamente em 25 de maio de 2012. A referida legislação corrente dispõe acerca da proteção da vegetação nativa, instituindo as chamadas Áreas de Preservação Permanentes (APPs), que compreendem áreas protegidas, cobertas, ou não, por vegetação nativa, cuja função ambiental abrange, entre outras, a preservação dos recursos hídricos (BRASIL, 2012).

Segundo Coelho, Buffon e Guerra (2011), a vegetação ciliar compreende uma zona essencial para a preservação da qualidade da água. Dessa forma, as APPs de um determinado curso d'água têm predominantemente a função protetora dos recursos hídricos. Essas áreas legalmente protegidas proporcionam ainda o fluxo gênico entre as espécies florísticas e faunísticas, fomentando a formação de corredores ecológicos e diminuindo, por conseguinte, a fragmentação do habitat (BRASIL, 2012).

No âmbito do Estado de Minas Gerais, a regulamentação se dá pela Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado, figurando as APPs em conformidade à esfera federal. Para além, o art. 9º, inciso I, da legislação estadual, determina como APPs as faixas marginais localizadas ao longo de cursos d'água naturais perenes e intermitentes, excluídos os efêmeros, medidas a partir da borda da calha do leito regular, cuja largura mínima de proteção varia entre 30 e 500 m (MINAS GERAIS, 2013).

Nota-se, nesse contexto, a intrínseca relação entre a correta delimitação da chamada “calha do leito regular”, ou seja, da largura do bem salvaguardado

(curso d'água/rio), com a respectiva extensão a ser protegida nos termos da vegetação nativa ciliar. Conforme apontamento realizado por Campagnolo *et al.* (2017), para a legislação federal, que pode ser igualmente aplicado à esfera estadual, o gargalo apresentado pelo texto legal refere-se à ausência do descritivo das características que devem ser observadas *in loco* para tal delimitação.

Diversas pesquisas recentes têm a proposta de delimitar e apontar conflitos habituais em áreas de preservação permanente, como, por exemplo, aqueles relacionados a uso e ocupação do solo (SILVA; LEMOS; MORAES, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; FERRARI *et al.*, 2015; ALVES; FERREIRA, 2016; CUNHA; LUCENA; SOUSA, 2017), conflitos socioambientais (OLIVEIRA; REIS, 2017) e impactos ambientais (ARAÚJO, 2015; ALVES; MEDEIROS, 2016; SILVA; BACANI, 2017). Contudo, as análises geralmente são desenvolvidas com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, no âmbito de bacias hidrográficas, nas quais, para que sejam viabilizadas, a escala empregada é comumente generalista. Além disso, são frequentemente utilizadas formas manuais pouco precisas e até equivocadas para determinar a largura dos cursos d'água associados e, conseqüentemente, estabelecer a metragem das APPs.

Corroborando a problemática, Campagnolo *et al.* (2017) destacam que são muitas as limitações da análise do Código Florestal Brasileiro (CFB), como a ausência de um registro cartográfico unificado da malha fundiária nacional, mapas em escala de detalhe da rede de drenagem, registro das larguras dos rios e de uma base integrada por todos os remanescentes de vegetação nativa nos seus vários estágios de conservação e regeneração.

A Lei nº 20.922/2013 descreve, de forma simplista, em seu art. 2º, inciso XVIII, que o leito regular é “a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano”. Segundo a referida legislação, faz-se necessária a definição e delimitação do leito considerado regular, para determinado curso d'água, para posterior cálculo da largura da APP (MINAS GERAIS, 2013). Assim, tendo por referência os limites imediatos das bordas da calha delimitada, calcula-se a largura do corpo hídrico como sendo a distância entre essas duas bordas. A partir dessas bordas e da largura do curso

d'água, torna-se possível a projeção da faixa marginal de vegetação a ser preservada em cada lado da calha (MEDEIROS, 2013).

Alguns fatores merecem destaque diante da possibilidade de influenciarem diretamente a delimitação proposta pela legislação, entre eles, a sazonalidade observada para o local, as características físico-geográficas do corpo hídrico em análise, além do método escolhido pelo observador para realizar a delimitação da calha. Esse último fator é o mais subjetivo dos três, por não ser exato e depender do conhecimento de cada analista. Somado à dificuldade na definição exata da calha está o método de levantamento dessa informação, que tradicionalmente é moroso e oneroso, como a topografia. Nesse contexto, as geotecnologias, em es-

pecial os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) aliados à Fotogrametria e ao Sensoriamento Remoto, fornecem significativo subsídio para a otimização desses estudos, minimizando custos e tempo de execução (SOUZA *et al.*, 2014).

Ante o exposto, a presente pesquisa objetivou propor uma metodologia para delimitar e representar, de forma única e objetiva, a calha do leito regular de cursos d'água e, conseqüentemente, das APPs, de forma a retirar a subjetividade inerente às legislações regulamentadoras e atenuar as divergências metodológicas nas mensurações. Para tanto, serão utilizadas imagens obtidas com o auxílio de um veículo aéreo não tripulado (VANT) e técnicas de processamento digital de imagens, integradas em um SIG.

## GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO AMBIENTAL

Os denominados SIGs compreendem ferramentas que atuam diretamente com a localização espacial dos dados, a partir do seu tratamento computacional. Para viabilizar e fundamentar tal atuação, torna-se necessário que as informações geográficas a serem trabalhadas em ambiente SIG estejam georreferenciadas, ou seja, que tenham localização espacial na superfície terrestre, representada, no mínimo, por um par de coordenadas no espaço cartesiano bidimensional (CÂMARA; QUEIROZ, 2004).

Nesse sentido, conforme destacam Worboys e Duckham (2004), os SIGs compreendem sistemas computacionais capazes de capturar, modelar, armazenar, recuperar, manipular, analisar e apresentar dados geográficos. Comumente, esses sistemas trabalham com arquivos nos formatos matricial “*raster*” e vetorial “*shapefile*” (ESRI, 1998), armazenando as informações geoespaciais em forma de matriz e vetores. Os arquivos *shapefiles* suportam feições geométricas de pontos, linhas e polígonos (área), compreendendo ainda o armazenamento de informações de atributos no formato de arquivo dBASE®.

Conforme destaca Florenzano (2011), a utilização dos SIGs associados às técnicas de sensoriamento remoto, com o uso de imagens de satélite, permite o desenvolvimento de estudos regionais e integrados, a partir do manuseio de dados georreferenciados provenientes de diversas fontes, objetivando a identificação de ações antrópicas variadas, ocorridas em um determinado local

de interesse. Ainda nesse sentido, pode ser destacado o crescente uso dos VANTs (tradução do termo UAV — *unmanned aerial vehicle*), popularmente conhecidos como Drones, em estudos ambientais. Os VANTs compreendem veículos aéreos que variam entre pequeno e médio porte, cuja principal característica consiste no fato de serem aeronaves pilotadas remotamente, sem a necessidade de um piloto para condução. Esses veículos são parcial ou totalmente autônomos, capazes de carregar pequenas cargas embarcadas, podendo ser dotados de sensores como câmeras filmadoras, fotográficas e multiespectrais (MEDEIROS, 2007).

A Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017, da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), classifica Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft System* — RPAS) como a aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação. Para além da legislação, o referido órgão trabalha ainda o conceito de Drone como o termo utilizado de forma coloquial e popular para se referir aos equipamentos remotamente pilotados, contudo, o termo *drone* é genérico. Dessa forma, será adotado neste texto o termo VANT.

Entre os diversos benefícios acarretados pelos VANTs podem ser destacados o fácil manuseio e a pilotagem, propiciando o mapeamento da superfície em alta resolução tanto espacial, devido à elevada qualidade do sensor (câmera), quanto temporal, mediante a possibilidade de voos frequentes (VIDAL, 2013; VIVONI *et al.*,

2014; KAKAES *et al.*, 2015). Destaca-se que as imagens aéreas de alta e média resolução espacial podem ser usadas nos mapeamentos em grandes escalas, proporcionando a detecção de objetos em detalhes na superfície levantada, seja em ambientes urbanos ou rurais. Especificamente no contexto ambiental, diversos autores, como Silva *et al.* (2018), Gamarra *et al.* (2016) e Mendes *et al.* (2016), evidenciam o uso das geotecnologias associadas ao planejamento territorial e ambiental, objetivando fomentar a conservação ambiental. No cenário hídrico, Casado *et al.* (2015) apontaram a forte dependência da utilização de imagens de alta resolução obtidas com VANT para obtenção das

características hidromorfológicas de forma automatizada do Rio Dee near Bala dam, no País de Gales, Reino Unido; além disso, conforme apontam Wilkowski *et al.* (2017), dados obtidos com VANT tornam possível determinar a linha de cursos de água naturais.

Assim, os VANTs representam um avanço para o setor de mapeamento ambiental, principalmente quando aliados às técnicas desenvolvidas no âmbito dos SIGs (NEX; REMONDINO, 2014), podendo fornecer, além de imagens com alta qualidade, Modelos Digitais de Terreno (MDTs) e de Superfície (MDEs), polígonos de bacias hidrográficas, redes de drenagem, mapas de declividade, entre outros.

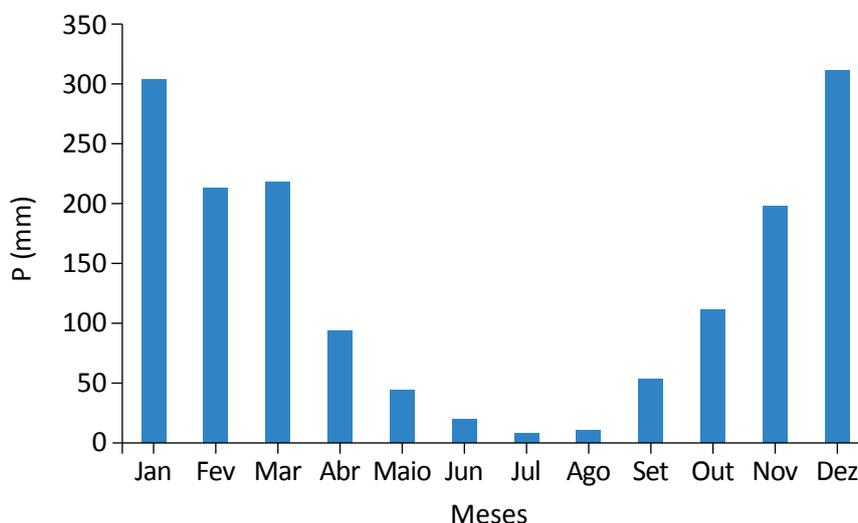
## ANÁLISE DA SAZONALIDADE PLUVIOMÉTRICA

Em concordância ao embasamento legal supradescrito, a calha do leito regular do rio é definida pelo Código Florestal Federal e Estadual (Minas Gerais) como sendo “a calha por onde correm regularmente as águas do curso d’água durante o ano”. Nesse contexto, é necessária a análise do cenário hídrico de inserção da área de estudo, sendo considerada, para tanto, a pluviometria do município.

De acordo com Silva *et al.* (2015), a classe climática da região em estudo é definida como Aw, segundo classificação de Köppen e Geiger. As estações chuvosas e

secas são bem definidas, sendo evidenciados os menores valores de precipitação de maio a setembro, conforme explicitado na Figura 1. Por outro lado, de outubro a abril concentram as maiores precipitações pluviiais (Figura 1), com maior destaque para dezembro e janeiro.

Segundo Bertoni e Tucci (2014), existe uma relação intrínseca entre as chuvas e a vazão de uma bacia ou rio. Partindo desse princípio, pode-se inferir que o mês de setembro (fim do período seco em Uberlândia, Minas Gerais) representa o melhor momento para a



Fonte: Silva *et al.* (2015).

**Figura 1 – Precipitação pluvial média mensal (P) de Uberlândia, Minas Gerais, nos períodos de 1981 a 1985 e de 1991 a 2013.**

visualização da cota mínima. Nessa perspectiva, o mês de dezembro (centro do período chuvoso local) se apresenta como ideal para a observação das maiores cotas dos cursos de água da região.

O mês de setembro favorece a definição do leito menor da calha de um rio e o de dezembro permite a delimitação do leito maior (Figura 2). O Código Florestal revogado (Lei nº 4.771/1965) previa a delimitação das

APPs ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto, sendo, para tanto, favorecido o período mais chuvoso. Por outro lado, levando em consideração o Código Florestal Estadual vigente (Lei Estadual nº 20.922/2013 — MINAS GERAIS, 2013), a delimitação das APPs é definida a partir da calha do leito regular do curso d'água, que é mais bem representada em períodos de seca, na qual o nível da água é rebaixado à calha real do rio.

## DIAGRAMA DE VORONOI

O diagrama de Voronoi, também conhecido como polígonos de Thiessen, é utilizado para resolver problemas que envolvam conceitos de proximidade em um plano. Essa função é comumente aplicada na matemática, em que dado um conjunto de  $n$  pontos  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ , a região de Voronoi do ponto  $p_i$ , representado por  $V(p_i)$ , compreende o conjunto de pontos tão próximo a  $p_i$  quanto de qualquer outro ponto em  $P$ , isto é,  $V(p_i) = \{x \mid |p_i - x| \leq |p_j - x| \forall 1 \leq j \leq n\}$ .

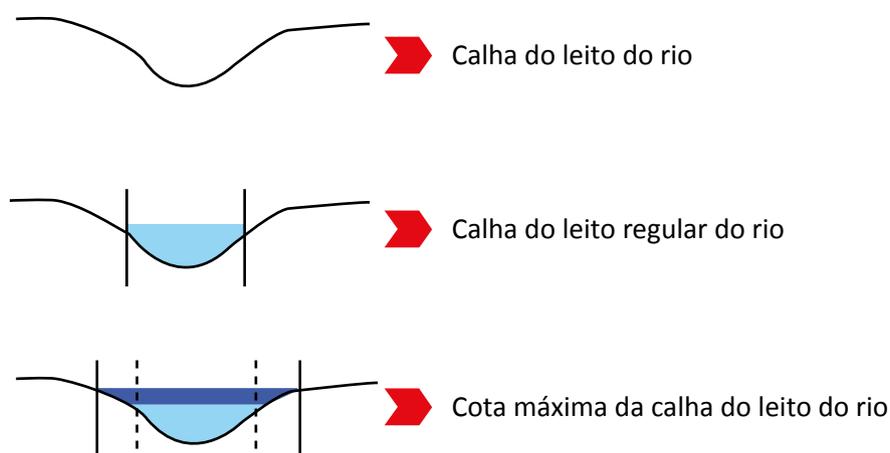
Segundo Moura (2009), o princípio do diagrama de Voronoi é de que, considerando que em um plano existem pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra fonte, o resultado é um polígono de cujas distâncias entre a fonte e o ponto são as menores possíveis. Entre as diversas aplicações desse diagrama, pode-se destacar a obtenção da linha de centro de um polígono complexo. Por analogia, nos casos em que um curso d'água é delimitado a partir de suas duas margens, a linha de centro do polígono compreende o eixo central efetivo do rio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo da presente pesquisa compreende parte do trecho do Rio Uberabinha, cuja bacia hidrográfica se situa no estado de Minas Gerais, na Mesorregião Geográfica do

Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, abrangendo terras dos municípios de Uberaba (20% da área da bacia), Uberlândia (70% da área da bacia) e Tupaciguara (10% restantes).



Fonte: Autores (2018).

Figura 2 – Diferenciações na calha do leito do curso d'água.

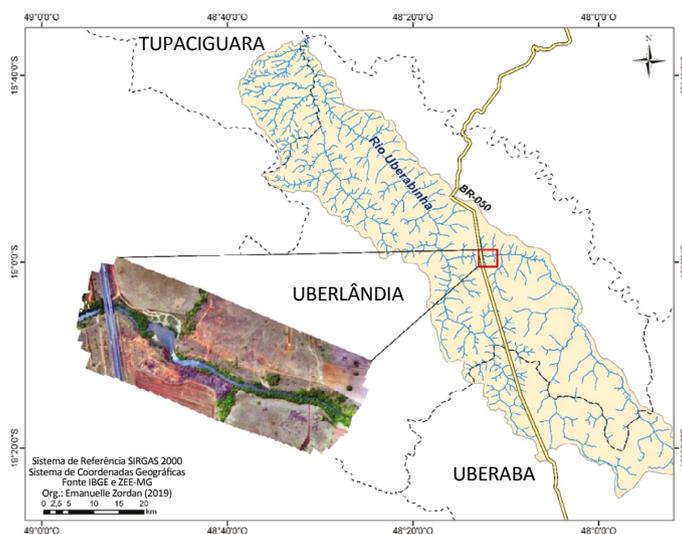
O referido curso d'água tem aproximadamente 155 km de extensão e atravessa todo o município de Uberlândia, contempla suas nascentes no município de Uberaba e desagua no baixo curso do Rio Araguari, conforme disponibilizado no Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais (ZEE-MG, 2018). O trecho de análise da presente pesquisa tem 960 m de extensão (em linha reta) e está localizado próximo à ponte do Rio Uberabinha, na BR-050, região do Poço Azul, no sentido de Uberlândia-Uberaba, conforme apresentado na Figura 3.

## Materiais

Para desenvolvimento do presente artigo foram utilizadas como material de apoio as imagens obtidas a partir de um VANT, produzido pela empresa chinesa DJI, modelo Phantom 3 Standart, multirrotor de asas rotativas, cujas especificações técnicas encontram-se descritas na Tabela 1. O referido aparelho vem acompanhado do

software DJI GO, que permite a comunicação por rádio de 2.4 GHz, com alcance de aproximadamente 1 km na função de voo autônomo (piloto automático).

A ortofoto foi gerada no Agisoft 3.2, que é um *software* fotogramétrico próprio para processamento de fotos de



Fonte: Autores (2018).

Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Uberabinha com destaque para o trecho em estudo.

Tabela 1 – Especificações técnicas do veículo aéreo não tripulado Phantom 3 Standart.

Peso (incluindo bateria e hélices)	Sensor	Lente	Tamanho da imagem	Formato da imagem
1216 g	1/2.3" CMOS Effective pixels: 12 M	FOV 94º 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8	4.000 × 3.000	JPEG, DNG (RAW)

Fonte: DJI (2018).

drones. Ademais, para executar a vetorização das margens e eixo (calha do leito) do Rio Uberabinha, foram utilizadas as ferramentas do *software* ArcGIS versão 10.3, conforme

detalhado adiante. Oportuno mencionar que esses *softwares* se encontram disponíveis na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para utilização acadêmica.

## Delimitação da calha do leito regular do curso d'água

Para obtenção do eixo referente à calha do leito regular do trecho em estudo no Rio Uberabinha, foi aplicada uma sequência de técnicas de processamento de

imagens implementadas nos softwares Agisoft e ArcGIS 10.3, conforme apresentado no fluxograma (Figura 4) e detalhado nos itens subsequentes.

### Levantamento aerofotogramétrico com VANT

Como o objetivo deste estudo é delimitar a calha do leito regular do rio, a partir do seu eixo central, foi escolhido o período de estiagem na região para coleta das fotos aéreas. Assim, o voo para obtenção das imagens foi planejado para o mês de setembro.

de programada para o voo foi de 15 m/s. Nessa configuração, o GSD da ortofoto gerada foi de 3,51 cm.

O voo foi executado com altura de 100 m e com sobreposições laterais e longitudinais de 60 e 70%, respectivamente. Nessa configuração, foram coletadas 146 fotos distribuídas em 5 linhas de voos. A velocidade

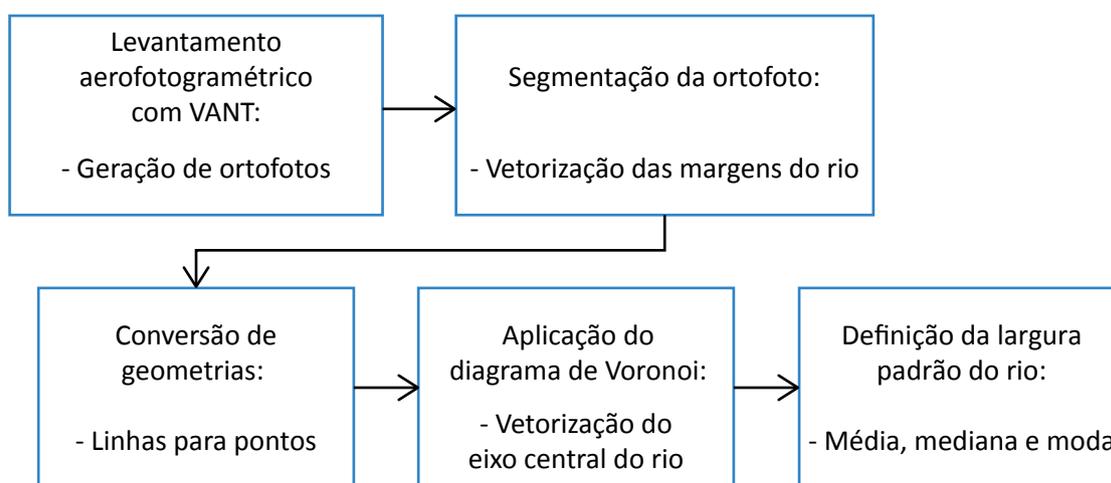
de programação para a geração da ortofoto está delineado no *software* Agisoft, incluindo:

- o alinhamento das fotos;
- geração de malha de pontos correspondentes/homólogos em imagens sequenciais;
- geração da ortofoto por meio de ajustamento do conjunto de fotos obtidas.

### Vetorização das margens e do eixo central do curso d'água

Tendo por base a ortofoto gerada com dados de VANT, foi realizada uma segmentação almejando a extração de toda a área molhada do rio, isto é, de toda a área coberta pela lâmina d'água do Rio Uberabinha. Foi utili-

zado o segmentador de deslocamento médio (*Segment MeanShift*), implementado no *software* ArcGIS, para executar essa tarefa. É um segmentador que apresenta bons resultados na análise de imagens, como exposto



Fonte: Autores (2018).  
VANT: veículo aéreo não tripulado.

Figura 4 – Fluxograma para delimitação da calha do leito regular do Rio Uberabinha no trecho em estudo.

por Long *et al.* (2018), que destacam que o algoritmo de deslocamento MeanShift tem uma ampla gama de aplicações em razão do seu excelente desempenho na segmentação.

Na sequência, o arquivo *raster* (matricial) segmentado foi convertido em um arquivo vetorial de tipologia polígono, usando o ArcGIS, tendo por base a ferramenta “*Raster to polygon*”, que se encontra inserida no menu “*Convert Features*”. Posteriormente, foram retirados os ruídos do *shapefile*, obtido com o traçado semiautomático, resultando um polígono único, correspondente à calha do Rio Uberabinha. Esse procedimento foi realizado no mesmo *software*, a partir da ferramenta “*Trace*” implementada no menu “*Editor*”. As linhas de borda do vetor segmentado foram extraídas convertendo-se em linhas, o arquivo vetorial de tipologia polígono, usando a ferramenta “*Feature to line*”, inserida no menu “*Convert Features*”, também implementada no ArcGIS10.3. O arquivo resultante foi armazenado no formato vetorial (*shapefile*).

Em um passo seguinte foi criado um arquivo com pontos representantes das linhas/bordas com o intuito de aplicar a técnica do “diagrama de Voronoi”, para obtenção do eixo do rio (leito regular). O arquivo de pontos foi criado aplicando a ferramenta “*Construction Points*”,

### *Padronização da largura do rio*

A padronização da largura do rio foi aplicada apenas no melhor resultado obtido com a aplicação do Diagrama, dentre os três cenários de equidistância supradescritos. Definido o eixo central do rio, todos os vetores/lados dos polígonos de Voronoi com origem no eixo central e término nas margens do rio foram armazenados em arquivo único para realização da medida da largura padrão desse curso d’água. A partir desses vetores foi avaliada a melhor medida que padronize a largura do Rio Uberabinha, no trecho estudado. Foram analisadas três medidas estatísticas de tendência central: média, moda e mediana.

A média aritmética foi obtida pela razão da somatória dos tamanhos de todos os vetores/lados, separados na fase

inserida no menu “*Editor*” do ArcGIS, que permite a geração de pontos ao longo da linha, distanciados entre si por uma distância preestabelecida. Neste estudo, foram avaliados três cenários com distâncias distintas para a geração do diagrama de Voronoi: com pontos equidistantes de 3, 5 e 10 m.

Finalmente, foi aplicada a técnica do diagrama de Voronoi no arquivo de pontos representantes das margens do rio, nos três cenários de equidistâncias supracitados. Para tanto, aplicou-se a função “*Create Thiessen Polygons*”, implementada no ArcGIS10.3, cuja execução é a seguinte: cada célula é obtida a partir da interseção de semiespaços e, portanto, corresponde a polígonos convexos. Nesse contexto, os segmentos do diagrama de Voronoi são todos os pontos do plano equidistantes aos dois sítios mais próximos. Ademais, os vértices (nós) de Voronoi são os pontos equidistantes de três ou mais sítios.

O eixo central (leito regular) foi criado com a conexão dos segmentos de retas que representam o lugar geométrico das margens do rio, definido pelo diagrama de Voronoi. De posse dos vetores que retratam o leito regular do rio e suas margens, tornou-se possível a definição de larguras padrão para o curso d’água, caracterizando a proposta deste estudo.

anterior, pelo número total de vetores/lados. A moda foi obtida como a medida mais frequente no conjunto de vetores/lados supracitado. Para facilitar a obtenção dessa medida, os tamanhos dos vetores/lados foram arredondados para o inteiro mais próximo. Por fim, a mediana foi adquirida pelo valor correspondente ao vetor/lado que separa a metade maior e a metade menor do conjunto de dados ordenado crescentemente.

A validação da melhor representação estatística da largura do curso d’água foi feita comparando-se as representações do leito regular do rio com a evidência manual/visual efetuada *in loco*, pelos próprios autores, das linhas das margens do rio em estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ortofoto foi gerada com GSD (*Ground Sample Distance*) de 3,51 cm. A área total coberta pelo voo foi de

42,5 ha. Foi utilizado o sistema de referência WGS84 (EPSG4326) e a projeção UTM (fuso 22).

Em seguida, a ortofoto foi submetida ao processo de segmentação e o resultado foi apresentado em formato vetorial. Foi observado na ortofoto segmentada que ocorreu a distinção clara das diferenças espectrais mais significativas, propiciando o agrupamento dos objetos semelhantes. Nesse processo, ocorreu a presença de muitos ruídos, como pode ser visto na Figura 5A. Esses ruídos foram eliminados no processo de extração de bordas/margens do segmento que representa a calha do rio estudado (utilizando a ferramenta “Trace”), conforme ilustrado na Figura 5B.

De posse do segmento único que representa o rio, já no formato vetorial, foram retiradas as linhas de borda desse segmento para representarem as margens do trecho Rio Uberabinha. A extensão calculada para a margem superior (MS) do trecho em estudo do Rio Uberabinha foi correspondente a 2.885,578 m, enquanto a margem inferior (MI) apresentou 2.793,964 m.

As margens extraídas na forma de linhas foram convertidas em pontos equidistantes com 3,00, 5,00 e 10,00 m, para posterior aplicação do diagrama de Voronoi. Os arquivos de pontos gerados apresentaram as características dispostas na Tabela 2.

Nota-se, com base na Tabela 2, que o número de pontos se comporta de forma inversamente proporcional à magnitude da equidistância, isto é, decrescendo à medida que os valores da equidistância aumentam. Por outro lado, a relação entre o comprimento do eixo central do curso d'água e a equidistância é diretamente proporcional, ou seja, havendo incremento no comprimento, a equidistância é aumentada. Isso ocorre porque as menores medidas de equidistâncias provocam menor desvio na direção real do eixo.

Conforme exemplificado na Figura 6, o resultado obtido a partir da equidistância de 10,00 m (linha preta) apresentou falhas em determinados trechos, em que o eixo central do rio chegou a extrapolar as margens. A equidistância com 5 m apresentou resultados (linha azul) mais efetivos que a de 10,00 m, porém também apresentou desvios consideráveis em relação ao eixo central. Entre as três equidistâncias testadas, a menor, com 3 m, foi a que apresentou um cenário mais detalhista, preservando a sinuosidade original do trecho estudado no Rio Uberabinha (linha vermelha). O eixo central obtido com essa equidistância foi de 1,09 km.

O resultado obtido a partir da equidistância com 3,00 m foi escolhido para a geração do eixo central

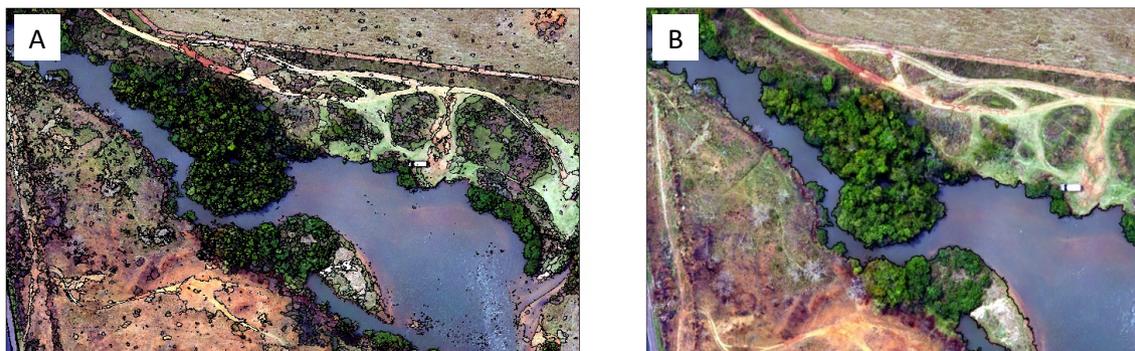


Figura 5 – (A) Imagem segmentada em polígonos e (B) imagem vetorizada.

Tabela 2 – Comprimento do eixo central extraído com as diferentes equidistâncias.

Equidistância (m)	Número de pontos	Comprimento do eixo central (m)
10,00	567	1.112,45
5,00	1.135	1.096,78
3,00	2.853	1.095,50

do rio, devido a melhor qualidade em relação às outras duas equidistâncias. Escolhido esse eixo como referência, o passo seguinte foi coletar as distâncias/comprimentos dos segmentos de reta, gerados pelo diagrama de Voronoi. Nesse processo, foram gerados 758 segmentos, distribuídos para ambos os lados do rio. Cada segmento corresponde a um lado de um polígono de Voronoi, que representa a distância entre o eixo central extraído e os pontos gerados sobre a linha de margem do rio, como ilustrado na Figura 7.

Pode ser observado na Figura 7 que cada segmento de reta do diagrama de Voronoi corresponde à metade da largura do rio. Portanto, o cálculo da medida da largura do rio foi realizado para cada metade e, posteriormente, multiplicada por dois, para obter a medida real da

largura do curso d'água em questão. Como proposto neste estudo, o cálculo da largura foi realizado por três medidas estatísticas de tendência central: média, moda e mediana. Os resultados obtidos com essas três medidas estatísticas estão expostos na Tabela 3.

Conforme resultados de largura máxima e mínima explicitados na Tabela 3, pode-se evidenciar que o trecho analisado do Rio Uberabinha contempla larguras significativamente variáveis ao longo de sua extensão. Em concordância ao relatado por Cardoso, Ramos e Mello (2008), no referido rio ocorrem ecossistemas distintos, com formações de lagoas devido à exploração intensiva de argila e cascalho, além de drenagens no solo para desenvolvimento da agricultura e pecuária, o que provoca alargamento do leito desse rio em al-



**Figura 6 – Eixos detectados com diferentes equidistâncias: eixo central vermelho (3,00 m); eixo central azul (5,00 m); eixo central preto (10,00 m).**



**Figura 7 – Recorte do eixo central e de segmentos de reta definidos pelo diagrama de Voronoi (equidistância de 3,00 m).**

guns trechos. Nesse contexto, importa destacar que os elevados valores de largura encontrados para o trecho estudado se referem à presença de uma lagoa artificial, comumente denominada “Poção Azul”, formada por ação antrópica, possivelmente para a extração de minerais em tempos remotos.

Ainda em análise à Tabela 3, a média apresentou maior valor de largura (12,00 m) e a moda indicou o menor valor (8,00 m) para a representar a largura do Rio Uberabinha. Fazendo uso das larguras do rio obtidas por meio das medidas estatísticas (moda, média e mediana), foram gerados *buffers* a partir do eixo central do curso d'água e representados sobre a ortofoto (Figura 8).

A sobreposição dos resultados permitiu avaliar que a medida da média é a que melhor condiz com a realidade da calha do leito regular do corpo hídrico em análise. É possível realizar essa análise ao observar a sobreposição do *buffer* criado com a medida da média com as linhas representantes das margens originais (linha preta) do rio.

Nascimento *et al.* (2017) destacam em seu trabalho a dificuldade operacional de individualização das mar-

gens do curso d'água com largura inferior a 10,00 m, utilizando imagens gratuitas do satélite Landsat-8, haja vista a média resolução espacial das bandas, sendo necessária a utilização de ferramentas complementares para promover a correta avaliação das categorias de APPs. Esse fato revela a necessidade de uso de produtos com melhor resolução espacial, como as imagens de VANT, usadas neste estudo. A ortofoto gerada a partir das imagens VANT apresenta resolução espacial inferior a 10 cm, o que mostra ser um produto de alta qualidade geométrica para esse tipo de estudo.

Campagnolo *et al.* (2017) listam em um tópico específico as dificuldades em determinar a APP a partir do leito do rio, como a presença de vegetação, encobrindo o leito regular, presença de ilhas e praias fluviais e a presença de meandros abandonados. Contudo, fundamentados em uma técnica morosa e onerosa, esses autores promovem a correta delimitação do leito regular do Rio Arroio Grande utilizando Estação Total e destacam o comprometimento da visualização do leito do rio por meio de imagem de satélite, por conta da vegetação existente. A realização de várias medidas de largura, como proposto neste estudo, tende a reduzir esse problema, uma vez que são contabilizadas medi-

**Tabela 3 – Medidas estatísticas de tendência central para a definição da largura do rio.**

Largura máxima (m)	Largura mínima (m)	Média (m)	Moda (m)	Mediana (m)
70,00	0,80	12,00	8,00	10,00



**Figura 8 – Buffers criados com as larguras obtidas a partir da moda (amarelo), mediana (verde) e média (magenta).**

das de larguras de trechos do rio com presença e outro sem a presença de árvores.

Em casos extremos, como os locais nos quais ocorreu alargamento do rio, essas medidas apresentam grande variação em relação à realidade (Figura 9). Todavia, como são trechos curtos, como lagos represados com poucos metros de extensão, essas medidas de largura acabam por ser assertivas devido ao ajuste ocorrido nas demais extensões do corpo d'água, como ilustrado ao longo de todo o trecho representado na Figura 8 e em grande parte do trecho mostrado na Figura 9.

Quando comparados os três cenários analisados em relação às diretrizes preconizadas pelo Código Florestal Estadual (Lei nº 20.922/2013 — MINAS GERAIS, 2013), percebe-se inconsistência nos resultados, pois, segundo o art. 9º, inciso I, a medida da moda (8,00 m) induz a delimitação de uma APP de 30,00 m apenas, haja vista que essa regra é aplicada aos cursos d'água de menos de 10,00 m de largura. Por sua vez, as medidas de mediana e média, 10,00 e 12,00 m, respectivamente, acarretam faixa para APPs de 50,00 m, pois representam os cursos d'água com largura igual ou superior a 10,00 m e menor que 50,00 m.

Com base em medidas de largura do rio Uberabinha realizadas *in loco*, o valor igual ou acima de 10,00 m é mais assertivo. Nesse contexto, a medida da moda deve ser descartada, uma vez que 8,00 m não representam fielmente o trecho do rio estudado. A Figura 10 apresenta os *buffers* representativos das APPs conside-

rando o cenário legal e aqueles determinados pelas medidas de mediana e média.

Como dito e claramente ilustrado na Figura 10, a largura do rio calculada a partir da medida da média aproxima mais da realidade em comparação com a medida da largura pela mediana. Em uma análise quantitativa, para todo o trecho do rio avaliado, a diferença entre a área da APP legalmente aceita e as áreas das APPs calculadas pelas medidas da média e mediana são, respectivamente, 5,18 e 5,36%. São valores modestos e que podem até ser desprezados, sem grandes perdas ambientais, por ocorrer compensação de áreas em trechos distintos.

Dessa forma, ao se desconsiderarem as áreas afetadas pelo represamento artificial, as diferenças quantitativas entre a APP prevista no cenário legal e aquelas calculadas pelas medidas estatísticas de média e mediana reduzem para 1,38 e 1,20%, respectivamente. Nota-se, dessa forma, que ao se retirar apenas o trecho da represa o acerto entre a APP prevista na legislação e aquelas calculadas no presente estudo é maior, evidenciando a aplicabilidade da metodologia proposta também em cursos d'água que não têm esse comportamento. Isso mostra o ganho do método proposto tendo em vista o bom ajuste, independentemente da forma do objeto em estudo. Outro ganho está relacionado com a qualidade geométrica do dado usado (imagens VANT com altíssima resolução espacial), o que permite a elaboração de um produto cartográfico em grande escala e com alta resolução temporal.



**Figura 9 – Trecho do rio com alargamento artificial.**

Os produtos cartográficos convencionais (cartas topográficas) não possibilitam a delimitação da APP dos rios de forma direta, devido ao fato de os corpos d'água serem representados por linhas simples, o que inviabiliza a identificação da largura dos mesmos, como apresentado em Campos e Matias (2012). Assim, para medirem as larguras dos cursos d'água de uma bacia localizada em São Paulo, esses autores fizeram uso de dados/imagens disponíveis no site do Google Earth, mesmo não sendo o mais apropriado, em razão da qualidade geométrica questionável. Por esse motivo, no presente estudo foram utilizados dados de melhor qualidade geométrica, que são as imagens VANT, processadas com os cuidados fotogramétricos.

Teruya Junior *et al.* (2016), ao realizarem o mapeamento das APPs de hidrografia do Rio Formoso, representaram, em função da largura inferior a 10,00 m, a maioria dos rios como um único vetor, sendo gerado um *buffer* de 50 m a partir do eixo central desses rios, ao longo de toda a extensão, para representar as APPs, computando equivocadamente o leito dos cursos d'água como faixa de preservação. Portanto, é necessário que se

meça antes a largura do leito do corpo d'água para posterior medida da APP, que deve ser medida, legalmente, a partir do leito regular do rio. O método proposto no presente estudo tem essa preocupação, propondo uma medida estatística única para representar a largura do leito regular do rio.

A medida da largura do corpo d'água de forma mais acurada torna-se importante, uma vez que uma simples aproximação pode causar danos consideráveis, tanto ambiental quanto de produção. O estudo de Campagnolo *et al.* (2017) mostra esse disparate; esses autores, ao analisar o leito maior hidrológico (LMH) do Rio Arroio Grande, adotaram a largura da faixa de 50 m, considerando a coerência com a paisagem existente, mesmo que em alguns pontos a largura do LMH fosse de mais de 700 m. A justificativa dos autores é de que a medida de largura de 700 m exigiria uma APP de 500 m, o que extrapolaria o limite da bacia, além de ser um valor não praticado nessa região. Utilizando o método proposto neste estudo esse problema é contornado, uma vez que a medida estatística leva em consideração todas as larguras existentes ao longo do leito do curso do rio.

## CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados é possível concluir que os objetivos da pesquisa foram devidamente atingidos, visto que foi proposta uma metodologia única de delimitação da calha do leito regular do trecho estuda-

do do Rio Uberabinha, em Uberlândia, Minas Gerais, integrando dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens. Ainda nesse contexto, a representação matemática da largura da calha



**Figura 10 – Buffers representativos das Áreas de Preservação Permanente geradas mediante contexto legal (amarelo) e segundo as medidas de tendência central mediana (verde) e média (magenta).**

do curso d'água foi mais bem definida pela medida estatística de tendência central "média" (12,00 m).

Corroborando os resultados obtidos, foi possível delimitar corretamente a APP do curso d'água, em atendimento às legislações ambientais vigentes, contribuindo para a redução da subjetividade intrínseca a elas. Os valores de área obtidos no presente estudo para APPs, quando comparados ao cenário legalmente aceito, apresentaram diferenças modestas e que podem até ser despreza-

das, sem prejuízos ambientais, haja vista as compensações que ocorrem nos demais em trechos.

Conclui-se, sobremaneira, que a utilização das geotecnologias, aliadas especialmente às técnicas computacionais de processamento de imagens, foi de fundamental importância no presente estudo, subsidiando e viabilizando as análises realizadas e contribuindo significativamente para o delineamento da calha do leito regular de cursos d'água.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017. Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2017/resolucao-no-419-02-05-2017>>. Acesso em: 30 ago. 2018

ALVES, G. M. R.; FERREIRA, M. F. M. Uso do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do córrego do Pântano, município de Alfenas-MG. *Revista de Geografia*, Juiz de Fora, v. 6, n. 4, 2016.

ALVES, J. B.; MEDEIROS, F. S. Impactos ambientais e delimitação da Área de Preservação Permanente do rio Espinharas no trecho urbano de Patos-PB. *Redes*, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 107-130, 2016. <http://dx.doi.org/10.17058/redes.v21i2.7248>

ARAÚJO, P. S. Diagnóstico da supressão de vegetação nativa em Áreas de Preservação Permanente contida no Código Florestal brasileiro de 2012. *Revista de Estudos Jurídicos*, 2015.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014. p.177-241.

BRASIL. *Lei nº 4.771*, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em: 30 ago. 2018

\_\_\_\_\_. *Lei nº 12.651*, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 30 ago. 2018.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, M. V. (orgs.). *Introdução à ciência da geoinformação*. 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 1º set. 2018.

CAMPAGNOLO, K.; SILVEIRA, G. L.; MIOLA, A. C.; SILVA, R. L. L. Área de Preservação Permanente de um rio e análise da legislação de proteção da vegetação nativa. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 831-842, 2017. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509828633>

CAMPOS, F. F.; MATIAS, L. F. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP's) e sua situação de uso e ocupação no município de Paulínia (SP). *Geociências*, Rio Claro, v. 31, n. 2, p. 309-319, 2012.

CARDOSO, L. S.; RAMOS, J. D.; MELLO, H. O. O. Composição, densidade e abundância das populações de Cladocera, Copepoda e Rotifera de Áreas de Proteção Permanente do rio Uberabinha. *Em Extensão*, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 95-106, 2008.

CASADO, M. R.; GONZALEZ, R. B.; KRIECHBAUMER, T.; VEAL, A. Automated identification of river hydromorphological features using UAV high resolution aerial imagery. *Sensors*, v. 15, n. 11, p. 27969-27989, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/s151127969>

- COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. *Amibi-Água*, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011. <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>
- CUNHA, J. P. S.; LUCENA, R. C. F.; SOUSA, C. A. F. Monitoramento do uso e ocupação de Áreas de Preservação Permanentes urbanas com o apoio de geotecnologias: O caso do rio Jaguaribe em João Pessoa-PB. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 5, n. 30, 2017. <http://dx.doi.org/10.17271/2318847253020171538>
- Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co. (DJI). Phantom 3 Standard. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/phantom-3-standard/info>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- ESRI. *ArcGIS*: Software versão 10.3. 1998. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/ArcGIS/index.html>>. Acesso em: 1º set. 2018.
- FERRARI, J. L.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A. A.; PEREIRA, L. R. Análise de Conflito de Uso e Cobertura da Terra em Áreas de Preservação Permanente do Ifes – Campus de Alegre, Município de Alegre, Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 3, p. 307-321, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.042113>
- FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na Geografia Aplicada: Difusão e Acesso. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 17, p. 24-29, 2011. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>
- GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso do NDVI na Análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. *Ra'e ga-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 37, p. 307-332, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42454>
- KAKAES, K.; GREENWOOD, F.; LIPPINCOT, M.; DOSEMAGEN, S.; MEIER, P.; WICH, S. *Drones and aerial observation: new technologies for property rights, human rights, and global development*. New America, 2015.
- LONG, J.; FENG, X.; ZHU, X.; ZHANG, J.; GOU, G. Efficient Superpixel-Guided Interactive Image Segmentation Based on Graph Theory. *Symmetry*, v. 10, n. 5, p. 169, 2018. <http://dx.doi.org/10.3390/sym10050169>
- MEDEIROS, F. A. *Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão*. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- MEDEIROS, J. D. A demarcação de áreas de preservação permanente ao longo dos rios. *Biotemas*, Florianópolis, v. 26, n. 2, p. 261-270, 2013. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n2p261>
- MENDES, T. A.; MARIANO, J. V.; MARQUES, P. H. G.; SANTOS, L. D. P. S. Diagnóstico ambiental da área de preservação permanente da nascente do Córrego Almeida utilizando ferramenta de geoprocessamento (Aparecida de Goiânia-GO). *Ciência e Natura*, v. 38, n. 3, p. 1331-1345, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X22867>
- MINAS GERAIS. *Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013*. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- MOURA, A. C. M. Aplicação do modelo de polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência de escolas públicas: estudo de caso em Ouro Preto – MG. *Revista Aber*, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, 2009.
- NASCIMENTO, L. N.; GAMARRA, R. M.; DALMAS, F. B.; OLIVEIRA, A. P. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação de Geotecnologias na delimitação de Áreas de Preservação Permanente do município de Paraíso das Águas (MS). *Revista UNG – Geociências*, Guarulhos, v. 16, n. 1, p. 128-139, 2017.
- NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>

- OLIVEIRA, V. M. M.; REIS, L. M. M. Conflitos em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Pitimbu-RN: proposta de um indicador institucional de sustentabilidade. *Guaju*, Matinhos, v. 3, n. 1, p. 91-110, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/guaju.v3i1.50244>
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; SEMÍRAMIS, P.; RIBEIRO, J. F. (orgs.). *Cerrado: Ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.
- SANTOS, J. B.; PEZZONI FILHO, J. C.; DANTAS, M. J. F.; ZIMBACK, C. R. L.; LESSA, L. G. F. Avaliação da Adequação da Ocupação do Solo em Áreas de Preservação Permanente (APPs). *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 333-344, abr.-jun. 2014. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n2p333>
- SILVA, D. C. C.; MORO, M. K.; MOYA, K. J.; PINHEIRO, M. M.; SIMONETTI, V. C. Proposta metodológica para definição de áreas prioritárias para recuperação vegetal de Áreas de Preservação Permanente. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 7, n. 4, p. 540-562, 2018. <http://doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018540-562>
- SILVA, H. G.; CARDOSO, B. N. P.; SANTOS, N. T. L.; MORAES, M. R. B.; CARVALHO, H. P. Pegada hídrica do milho safrinha cultivado em Uberlândia-MG. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1460-1467, 2015.
- SILVA, L. F.; BACANI, V. M. Análise da Fragilidade Ambiental e das Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, Município de Aquidauana-MS. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 49, 2017. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2017v27n49p264>
- SILVA, M. S.; LEMOS, S. S.; MORAES, A. B. *Uso de geotecnologias para delimitação de Áreas de Preservação Permanente e análise das áreas de conflito de uso e ocupação do solo na zona urbana do município de Mãe do Rio – PA*. 2014. Disponível em: <<http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT3-72-33-20140518141544.pdf>>. Acesso: 21 fev. 2019.
- SOUZA, C. G.; ZANELLA, L.; BORÉM, R. A. T.; CARVALHO, L. M. T.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L. Análise da fragmentação florestal da Área de Proteção Ambiental Coqueiral, Coqueiral – MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 631-644, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-509820142403011>
- TERUYA JUNIOR, H.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C.; DALMAS, F. B.; CORREA, L. C. Mapeamento das APP's de hidrografia e declividade como subsídio a gestão da Bacia Hidrografia do Rio Formoso (Mato Grosso do Sul). *Revista UNG – Geociências*, v. 15, n. 2, p. 128-140, 2016.
- VIDAL, A. M. F. *Extração e avaliação de geoinformação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados*. 59f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2013.
- VIVONI, E. R.; RANGO, A.; ANDERSON, C. A.; PIERINI, N. A.; SCHREINER-MCGRAW, A. P.; SARIPALLI, S.; LALIBERTE, A. S. Ecohydrology with unmanned aerial vehicles. *Ecosphere*, v. 5, n. 10, p. 130-144, 2014. <https://doi.org/10.1890/ES14-00217.1>
- WILKOWSKI, W.; LISOWSKI, M.; WYSZYŃSKI, M.; WIERZBICKI, D. The use of Unmanned Aerial Vehicles (drones) to determine the shoreline of natural watercourses. *Journal of Water and Land Development*, v. 35, n. 1, p. 259-264, 2017. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0092>
- WORBOYS, M.; DUCKHAM, M. *GIS: A computing perspective*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.
- ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ZEE-MG). *Zoneamento*. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 2 set. 2018.

