



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA**

OLAVO AMANCIO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO PARA MELHORIA NA
OBTENÇÃO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COM BASE EM
FERRAMENTAS OPEN SOURCE**

Brasília-DF, dezembro de 2018.



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA**

**ANÁLISE DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO PARA MELHORIA NA
OBTENÇÃO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COM BASE EM
FERRAMENTAS OPEN SOURCE**

OLAVO AMANCIO DE OLIVEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora do Instituto de Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental) da Universidade de Brasília como exigência para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias
Coorientador: Prof. Dr. Valdir Adilson Steinke

Brasília-DF, dezembro de 2018.



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E GEODINÂMICA**

OLAVO AMANCIO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO PARA MELHORIA NA
OBTENÇÃO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COM BASE EM
FERRAMENTAS OPEN SOURCE**

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Edilson Souza Bias
Orientador – Universidade de Brasília**

**Prof. Dr. Gustavo M. Mello Baptista
Membro Interno – Universidade de Brasília**

**Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho
Membro Externo – Universidade Federal de Santa Maria**

Brasília-DF, dezembro de 2018.

Aos meus pais, minhas irmãs e irmãos (in memoriam), em especial aos meus filhos Leonidas Amancio e Heitor Amancio e a minha esposa Jociele Guimarães que, apesar das dificuldades, sempre estiveram comigo, dando-me o apoio necessário para a busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A confecção e produção deste trabalho não se restringem tão somente ao tempo decorrido em sala de aula, mas ao vasto processo de construção do conhecimento e mais ainda da convivência no universo acadêmico.

Agradeço a Deus por disponibilizar tantas pessoas maravilhosas em meu auxílio, renovando, por diversas vezes, minha força, permitindo mais uma etapa de realizações em minha vida.

Aos meus pais que, apesar de todas as dificuldades e vida privada de maiores conhecimentos, não mediram esforços para tornar possível mais uma caminhada.

Aos meus filhos Leonidas Amancio e Heitor Amancio, que mesmo sem entender a minha ausência, sempre me recebiam com grande sorriso em seus rostinhos ao retornar para casa.

A minha esposa e companheira Jociele Guimarães, que durante todo esse tempo, mesmo sem saber, contribuiu para que eu pudesse ter a tranquilidade necessária para a realização dessa jornada, valorizando a importância desta conquista.

Aos meus sobrinhos e amigos que sempre estiveram presentes nos momentos de alegrias e de adversidades.

Ao meu coorientador, Dr. Valdir Adilson Steinke, pelas contribuições prestadas na realização deste trabalho, assim como pelo incentivo e amizade.

Ao meu orientador, Dr. Edilson de Souza Bias, pelas contribuições necessárias para a realização desta pesquisa e pela confiança depositada em minha pessoa.

Aos colegas Dr. Denílson Pereira Passo e Esp. Rogério Baptista de Sousa, que não mediram esforços para me auxiliar com a confecção dos algoritmos. Sem eles não sei se seria possível galgar tamanho desafio, ficam aqui, desde já, os meus sinceros agradecimentos.

Aos colegas de curso, pela convivência e companheirismo nos momentos distantes da família e pelas amizades conquistadas ao longo desses dois anos.

A todos os professores, pelos conhecimentos repassados, vivência e compreensão durante essa caminhada.

A todos os técnicos e funcionários da universidade, pelo carinho e atenção dedicados a cada um de nós. Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o bom andamento e a realização deste estudo.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo principal demonstrar a viabilidade do uso de técnicas de segmentação de imagens como ferramenta para obtenção de dados geomorfométricos e, conseqüentemente, fornecer apoio aos processos de gestão ambiental de bacias hidrográficas. O estudo foi desenvolvido na bacia do Córrego Bandeirinha, haja vista que este curso hídrico é a principal fonte de abastecimento de água para a área urbana do município. A bacia do Córrego Bandeirinha está situada no estado de Goiás, no município de Formosa-GO, distante 75 km de Brasília. Formosa pertence à região leste de Goiás, possui população estimada de 119.506 mil habitantes, sendo distribuída em uma área territorial de 5.811,78 km². Os estudos geomorfométricos foram elaborados utilizando-se os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Para a segmentação do SRTM, com dados de 1" x 1" (um segundo de arco) ou 30 m de resolução espacial, cujo objetivo é a separação de classes a fim de identificar os alvos que subsidiaram a pesquisa, foi utilizado o algoritmo ODR_Obia, adaptado do algoritmo de segmentação *TA Baatz Segmenter*, via plataforma do sistema *open source* QGIS, cujo resultado da segmentação e extração dos índices pré-definidos resultou-se em nova imagem *raster* segmentada. Posterior à obtenção da nova imagem, que traz consigo a média da altimetria dos *pixels* segmentados, inicia-se o processamento dessa imagem, com o uso do modelo geomorfométrico ODR_Hidro, desenvolvido em linguagem Python para aplicação nesta pesquisa. As formulações matemáticas foram compiladas dentro do modelo ODR_Hidro, assim como sua adaptação, por intermédio de outros algoritmos hidrológicos que são utilizados por *software* como o QGIS, GrassGIS e SagaGIS, subsidiando a extração dos índices geomorfométricos, a delimitação da bacia e a extração dos canais da rede de drenagem. Os resultados foram avaliados a partir da aplicação do teste de hipótese, por meio do teste estatístico *Teste Mann-Whitney*. Os dados obtidos foram área, perímetro, Coeficiente de Compacidade (Kc), Coeficiente de Manutenção (Cm), Índice de circularidade (Ic), Fator de Forma (Kf), Razão de Elongação (Re), Densidade de Drenagem (Dd), Número total dos canais, Densidade Hidrográfica (Dh), Relação de Bifurcação (Rb), Comprimento do canal principal (Ccp), linha reta da nascente à foz, Comprimento total da rede de drenagem (Ctr), Hierarquização de canais, Índice de rugosidade (Ir), Coeficiente de rugosidade (CR), Amplitude altimétrica, Altitude máxima e Altitude mínima. Com a segmentação do SRTM, os resultados produzidos pelo modelo ODR_Hidro para a Bacia do Córrego Bandeirinha apontaram para 182,869 km² de área superficial, com 92,106 km de perímetro e hierarquização de 6^a ordem, enquanto os dados encontrados com auxílio da imagem do SRTM original, por meio do ArcGIS, foram 183,159 km² de extensão superficial, perímetro de 84,911 km e hierarquia fluvial de 5^a ordem. Os resultados produzidos sugerem que a segmentação de imagens, visando à modelagem geomorfométrica de bacias hidrográficas, poderá contribuir de forma eficiente para o fornecimento de dados morfométricos.

Palavras-chave: Segmentação. Algoritmo. Análise morfométrica. Bacia hidrográfica. Qualidade de dados.

ABSTRACT

The objective of this paper is to demonstrate the practicality of using segmenting image techniques as a tool for obtaining geomorphometric data, thereby providing support for the environmental management of river basins. This study was conducted on the Bandeirinha Stream basin, the main water supply for the municipality's urban area. The stream is located in Goiás State, in the municipality of Formosa-GO, 75 km from Brasília. Formosa is located in the eastern part of Goiás, and has an estimated population of 119,506 in an area of 5,811.78 km². Geomorphometric studies were conducted using data from the *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). The ODR_Obia algorithm was applied for SRTM segmentation with data 1" x 1" (one second of arc) or 30m spatial resolution, the objective of which is to separate the classes in order to identify the research targets. This algorithm was adapted from the *TA Baatz Segmenter* using the QGIS *open source* platform system, its results from the segmentation and extraction of pre-defined indices resulted in a new segmented *raster* image. Prior to this new image being obtained, which contains the average altimetry of segmented *pixels*, it was processed using the geomorphometric model ODR_Hidro, developed in the Python language for the purpose of this study. The mathematical calculations, along with its adaptation, were compiled within the ODR_Hidro model by other intermediary hydrologic algorithms used in *softwares* such as QGIS, GrassGis and SagaGIS, which support the extraction of geomorphometric indices, the delineation of the basin, and the extraction of drainage channel networks. The results were evaluated by testing the hypothesis in the *Mann-Whitney* statistic test. The data obtained were area, perimeter, Coefficient of Compaction (Kc), Coefficient Maintenance (Cm), Circularity Index (Ci), Shape Factor (Kf), Reason for Elongation (Re), Drainage Density (Dd), Total Number of Channels, Hydrographic Density (Hd), Bifurcation Relationship (Br), Length of Main Channel (Lmc), straight line from the source to the mouth, Total length of drainage network (Ctr), Hierarchy of Channels, Roughness Index (Ri) Coefficient of roughness (CR), Altimetric Amplitude, and Maximum and minimum height. Through the SRTM segmentation, the results from the ODR_Hidro model for the Bandeirinha Stream basin revealed a superficial area of 182,869 km², with a perimeter of 92,106 km and a hierarchy of 6. Data taken from the original SRTM image, through ArcGIS, showed a superficial area of 183,159 km², a perimeter of 84,911 km and a river flow hierarchy of 5. The results suggest that the segmentation of images for geomorphometric modelling of river basins will be able to efficiently contribute towards providing morphometric data.

Key Words: Segmentation. Algorithm. Morphometric Analysis. River basin. Data quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento	20
Figura 2 - Principais padrões de drenagens	27
Figura 3 - Divisores topográfico e freático.....	33
Figura 4 - Ordenamento dos canais no modelo de Strahler (1952).....	36
Figura 5 - Ordenamento dos canais no modelo de Horton (1945)	37
Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo	57
Figura 7 - Mapa dos aspectos físicos da área de estudo	62
Figura 8 - Fluxo das etapas metodológicas a serem seguidas	65
Figura 9 - Segmentador ODR_Obia	67
Figura 10 - Algoritmo do modelo hidrológico ODR_Hidro.....	68
Figura 11 - Exemplo de ferramenta <i>Fill Sink</i>	69
Figura 12 - Determinação da direção do fluxo com o algoritmo D_{∞}	70
Figura 13 - Representação do fluxo acumulado com o algoritmo D_{∞}	71
Figura 14 - Ponto indicativo de início e confluência de drenagem	73
Figura 15 - Mensagem indicativa para o usuário definir o ponto de delineamento da bacia hidrográfica.....	73
Figura 16 - Bacia hidrográfica do Córrego Bandeirinha delineada pelo algoritmo ODR_Obia	74
Figura 17 - Recorte da imagem segmentada utilizando o arquivo vetorial da bacia como máscara de corte para a geração de nova imagem da bacia hidrográfica em formato <i>raster</i> ...	75
Figura 18 - Arquivos finais plotados na interface gráfica do computador	76
Figura 19 - Tabela de atributos mostrando os índices geomorfométricos que serão extraídos	76
Figura 20 - Inserção de pontos nas junções das drenagens e extração das coordenadas dos respectivos pontos da Base Cartográfica do Exército	77
Figura 21 – Pontos inseridos nas junções drenagens e extração das coordenadas dos respectivos pontos	78
Figura 22 - Limiares utilizados para segmentar o SRTM	79
Figura 23 - Resultado da segmentação feito pelo ODR_Obia em formato vetorial.....	81
Figura 24 - Imagem do SRTM segmentada com a altimetria corrigida	81
Figura 25 - Representação do fluxo com escoamento em direções diferentes.....	82
Figura 26 - Imagem <i>raster</i> do indicativo da direção do fluxo.....	83
Figura 27 - Imagem <i>raster</i> do indicativo de fluxo acumulado	83

Figura 28 - Limiar <i>Filed_file</i> permite gerar drenagens mais ou menos adensadas	84
Figura 29 - Geração de drenagens a partir da imagem segmentada	85
Figura 30 - Mosaico da rede de drenagem da BHCB.....	86
Figura 31 - Sobreposição dos canais da BHCB.....	87
Figura 32 - Tabela de atributos identificando ordem dos canais, das bacias e distâncias de cada segmento.....	88
Figura 33 - (A) Ordem dos canais da bacia segmentada com ODR_Hidro. (B) Ordem dos canais da bacia do SRTM original com ODR_Hidro. (C) Ordem dos canais da bacia do SRTM original utilizando ArcGIS	90
Figura 34 - Ordenação de forma manual dos canais da BHCB com o uso da carta topográfica vetorial obtida da DSG	91
Figura 35 – (A) Coleta de ponto em drenagem mapeada pelo ODR_Hidro; (B) Coleta de ponto em bifurcação mapeada pelo ODR_Hidro; (C) Coleta de ponto em bifurcação mapeada pelo ODR_Hidro; (D) Coleta de ponto em drenagem mapeada pelo ODR_Hidro; (E) Coleta de ponto na junção de duas bifurcações.	93
Figura 36 – Processamento dos pontos das bifurcações coletados com auxílio do GPS geodésico.	94
Figura 37 – Articulação das folhas das cartas topográficas na escala de 1:25.000 e indicativo dos pontos das bifurcações que foram mapeadas em campo.	95
Figura 38 – (A) Carta topográfica na escala de 1:100.000 (B) Carta topográfica na escala de 1:25.000 (C) Canais sobrepondo a Carta topográfica na escala de 1:100.000 (D) Canais sobrepondo a Carta topográfica na escala de 1:25.000	96
Figura 39 - Planta gráfica da Bacia do Córrego Bandeirinha.....	98
Figura 40 - (A) BHCB produzido por Pimenta et al., (2015). (B) BHCB produzido com dados obtidos do modelo hidrológico ODR_Hidro	99
Figura 41 - Geração de drenagens e extração da BHCB a partir da imagem SRTM original	100
Figura 42 - Planta gráfica da Bacia do Córrego Bandeirinha extraída do SRTM original com o ODR_Hidro	101
Figura 43 - Planta com extração e cálculo de área e ordenação dos canais segundo Strahler (1952), utilizando o ArcGIS	106
Figura 44 - Representação do arquivo vetorial sobrepondo o matricial com pontos das respectivas confluências ou bifurcações.....	108
Figura 45 - Parte das cartas matriciais (A) MI-2272 - Vila Boa e (B) MI-2216-Formosa.....	109

Figura 46 - Representação do arquivo vetorial extraído do SRTM segmentado com auxílio do ODR_Hidro sobrepondo o arquivo vetorial e matricial com os pontos das respectivas confluências ou bifurcações..... 110

Figura 47 - Representação do arquivo vetorial extraído do SRTM original com auxílio do ODR_Hidro sobrepondo o arquivo vetorial e matricial com os pontos das respectivas confluências ou bifurcações..... 111

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Índices morfométricos utilizados pelos autores	29
Quadro 2 - Índices morfométricos utilizados para esta pesquisa	31
Tabela 1 - Classes de declividade.....	41
Tabela 2 - Distribuição das classes do CR e respectivas aptidões.....	43
Tabela 3 - Representação dos índices geomorfométricos	97
Tabela 4 - Teste de Normalidade.....	107
Tabela 5 - teste de Mann-Whitney, com duas amostras admitindo variações iguais	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área de drenagem
APP	Áreas de Preservação Permanente
BH	Bacias Hidrográficas
BHCB	Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha
CBN	Central Brasileira de Notícias
Ccp	Comprimento do canal principal
Cm	Coefficiente de manutenção
Co	Coefficiente orográfico
CR	Coefficiente de rugosidade
Ctr	Comprimento total da rede de drenagem
Ct	Coefficiente de torrencialidade
Dc	Densidade de confluências
Dd	Densidade de drenagem
DF	Distrito Federal
Dh	Densidade hidrográfica
DN	<i>Digital Number</i>
DNPM	Departamento Nacional de Pesquisa Mineral
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ft	Fator topográfico
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
GEOBIA	<i>Geographic Object Based Image Analysis</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	Sistema Global de Posicionamento
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
H ₀	Hipótese de nulidade
H ₁	Hipótese alternativa
Hdm	Declividade média da bacia
Ia	Índice de alongamento
Ic	Índice de circularidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Ir	Índice de rugosidade

Is	Índice de sinuosidade
Kc	Coefficiente de compacidade
Kf	Fator de forma
Km ²	Quilômetro quadrado
L	Declividade da bacia
Lr	Retângulo equivalente
MC	Meridiano Central
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	Agência Espacial Americana
OBIA	<i>Object Based Image Analysis</i>
OGR	<i>OpenGIS Simple Features Reference Implementation</i>
P	Perímetro
PDI	Processamento Digital de Imagens
PNMH	Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica
Rb	Relação de bifurcação
Re	Razão de alongação
Rib	Relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação
Rlm	Relação entre o comprimento médio dos canais
Rpb	Relação ponderada de bifurcação
Rr	Razão de relevo
Saga	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
SANEAGO	Companhia de Saneamento de Goiás
SAR ou InSAR	<i>Synthetic Aperture Radar Interferometry</i>
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG/GIS	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
T	Razão de textura
Tga	Coefficiente de massividade
Tt	Textura topográfica
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS-84	<i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 PROBLEMA	18
1.2 HIPÓTESE	19
1.3 OBJETIVO GERAL.....	19
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA – CONCEITOS E APLICAÇÕES.....	20
2.2 FATORES DETERMINANTES DAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	25
2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	26
2.3.1 <i>Elementos geomorfológicos</i>	33
2.4 SEGMENTAÇÃO	43
2.4.1 <i>Segmentação por descontinuidades</i>	44
2.4.2 <i>Segmentação por similaridades</i>	45
2.4.3 <i>Segmentação multirresolução</i>	46
2.4.4 <i>Segmentação por crescimento de região</i>	47
2.4.5 <i>Sistemas baseados em conhecimento</i>	48
2.4.6 <i>Classificação baseada em objeto</i>	49
2.5 USO DA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO NAS GEOCIÊNCIAS	51
2.6 QUALIDADE DE DADOS.....	53
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	57
3.1.1 <i>Aspectos físicos</i>	59
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	63
3.3 MÉTODO	64
3.3.1 <i>Segmentação do SRTM</i>	66
3.3.2 <i>Implementação do modelo hidrológico</i>	68
3.3.3 <i>Extração e ordenação de canais</i>	69
3.3.4 <i>Extração ou delimitação da bacia</i>	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1 SRTM SEGMENTADO UTILIZANDO ODR_OBIA	79
4.2 CANAIS E BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BANDEIRINHA	82
4.3 DELIMITAÇÃO DA BHCN E EXTRAÇÃO DOS CANAIS UTILIZANDO O STRM ORIGINAL NO ODR_HIDRO	100

4.4 DELIMITAÇÃO DA BHC B E EXTRAÇÃO DOS CANAIS UTILIZANDO O SRTM NO ARCGIS.....	104
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PONTOS DE CONFLUÊNCIA DA REDE DE DRENAGEM ENTRE A CARTA DO EXÉRCITO, ODR_HIDRO E SRTM ORIGINAL.	107
5 CONCLUSÕES.....	115
REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE A – CÓDIGO DO ODR_OBIA.....	136
APÊNDICE B – CÓDIGO DO ODR_HIDRO	143

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo do uso e da cobertura da terra é um dos métodos mais importantes para a verificação e acompanhamento dos avanços relacionados à ocupação antrópica sobre os remanescentes florestais. As crescentes transformações econômicas e sociais tendem a exercer demasiada pressão no intuito de promover a redução dos impactos causados junto a esses remanescentes.

A necessidade de estudos referentes às características das bacias hidrográficas é cada vez maior, tendo em vista que a água é um recurso natural e escasso nos dias atuais, sendo essencial para todas as espécies do planeta. O conhecimento e, sobretudo, o entendimento do comportamento das bacias hidrográficas facilitam a implementação de métodos de gestão e monitoramento, minimizando a ocorrência de desastres, tais como inundações, movimentos de massas, erosões, além de potencializarem o aproveitamento da água para o abastecimento humano, atividades agroindustriais, construções de usinas hidroelétricas, dentre outros.

Cabe ressaltar que as ações do homem são as que mais contribuem para desencadear alterações e desordem na paisagem das bacias hidrográficas. Na Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha (BHCB) não é diferente. Nesse espaço geográfico, em função da ação antrópica, ocorrem diversos tipos de problemas relacionados à degradação ambiental, tais como; conflitos no uso do solo, crescimento urbano em áreas inapropriadas, expansão da fronteira agrícola sobre as nascentes, assoreamentos dos mananciais, erosões lineares, compactação do solo, além de problemas socioambientais. As ações antrópicas propiciam essas alterações na paisagem por meio do intenso e constante processo de substituição de áreas naturais por diferentes tipos de uso do solo e da fragmentação dos remanescentes florestais, ocasionando redução da biodiversidade e comprometendo a qualidade e a disponibilidade dos recursos naturais, além de colocar em risco todo o equilíbrio do sistema ambiental local e regional.

Eventos de mudanças na paisagem não ocorrem apenas no Brasil. Esse é um problema que tem acontecido com frequência no mundo inteiro, tanto em ambientes urbanos quanto rurais, e vem crescendo cada vez mais devido à prática sistemática da produção agrícola intensivista, que ocorre nas partes planas do relevo e, principalmente, em áreas elevadas, onde estão localizados o início das drenagens, os olhos d'água e as nascentes das bacias hidrográficas.

Em função de abarcar todos os elementos que compõem a paisagem ambiental, as bacias hidrográficas do mundo inteiro são tomadas como unidade de gerenciamento territorial das atividades urbanas e dos múltiplos usos agrícolas. As condições geológicas e climáticas locais são responsáveis pela sua forma. Portanto, em função do desenvolvimento da sociedade, as bacias hidrográficas sofrem com alterações na estrutura física de seus canais, no carreamento de sedimentos, na composição da fauna e flora e no fluxo de matéria e de energia.

No Brasil, a unidade física reconhecida na legislação para a gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica, que se constitui no princípio básico para a implementação da gestão dos recursos hídricos, de tal forma que essa denominação também foi adotada por outros países.

Apesar dos diversos conceitos de bacia hidrográfica estabelecidos ao longo do tempo, é possível observar semelhanças nas definições acerca dessa unidade espacial, principalmente nos aspectos relacionados à sua área de concentração, bem como sua rede de drenagem, tendo em vista que a bacia hidrográfica caracteriza-se como unidade espacial e sua delimitação está diretamente relacionada à forma como o relevo se apresenta, assim como ao formato que a rede de drenagem está distribuída. O seu correto delineamento facilita a propositura de planejamento adequado, bem como o mapeamento dos problemas ambientais que atingem as esferas sociais, políticas, econômicas e educacionais.

As diversas pesquisas relacionadas aos corpos hídricos, principalmente aquelas direcionadas às bacias hidrográficas, por meio de parâmetros de mensurações de dados, sejam eles qualitativos ou quantitativos, facilitam a identificação dos elementos que estão ligados às mudanças que ocasionalmente ocorrem na paisagem, haja vista que a rede de canais exerce papel fundamental na modelagem do relevo.

A morfometria – estudo que permite analisar fatores hidrológicos e ambientais no contexto da dinâmica da bacia – permite a caracterização de determinada região por meio da obtenção de diversos parâmetros adquiridos a partir da análise de seus fatores topográficos, formados de feições geomorfológicas e de canais hídricos, bem como da observação da configuração espacial do conjunto de drenagens e vertentes. Com o avanço das geotecnologias no processamento de dados e na precisão dos resultados obtidos, as análises morfométricas, antes elaboradas manualmente, ganharam poder de decisão em função de sua aplicabilidade e agilidade.

A BHCB padece dos mais variados problemas, dentre eles pode-se destacar os conflitos no uso do solo, loteamentos irregulares na faixa de ruptura ou borda do relevo, introdução de agricultura, basicamente na parte alta da bacia, onde se localizam as principais nascentes do Córrego Bandeirinha e seus tributários, crescimento das áreas com possíveis processos erosivos, áreas com requerimento e lavra mineral. Os impactos ambientais causados, e não mitigados, pelos problemas ambientais citados favorecem o crescimento desordenado da degradação ambiental e colocam em risco o equilíbrio do sistema ambiental como um todo.

Todavia, a fim de obter levantamento mais detalhado e pormenorizado do comportamento físico da BHCB, é de grande relevância a aplicação de estudo sobre sua caracterização morfométrica que, juntamente com outros dados, permitirá o desenvolvimento de análises mais profundas.

Dentro do contexto de que as bacias hidrográficas assumem importante papel nas análises ambientais e na gestão dos recursos hídricos, adotou-se a BHCB como área-teste para aplicação do modelo ODR_Hidro, confeccionado a partir desta pesquisa. O modelo ODR_Hidro é um algoritmo desenvolvido em linguagem *python* que foi concebido pelo autor, visando a extração de dados geomorfométricos utilizando modelo digital de elevação.

As mudanças ambientais que ocorrem nas paisagens oriundas de atividades naturais e antrópicas das bacias hidrográficas, assim como a gestão inadequada e o manejo desordenado dos seus recursos naturais, corroboram para qualificar e justificar a necessidade desta pesquisa, haja vista que a BHCB abarca parte da área urbana do município de Formosa-GO, que faz uso de suas águas para o abastecimento da população, além de oferecer diversas fontes de lazer para a comunidade local e circunvizinhas, devido à sua localização próxima a Brasília.

1.1 PROBLEMA

As formas tradicionais de obtenção de índices geomorfométricos sem processo automatizado tornam os estudos demorados e exaustivos.

1.2 HIPÓTESE

A aplicação de técnicas de segmentação trará respostas mais eficientes para a extração de dados geomorfométricos com base em imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) visando a modelagem geomorfométrica de bacias hidrográficas.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral propor, desenvolver, testar, avaliar, validar e disponibilizar modelo baseado em técnicas de segmentação como instrumento para geração de dados geomorfométricos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Segmentar a imagem do SRTM a fim de extrair variáveis topográficas que serão utilizadas para a construção do modelo de análise geomorfométrica;
- b) extrair variáveis topográficas do SRTM original que serão utilizadas para comparar, avaliar e validar o modelo de análise geomorfométrica a partir de teste de hipótese;
- c) identificar e definir as variáveis mais aplicáveis em estudos geomorfométricos para implementação da pesquisa;
- d) definir quais os parâmetros que serão utilizados (limiares) para aplicação na segmentação e obtenção dos dados geomorfométricos; e
- e) implementar, classificar e analisar os dados geomorfométricos obtidos a partir da segmentação.

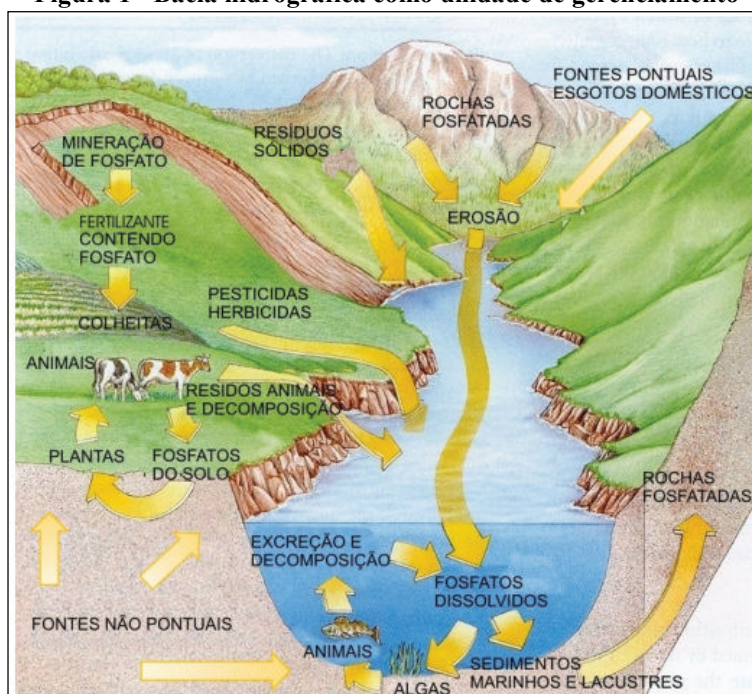
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA – CONCEITOS E APLICAÇÕES

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída no Brasil pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, é o instrumento legal que incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos, tomando por base a definição de Bacias Hidrográficas (BH) como unidade de estudo e gestão (BRASIL, 1997). Corroborando com essa premissa, é de suma importância para os gestores ambientais, gestores públicos e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões.

A descrição de bacia hidrográfica como unidade de análise, gerenciamento e aplicação das informações básicas decorre de longa evolução, que se inicia com a implementação do conceito de carga, por Vollenweider (1968), e solidifica-se com os estudos de Likens (1984, 1992), confirmando os ensaios e o trabalho duradouros realizados em Hubbard-Brook, pequena bacia hidrográfica situada nos Estados Unidos. Tundisi et al. (2008) corroboram com a informação, conforme Figura 1, que representa o conceito de BH e os principais elementos para pesquisa e gerenciamento.

Figura 1 - Bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento



Fonte: Tundisi et al. (2008).

O conceito de BH foi amplamente difundido a partir da década de 2000 e empregado como unidade de gestão da paisagem nas áreas que se referem ao planejamento ambiental. Na contingência de estudo hidrológico, o conceito de BH, de acordo com Kuntschik et al. (2011), denota conjunto de terras drenadas por corpo d'água principal e afluentes, representando a unidade que mais se adequa aos variados tipos de estudo dos recursos hídricos e dos fluxos de sedimentos e nutrientes.

Diversas outras definições de BH foram conceituadas ao longo do tempo, todavia, é possível observar que não existem grandes diferenciações nos conceitos formulados para esse recorte espacial, uma vez que todos se baseiam no canal principal, nos divisores topográficos, em sua área de captação e sua rede de drenagem. Contudo, nas definições que abrangem as subdivisões da bacia hidrográfica (sub-bacia e microbacia) é possível verificar abordagens diferentes.

Segundo Leal e Tonnello (2016), bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por curso d'água ou sistema conectado de cursos d'água, dispondo de simples saída para que toda a vazão efluente seja descarregada. Ainda de acordo com outros autores, BH hidrográfica constitui em:

Uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. (TUCCI, 2013, p. 40).

Para Christofolletti (1980), a drenagem fluvial é composta por conjunto de canais que se inter-relaciona e forma a bacia de drenagem. Ainda segundo o autor, “[...] a bacia de drenagem é definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial.” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 40).

Da mesma forma, Barrella et al., (2000). conceituam BH como:

Um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. (BARRELA et al., 2000, p. 138).

Os termos sub-bacia e microbacia hidrográfica também são abarcados pela literatura técnico-científica, e apresentam semelhança conceitual conforme apresentado para bacia hidrográfica.

As sub-bacias são áreas de drenagem dos afluentes do rio principal, também conhecidos como tributários do curso d'água principal. Para que sua área seja definida, é

necessária a utilização de diferentes unidades de medida (JUNIOR et al., 2015). Conforme colocado por Faustino (1996) e reafirmado por Silva Vieira et al. (2012), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², no entanto, para Martins et al. (2005) e Junior et al. (2015), as sub-bacias são áreas que contêm entre 20.000 ha e 30.000 ha ou 200 km² a 300 km².

As BH podem ser subdivididas em bacias hidrográficas menores, conhecidas como sub-bacias. Essa subdivisão facilita o controle adequado do plano de manejo ambiental, assim como o estabelecimento das prioridades necessárias para mitigar os impactos ambientais causados na bacia (TUCCI, 2004). Outro modelo para subdivisão de bacias é o do professor Otto Pfafstetter, o qual é utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e ficou conhecido como “Ottobacias”, cujo método baseia-se na topografia da área drenada e na topologia (conectividade e direção) da rede de drenagem (PFAFSTETTER, 1989).

Cada bacia hidrográfica está diretamente interligada com outra de ordem hierárquica superior, compondo, em analogia à última, uma sub-bacia, logo, os termos bacia e sub-bacia hidrográfica são relativos, uma vez que ambos dependem da área a ser analisada (DOS SANTOS et al., 2017).

Introduzido nessas subdivisões de BH também aparece o termo microbacia. Conforme pontuado por Santana (2003), a contextualização das microbacias, apesar da sua disseminação em nível nacional, estabelece-se como denominação empírica. No Brasil surgiu com a iniciativa do governo federal, por meio do Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH), por meio do Decreto nº 94.076, publicado em 05 de março de 1987 (BRASIL, 1987). Nesse Decreto-Lei consta a seguinte definição de microbacia hidrográfica “[...] área drenada por um curso d’água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada.” (BRASIL, 1987).

Muitos conceitos são aplicados na definição das microbacias e podem ser adotados critérios como unidades de medidas hidrológicas e ecológicas (BRITO; GRANGEIRO, 2016).

Para os autores Folharini e Oliveira (2017), as microbacias são consideradas unidades espaciais menores, formadas por canais de primeira e segunda ordens e, em determinados casos, de terceira ordem. A bacia hidrográfica pode ser definida com base na dinâmica de processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. Para Taher (2016), o

manejo e a gestão das microbacias precisam estar conectados à bacia maior, e o gerenciamento dessas bacias facilitará a obtenção de equilíbrio ambiental adequado.

A bacia hidrográfica pode ser empregada como unidade territorial em estudos com o objetivo de planejar e gerenciar o território por não se restringir ao limite político-administrativo. Em seu território, os estudos relativos à bacia hidrográfica possibilitaram a compreensão e o entendimento com maior eficácia da influência mútua entre os elementos e os processos que atuam na organização da paisagem (MENEZES et al., 2014).

O estudo da BH facilita a observação detalhada da alteração dos diferentes processos que nela ocorrem e, baseado no registro das variáveis hidrológicas envolvidas, é possível entender melhor os fenômenos e buscar representá-los matematicamente. A BH apresenta características essenciais que permitem a integração multidisciplinar de diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental, de maneira especial, por ser processo descentralizado de conservação e proteção do ambiente (BERNARDI et al., 2012).

Para Schussel e Nascimento Neto (2015), a utilização da BH como unidade de estudo para o gerenciamento das diversas atividades e uso dos recursos naturais tem como objetivo planejar, intervir, desempenhar e manipular as melhores formas de apropriação e exploração de seus recursos naturais. Assim, é possível proporcionar o desenvolvimento econômico e social da população que usufrui desse recurso, bem como a sustentabilidade, diminuindo o impacto negativo na qualidade de vida (BERNARDI et al., 2012).

Schussel e Nascimento Neto (2015) pontuam que para entender a BH como unidade territorial não se pode adotar o conceito clássico que a define exclusivamente como rede de drenagem e suas conexões, sendo imprescindível entendê-la como amostra de espaço desenvolvida por conjunto de elementos físicos, biológicos, sociais e políticos que interage entre si, transformando todo o sistema.

O acontecimento de eventos antrópicos ou naturais em uma BH contribui para mudar a dinâmica do sistema, a quantidade dos cursos de água e sua qualidade. A avaliação e a mensuração de algumas de suas variáveis permitem interpretar, mesmo que parcialmente, a soma de eventos ocorridos (SÃO MIGUEL et al., 2012). Conforme pontuado pelos autores, conceber a BH como sistema consiste em aceitar que tudo o que acontece nos seus domínios reflete direta ou indiretamente nos rios e na qualidade das águas, tendo como consequência a alteração de todos os demais elementos que compõem esse sistema. Entretanto, o diagnóstico só será sólido quando a análise das partes isoladas

for consubstanciada pelo estudo das inter-relações, permitindo a observação holística da bacia (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015).

Nessa conjuntura, a adoção da BH como unidade de gerenciamento proporciona estratégia cuja expectativa mais ampla possibilita agregar valor à busca pelo desenvolvimento sustentável. Destacar o estudo da unidade de gestão não significa unificar as unidades de análise específicas a cada disciplina científica (FIGUEIREDO; MAROTI, 2011).

Os estudos referentes à BH permitem a avaliação de muitos dos problemas e conflitos ambientais, ratificando que as causas e soluções da poluição da água não podem ser encontradas tão somente olhando-se para a água. Faz-se necessário o estudo pormenorizado das ações antrópicas, extremamente danosas ao meio ambiente, e que ocorrem por toda a área da bacia.

Nesse contexto, os autores Pires, Santos e Del Prette (2002) trazem pontuações que consideram a BH como unidade de gerenciamento, que agrega valores referentes à busca pelo desenvolvimento sustentável e que esse mesmo termo de desenvolvimento sustentável direcionado à conservação dos recursos naturais deve atingir três metas básicas: (a) o desenvolvimento econômico; (b) a equidade social, econômica e ambiental, e (c) a sustentabilidade ambiental. Os autores consideram, ainda, que o uso da BH como unidade de gerenciamento da paisagem é mais eficaz por que:

[...] (i) no âmbito local, é mais factível a aplicação de uma abordagem que compatibilize o desenvolvimento econômico e social com a proteção dos ecossistemas naturais, considerando as interdependências com as esferas globais; (ii) o gerenciamento da Bacia Hidrográfica permite a democratização das decisões, congregando as autoridades, os planejadores e os usuários (privados e públicos) bem como os representantes da comunidade (associações sócio-profissionais, de proteção ambiental, de moradores etc.); (iii) permite a obtenção do equilíbrio financeiro pela combinação dos investimentos públicos (geralmente fragmentários e insuficientes, pois o custo das medidas para a conservação dos recursos hídricos é alto) e a aplicação dos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, segundo os quais os usuários pagam taxas proporcionais aos usos, estabelecendo-se, assim, diversas categorias de usuários. (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002, p. 20-21).

A utilização da Bacia Hidrográfica como unidade de gerenciamento faz-se importante, pois o simples fato de incorporar e aproximar a população das fontes de recursos hídricos possibilita o envolvimento de forma mais eficiente dos habitantes nos projetos de tomada de decisões relacionados à água, além de propiciar visão mais centralizada das condições naturais, elevando ao máximo os aspectos ambientais de um local ou região. A utilização desse termo para a preservação e, por conseguinte, para a

conservação dos recursos naturais, está diretamente ligada à possibilidade de efetuar estudos a fim de analisar e avaliar determinada área geográfica, seu potencial de desenvolvimento e sua produtividade biológica, concebendo as melhores formas de aproveitamento e utilização com o mínimo de impacto ambiental, ou seja, sua utilização de forma sustentável (FIGUEIREDO; MAROTI, 2011).

2.2 FATORES DETERMINANTES DAS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O atual contexto do desenvolvimento tecnológico e científico contrasta com as crises nos âmbitos social e ambiental. O estabelecimento dessas diferenças não permitirá a execução de abordagem mais concentrada entre a relação homem e meio e os resultados dos impactos causados pelas atividades natural e humana, que provocam alterações no clima e na paisagem (FERREIRA et al., 2015).

As mudanças climáticas, definidas por Dos Santos e Imbernon (2014), refletem nas modificações das variáveis: precipitação, temperatura, vento, radiação e umidade, haja vista que são essas as variáveis que representam o clima. Segundo Tucci e Mendes (2006), a distribuição temporal e espacial da precipitação e evapotranspiração no ciclo hidrológico são variáveis de entrada na bacia, que tendem a produzir alterações nas estatísticas das séries de vazões líquida e sólida entre outras variáveis de resposta da bacia (TUCCI; MENDES, 2006). Contudo, essas modificações não alteram apenas as vazões de uma bacia existente, modificam também os recursos naturais que oferecem sustentabilidade ao meio ambiente, como a fauna e a flora. Todavia, com o passar do tempo, essas modificações climáticas irão produzir outros ambientes, induzidos por maior ou menor precipitação, temperatura, umidade, etc. (SOUZA et al., 2017).

A alteração ambiental de bacias hidrográficas ocorre em função dos processos do meio físico e tecnológicos, que conseqüentemente provocam alteração no meio natural, trazendo sérias modificações na estrutura física da bacia. Os processos de alteração ambiental, de modo geral, são descritos por interposição de análises de fluxos de energia e de matéria que, necessariamente, resultam das interações entre os seus múltiplos componentes, que na sua maior parte são originários de atividades antrópicas tais como: ocupações urbanas, implantação de indústrias, cultivos agrícolas, obras viárias e minerações (SOUZA et al., 2014).

2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Conhecer as características físicas de uma bacia hidrográfica é um dos métodos mais eficientes para os estudos relacionados à análise hidrológica, cujo objetivo é o entendimento e a compreensão dos fatores hidrológicos que se relacionam com a dinâmica fluvial e ambiental (CHRISTOFOLETTI, 1978). Nesse contexto, os autores Alves e Ferreira (2017) pontuam que a bacia hidrográfica envolve toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários.

O desempenho de uma bacia hidrográfica, ou seu comportamento, depende da natureza dos processos de escoamento e infiltração da água das chuvas, porque a relação infiltração e deflúvio influencia diretamente a ação de escavamento do vale e esclarece a relação entre a rede de drenagem e a bacia por ela drenada, tendo como resultados os detritos das rochas escavadas que ao se interperizarem formarão as encostas, por meio da erosão e deposição, estabelecendo o equilíbrio entre energia e resistência (PISSARRA et al., 2004). Esse desempenho está intimamente interligado a diversos elementos físicos, tais como: área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal dentre outros (LEAL; TONELLO, 2016). No intuito de compreender a relação que existe entre a morfologia e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se imprescindível expressar as características da bacia em termos quantitativos (MAGALHÃES et al., 2014).

Quando se trata de análise hidrológica, a mensuração e a caracterização dos parâmetros fisiógrafos da bacia são um dos primeiros e mais comuns procedimentos a serem executados, a fim de esclarecer as diversas questões provenientes da compreensão da dinâmica ambiental local ou regional.

Tal caracterização remete-se ao conjunto de procedimentos para a definição das feições geométricas e composição dos sistemas ambientais, corroborando com os indicadores relacionados à forma, à estrutura e à interação entre as vertentes e redes de drenagens de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980) que, por sua vez, aponta circunstâncias e valores que excedem as questões hidrológicas e geomorfológicas.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica exerce função primordial na representação de suas características morfológicas, tais como: área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, etc. (CARUSO et al., 2016). As características morfométricas do padrão de drenagem, como colocado por Ghimire (2014), possibilitam a

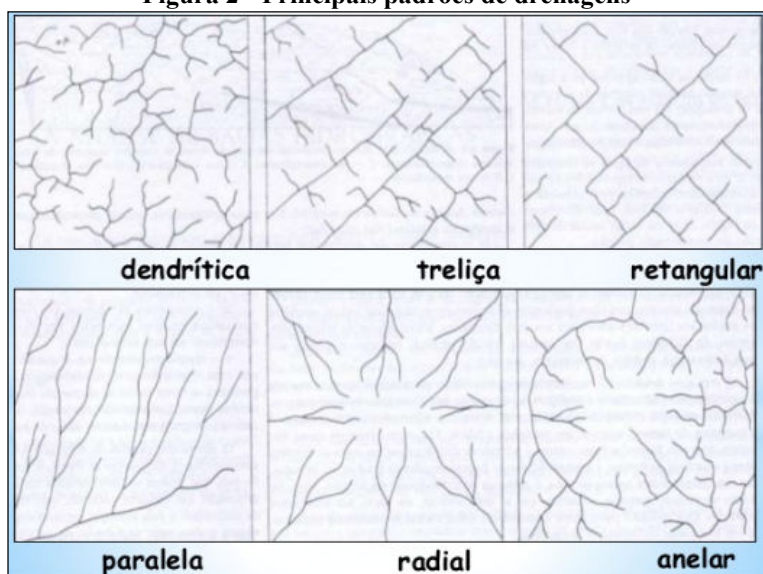
identificação de algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e exprimem estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre.

Corroborando com a afirmação de Teodoro et al. (2015), Christofolletti (1980) pontua que as bacias de drenagem podem ser classificadas de acordo com o escoamento global, sendo:

a) exorreicas: quando o escoamento da água se faz de modo contínuo até o mar, isto é, quando as bacias deságuam diretamente no mar; b) endorreicas: quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar, desembocando em lagos, ou dissipando-se nas areias do deserto, ou perdendo-se nas depressões cársicas; c) arreicas: quando não há nenhuma estruturação em bacias hidrográficas, como nas áreas desérticas onde a precipitação é negligenciável e a atividade dunária é intensa, obscurecendo as linhas e os padrões de drenagem; d) criptorreicas: quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársicas. A drenagem subterrânea acaba por surgir em fontes ou integrar-se em rios subaéreos. (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 102).

No interior da bacia, a forma da rede de drenagem pode apresentar variações. De modo geral, é mais comum observar na natureza a predominância da forma dendrítica, tendo em vista que essa forma de bacia decorre da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea (LIMA, 2008). Nesse sentido, considerando o ciclo da água, ela procura evacuar-se para o mar, possibilitando a organização dos diferentes padrões dos sistemas de drenagens, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 - Principais padrões de drenagens



Fonte: Christofolletti (1980).

Para Christofolletti (1980), os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que é influenciado pelas atividades morfogênicas, pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região.

Bigarrela et al., (1979) pontuam que diferentes padrões de drenagem podem ocorrer dentro de uma mesma bacia, sendo que esses são influenciados pela disposição da natureza e pelo grau de resistência das rochas, diferenças de declividades e geomorfologia da região. Utilizando critérios geométricos da disposição fluvial, sem sentido genético de classificação quanto ao padrão de drenagem, Christofolletti (1980, p. 103, 105-106) classifica como padrões básicos de drenagem, os seguintes tipos: dendrítica, treliça, retangular, paralela, radial e anelar.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas consiste no estabelecimento entre os parâmetros de mensuração e o estudo matemático de seus condicionantes (CHRISTOFOLETTI, 1980). Assim, os estudos relacionados à morfometria de bacias hidrográficas auxiliam na gestão do território e na elaboração de planos de gestão e manejo (CAMPANHARO et al., 2012). Com o diagnóstico ambiental é possível retratar as condições do ambiente e criar abordagens, visando o estabelecimento de alternativas e a interação homem/natureza (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Há autores que utilizaram a caracterização morfométrica como ferramenta em estudos geográficos (MOREIRA; SERRA, 2017); outros para diagnóstico físico-ambiental conservacionista (PINTO et al., 2013; APOLINÁRIO et al., 2014; DÉSTRO, 2010); com o conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local (TEODORO et al., 2015); para gestão e planejamento ambiental diante dos diversos usos (FERREIRA et al., 2016); como contribuição da morfometria para o estudo das inundações (FRANCO; SANTO, 2015); como subsídio para a análise de fragilidade ambiental (ALMEIDA et al., 2016); e como suporte para a definição e elaboração de indicadores de gestão ambiental (TONELLO et al., 2006; SILVA et al., 2010).

Para perfeita compreensão e entendimento da morfologia e dos processos hidrológicos, além do funcionamento de uma bacia hidrográfica, é de vital importância expressar em termos quantitativos as manifestações relacionadas à área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal dentre outros e suas inter-relações (GOERL et al., 2012).

Logo, diversos parâmetros físicos foram criados, sendo alguns deles aplicáveis à bacia como um todo e outros relacionados apenas a algumas características do sistema.

Para Trajano et al. (2012), os parâmetros físicos de uma bacia usualmente se dividem em 3 grandes grupos: os que indicam características geométricas, os que indicam características da rede de drenagem e os que tratam das características do relevo.

Santiago et al. (2015) mencionam que os parâmetros de caracterização do relevo e da rede de drenagem exercem grande influência sobre o escoamento superficial, bem como no processo de erosão, gerando perdas de água, solo, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, causando o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. Nesse sentido, a área da bacia hidrográfica influencia a quantidade de água produzida como deflúvio (SANTIAGO et al., 2015). A forma e o relevo da bacia agem sobre a taxa ou sobre o regime da produção de água e na taxa de sedimentação (RODRIGUES et al., 2015).

Os autores Apolinário et al. (2014), Déstro (2010), Teodoro et al. (2015), Ferreira et al. (2016), Franco e Santo (2015), Almeida et al. (2016) e Tonello et al. (2006) trabalharam com os índices de características de morfométricas de bacia hidrográfica constantes do Quadro 1, bem como outros autores pesquisados.

Como apontado pelos autores Déstro (2010), Christofolletti (1980), Ferreira et al. (2016), Franco e Santo (2015), Almeida et al. (2016) e Tonello et al. (2006), esses são os índices geomorfométricos mais empregados em estudos relacionados à morfometria de bacias hidrográficas. Portanto, para esta pesquisa, buscar-se-á a utilização dos índices morfométricos que nortearam o estudo desses autores, para que esses índices, conforme apresentado no Quadro 2, possam ser utilizados aqui como suporte para o delineamento do modelo hidrológico.

Quadro 1 - Índices morfométricos utilizados pelos autores

Parâmetros utilizados	Influência	Autores
Comprimento total da rede de drenagem; Densidade de drenagem; Índice de circularidade; Índice de forma.	Diagnóstico físico-conservacionista no estudo dos conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas.	Déstro (2010)
Área; Perímetro; Comprimento do canal principal; Comp. Vetorial do canal principal; Comp. Do tributário; Comp. total da rede de drenagem; Altitude máxima e mínima; Amplitude altimétrica; Ordem do córrego; Densidade de drenagem; Densidade hidrográfica; Índice de sinuosidade; Fator de forma; Coeficiente de compacidade; Índice de circularidade.	Conceito de bacia hidrográfica e importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.	Christofolletti (1980)

Área; Perímetro; Coeficiente de Compacidade; Índice de circularidade; Extensão Total dos cursos d'água; Densidade de drenagem; Ordem dos cursos d'água.	Análise ambiental da microbacia do Córrego Água da Onça com a utilização de geoprocessamento no município de Avaré/SP.	Ferreira et al. (2016)
Área da bacia; Perímetro; Ordem hierárquica; Comprimento vetorial do canal principal; Gradiente do canal principal; Coeficiente de compacidade; Fator de forma; Índice de forma; Índice de circularidade; Densidade de drenagem; Densidade hidrográfica; Textura da topografia; Coeficiente de manutenção; Frequência de canais de cada ordem; Comprimento médio dos canais de cada ordem; Relação de bifurcação.	Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves/SC.	Franco e Santo (2015)
Área de drenagem; Perímetro; Comprimento do Rio Principal; Comprimento dos Cursos d'água; Comprimento da Bacia; Padrão de drenagem; Ordem da bacia (Strahler); Altitudes mínima, média e máxima; Amplitude altimétrica; Declividade do Rio Principal; Declividade da Bacia; Declividade máxima da bacia; Declividade média da bacia; Densidade de drenagem; Densidade hidrográfica; Índice de compacidade; Índice de conformação ou fator de forma; Índice de sinuosidade; Índice de rugosidade; Índice de circularidade da bacia; Tempo de concentração; Coeficiente de manutenção.	Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio à análise de fragilidade ambiental.	Almeida et al. (2016)
Área de drenagem; Perímetro; Coeficiente de compacidade; Fator de forma; Índice de circularidade; Padrão de drenagem; Orientação; Declividade mínima, média e máxima; Altitudes mínima, média e máxima; Declividade média do maior curso d'água; Comprimento total dos canais; Comprimento do canal principal; Ordem da bacia; Densidade de drenagem.	Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG.	Tonello et al. (2006)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Índices morfométricos utilizados para esta pesquisa

Características Geométricas de Bacia Hidrográfica	Parâmetros de mensuração	Consequências	Autores
Área de drenagem (A)	Toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Ou a área da bacia de drenagem é aquela determinada pelo divisor topográfico.	Aumento dos picos de cheias. Grandes planícies inundáveis. Assoreamentos e erosões.	Christofoletti (1980) Villela e Mattos (1975)
Perímetro da bacia (P)	Projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas.	Movimento de massas. Escorregamento, variação de temperaturas.	Franco e Santo (2015)
Coefficiente de compacidade (Kc)	Efetua a comparação entre a forma da bacia com círculo hipotético, indicando que quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. $Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Bacias circulares ou alongadas. Indicativo se a bacia é sujeita ou não a grandes enchentes. Assoreamento, erosões, abertura de novos canais etc.	Villela e Mattos (1975)
Fator de forma (kf)	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, representa a relação entre a área e o comprimento axial da bacia. $Kf = \frac{A}{L^2}$	Indicativo se a bacia é sujeita ou não a grandes enchentes.	Villela e Mattos (1975) Moreira e Serra (2017) Franco e Santo (2015)
Razão de alongação (Re)	Relação do diâmetro de um círculo de área igual à da bacia com seu comprimento axial. $Re = 1,128 \left(\frac{A^{05}}{L} \right)$	Indicativo se a bacia é sujeita ou não a grandes enchentes. Assoreamento, erosões, abertura de novos canais etc.	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade (Ic)	O objetivo do índice é eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia. Para o cálculo do Índice de circularidade, faz-se necessário extrair o valor da área do círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. $Ic = \frac{12,57 * A}{p^2}$	Indicativo se a bacia é sujeita ou não a grandes enchentes. Concentração das chuvas em determinado ponto da bacia. Assoreamento, erosões, abertura de novos canais etc.	Christofoletti (1980) Franco e Santo (2015)
Características da rede de drenagem	Parâmetros de mensuração	Consequências	Autores
Ordem dos canais por hierarquia	Processo utilizado para estabelecer a classificação dos cursos de água que se encontram dentro de determinada bacia.	Grau de ramificação da rede de drenagem.	Horton (1945) Strahler (1952)

Densidade de drenagem (Dd)	Diretamente correlacionada entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede, sejam eles perenes ou intermitentes, e a área total da bacia hidrográfica $Dd = \frac{L_t}{A}$	Indicativo de maior ou menor velocidade com que a água escoar da bacia hidrográfica.	Soares et al. (2016) Christofolletti (1980)
Densidade hidrográfica (Dh)	Relação entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. $Dh = \frac{N}{A}$	Indicativo de maior ou menor velocidade que a água deixa a bacia. Fornece indicação da eficiência da drenagem da bacia.	Franco e Santo (2015)
Relação de Bifurcação (Rb)	A partir dele, originou-se a lei de canais, podendo variar entre 2 para bacias planas à suave ondulada, a 3 ou 4 para bacias com grande movimentação no relevo ou altamente dissecadas. $Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$	Indica o grau de dissecação da bacia. Degradação do solo. Processos erosivos. Erodibilidade das vertentes ou encostas	Horton (1945). Strahler (1952) Christofolletti (1980) Franco e Santo (2015)
Comprimento do canal principal (Ccp)	Distância, em linha reta, entre a nascente e a foz do canal principal.	Concentração de grande volume de água. Cheias rápidas, alagamento, carreamento de sedimentos etc.	Christofolletti (1980) Franco e Santo (2015)
Comprimento total da rede de drenagem (Cr)	Considera o comprimento de toda a hidrografia existente na área da bacia.		Christofolletti (1980)
Características do relevo	Parâmetros de mensuração	Consequências	Autores
Índice de rugosidade (Ir)	Está diretamente relacionado à combinação das qualidades da declividade e o comprimento das vertentes com a densidade da drenagem. $Ir = \Delta h * Dd$	Vertentes íngremes. Relevo movimentado. Escorregamento de massa.	Rocha et al. (2014) Dos Santos et al. (2017) Ataide et al. (2017)
Coefficiente de rugosidade (CR).	É um índice que direciona o uso potencial das terras em bacias hidrográficas, dependendo das características relacionadas às atividades agropecuárias, silvicultura com reflorestamento ou preservação permanente. $CR = Hdm * Dd$	Degradação ambiental. Compactação, lixiviação, escoamento sub-superficial. Uso potencial do solo.	Ribeiro et al. (2016) Oliveira e Antônio (2015)
Amplitude altimétrica	Variação entre as altitudes máxima e mínima.	Forma das vertentes.	Villela e Mattos (1975) Santiago et al. (2015)
Altitudes máxima, média e mínima	Influencia a quantidade de radiação que a bacia recebe e, consequentemente, a evapotranspiração, temperatura e precipitação.	Controla a velocidade do escoamento superficial. Controla a temperatura, a precipitação e a evaporação.	Villela e Mattos (1975) Santiago et al. (2015)

Fonte: Elaborado pelo autor.

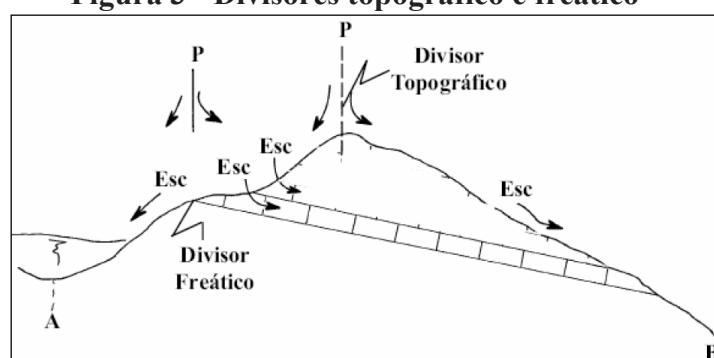
2.3.1 Elementos geomorfológicos

Os elementos relacionados aos estudos geomorfológicos de bacias hidrográficas subdividem-se em três grupos: aqueles que apresentam características geométricas, os que apresentam características da rede de drenagem e os que apresentam características do relevo. Os elementos que se relacionam com as características geométricas, Christofolletti (1980) os identifica como sendo os que possibilitam efetuar medições planimétricas e medições lineares. Incluem-se nessa característica os seguintes índices: área de drenagem (A); coeficiente de compactidade (Kc); fator de forma (Kf); razão de alongação (Re); e índice de circularidade (Ic).

Para Christofolletti (1980), área de drenagem (A) é toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Para Villela e Mattos (1975), divisor freático ou subterrâneo é, em geral, determinado pela estrutura geológica dos terrenos, podendo ser influenciado pela topografia, além de estabelecer os limites dos reservatórios de águas subterrâneas. O divisor geológico sofre variações ao longo do ano em função das estações, não há coincidência entre os dois divisores, prevalecendo, quase sempre, o topográfico, por ser fixo e de mais fácil identificação (Figura 3), assim, pode-se considerar que a área de drenagem da bacia é aquela determinada pelo divisor topográfico. No momento atual, com o advento das geotecnologias, o cálculo referente à área da bacia é efetuado utilizando *softwares* específicos com auxílio do computador (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tucci (2004) assegura que a área da bacia possui importância fundamental, pois é por meio dela que se define o potencial de geração de escoamento da bacia hidrográfica, sendo que o seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia.

Figura 3 - Divisores topográfico e freático



Fonte: Villela e Mattos (1975).

O índice do coeficiente de compacidade (K_c), conforme proposto por Villela e Mattos (1975), é utilizado para efetuar a comparação entre a forma da bacia e um círculo hipotético, indicando que quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente. Para coeficientes acima de um (1), a bacia apresenta baixa suscetibilidade a ocorrência de inundações; e quanto menor for o valor desse coeficiente (números próximos a zero), mais arredondada será a bacia e mais sujeita a enchentes ela está. O cálculo do coeficiente de compacidade pode ser feito a partir da Equação 1, onde K_c é o coeficiente de compacidade, adimensional; P é o perímetro em km; e A é a área da bacia em km^2 (VILLELA; MATTOS, 1975).

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

Para Schmitt e Moreira (2015), as bacias hidrográficas podem ser classificadas de acordo com valor de K_c da seguinte forma: $1,00 \leq K_c < 1,25$ bacias com alta propensão a grandes enchentes; $1,25 \leq K_c < 1,50$ bacia com tendência mediana a grandes enchentes; e $K_c \geq 1,50$ bacia não sujeita a grandes enchentes.

O fator de forma K_f , como proposto na Equação 2, relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, representando a relação entre a área e o comprimento axial da bacia. Esse comprimento é a distância euclidiana entre a foz e o ponto mais distante da bacia, localizado no divisor de águas, tomando-se como eixo de referência a direção predominante do curso d'água principal (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde:

F é o fator de forma, adimensional;

A é a área de drenagem, em km^2 ;

L é o comprimento do eixo da bacia, em km.

O fator de forma é um índice indicativo da tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior K_f . Isso se deve ao fato de que em uma bacia estreita e longa

(baixo fator de forma) a possibilidade é menor de ocorrer chuvas intensas que cobrirão concomitantemente toda sua extensão e também a contribuição dos tributários que atingirá o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se da condição ideal da bacia circular, na qual a concentração de todo o deflúvio se dá em um só ponto (MOREIRA; SERRA, 2017).

Segundo Franco e Santo (2015), os valores assumidos pelo fator de forma levam às seguintes classificações: $K_f \geq 0,75$ bacia sujeita a enchentes; $0,50 < K_f < 0,75$ bacia com tendência mediana a enchentes; $K_f \leq 0,50$ bacia não sujeita a enchentes.

A razão de alongação (Re) é caracterizada pela relação do diâmetro de um círculo de área igual à da bacia e seu comprimento axial, com valores inferiores a 1. Assim, quanto maior o valor de Re , mais próxima de um círculo a bacia será e maior será a probabilidade de enchente, enquanto valores menores assumidos pela Re devem-se a uma bacia mais alongada e menos susceptível a cheias (VILLELA; MATTOS, 1975). A razão pode ser expressa da seguinte forma (Equação 3):

$$Re = 1,128 \left(\frac{A^{0,5}}{L} \right) \quad (3)$$

De acordo com Christofletti (1980), o índice de circularidade I_c foi proposto com o intuito de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia. Para seu cálculo, faz-se necessário extrair o valor da área do círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. O I_c apresenta valores entre 0 e 1; quanto maior for o valor, mais aproxima a bacia da forma circular, estando também mais propensa ao desenvolvimento de cheias mais acentuadas. Valores menores possibilitam escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias (FRANCO; SANTO, 2015).

O índice de circularidade representa a relação de semelhança entre a forma da bacia e uma circunferência, assim como o coeficiente de compacidade. Ainda segundo Franco e Santo (2015), o I_c representado pela Equação 4 tende para a unidade à medida que a bacia aproxima-se da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada.

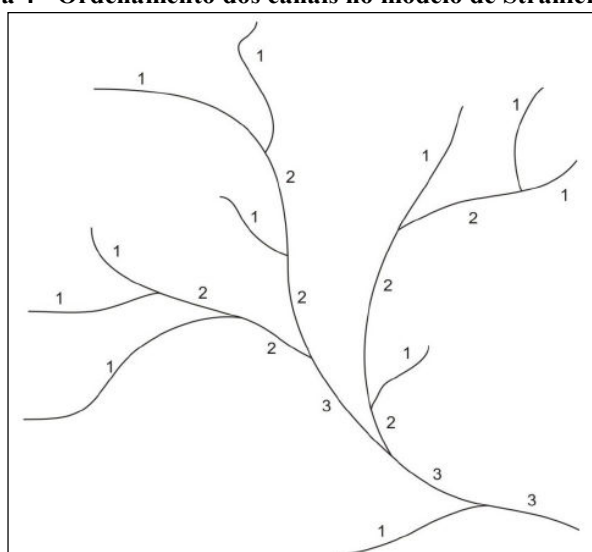
$$I_c = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (4)$$

As características da rede de drenagem estão entre as classes de informações morfológicas que definem as diferenças predominantes entre distintas paisagens, como descrevem os estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957) e Christofolletti (1980).

Por conseguinte, as características do padrão de drenagem ou da hidrografia refletem o processo morfogenético do terreno na escultura da paisagem, bem como os processos hidrológico e litológico de cada bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). Os principais índices, segundo Villela e Mattos (1975), são: classificação de Horton (1932); classificação de Strahler (1957); classificação de Shreve (1966); densidade de drenagem (Dd); densidade hidrográfica (Dh); coeficiente de torrencialidade (Ct); densidade de confluências (Dc); relação de bifurcação (Rb); relação ponderada de bifurcação (Rpb); relação entre o comprimento médio dos canais (Rlm); relação entre o comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rib); extensão média do escoamento superficial (I); sinuosidade do curso d'água (SIN); índice de sinuosidade (Is); declividade do álveo (S1, S2, S3 e S4); e coeficiente de manutenção (Cm).

A hierarquização fluvial, ou hierarquização da rede de drenagem, consiste no processo de estabelecer a classificação dos cursos de água que se encontram dentro de determinada bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). A classificação tem como objetivo facilitar os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas. A classificação de Strahler é uma das mais conhecidas, tendo sido proposta em 1952, (Figura 4). Esse fato pode ser comprovado nos estudos realizados por Tonello (2006); Bertossi et al. (2011); Jorge (2015); e Romero (2017).

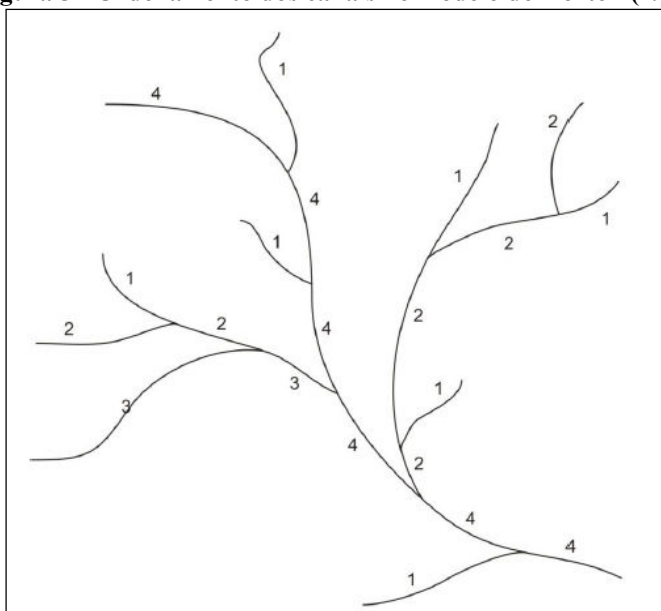
Figura 4 - Ordenamento dos canais no modelo de Strahler (1952)



Fonte: Christofolletti (1980).

A ordenação de Horton (1945) procurou identificar o canal principal, conforme apresentado na Figura 5. Autores como Nascimento et al., (2012), Ferreira et al., (2013), Feltran Filho e Lima (2007), Santos Silva et al., (2008) em suas pesquisas utilizaram respectivamente os parâmetros angulares, altimétricos, canal mais distante da nascente a foz e maior área drenada para determinação do canal principal. Os canais de primeira ordem não recebem contribuição de cursos tributários, enquanto os de segunda ordem recebem tributários ou afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem recebem afluentes de canais de segunda e podem receber diretamente canais de primeira ordem e assim por diante (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Figura 5 - Ordenamento dos canais no modelo de Horton (1945)



Fonte: Christofolletti (1980).

Entretanto, Strahler (1952) propõe que canais menores, sem tributários (Figura 4), sejam considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; enquanto os canais de segunda ordem nascem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem nascem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo para tanto receber afluentes de segunda e primeira ordem; já os canais de quarta ordem nascem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores.

Por outro lado, Shreve (1966) estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de determinada bacia hidrográfica da seguinte maneira: os canais de primeira ordem têm magnitude 1, e o encontro de dois canais resulta no somatório de suas magnitudes, de tal forma que o valor final atribuído ao canal principal reflete a quantidade de canais de

primeira ordem que contribuiu para sua alimentação, ou seja, o número de canais de primeira ordem encontrado em toda a bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A densidade de drenagem (D_h) foi introduzida por Horton (1945) com a denominação de frequência de rios e expressa a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Define a magnitude da rede hidrográfica (Equação 5), demonstrando sua capacidade de gerar novos cursos por meio das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (FRANCO; SANTO, 2015).

Christofoletti (1980) descreve que a finalidade desse índice é comparar a frequência de cursos de água existente em área de tamanho padrão; quanto maior a densidade, maior a capacidade de escavação na bacia. Tucci (2004) afirma que esse índice permite avaliar o quão dinâmico é a drenagem de uma bacia, ou seja, permite estimar o grau de eficiência na concentração do escoamento superficial por meio do exutório da bacia.

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (5)$$

Onde:

D_h = densidade hidrográfica, nº de cursos d'água por km^2 ;

N = número de cursos d'água; e

A = Área da bacia.

O coeficiente de manutenção (C_m) foi proposto por Schumm (1956) e sua finalidade é fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Schumm (1956) afirma que esse índice é um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado por meio da Equação 6, a fim de que seja significativa na escala métrica.

Nesse coeficiente, a unidade é representada em quilômetros quadrados por quilômetros e aumenta em magnitude conforme a área de contribuição aumenta. Especificamente, ele mostra a área de drenagem necessária, em quilômetros quadrados, para sustentar um quilômetro linear de canal (NARDINI et al., 2016).

$$C_m = \left(\frac{1}{D_d} \right) * 1000 \quad (6)$$

Onde C_m é o coeficiente de manutenção e D_d é o valor da densidade de drenagem, expresso em metros.

Tomando como exemplo o quilômetro quadrado, C_m representaria a área dessa unidade (um milhão de metros quadrados) dividida pela densidade da drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O índice de Relação de Bifurcação (R_b) é um parâmetro de mensuração introduzido por Horton (1945). A partir dele, originou-se a lei de canais, podendo variar entre 2 para bacias planas à suave ondulada, a 3 ou 4 para bacias com grande movimentação no relevo ou altamente dissecadas (FRANCO; SANTO, 2015). Quanto maior o valor da relação de bifurcação maior será o grau de dissecação da bacia. Christofolletti (1980) ressalta a importância de se distinguir entre escoamentos superficial e pluvial, onde os canais do escoamento pluvial não devem ser considerados para o estabelecimento das redes hidrográficas.

Esse parâmetro reflete o sistema de ordenação proposto por Strahler (1952), em que o resultado nunca poderá ser inferior a 2. O cálculo desse parâmetro é feito conforme indicado na Equação 7, onde N é número de segmentos de determinada ordem e $Nu+1$ é o número de segmentos da ordem imediatamente superior (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$R_b = \frac{Nu}{Nu+1} \quad (7)$$

Ainda de acordo com Christofolletti (1980), a relação da bifurcação baseia-se na análise de Horton (1945), que expressa a composição da drenagem, levando em consideração que em uma bacia a soma do número de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa, tendo em vista que o primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação.

O relevo de uma bacia hidrográfica exerce grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, tendo em vista que a velocidade do escoamento superficial é determinada em razão da declividade do terreno, enquanto a temperatura, a precipitação e a evaporação são reguladas em função da altitude da bacia (DOS SANTOS et al., 2017). Segundo Villela e Matos (1975), é de suma importância a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

A importância do relevo nos estudos de bacias hidrográficas tem como objetivo principal descrever as diferentes compartimentações da paisagem, haja vista que é nessa

compartimentação que ocorrem processos como o fluxo de materiais em superfície (erosão) e em profundidade (infiltração, lixiviação e translocação) (SILVA; TONELLO, 2014).

Os principais índices são: altitude e declividade da bacia; retângulo equivalente (L e lr); índice de alongamento (Ia); índice de rugosidade (Ir); coeficiente de rugosidade (CR); razão de relevo (Rr); razão de relevo relativo (Rrl); curva hipsométrica; integral hipsométrica; fator topográfico (Ft); textura topográfica (Tt); razão de textura (T); coeficiente de massividade (Tga); e coeficiente orográfico (Co) (MOREIRA; SERRA, 2017).

Christofoletti (1980) afirma que por meio do cálculo da curva hipsométrica é possível demonstrar como o volume da rocha está localizado abaixo da superfície e como está distribuído desde a base até o topo. Possibilita, também, a comparação entre as duas áreas de tamanhos e de topografias diferentes. A variação de altitude das bacias hidrográficas está intrinsicamente ligada à precipitação, evapotranspiração e temperatura (SILVA; TONELLO, 2014), conseqüentemente, a altitude influencia diretamente a quantidade de radiação que ela recebe (NARDINI et al., 2016). Silva e Tonello (2014) afirmam ainda que da mesma forma, o balanço de energia e a temperatura tendem a sofrer variações em função da altitude. Logo, as grandes variações na altitude acarretam significativas diferenças na temperatura e conseqüentemente provocam variações na evapotranspiração (NARDINI et al., 2016).

A curva hipsométrica tem como objetivo a representação da variação da elevação das áreas de uma bacia hidrográfica (ANDRADES FILHO et al., 2016). Para Christofoletti (1980), a curva hipsométrica representa o estudo da variação da elevação do terreno da bacia comparada com o nível médio do mar. Variação essa que pode ser representada por gráfico que mostra a percentagem da área de drenagem existente acima ou abaixo da elevação, podendo também ser apontada por meio das quadrículas associadas a um vetor ou planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível (CHISTOFOLETTI, 1980).

A declividade da bacia é característica de relevante interesse hidrológico, principalmente para as bacias pequenas, nas quais o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma (LINSLEY et al., 1975; NETO et al., 2016). Esses processos acontecem em função da declividade ser um dos fatores principais para regular a velocidade do escoamento e, por conseguinte, exerce grande influência nos processos de erosão e infiltração (NETO et al., 2016).

Villela e Matos (1975) corroboram com a premissa de que a declividade está diretamente correlacionada com a velocidade em que acontece o escoamento superficial e com isso simula o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos dos rios que constituem a rede de drenagem das bacias, influenciando diretamente nos picos de enchente, na infiltração e na susceptibilidade para erosão dos solos, que necessariamente depende da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

O mapa de declividade indicando a inclinação das vertentes pode ser mensurado, em valores percentuais e angulares, levando-se em conta dados extraídos entre a diferença dos pontos altimétricos considerados e seu afastamento do plano horizontal. A declividade pode ser dividida em cinco classes, conforme a metodologia aplicada por Ross (2000) e Embrapa (1999), expressas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de declividade

Classes	Intervalos de declividade	Características do relevo	Categoria
A	< 5%	Plano e suave	Muito Fraca
B	5 a 10%	Suave ondulado	Fraca
C	10 a 15%	Ondulado	Média
D	15 a 25%	Forte ondulado	Forte
E	25 a 100%	Escarpado/Inclinado	Muito Forte

Fonte: Ross (2000).

Para Lima (1986), citado por Nardini et al. (2016), a declividade média (D%) é a somatória do comprimento das cotas ($\sum C_n$) em km vezes a equidistância entre as cotas (ΔH), pela área (A) em km², calculada por meio da Equação 8.

$$D(\%) = \frac{\sum C_n \cdot \Delta H}{A} \quad (8)$$

Onde:

D - Declividade média da bacia em %;

C_n - Somatória das curvas de nível da bacia em km;

ΔH - Equidistância vertical entre curvas de nível em km;

A - Área da bacia em km².

O índice de alongamento (I_a) de uma bacia hidrográfica é a relação expressa entre o diâmetro do círculo com área igual à da bacia e o comprimento da bacia ao longo do canal principal. Assim, quanto menor esse índice, menor o risco de cheias na bacia hidrográfica (DOS SANTOS et al., 2017). A determinação desse índice possibilita efetuar a verificação da tendência a enchentes de uma bacia hidrográfica, tendo em vista que quanto mais retangular for a bacia, mais comprido e estreito será seu formato e, com isso, diminui

significativamente a possibilidade de a chuva cobrir toda a extensão da bacia simultaneamente (ATAIDE et al., 2017). O Índice de alongamento é expresso pela Equação 9.

$$I_a = \frac{L}{l_r} \quad (9)$$

Onde: I_a é o índice de alongamento, adimensional.

O índice de rugosidade I_r (Equação 10) foi proposto por Melton (1957), e seu objetivo era expressar um dos índices de análise dimensional da topografia (CHRISTOFOLETTI, 1980). O I_r está diretamente relacionado à combinação das qualidades da declividade e o comprimento das vertentes com a densidade da drenagem (ROCHA et al., 2014). Valores elevados de I_r sugerem bacias propensas a cheias torrencial em função dos grandes desníveis entre a cabeceira e a seção de referência associados à densa rede de drenagem (DOS SANTOS et al., 2017), ou seja, os altos valores de I_r acontecem quando as vertentes são íngremes e longas (ATAIDE et al., 2017).

$$I_r = \Delta h * D_d \quad (10)$$

Onde:

I_r é o índice de alongamento, adimensional;

Δh = Amplitude altimétrica (km).

O coeficiente de rugosidade (Equação 11) é o índice que direciona o uso potencial das terras em bacias hidrográficas, dependendo das características relacionadas às atividades agropecuárias, silvicultura com reflorestamento ou preservação permanente (RIBEIRO et al., 2016), sendo utilizado para mensurar o risco de degradação ambiental (OLIVEIRA; ANTÔNIO, 2015). Os autores Nardini et al. (2016) consideram que coeficientes de rugosidade estão distribuídos em quatro classes: A, B, C e D, compostas por terras propícias ou aptas respectivamente para: agricultura; pastagens; pastagens/reflorestamento e reflorestamento (Tabela 2).

$$CR = H_{dm} * D_d \quad (11)$$

Onde:

CR = Coeficiente de rugosidade, adimensional; e

H_{dm} = Declividade média da bacia (m/m).

Tabela 2 - Distribuição das classes do CR e respectivas aptidões

Classe	Aptidão agrícola	Valore do CR
A	Solos apropriados para a agricultura	CR < 23
B	Solos apropriados para pastagens/pecuária	CR entre 23 e 43
C	Solos apropriados para pastagem/reflorestamento	CR entre 43 e 63
D	Solos apropriados para reflorestamento	CR > 63

Fonte: Adaptado de Oliveira e Antônio (2015).

2.4 SEGMENTAÇÃO

Tendo em vista que a maioria dos trabalhos científicos que usa técnicas de classificação de imagens de sensoriamento remoto descreve a sua origem, as interações entre matéria e energia, bem como os diversos modelos de processamento digital de imagens, no presente estudo será abordado o conceito que se encontra mais afeito a esta pesquisa, que é o processo de segmentação de imagens.

A segmentação de imagens é um dos métodos aplicados no processamento de imagens de satélites e consiste em discriminar e subdividir os objetos de interesse contidos nas imagens (FERREIRA et al., 2013). Gonzalez e Woods (2008) afirmam que o processo de subdivisão do espaço de dados é pré-requisito para outros mais complexos, como o reconhecimento de objetos e a interpretação de dada cena.

Pode-se dizer que foi a segmentação de imagens que possibilitou o processo inicial da classificação baseada em objetos. Recentemente, diversos autores utilizaram a segmentação na aplicação localizada de defensivos agrícolas (SU; ZHANG, 2017); Doubrawa et al. (2014) utilizaram a segmentação para avaliar a dinâmica na cobertura florestal e dos estoques de carbono na bacia do Rio Iguaçu; Ruiz et al. (2017) a utilizaram para avaliar a cobertura da terra a partir de imagens coletadas por VANT, integrando OBIA e árvore de decisão; e Gui et al. (2016) utilizaram a segmentação para análises urbanas em edifícios.

A segmentação envolve a etapa de divisão de objetos ou regiões homogêneas da imagem, em função de seus atributos, por meio de determinado algoritmo, e leva em consideração algumas de suas características essenciais, tais como o nível de cinza dos *pixels* e a textura que melhor representa os objetos presentes na cena (PIAZZA; VIBRANS, 2014).

O processo de segmentação pode ser executado de modo manual ou automático. A segmentação manual fundamenta-se no reconhecimento visual das feições representadas na

imagem por meio da comparação de diferenças apresentadas pelos elementos interpretativos, principalmente cor, tonalidade e textura (GOMES et al., 2013). Dlugosz et al. (2008) pontuam que os processos automáticos de segmentação buscam simular o comportamento do foto-intérprete ao identificar áreas homogêneas na imagem, baseando-se em suas propriedades espectrais e espaciais.

O algoritmo de segmentação automático, em geral, baseia-se nas características de descontinuidade e similaridade dos tons de cinza de uma imagem (PASSO et al., 2013). A metodologia que afere a descontinuidade leva em consideração a variação abrupta dos valores do *pixel*, e o método por similaridade baseia-se na junção de *pixels* que possuem alguma semelhança com os *pixels* vizinhos (DLUGOSZ et al., 2008).

Existem outras metodologias de segmentação com diferentes aplicações, dentre as quais se destacam as de homogeneidade intrarregiões, utilizadas pelo segmentador do *software* Spring, como pontuado por Gomes et al. (2013), e a metodologia de segmentação multirresolução, proposta por Baatz e Schäpe (2000), ambas segmentadoras de crescimento de regiões (PASSO et al., 2013).

2.4.1 Segmentação por descontinuidades

A segmentação por descontinuidades localiza objetos na imagem baseado em modificações abruptas na intensidade dos *pixels*. Essa metodologia utiliza essencialmente imagem em escala de cinza e tem como objetivo identificar e/ou detectar três tipos básicos de descontinuidades: pontos, linhas e bordas (PERSECHINO; ALBUQUERQUE, 2015). Enquanto a detecção de pontos e linhas é fundamentada na varredura da imagem por máscaras, a detecção de bordas considera as derivadas de primeira e segunda ordens aplicadas sobre a intensidade dos *pixels* (QUEIROZ; PINTO, 2014).

De modo geral, a ideia que subsidia os algoritmos para a detecção de pontos e linhas é que as feições tendem a possuir tom de cinza bastante diferente quando comparado aos seus vizinhos. Nesse sentido, a detecção é realizada por meio da aplicação de máscara que fornece resposta R e limiar adequado não negativo T. Quando aplicada a máscara sobre a imagem, os pontos que possuírem valores acima do limiar estabelecido serão detectados (GONZALEZ; WOODS, 2008).

No entendimento de Gonzalez e Woods (2008) sobre o método de descontinuidades, a detecção de bordas é o procedimento mais comum para a segmentação de imagens. Persechino e Albuquerque (2015) destacam que esse método é o processo pelo

qual os fragmentos de bordas são determinados e, posteriormente, associados em estrutura mais elaborada, representando fronteira de classe homogênea.

2.4.2 Segmentação por similaridades

A segmentação por similaridades baseia-se na observação interna dos objetos e não em seus limites. Portanto, pressupõe que os *pixels* que fazem parte do objeto têm propriedades similares e, por conseguinte, os *pixels* de objetos distintos apresentam propriedades diversas (QUEIROZ; PINTO, 2014). As abordagens principais desse método de segmentação baseiam-se em limiarização e crescimento de regiões (GOMES et al., 2013). Essa segmentação particiona a imagem em regiões constituintes seguindo algum critério pré-estabelecido, baseando-se na análise dos objetos (KAWAKUBO et al., 2013). Essa metodologia divide-se em: crescimento de região, divisão e agrupamento de região (*Split and Merge*) e limiarização.

A teoria do crescimento por região parte do princípio de agrupar os *pixels* ou sub-regiões em regiões maiores (GONZALEZ; WOODS, 2008), cujo início acontece com a adoção de conjunto de *pixels* “sementes” da região. A partir desse princípio é efetivado o crescimento das regiões por meio da inclusão de *pixels* vizinhos que tenham características similares, tais como, intensidade, textura, cor, etc. (QUEIROZ; PINTO, 2014). O crescimento ocorre automaticamente até que cada *pixel* seja processado e sejam formadas diferentes regiões cujas fronteiras possam ser definidas por polígonos fechados e por *pixels* internos que compartilhem certa similaridade (MASELLI; NEGRI, 2016).

O método *split* reparte uma dada região em quatro novas regiões, permitindo que cada uma corresponda a um quadrante da região original. Por outro lado, a operação *merge* agrupa regiões vizinhas que atendam aos critérios de homogeneidade. Portanto, o método *Split and Merge* é a associação da divisão com agrupamento de regiões, empregando ao mesmo tempo as vantagens das duas operações (GONZALEZ; WOODS, 2008).

Essa abordagem consiste em separar os grupos de cinza de uma imagem quando essa é formada por duas classes: o fundo e o objeto (QUEIROZ; PINTO, 2014). Ainda no entendimento dos autores, as demais áreas da imagem são rotuladas como desimportantes. Para o processo da limiarização ocorrer é indispensável determinar a intensidade de cinza, chamada de limiar, para efetuar a separação das partes da imagem, de tal modo que os grupos de *pixels* com intensidades parecidas sejam afastados dos demais, a fim de determinar a partir de qual faixa de intensidade o *pixel* vai pertencer à região de interesse

que se deseja processar ou se fará parte do fundo (PERSECHINO; ALBUQUERQUE, 2015).

2.4.3 Segmentação multirresolução

O método de segmentação multirresolução é considerado similar ao utilizado pelo processo de segmentação por crescimento de região (BAATZ; SCHÄPE, 2000), tendo em vista que cada *pixel* é rotulado seguindo critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente (GONZALEZ; WOODS, 2008). Essas duas metodologias executam um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões para proceder ao agrupamento, considerando os critérios de similaridade, fazendo com que ambas as metodologias se diferenciem pelo fato de que a segmentação multirresolução considera os parâmetros de forma (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012).

No decorrer do processo de segmentação multirresolução a imagem é particionada em regiões homogêneas, podendo ser influenciada por parâmetros de escala, tonalidade e forma, em que: (i) o parâmetro de tendência à heterogeneidade dos *pixels* determina o tamanho médio dos objetos (ANTUNES et al., 2017); (ii) a tonalidade equilibra a homogeneidade das cores dos segmentos com a homogeneidade da figura (KAWAKUBO et al., 2013); (iii) o parâmetro de forma proporciona a estabilização entre a suavidade da borda de um segmento e a compacidade, estabilizando os critérios de homogeneidade dos objetos primários (DINIZ et al., 2014).

A partir dessa concepção, Baatz e Schäpe (2000) enfatizam que a característica principal do algoritmo está relacionada ao fato dos novos segmentos possuírem relações com os segmentos que os compõem em um nível hierárquico mais baixo, possibilitando assim o reagrupamento dos objetos que irão formar objetos maiores (superobjeto). Nesse contexto, a segmentação multirresolução é concretizada baseada em parâmetros espectrais, de forma que, a partir da sua junção, irão formar os objetos do nível superior (superobjeto) pelo agrupamento dos objetos do nível inferior (subobjeto), permitindo que as feições de diferentes escalas possam ser representadas simultaneamente e serem classificadas umas em relação às outras (PIMENTA et al., 2014).

A segmentação multirresolução possibilita utilizar duas estratégias para a composição da rede hierárquica de objetos: de baixo para cima (*Bottom-up*), onde a segmentação se inicia pelo nível de maior detalhe dos objetos juntados em objetos maiores, conforme o nível hierárquico; e de cima para baixo (*Top-down*), uma vez que o processo

começa com objetos grandes que são subdivididos até conseguir o nível de escala mais detalhado (PIMENTA et al., 2014).

Hofmann (2000) salienta que o traçado dos objetos sofre com a influência adotada pela estratégia. Ao se iniciar a segmentação a partir do nível com maior detalhe, o contorno dos superobjetos do nível superior resultará da soma dos objetos desse nível. Ainda segundo o autor, a opção da abordagem de segmentação é etapa importante no que tange à análise de imagens orientadas a objeto.

O segmentador utilizado pelo InterImage e o Terra Aida Baatz Segmenter foi proposto por Baatz e Schäpe (2000) e é disponibilizado gratuitamente por meio da biblioteca TerraLib, que é uma biblioteca de classes e funções escritas na linguagem C++ para a construção de aplicações geográficas. A princípio, o segmentador TA Baatz Segmenter foi desenvolvido para ser utilizado no *software InterImage*.

2.4.4 Segmentação por crescimento de região

A segmentação por crescimento de região acontece no momento em que utiliza algoritmo de segmentação que define regiões homogêneas em uma imagem, preparando-na para efetuar classificação futura baseada nessas regiões, desconsiderando os valores individuais dos *pixels* (PASSO et al., 2013).

O método de segmentação de crescimento por região procura reunir em um mesmo conjunto de *pixels* adjacentes determinado critério de heterogeneidade, agrupando ou dividindo regiões de uma imagem, resultando de seus *pixels* terem ou não características semelhantes em termos de cor, textura ou forma (NIGRI HAPP et al., 2013). Primeiramente, ele considera um conjunto de pontos, dito “semente”, como regiões. A seguir, é iniciada a busca por *pixels* similares nas bordas dessas regiões (CENTENO, 2010). Continuando o processo, imediatamente iniciam-se as comparações com as outras regiões adjacentes, considerando o limiar de similaridade fixado pelo usuário e efetuando testes de médias onde o limiar irá definir a distância entre elas (MENESES; ALMEIDA 2012).

Nigri Happ et al. (2013) afirmam que para conceber boa classificação baseada em regiões é indispensável efetuar segmentação adequada dos alvos de interesse. Segundo os autores Braz et al. (2017), os classificadores por região procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas suas propriedades espectrais e espaciais. As técnicas de classificação por região podem ser

divididas em supervisionada e não supervisionada e, nesse caso, seguem os mesmos princípios da classificação *pixel a pixel* (MORALES et al., 2014), entretanto, elas não serão tratadas neste trabalho, ficando somente a título de informação.

2.4.5 Sistemas baseados em conhecimento

Sistemas baseados em conhecimento são aqueles que possibilitam o armazenamento e a modelagem em ambiente computacional do conhecimento específico do foto intérprete, impulsionando a aplicação e a combinação dos dados das mais variadas fontes e formatos para a análise de imagens em sensoriamento remoto (SOUZA et al., 2012).

Ao utilizar os sistemas de análise de imagens baseados em conhecimento, Passo et al. (2013) salientam que a interpretação da imagem pode ser representada por meio de dois tipos de conhecimento: o implícito, que compõe totalmente o código de um programa, possibilitando a descrição de rigoroso plano de procedimento; e o conhecimento explícito, que acontece no momento em que se conhecem as soluções alternativas para determinada tarefa, em que o sistema efetuará a escolha da função mais adequada que permitirá atribuir o uso das melhores soluções que estarão indicadas explicitamente.

A abordagem baseada em conhecimento busca reproduzir em um sistema computacional o raciocínio do fotointérprete, tendo em vista que por meio desse sistema é possível a realização automática de serviços complexos que antes ficavam sob a responsabilidade do operador humano. Portanto, essa metodologia permite a correta identificação de objetos, cuja existência e/ou origem encontram-se no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura, padrão e contexto na imagem estudada (SOUSA et al., 2015).

O uso do sistema baseado em conhecimento proporciona novo horizonte aos usuários das geotecnologias no que diz respeito à extração automática de informações de imagem de sensores remotos (PASSO et al., 2013). Tendo em vista que os algoritmos de classificação têm objetivo claro de diferenciar grupos de *pixels* cujas características são semelhantes, haja vista que em diversas ocasiões esses grupos de *pixels* não se traduzem em objetos reais. A metodologia baseada em conhecimento tem por objetivo a correta identificação dos objetos que possuem existência sólida no mundo real (PASSO et al., 2013).

Ao utilizar o sistema baseado em conhecimento, o usuário primeiramente deve estruturar as redes semânticas e hierárquicas, para posteriormente gerar os elementos de análise que geralmente são efetuados por meio de segmentação, além de descrever as classes em função dos atributos, limiares, funções de pertinência *fuzzy*, bem como as regras de valores de pertinências (RODRIGUES et al., 2015).

A construção da base de conhecimento, definida pela rede semântica, é de suma importância para a classificação dos objetos, todavia, é uma das que mais causa dificuldades em função do árduo processo para selecionar os atributos, fornecidos pelos objetos, os quais delineiam com mais qualidade as classes que estão contidas (SOUSA et al., 2015). A rede semântica pode ser determinada de forma heurística pelo usuário, avaliando iterativa e interativamente os descritores, as funções e os seus limiares para a discriminação apropriada das classes (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012).

Portanto, os sistemas de interpretação de imagens baseados em OBIA, ao se apropriarem da metodologia de representação do conhecimento, assim como de sua técnica de análise de métodos distintos, deverão utilizar a mesma lógica subjacente (COLARES et al., 2015). Passo et al. (2013) afirmam que o conhecimento implícito se faz presente nos algoritmos de processamento de imagens (segmentação e classificação) e o conhecimento explícito localiza-se na forma de redes semânticas e hierárquicas.

2.4.6 Classificação baseada em objeto

No início da década de 1980, surge a classificação baseada em região, isto é, os *pixels* contíguos eram agrupados e rotulados, também conhecidos como segmentos, e apresentavam critérios de semelhança do valor digital e obedeciam aos limiares da área (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012).

A partir do avanço tecnológico, em meados do ano 2000, surge então nova abordagem para interpretação e classificação de imagens de sensoriamento remoto, fundamentada no paradigma da orientação a objeto. A análise de imagem orientada a objeto é também conhecida por autores mais recentes como análise de imagem geográfica baseada em objeto (*Geographic Object Based Image Analysis - GEOBIA*), (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012).

Conforme destacado por Souza Antunes et al. (2017), GEOBIA fundamenta-se no processo dos sistemas baseados no conhecimento e define-se sua modelagem em computadores do conhecimento do fotointérprete, sendo responsável por armazenar o

conhecimento do intérprete sobre a área de estudo com base na qual os objetos são classificados. OBIA consiste também em duas etapas – segmentação e classificação (ALMEIDA et al., 2013).

A classificação orientada a objetos tem como objetivo simular técnicas que visem à interpretação visual de modelagem do conhecimento das feições, baseadas em padrões dos identificadores, considerando a cor, textura, contexto e outros (ANTUNES et al., 2017).

O modelo OBIA consiste no uso de diferentes atributos dos objetos para caracterização e classificação, que vai além das propriedades espectrais dos alvos, passando a contar com a possibilidade de integração no processo de classificação de dados de outras origens, não restringindo apenas as imagens, mas determinados limiares *fuzzy* (não booleanos), hierarquiza geometrias e itens de legenda, entre outros (BLASCHKE, 2010; SEABRA; CRUZ, 2014; ANTUNES et al., 2017), além da aplicação de modelos booleanos ou *fuzzy* que podem ser traçados em ambiente interativo (CRUZ et al., 2007).

Devido às dificuldades encontradas pelos mecanismos de classificação de imagens em função dos entraves dos classificadores que apenas levam em consideração a informação espectral, desponta na área de sensoriamento remoto a Análise de Imagem Baseada em Objeto (OBIA). Para Cohen e Shoshany (2005), ao passo que os sistemas clássicos realizam processamentos dos algorítmicos guiados pelas variáveis dos dados, OBIA são sistemas computacionais baseados em conhecimento que simulam ou reproduzem o raciocínio humano. A utilização do modelo OBIA na classificação de imagens é concebida na análise do objeto no espaço (NAVULUR, 2007).

O sensoriamento remoto, bem como os diversos produtos gerados por satélites, fornece dados de extraordinária relevância, o que possibilita a aquisição de informações para classificação de cobertura da terra, por meio da análise das imagens, originando uma gama de mapas temáticos (ANTUNES et al., 2017). O processamento e a análise desses dados necessitam de programas com ferramentas específicas. Na atualidade, a Análise de Imagem Baseada em Objeto é uma das metodologias mais preparadas para realizar a interpretação de imagens, proporcionando classificação de imagens cada vez mais rápido, automática e eficiente (ACUNHA, 2016).

Considerando que a classificação de imagens baseada em objetos esteja em constante desenvolvimento, esta sempre obedecerá a um fluxo de procedimento, que se iniciará com a segmentação da imagem, por meio da qual são gerados os objetos (ANTUNES, 2003; TEDESCO et al., 2014). Nesse sentido, entende-se por objetos as

feições do terreno que podem ser reconhecidas no domínio da imagem como polígonos das mais variadas formas (ANTUNES, 2003). Portanto, cada um desses objetos (feições) é único e é definido com base em suas características geométricas, de forma e de topologia e pelas suas características não geométricas, de comportamento espectral, de elevação altimétrica no terreno, do tipo de solo, dentre outras (ANTUNES, 2003; TEDESCO et al., 2014).

Autores como Li et al. (2018), Goodin et al. (2015), Li et al. (2016) e Schultz et al. (2016) utilizaram classificação orientada a objeto para efetuarem análise relacionada à agricultura. Duro et al. (2012) utilizaram para análise de paisagem agrícola; Drăguț e Blaschke (2006) para estudos de elementos de relevo; e Blaschke et al. (2014) utilizam classificação de imagem baseado em objeto para identificar deslizamentos de terra na Bacia do Lago Urmia, no Irã.

Dentro da classificação baseada em objeto, destaca-se o método de classificação por árvore de decisão, que é definido por hierarquia de nós internos e externos conectados por ramos (CHAURASIA, 2017). O nó interno popularmente é conhecido como nó decisório ou intermediário, e trata-se da unidade responsável pela tomada de decisão que avalia, por meio de teste lógico, qual será o próximo nó descendente ou filho. Por outro lado, um nó externo não terá nó descendente, e é também conhecido como folha ou nó terminal, e está sempre associado a um rótulo ou a um valor (CHAURASIA; PAL, 2017).

Geralmente, o procedimento de uma árvore de decisão consiste na apresentação de determinado conjunto de dados ao nó inicial (ou nó raiz, que também é um nó interno) de uma árvore, além de avaliá-lo segundo teste lógico. Em função do resultado, o nó pode se ramificar para um dos nós descendentes (nós filhos), esse procedimento repete-se até que um nó terminal seja alcançado, demonstrando assim a caracterização e os recursos da árvore de decisão (SOUZA et al., 2017).

2.5 USO DA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO NAS GEOCIÊNCIAS

Frente ao avanço e ao uso de ferramentas geotecnológicas, os profissionais tendem a conhecer e aplicar em suas pesquisas, conceitos e princípios de programação, utilizando diversas linguagens de programação, que evoluíram do Fortran para o C, depois para o C++ e atualmente, tem-se o *Python* (linguagem de altíssimo nível) que integra e possibilita desenvolver aplicações nos diversos *software* de geotecnologias, desempenhando papel cada vez maior no avanço das pesquisas em diversas áreas, como geociências, engenharias,

física, matemática e tecnologia da informação (MACEDO; SALES, 2017; BUSTOS; BERMÚDEZ, 2017).

Aplicações das linguagens de programação que abrangem questões ambientais, como estudos das mudanças climáticas e de bacias hidrográficas, são de grande importância na tomada de decisões de gestores públicos em função de seus impactos social e econômico serem extremamente relevantes ao meio ambiente (MACEDO; SALES, 2017). Contudo, essa análise para a tomada de decisão tende a lidar com grande volume de dados que necessitará de estudos avançados em programação. Logo, o manuseio de ferramentas eficientes para apoiar esse processo é altamente aconselhado de modo a aumentar a produtividade e a eficácia, principalmente se fornecerem análises que permitirão a visualização dos efeitos futuros das mudanças ambientais, possibilitando rápida e precisa tomada de decisão no sentido de evitar impactos ambientais nocivos ao meio ambiente (NASCIMENTO et al., 2017).

O *Python* é uma linguagem open source, e seu uso deve-se ao trabalho da *Python Foundation* e de inúmeros colaboradores. Pode-se utilizar o *Python* basicamente em qualquer arquitetura de computadores ou sistema operacional, como Linux², FreeBSD³, Microsoft Windows ou Mac OS X⁴ (MENESES, 2016).

Não obstante sua sintaxe de altíssimo nível, *Python* apresenta diversos recursos disponíveis também em linguagens mais complexas, como é o caso do Java e C++, como por exemplo: programação orientada a objetos, recursos avançados de manipulação de textos, listas e outras estruturas de dados que possibilitam a execução do programa em várias plataformas sem a necessidade de modificar o *hardware* e sistemas operacionais (MARTINS, 2016).

A linguagem *Python* foi criada em 1990 por Guido Van Rossum, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda e tinha como foco principal usuários como físicos e engenheiros (ZONTA; ZONTA, 2016). O *Python* nasceu a partir de outra linguagem existente, chamada ABC. Nos dias atuais, a linguagem é bem aceita na indústria por empresas de alta tecnologia (ESTEVEZ et al., 2017).

Python possui imensa biblioteca padrão que contém classes, métodos e funções para realizar fundamentalmente qualquer tarefa, desde acesso a bancos de dados a interfaces gráficas com o usuário de tecnologia (ESTEVEZ et al., 2017). O *Python* pode interagir com diversas outras bibliotecas portáteis já compiladas, como a biblioteca *NumPy* para cálculos numéricos, a biblioteca *Matplotlib* para criação dos gráficos e as bibliotecas

Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) OpenGIS Simple Features Reference Implementation (OGR), que contém diversas aplicações voltadas diretamente ao tratamento dos dados de Geoprocessamento (VELILLA-TORRES et al., 2017).

2.6 QUALIDADE DE DADOS

Os procedimentos utilizados para confecções de documentos cartográficos são, em sua origem, de grande complexidade, tendo em vista que suas aplicações envolvem operações e métodos específicos, que demandam uso de equipamentos ou instrumentos precisos e sofisticados, bem como a utilização de profissional qualificado para manuseá-los (NETO et al., 2017). Objetivando minimizar esse grau de complexidade e a qualidade do produto final, faz-se necessária a adoção ou utilização de procedimentos que garantam o controle e a qualidade de produto final.

O domínio do controle de qualidade de um produto cartográfico é procedimento extremamente importante. Grande parte dessa parcela de responsabilidade pode ser direcionada ao próprio produtor do mapa, outra parte aos usuários e contratantes dos produtos e a última, não menos importante, ao processo de fiscalização (RAMBO; RAMBO, 2013).

Mesmo com grande cuidado do produtor de mapas cartográficos, sua medida está sujeita aos mais diversos tipos de erros, quer seja de natureza sistemática ou aleatória (PASSO et al., 2013). Ainda de acordo com Passo et al. (2013), a precisão e confiabilidade de um mapa qualquer vinculam-se diretamente a sua exatidão, aferindo a proximidade real e fidedigna do seu valor real. Corroborando as colocações de Passo et al. (2013), a produção e confecção de dados inerentes a ciências geocartográficas, necessitam-se de algum método estatístico para definição da acurácia e da exatidão para o conhecimento do seu real posicionamento (SANTOS et al., 2015).

Goodchild e Li (2012) destacam a importância do controle de qualidade ao investigar dados espaciais a fim de garantir e apontar a qualidade e acurácia dos produtos obtidos, identificando discrepâncias, omissões e incertezas, assim como a definição da sua finalidade. Santos et al. (2017) asseguram que na avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos e no processo de representação vetorial cartográfica devem se utilizar das primitivas gráficas: ponto, linha e polígono. Desse modo, os métodos de investigação de avaliação da acurácia posicional que empregam feições lineares são de grande importância nas pesquisas relacionadas às ciências geocartográficas (NETO et al., 2017).

Nesse sentido, um produto qualquer poderá ser qualificado como satisfatório ou não, considerando o objetivo a que se destina, quando submetido a teste de controle de qualidade; assim como a análise do seu posicionamento ou comportamento, quando comparada ao mesmo produto, extraído de fontes oficiais, ou que tenha sua verdade real validada por meio de coletas de amostras em campo e sua comprovação científica testada por metodologias probabilísticas (SANTOS et al., 2008).

A fim de garantir boa qualidade no produto cartográfico, utilizar-se-á a estatística inferencial por meio do teste estatístico *Teste Mann-Whitney*, conhecido como teste U. Com os constantes avanços tecnológicos das geociências de mapeamentos, faz-se necessário conhecer cada vez mais a precisão dos dados obtidos e ou trabalhados, onde o elemento do mundo real é descrito por pares de coordenadas apropriadas de determinado sistema cartográfico. A exatidão posicional remete a proximidade desses valores para a posição conhecida como verdadeiro do elemento naquele sistema (TOMÁS et al., 2016). Para Neto et al. (2016) e Cintra e Nero (2015), os testes mais adequados para análise de exatidão e posicionamento de um mapa são baseados na distribuição do Qui-quadrado. Em função da distribuição a não normalidade dos dados, para testar se dois grupos de amostras são provenientes da mesma população, ou se o grupo amostral possui médias com diferenças significativas entre as coordenadas dos eixos E e N.

Tomás et al. (2016) apresentam abordagem metodológica para estimar população urbana usando o volume de casas individuais e arranha-céus (edifícios residenciais) obtidos a partir de orto-imagem IKONOS-2, enquanto Neto et al. (2017) propõem avaliar a acurácia posicional planimétrica de ortofoto gerada a partir de sensor embarcado em plataforma VANT, por meio da aplicação dos métodos de feições pontuais e lineares, de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro (Decreto-Lei nº 89.817 aliado à ET-ADGV). Utilizando o teste de *Mann-Whitney*, os autores Rocha et al., (2016), verificaram-se os valores encontrados de turbidez, PH e OD, estavam dentro dos padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Utilizando-se teste de *Mann-Whitney* por meio de análise estatística das diferenças encontradas, e comparadas com as coordenadas do produto avaliado, com as coordenadas de referência da carta topográfica, baseado no teste de hipótese da média do desvio padrão amostral, em função das diferenças das amostras calculadas em cada uma das coordenadas no eixo N e no eixo E. No cálculo das discrepâncias nas duas direções, utilizam-se as

seguintes expressões: discrepância na coordenada “N” (Equação 12) e discrepância na coordenada “E” (Equação 13):

$$\overline{\Delta N} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i}{n} \sum_{i=1}^n (N_{i^c} - N_{i^d})/n \quad (12)$$

$$\overline{\Delta E} = \sum_{i=1}^n \Delta E_i/n \sum_{i=1}^n (E_{i^c} - E_{i^d})/n \quad (13)$$

Onde:

N = número de pontos de controle;

N_{i^c}, E_{i^c} = Coordenadas dos pontos de referências obtidas por meio do documento cartográfico;

N_{i^d}, E_{i^d} = Coordenadas dos pontos do produto a ser avaliado.

Em seguida, é realizado o teste de hipótese:

Para a coordenada do eixo N:

H_0 : se $\Delta N=0$, então N não é tendencioso;

H_1 : se $\Delta N \neq 0$, então N é tendencioso.

Para a coordenada do eixo E:

H_0 : se $\Delta E=0$, então N não é tendencioso;

H_1 : se $\Delta E \neq 0$, então N é tendencioso.

Portanto, é realizado primeiramente o chamado “Teste de Tendências” para nível de confiança $(1-\alpha)$, que nesse caso é de 95%, assim, conclui-se que as coordenadas que têm variação média nula não possuem tendência. Para verificação da normalidade dos dados, existem diversos testes; Qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, Shapiro-Francia, Cramer-von Mises, Anderson Darling e Jarque-Bera (LEOTTI et al., 2012).

O teste U segundo a literatura específica, é considerado como uma versão do teste t de *Student* para estimar-se a heterogeneidade de duas amostras ordinais, aleatórias e independentes, que não obedecem aos parâmetros da curva normal Baptista et al., (2016). Utilizando-se da estatística U ou teste de Mann-Whitney, onde o p valor for menor que o alfa 0,05, rejeita-se a hipótese nula que as coordenadas contêm a mesma média amostral. A discrepância de uma variável é a medida de sua dispersão estatística que indica quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado (média). Desse modo, as hipóteses testadas ($\alpha = 0,05$) para mediana foram: $H_0: n_1 = n_2$ e $H_1: n_1 \neq n_2$. O teste *Mann-Whitney* é obtido por meio da Equação 14, onde m e n representam o tamanho amostral de cada grupo e S_n é a soma de classificação de *rank* para amostra n.

$$Z = \frac{S_n - \frac{n(n+m+1)}{2}}{\frac{\sqrt{m n (m+n+1)}}{12}} \quad (14)$$

No que concerne aos desvios padrão das discrepâncias nas direções N e E são calculados por meio das seguintes equações: desvio padrão das coordenadas “N” (Equação 15) e desvio padrão das coordenadas “E” (Equação 16).

$$S_N = \sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2 / (N-1) \quad (15)$$

$$S_E = \sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2 / (N-1) \quad (16)$$

Os graus de liberdade são calculados utilizando a Equação 17:

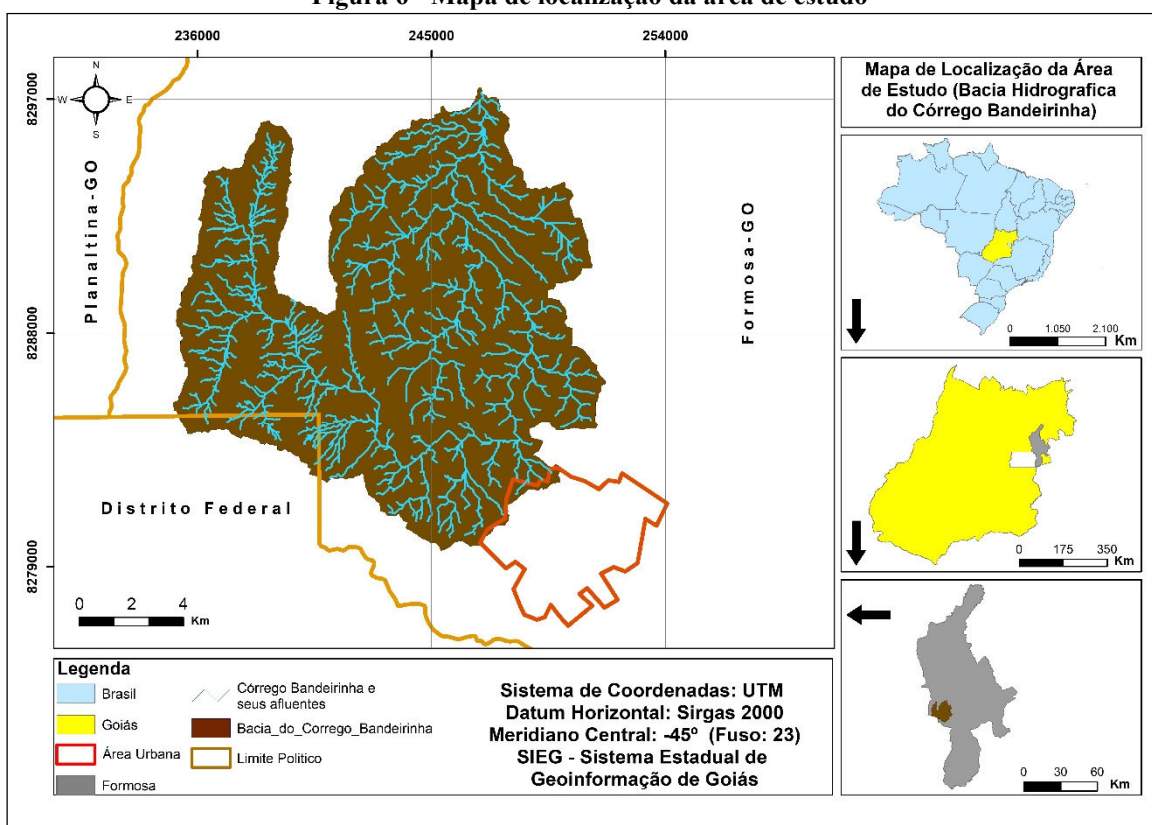
$$n = n_1 + n_2 - 2 \quad (17)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área definida para o desenvolvimento desta pesquisa é a Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha BHCB (Figura 6), localizada no meridiano central (-45°), fuso (23) entre as coordenadas UTM E-235380.96 e N-8284826.96 e coordenadas UTM E-247147.25 e N-8297454.09, ocupando mais de 180 km² de extensão superficial e aproximadamente 79,918 km de perímetro. A parte mais elevada da bacia situa-se entre a Chapada do Rio Maranhão, Planalto do Distrito Federal e Planalto do Divisor Rio Preto/Paraná e a parte baixa da bacia pertence à unidade geomorfológica do Vão do Paraná. A BHCB é sub-bacia do Rio Paraná e essa, por sua vez, pertence à bacia hidrográfica Tocantins/Araguaia.

Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A nascente do rio Bandeirinha localiza-se próximo à divisa de Goiás com o Distrito Federal, possui altitude de 1.212 m. No seu percurso, o Córrego Bandeirinha é marcado por relevo colinoso, desde a sua nascente até a sua foz no Rio Paraná. O Córrego Bandeirinha tem importância fundamental para o município, sendo ele o principal corpo

hídrico que abastece a cidade com água potável. A captação é feita pela SANEAGO e tratada em seus reservatórios, depois é feita a distribuição para a população de Formosa.

A BHCB, basicamente, encontra-se dentro dos limites do município de Formosa, como pode ser verificado na Figura 6, e apenas pequena porção na parte sudoeste pertence ao Distrito Federal. O restante da bacia, em sua parte sul, abarca parte da área urbana da cidade de Formosa, o restante da BHCB pertence à área rural do município.

O uso atual do solo da BHCB é constituído basicamente de 04 tipos de cobertura: agricultura, cerrado, pastagem e área urbana. Dentro da área em questão, existem ainda locais ocupados com requerimento junto ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) para pesquisa mineral e exploração de lavra para extração de areia quartzosa, calcário dolomítico, brita, argila e água.

A agricultura é praticada na parte mais elevada da bacia e utiliza do método extensivo e intensivo, com duas colheitas durante ano, dependendo da quantidade de chuvas precipitadas na região no decorrer do período da safra. Os tipos de cultura que ocupam os solos das bacias são milho, soja, feijão, sorgo e aveia, observando-se também o vazio sanitário, de modo a evitar a proliferação de pragas que utilizam a decompostagem dos resíduos das plantações para se hospedarem e evoluírem para novo ciclo.

A vegetação do tipo gramínea é encontrada nos topos de morros, nas encostas e no relevo plano da parte baixa da bacia, sendo composta pelas espécies de capim *Andropogon*, *Brachiaria*, *Panicum Maximum (Tanzania)*, *Megathyrsus maximus* (Mombaça) e gramíneas naturais para o apascentamento do rebanho bovino. Em relação às espécies de vegetação nativa oriundas do cerrado, as mais conhecidas e encontradas são aroeira, pequi, baru, sucupira, ingá, araticum, mangaba, jatobá, Gonçalo Alves e Cagaita.

A atividade predominante na BHCB é a agropecuária, pois além da produção de grãos, a bacia ainda produz quantidades consideráveis de carnes bovinas, suínas, aves e peixes, assim como, em pequena escala, mel e frutas silvestres.

O uso indiscriminado do solo, com práticas agrícolas inapropriadas, intensifica os processos de compactação e erosão do solo, conseqüentemente acelera a degradação das terras, causando erosão e lixiviação de nutrientes e agrotóxicos, e com isso reduz sobremaneira a capacidade produtiva das terras.

Em função da produção agrícola da BHCB ocorrem diversos problemas ambientais e fundiários, uma vez que a produção de grãos localiza-se na parte alta da bacia, gerando grande quantidade de sedimentos que são carregados para os leitos dos córregos, causando o

assoreamento e até mesmo a interrupção do fluxo de água. Na parte composta por pastagens, o desmatamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e o pisoteio do rebanho causam a compactação do solo, diminuindo a capacidade de infiltração da água, o que origina erosões por sulcos, ravinas e acabam evoluindo para a voçoroca.

Com relação aos problemas fundiários, por se tratarem de fazendas muito antigas, diversas propriedades não possuem documentação integral. Com a introdução do georreferenciamento, por meio da Lei nº 10.267, de 2001, muitos desses imóveis tiveram suas escrituras retificadas, de modo a constar de forma fidedigna o tamanho da sua área e o perímetro que ela ocupa na bacia.

Na parte urbana da BHCB, os problemas fundiários tangenciam para as bordas da cidade, ou seja, para as áreas periféricas, onde a cidade vem crescendo de forma desordenada em função de política governamental ineficiente, que se arrasta por anos, causando uma série de problemas ambientais. Uma vez que essas áreas ocupam as bordas do relevo, bem na faixa de ruptura entre o relevo plano e o colinoso, causam problemas como: falta de saneamento básico e conseqüentemente aumento de lixo doméstico, invasão de áreas de APP, assoreamento das nascentes e olhos d'água, além de problemas estruturais, como o aumento de violência e criminalidade, infraestrutura, falta de água tratada, dentre outros.

O município localiza-se no planalto central, mesorregião do leste do estado de Goiás e microrregião do entorno de Brasília, com altitude média de 918 m e área total de 5.807,17 km² (PIMENTA et al., 2015). A sede do município está distante 79 km da capital federal (Brasília-DF) e 272 km de Goiânia, a capital do estado. As atividades econômicas desenvolvidas no município são a pecuária de corte e a agricultura, além de produtos hortifrutigranjeiros, turismo e indústria. Formosa mantém posição privilegiada por situar-se próximo de Brasília. Sua indústria atende a maioria das demandas do nordeste goiano. O município possui três importantes bacias hidrográficas do país, as bacias dos rios São Francisco, Tocantins/Araguaia e Paraná, por isso recebeu o apelido de “Berço das Águas” (PIMENTA et al., 2015).

3.1.1 Aspectos físicos

A geologia (Figura 7) pertence ao Grupo Bambuí, com abrangência do subgrupo Paraopeba, constituído por sequência metassedimentar, cujo início se deu no Neoproterozóico Superior, apresentando sedimentação glaciogênica, seguidos por três

megaciclos regressivos, desenvolvidos em rochas metamórficas neoproterozóicas, com pouca resistência a erosão, como siltitos, argilitos e calcários (PIMENTA et al., 2015).

Estratigraficamente, abaixo do Grupo Bambuí, está o Grupo Paranoá, situado (final da era Mesoproterozóico). Segundo Fernandes (1982), é constituído por quartzitos, metarenitos, metassiltitos, metargilitos, ritmitos, filitos e ardósias com lentes de calcários, dolomitos, silixitos, e conglomerado basal, nos substratos caracteriza as coberturas consolidadas, detritos e carbonáticas, desenvolvidas respectivamente nos períodos (terciário e quaternário e formado principalmente pelo desgaste das rochas. Na região, os dois estão em contato por falhamentos tectônicos de baixo ângulo, quando o Paranoá mais antigo, cavalgou sobre o Bambuí (LATRUBESSE, 2005).

Os aspectos relacionados à litoestratigrafia, sistemas deposicionais e geotectônica do Grupo Paranoá foram apresentados por Faria (1995) que o caracterizam como uma seqüência de posicional em ambiente marinho, subdividida em doze litofácies de formação e incorporadas em quatro megaciclos sedimentares. Os dois primeiros transgressivos, um intermediário, regressivo, com várias oscilações e o último novamente transgressivo. Faria (1995) ainda nomeou os megaciclos, da base para o topo, em: Unidade Conglomerática Quartzítica Inferior constituída por paraconglomerado, metarritmitos e quartzitos; Unidade Siltico-Ardosiana; constituída pelas unidades siltica e ardosiana; Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária; composta pela unidade rítmica e quartzítica intermediárias e Unidade Rítmica Pelito-Carbonatada, constituída por um conjunto interestratificado de siltitos, argilitos, silixitos e quartzitos, contendo lentes de calcário (PIMENTA et al., 2015).

A Geomorfologia é constituída pela Superfície Regional de Aplainamento IV-A - SRAIVA localiza-se no Vão do Paranã e na região norte do Estado de Goiás, especificamente no eixo Porangatu - Crixás (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006). No eixo Porangatu - Crixás, há ocorrência de rochas do Arco Magmático de Mara Rosa e porção norte do *Greenstone Belt* de Crixás (LATRUBESSE, 2005).

A Superfície Regional de Aplainamento - SRA é uma unidade denudacional, gerada pelo arrasamento/aplainamento de uma superfície de terreno dentro de um determinado intervalo de cotas e este aplainamento se dá de forma relativamente independente dos controles geológicos regionais (litologias e estruturas). Uma SRA, na sua distribuição espacial, pode seccionar/aplainar sobre limites litológicos e estilos estruturais erodindo diversas unidades geológicas. (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006, p. 21).

Geomorfologicamente, a área de estudo é o início da formação do Vão do Paranã (Figura 7), cujas depressões pediplanadas são caracterizadas como superfícies de aplainamento interplanáltico, localizada entre a Chapada do rio Maranhão, Planalto do Distrito Federal, Planalto do divisor Rio Preto/Paraná (CAMPOS et al., 2013). O modelado apresenta superfície plana, entalhada pela organização da drenagem que compõe a bacia do Rio Paranã. O contato com a Chapada do Alto Maranhão (planalto central goiano) acontece por meio de escarpa de falha, onde são visíveis as facetas triangulares (CORREIA et al., 2001).

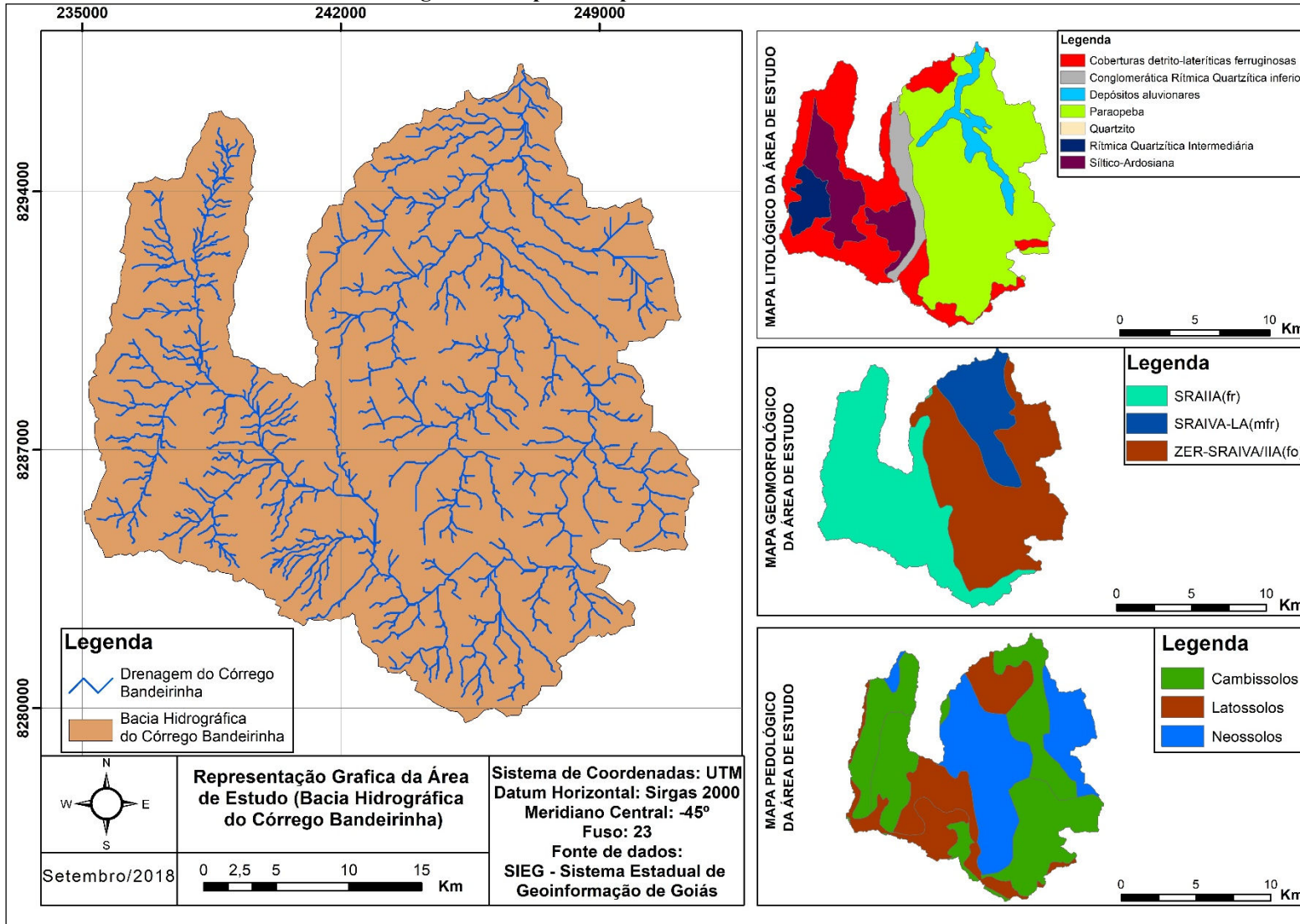
Dentro da unidade geomorfológica do Vão do Paranã predominam 10 classes de solos, dentre elas destacam-se os latossolos, argissolos, cambissolos, gleissolos, neossolos e plintossolos (PIMENTA et al., 2015). Na bacia hidrográfica do Rio Bandeirinha, onde se localiza a área de estudo, de acordo com Pimenta et al. (2015), são encontrados basicamente 3 tipos de solos: latossolos, cambissolos, neossolos (Figura 7).

Os latossolos são solos profundos, superiores a 2 m, possui aspecto maciço poroso, são macios quando secos e muito friáveis quando úmidos. São solos suscetíveis à erosão junto aos cursos d'água e nas bordas das chapadas (LEPSCH, 2016). Já os cambissolos são bem drenados, álicos e pouco profundos. Possuem fases pedregosa e não pedregosa. Desenvolvem-se em relevos ondulados a fortemente ondulados, sobre rochas dos grupos Paranoá e Bambuí (LEPSCH, 2016).

Neossolos são solos poucos evoluídos, constituídos por material mineral, não hidromorficos, ou por material orgânico, geralmente possui menos de 20 cm de espessura, não apresentam horizonte B diagnostico (EMBRAPA, 2013). Predominam em relevos planos a suavemente ondulados, são associados a latossolos, áreas de nascentes e veredas e são muito suscetíveis à erosão. Os plintossolos caracterizam-se pela presença de manchas ou mosqueados avermelhados, são ricos em ferro e têm consistência macia, são facilmente individualizados da matriz do solo (plintitas), apresentando, também, nódulos e concreções ferruginosas duríssimas, que podem formar camadas espessas, contínuas e endurecidas (EMBRAPA, 2006).

A vegetação que predomina na região, e em especial no local da área de estudo, pertence ao bioma do cerrado, que corresponde a mais de 23% do território brasileiro (MARTINS et al., 2015). As fitofisionomias típicas da paisagem do cerrado no local de estudo, são espécies vegetais caducifólias ou semi-caducifólias, uma vez que mais de 50% dessas árvores perdem suas folhas nas estações das secas (OLIVEIRA, 2014).

Figura 7 - Mapa dos aspectos físicos da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a classificação de Köppen, a área objeto de estudo pertence ao domínio de clima tropical, possuindo duas estações bem definidas Aw e variações para clima tropical de altitude CWa (SUESS et al., 2013). É constituída por clima tropical chuvoso, com característica marcante, decorrente das massas de ar Tropical Atlântica e Equatorial Continental, apresentando duas estações bem definidas, uma bastante chuvosa e com temperaturas altas e outra seca com temperaturas mais baixas. As chuvas concentram-se de outubro a maio e o período de estiagem vai de junho a setembro (PIMENTA et al., 2016). Na região como um todo, as variações espaciais de temperatura acontecem em função do relevo, enquanto nas serras e planaltos as temperaturas do mês mais frio são inferiores a 18°C, nas regiões elevadas e nas áreas de planície, ou seja, nas áreas mais baixas da bacia do Rio Bandeirinha, circundada por relevos elevados dos planaltos, são registradas temperaturas médias superiores a 21°C e ocorrem acréscimos de 2° a 5°C (LAMBRECHT et al., 2016; PIMENTA et al., 2016).

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes dados e *software*:

- a) imagem SRTM, obtida no *site* da *United States Geological Survey* (USGS), de 1" x 1" (um segundo de arco) ou 30 m de resolução espacial;
- b) cartas topográficas da DSG – Exército, na escala de 1:100.000, bem como a aquisição do arquivo vetorial da região pesquisada para efetuar a validação do trabalho;
- c) os dados para a caracterização do meio físico tais como geologia, geomorfologia e solos foram adquiridos junto ao Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG).

Para a realização da segmentação e desenvolvimento do modelo hidrológico para extração dos dados geomorfométricos e demais procedimentos, foram utilizados os seguintes pacotes de *software*:

- a) IDLE *Python* v 2.7.12;
- b) QGIS v 2.18.19;
- c) ArcGIS v 10.5.

O *QGIS*, assim como o *ArcGIS*, consistem em plataformas de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados geográficos, tornou-se alternativa eficaz e relevante diante dos cenários relacionados ao desenvolvimento de projetos

que requerem análise espacial. O QGIS é uma ferramenta *open source* de código aberto, que permite aos usuários desenvolverem aplicações em sua própria plataforma. Desenvolvido em linguagem de programação C++, contém extensões (*plug-ins*) desenvolvidas em *Python*, que permite aos usuários desenvolverem seus *scripts* de programação para incrementar de forma eficiente seus processamentos e técnicas. Por outro lado, o ArcGIS é um *software* comercial, pertencente à Esri (*Environmental Systems Research Institute*) e disponível em versões com diferentes níveis de complexidade, voltadas para aplicações geográficas. Atualmente, o ArcGIS é um dos *softwares* mais utilizados para análise e edição de dados geográficos.

Embora em todo o processo de manipulação do dados, poderia ter sido utilizado apenas o QGIS, há de ressaltar que o uso do ArcGIS limitou-se apenas para delimitação da bacia, extração e ordenação dos canais que serviram de elementos comparativos com os dados produzidos pelo modelo ODR_Hidro, haja vista que a metodologia, no que tange à análise hidrológica do ArcGIS, é mundialmente utilizada e há bastante tempo está consolidada, apesar de o QGIS também possuir ferramentas que possibilitam a delimitação de bacias e extração de canais.

3.3 MÉTODO

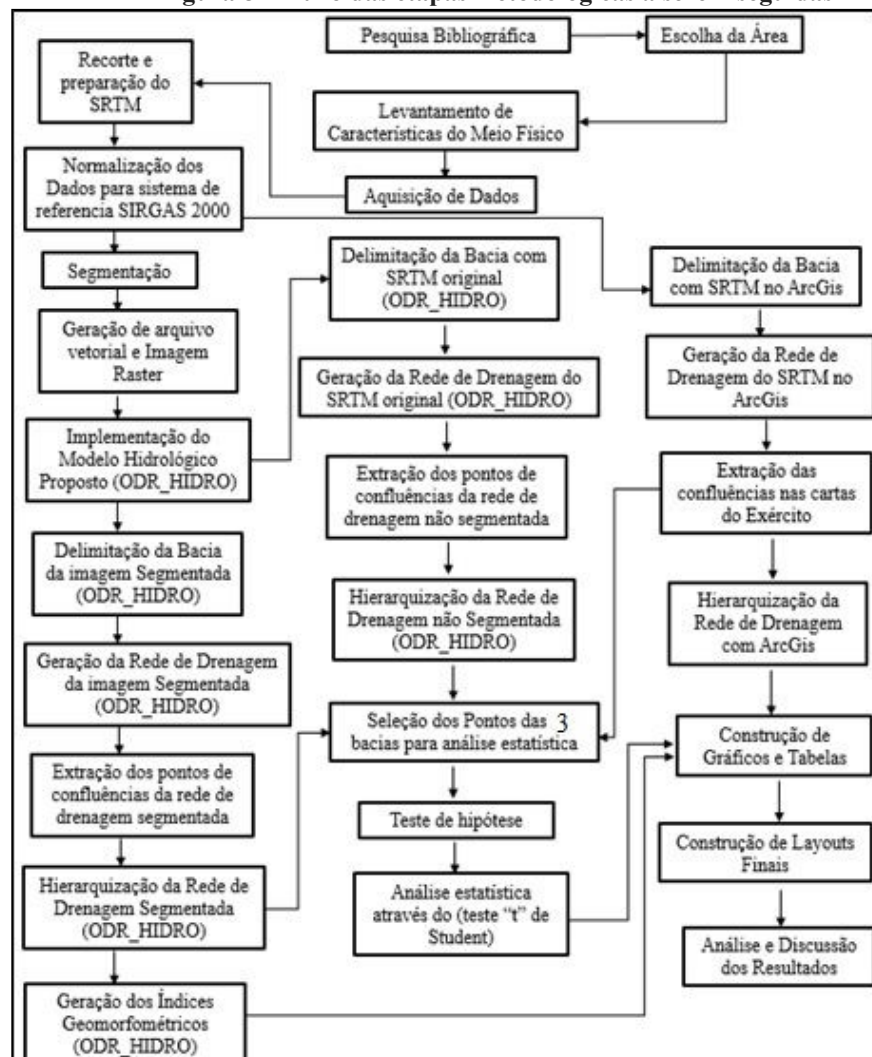
O método proposto para alcançar o objetivo da pesquisa empregou o uso de técnicas de segmentação para a composição de base de dados. Para descrever a metodologia utilizada neste estudo foi elaborado fluxograma (Figura 8) que mostra esquematicamente as etapas do trabalho. A pesquisa bibliográfica serviu como orientação e aporte no sentido de melhor compreender as metodologias a serem utilizadas na pesquisa, possibilitando perfeito entendimento bem como conhecimento sobre a área estudada.

Para a escolha da área de estudo, levou-se em consideração diversos aspectos, tais como a paisagem local, relevo, localização geográfica, importância do Córrego Bandeirinha para o município de Formosa devido à servidão de suas águas para os mais diversos usos, biodiversidade, riquezas naturais e, principalmente, porque a BHCB é o portal de entrada da região do Vão do Paranã, como é conhecida essa localidade, e apresenta poucos trabalhos de cunho científico com o intuito de compreender sua dinâmica ambiental e seus múltiplos usos.

Para descrever as características do meio físico, os dados foram obtidos da plataforma do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e do *site* da Agência Espacial Americana (NASA).

A imagem SRTM foi obtida no *site* da *United States Geological Survey* (USGS), lançado em fevereiro de 2000, a bordo da *Space Shuttle Endeavour*. O sensor SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) teve como objetivo, utilizando radar de abertura sintética interferométrica (*synthetic aperture radar interferometry* – SAR ou InSAR), obter dados altimétricos da superfície terrestre. A partir de dados de 1" x 1" (segundo de arco) ou 30 m de resolução espacial foi possível gerar topografia global. O sistema sensor opera nas bandas X e C das micro-ondas, com comprimentos de onda em 3,1 cm e 5,6 cm, respectivamente, que tem a vantagem de obter dados por meio de nuvens (SRTM, 2018). A cena do SRTM, localizada entre as coordenadas S16 e W048 na localidade da área de estudo, é georreferenciada e disponibilizada utilizando o Datum WGS-84, tendo como primeiro passo sua reprojeção para o formato Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), Universal Transversa de Mercator (UTM), e Fuso 23, cujo Meridiano Central (MC) é o -45°.

Figura 8 - Fluxo das etapas metodológicas a serem seguidas



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1 Segmentação do SRTM

O segmentador Terra Aida Baatz Segmenter, ou TA Baatz, foi desenvolvido para ser utilizado no *software* InterImage, todavia, ao reescrever o código do segmentador para o InterImage, trouxe em sua base metodológica restrição relacionada ao tamanho da imagem a ser segmentada. Conforme descrito no manual de uso do programa InterImage (COSTA et al., 2008; COSTA et al., 2010; PASSO et al., 2013), o segmentador TA Baatz consegue trabalhar com imagens contendo até 9 *megapixels* (3000 x 3000 *pixel*), ou até mesmo imagens um pouco maior, desde que a segmentação não produza grande número de objetos. Por outro lado, o segmentador Baatz utilizado no Ecognition não apresenta esse problema, uma vez que a versão usada para segmentação no Ecognition utilizou o algoritmo original para implementar o segmentador, para que este pudesse ser utilizado no Ecognition, livre de qualquer restrição com o tamanho da imagem. Assim, surgiu a necessidade da implementação de segmentador que pudesse ser utilizado em *software* livre e que não tivesse limitação de tamanho na segmentação. Desse modo, o arquivo Terra Aida Baatz Segmenter foi reformulado para ser utilizado no QGIS, dando origem ao ODR_Obia.

A segmentação utilizada foi a multirresolução proposta por Baatz e Schäpe (2000). Nesse algoritmo, cada segmento produzido tem como elemento fundamental o objeto, tendo em vista que esses objetos são originados nas imagens de satélites por meio dessa segmentação. Parâmetros importantes foram levados em consideração: compactidade, cor e escala. O SRTM possui apenas uma banda monocromática, sendo ela inserida e aceita no sistema com o peso (1), definindo assim sua relevância na classificação. A “compactidade” é a forma como é feito o agrupamento de *pixel* de cada objeto classificado ou segmentado, e é representada por um valor. Quanto menor o valor, menos compacto é o objeto segmentado, apresentando assim objetos mais espalhados. Por outro lado, valor maior representa objeto mais compacto, ou seja, os objetos apresentam-se mais agrupados. Os valores espectrais dos objetos são representados pelo parâmetro “cor”. O fator de “escala” da segmentação é o valor cujo propósito é definir o tamanho dos objetos representados (BAATZ; SCHÄPE, 2000; ANTUNES et al., 2017).

Para a segmentação da imagem SRTM utilizou-se o segmentador ODR_Obia, cujo algoritmo é adaptado do TA Baatz Segmenter (BAATZ; SCHÄPE, 2000). O TA Baatz Segmenter foi readaptado para ser utilizado no QGIS, dando origem a novo segmentador, o ODR_Obia (Figura 9), que é carregado por meio da plataforma *Python* do QGIS. Entretanto, antes da segmentação, o algoritmo ODR_Obia, efetua pré-processamento da imagem, verifica

seu tamanho para ver a possibilidade de a imagem ser segmentada em uma única cena. Se o tamanho da imagem for compatível com os pré-requisitos de segmentação estabelecidos no algoritmo TA Baatz Segmenter, a segmentação é realizada. Porém, se a imagem a ser segmentada ultrapassar os pré-requisitos estabelecidos, ou seja, o tamanho que o segmentador TA Baatz consegue segmentar, o ODR_Obia irá fatiar a imagem, ou seja, irá particioná-la em diversas cenas do mesmo tamanho.

Figura 9 - Segmentador ODR_Obia



Fonte: Adaptado de Baatz e Schäpe (2000).

O processo de fatiamento do arquivo *raster* funciona da seguinte maneira: o tamanho do arquivo é verificado pela função *os.path.getsize*, cujo propósito é obter o tamanho de uma matriz, conjunto, lista ou *string*. O valor se apresenta em *bytes*. Em seguida é feita a verificação se o tamanho do arquivo é maior que o definido no programa, nesse caso, o valor é de 4 *megabytes* (4.000.000 *bytes*). Caso o tamanho do arquivo seja maior que 4 *megabytes*, automaticamente é iniciado o fatiamento do arquivo *raster*, que é determinado pela divisão entre a raiz quadrada do tamanho do arquivo e a raiz quadrada de tamanho máximo permitido, que se chama fator (Equação 18). É feito dessa forma porque se trata de quadrilátero, esse cálculo determina quão maior é o tamanho mínimo do arquivo. Em seguida, o valor desse fator é truncado (posto em inteiro) para que seja identificado o módulo entre ele e o valor.

$$\text{Fator ou Razão} = \frac{\sqrt{\text{filesize}}}{\sqrt{\text{tamanho_max_arquivo permitido}}} \quad (18)$$

Se a divisão for ímpar (módulo ou resto diferente de 0) o fator é somado em 1, (isso para o caso em que a imagem a ser segmentada for pouco maior que o limite e menor que 2 vezes o limite). Definido o valor do fator, este é utilizado como denominador em duas divisões (Equações 19 e 20), e para realizar o fatiamento é feito *loop* na largura (de 0 até o fator - 1) e dentro deste *loop* um outro *loop* na altura (de 0 até o fator - 1).

$$\text{tamx} = \frac{\text{número inteiro (largura total da imagem)}}{\text{fator}} \quad (18)$$

$$tamy = \frac{\text{número inteiro (altura total da imagem)}}{\text{fator}} \quad (19)$$

Após esse procedimento, as diversas cenas da imagem agora fatiada serão segmentadas individualmente. Ao terminar a segmentação de uma das cenas fatiadas, automaticamente as outras serão segmentadas uma a uma, e guardadas em pasta criada automaticamente em diretório (D) específico do computador.

Finalizando as segmentações das imagens particionadas, o ODR_Obia busca as imagens *rasters* guardadas no diretório (D) e as unificam em uma única cena, trazendo consigo a média da altimetria de cada *pixel* segmentado. Assim, como os arquivos *rasters* são juntados, os arquivos em formato vetorial seguem o mesmo padrão, ou seja, são fundidos em um único arquivo vetorial segmentado, com os atributos da média, mediana e valores máximo e mínimo da altimétrica de cada *pixel*.

3.3.2 Implementação do modelo hidrológico

A implementação do modelo hidrológico ODR_Hidro (Figura 10) foi concebida em linguagem *Python* e executada no *software* QGIS por meio do terminal *Python*. A implementação do ODR_Hidro foi realizada utilizando outras ferramentas oriundas de outros *softwares* de GIS: do SAGAGIS utilizou-se *Module Fill Sinks* e *Module Channel Network and Drainage Basins*; do GRASSGIS as ferramentas: *r.stream.extract* e *r.water.outlet, r.to.vect*; do QGIS utilizou-se a ferramenta *zonal statistics* e da Gdal a ferramenta: *clip raster by mask layer*.

Figura 10 - Algoritmo do modelo hidrológico ODR_Hidro



Fonte: Elaborado pelo autor.

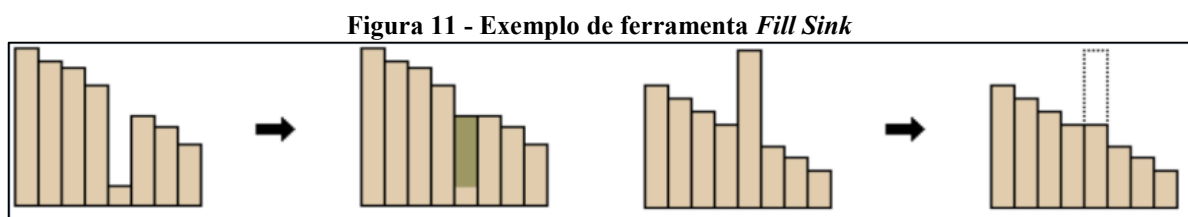
Auxiliado pelas bibliotecas *GDAL*, *NumPy*, *SciPy* e *Matplotlib*, os algoritmos foram testados e aqueles que ofereceram oportunidade de aproveitamento foram utilizados, sendo adaptando para se adequar às necessidades da pesquisa, a fim de usá-los para a implementação do modelo. *GDAL* é o acrônimo de *Geospatial Data Library*, que é uma biblioteca de código livre empregada para ler e escrever os mais diversos formatos de dados geoespaciais, como vetores e imagens de satélite (VELILLA-TORRES et al., 2017).

A biblioteca *NumPy* é utilizada principalmente para efetuar cálculos científico e matricial em *Python*. Além de performance excepcional, oferece estruturas de dados, bem como a integração com o código *Fortran* e funções de álgebra linear. O *NumPy* disponibiliza também módulo destinado a matrizes com valores mascarados, preponderante para o desenvolvimento do algoritmo do modelo proposto por Buriol e Beneti (2015).

Para a extração dos índices geomorfométricos utilizando o ODR_Hidro, foi preciso estruturar as equações dentro do próprio *script*, visando a execução do cálculo matemático de forma automática, a fim de obter os índices propostos. Para tanto, utilizando as equações apresentadas na parte dos elementos geomorfométricos, essas formulações matemáticas foram desenvolvidas no decorrer do *script* do modelo, a fim de obter os índices morfométricos, os quais serão extraídos a partir da imagem segmentada pelo algoritmo ODR_Obia, logo após a delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem.

3.3.3 Extração e ordenação de canais

Nessa etapa, utilizando o algoritmo ODR_Hidro, busca-se a imagem *raster* segmentada previamente pelo algoritmo ODR_Obia para interface do programa, a fim de dar início ao processo de eliminação das eventuais depressões espúrias para possível correção de falhas – buracos – em uma célula ou grupo de células com elevação mais baixa do que todas as células adjacentes da imagem segmentada (Figura 11). Utilizou-se para tanto o *saga: fill sinks wang liu*, metodologia proposta por Wang e Liu (2006), que realiza a correção das falhas, tanto no preenchimento quanto na remoção da elevação. Considerando a altitude dos *pixels* vizinhos, é possível efetuar a correção das eventuais falhas existentes nos MDEs.



Fonte: SIG ArcGIS for Desktop 10.2.1.

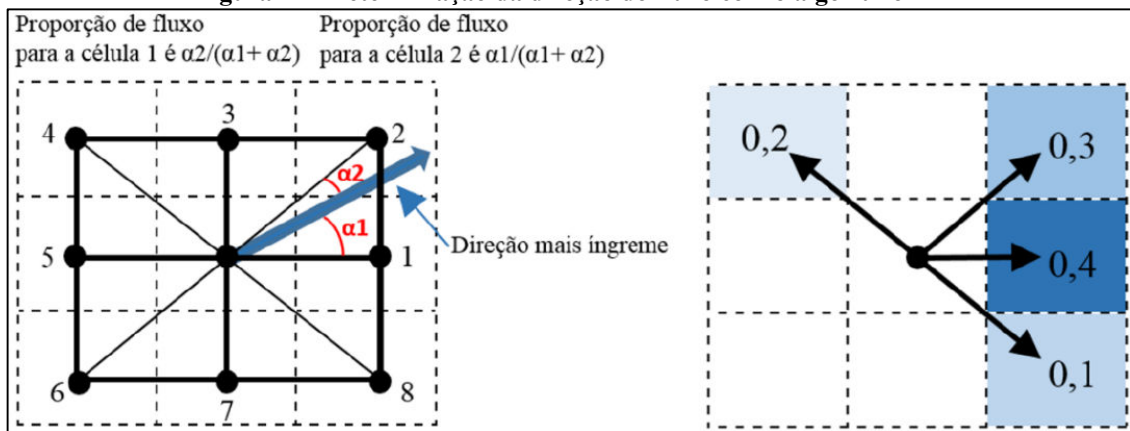
Em seguida, de forma totalmente automatizada, inicia-se o processo de determinação da direção do fluxo, usando o modelo ODR_Hidro e a imagem do SRTM segmentada, cujos *pixels* contêm a média da altimetria que foram separados por classes altimétricas, fazendo com que a imagem segmentada funcione como modelo digital de elevação (MDE) segmentado. Esse algoritmo baseia-se no modelo *Deterministic infinity* - D_{∞} (Figura 12), proposto por Tarboton (1997), onde a direção do fluxo é definida utilizando-se o declive mais

íngreme em facetas triangulares de cada ponto da grade; a célula é dividida em 8 triângulos e o fluxo é medido no sentido anti-horário. A direção do fluxo é determinada a partir da declividade, isto é, a descida mais íngreme.

O cálculo dessa proporção é dado por $\alpha_1/(\alpha_1 + \alpha_2)$ e $\alpha_2/(\alpha_1 + \alpha_2)$. Na Figura 12 é mostrada a direção do fluxo conforme o método D_∞ . A divisão da matriz de células 3 x 3 em oito faces triangulares possibilita a elaboração de equações que originarão as proporções de fluxo que as determinadas células irão receber. Antes do cálculo para definir as proporções de fluxo, Tarboton (1997) considera que para identificar a direção mais íngreme são levados em consideração conjunto de equações relacionado: à direção do fluxo em relação à célula central; à razão entre as cotas altimétricas e a distância entre as células; ao ângulo para a direção do fluxo; e à magnitude da declividade.

O módulo *r.water.outlet* do ODR_Obia é responsável por multiplicar os valores positivos para obter a direção, em graus, em que o escoamento irá fluir. O valor (-1) indica que a célula é uma área de depressão. Por outro lado, outros valores negativos indicam que o escoamento está deixando os limites da bacia.

Figura 12 - Determinação da direção do fluxo com o algoritmo D_∞



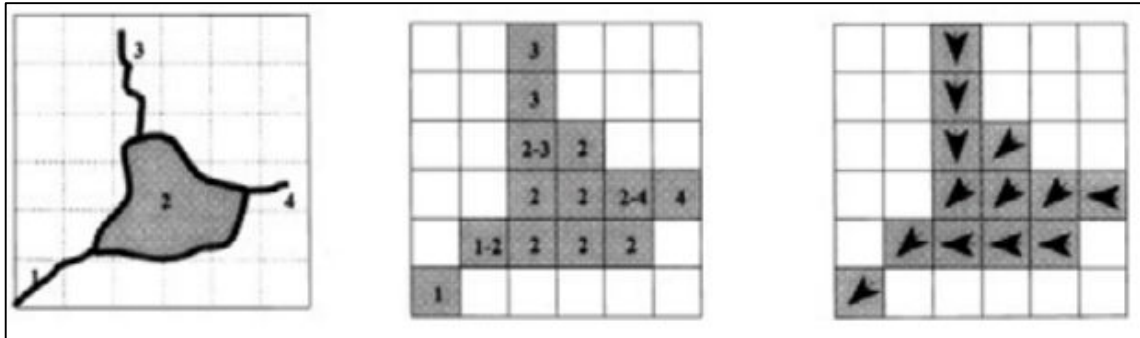
Fonte: Tarboton (1997).

A direção do fluxo é compreendida como sendo o ângulo, em radiano, no sentido anti-horário de leste, possuindo valor contínuo entre 0 e 2π (Figura 12). Como resultado, é gerada imagem *raster* da direção do fluxo que se propaga entre as duas células vizinhas que definem a faceta triangular como o declive mais acentuado (HOFFMANN OLIVEIRA et al., 2012).

A metodologia utilizada para determinar a *raster* do fluxo de acumulação (Figura 13) usando o ODR_Hidro baseia-se no algoritmo proposto por Tarboton (1997), o *Deterministic infinity* - D_∞ , cujo método comumente utilizado para esse algoritmo é fundamentado na estimativa da área de captação, ou área de contribuição, é definido como a somatória das áreas superficiais das células em que o escoamento contribui para um ponto em questão

(FERNANDEZ et al., 2012). Os autores argumentam ainda que existem diversos outros algoritmos para definição de fluxo que realizam o cálculo da área de captação e que estão inseridos como funcionalidades dos atuais sistemas SIG.

Figura 13 - Representação do fluxo acumulado com o algoritmo D_{∞}



Fonte: Adaptado de Sobrinho et al. (2010).

Cada um desses algoritmos estima as direções de fluxo para o cálculo das áreas acumuladas com contínuas passagens de janelas móveis de tamanho 3 x 3, em que se considera a maior declividade de seus vizinhos (FERNANDEZ et al., 2012). O valor da área de captação é confrontado com um limiar, que representa a área mínima necessária para a definição de canal, a partir do qual as linhas de drenagem são iniciadas. O valor do limiar influencia diretamente a densidade da rede de drenagem definida. Os limiares não são valores fixos, ou seja, podem ser alterados pelos usuários por meio da função *filled_file* do ODR_Obia. Assim, altos valores de limiares geram redes de drenagens menos densas e valores menores produzem redes de drenagem com maior densidade de segmentos. Uma vez que a rede de drenagem foi delineada, ela é dividida em segmentos, sendo que um segmento é parte exclusiva de fluxo com pontos iniciais e finais correspondentes às coordenadas do fluxo (TARBOTON, 1997).

Posteriormente à definição do fluxo acumulado, inicia-se o processo de ordenação dos canais, utilizando o algoritmo ODR-HIDRO, seguindo a metodologia implementada por Strahler (1952), conhecida como *Strahler Order*, onde os canais menores não recebem tributários, sendo considerados como de 1ª ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. A confluência ou junção de dois canais de 1ª ordem configura um canal de 2ª ordem, a confluência de dois canais de 2ª ordem configura um canal de 3ª ordem, que pode receber afluentes de 1ª e 2ª ordens; a confluência de dois canais de 3ª ordem configura um canal de 4ª ordem que pode receber tributários das ordens inferiores a ele e, assim, sucessivamente, até alcançar a ordem do canal principal da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para determinar a ordenação dos canais, segundo Christofolletti (1980), necessita-se de rede hidrográfica totalmente conectada e orientada para então definir os fluxos e ordens, estabelecendo modelo vetorial topologicamente consistido. Para tanto, todos os segmentos de drenagem obrigatoriamente devem tocar-se com um nó em comum em seus afluentes, caracterizando consistência topológica assegurada. Nesse sentido, a topologia utilizada em arco-nó representa a camada vetorial que se associa à rede linear conectada topologicamente consistida (CHRISTOFOLETTI, 1980).

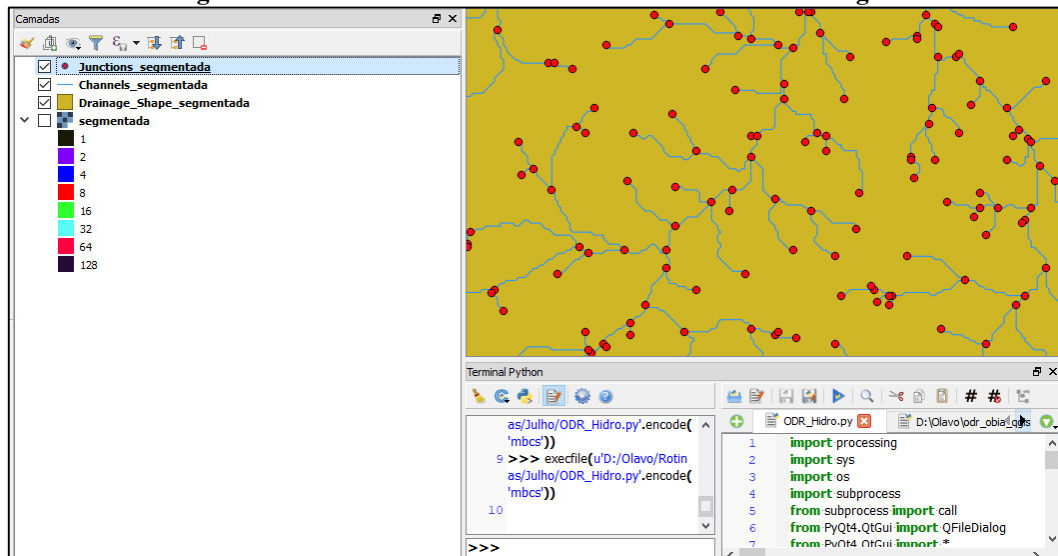
Utilizando o modelo ODR_Hidro, por meio do algoritmo determinístico da direção de fluxo dos canais e hierarquização da rede de drenagem, utilizou-se da gravidade e da relação topologicamente consistida para que fosse possível a sua determinação. Conforme pontuado por Fernandez et al. (2012), a direção do fluxo baseia-se na estimação da área de captação, que contribuirá com a soma das áreas superficiais das células, haja vista que o fluxo irá escoar para um ponto específico. Vale ressaltar que os resultados dos fluxos são necessários para efetuar a ordenação dos canais.

O sistema utilizado para determinação da direção de fluxo é executado a partir da imagem SRTM segmentada, tendo em vista que esta funcionará como MDE, cujas classes altimétricas foram separadas e reamostradas por meio da segmentação, e a determinação de fluxo utilizará a gravidade altimétrica para que a direção do fluxo seja estabelecida. Deduz-se a altura dos nós (vértices extremos) de dado segmento vetorial (canal) de drenagem atrelando-a ao conceito de gravidade, onde o fluxo de água vai da extremidade mais alta do arco até o nó mais baixo (JENSON; DOMINGUE, 1988).

3.3.4 Extração ou delimitação da bacia

Posteriormente à extração da rede de canais, o modelo ODR_Hidro, utilizando a imagem segmentada, identifica a altimetria de cada *pixel* segmentado. No caso em que houver divisão de *pixels* em função da segmentação, originando em um mesmo segmento valores de altitudes diferentes, estes são recalculados e é verificada a média para que possam ser definidos apenas segmentos com altitudes iguais para cada segmento na imagem *raster*. O ODR_Hidro identifica também o início de cada um dos segmentos de fluxo de drenagem e suas respectivas confluências e saídas das redes de fluxos, conforme explicitado na Figura 14.

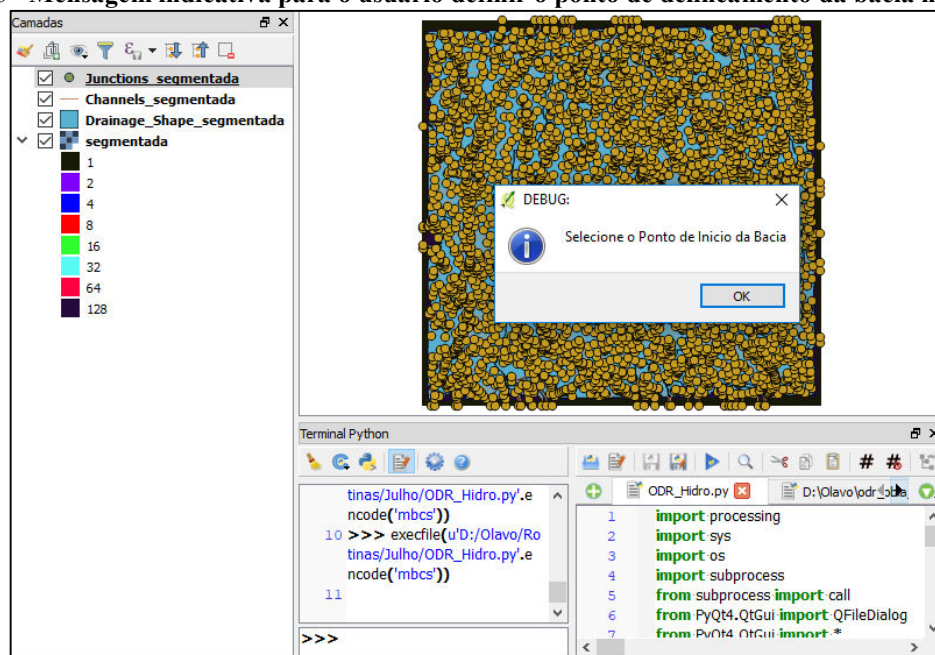
Figura 14 - Ponto indicativo de início e confluência de drenagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao gerar a camada de pontos no início, nas confluências e na saída de rede de drenagem, o algoritmo ODR_Hidro pausa o processamento e reporta mensagem “*Debug*” ao usuário (Figura 15), avisando que é preciso informar em qual ponto ele deseja iniciar o delineamento da bacia. Após ser informado pelo usuário o ponto inicial para delineamento, ou seja, o exutório, a bacia é gerada automaticamente (Figura 16). Para gerar o vetor da bacia, o algoritmo ODR_Obia utiliza como referência a média da altimetria extraída dos *pixels* na imagem segmentada.

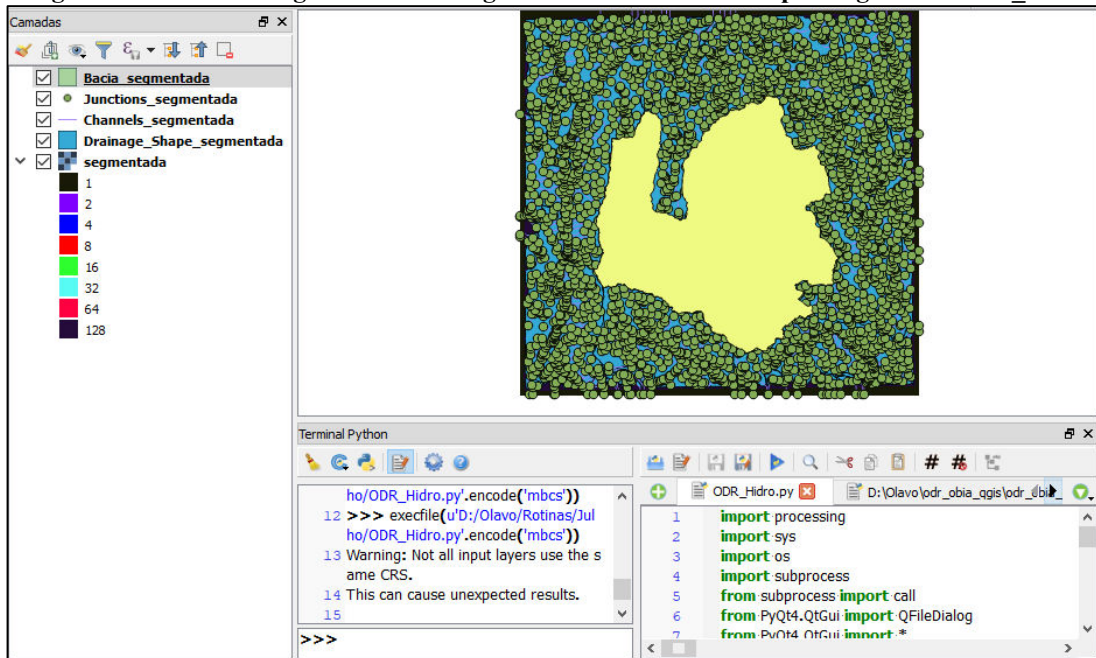
Figura 15 - Mensagem indicativa para o usuário definir o ponto de delineamento da bacia hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme figura 16, a bacia hidrográfica do Córrego Bandeirinha foi delimitada seguindo seus divisores topográficos, gerando arquivo contendo todos os índices geomorfométricos considerados de interesse para a pesquisa. São eles: área, perímetro, Coeficiente de Compacidade (Kc), Coeficiente de Manutenção (Cm), Índice de circularidade (Ic), Fator de Forma (Kf), Razão de alongação (Re), Densidade de Drenagem (Dd), Número total dos canais, Densidade Hidrográfica (Dh), Relação de Bifurcação (Rb), Comprimento do canal principal (Ccp), linha reta da nascente a foz, Comprimento total da rede de drenagem (Ctr), hierarquização de canais, Índice de rugosidade (Ir), Coeficiente de rugosidade (CR), Amplitude altimétrica, Altitude máxima e Altitude mínima.

Figura 16 - Bacia hidrográfica do Córrego Bandeirinha delimitada pelo algoritmo ODR_Obia



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para delimitação da bacia utilizou-se também o algoritmo ODR_HIDRO, cuja função é delimitar bacias hidrográficas a partir das cotas da altimetria contidas no MDE, o qual foi previamente segmentado pelo algoritmo ODR_Obia, ou seja, considerando a altitude do relevo a partir dos *pixels* segmentados na imagem do SRTM e separados por classes altimétricas, assim como a definição da direção das drenagens.

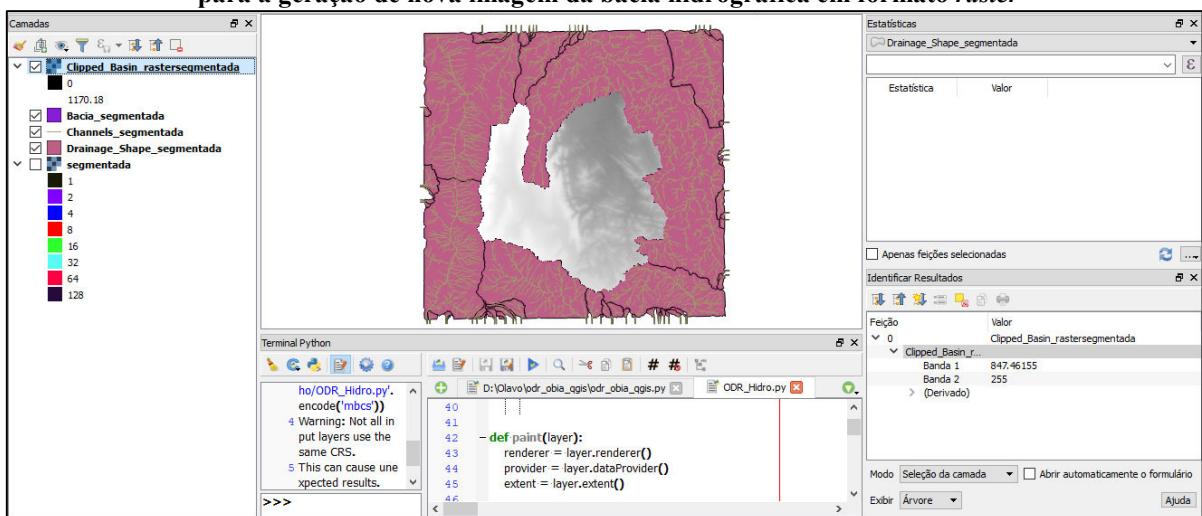
O primeiro passo foi identificar o exutório da bacia, a partir daí a sua delimitação é realizada. Assim, o traçado da bacia será conectado por meio dos pontos de altitude mais elevados. O limite da bacia irá circundar as nascentes e os cursos d'água. Os topos dos morros, ou seja, no local em que o relevo apresenta maior altitude, são determinados utilizando os *pixels* segmentados compostos por altimetrias mais elevadas, ou pelas cotas

mais altas, observando sempre a direção do fluxo a partir da direção das drenagens que flui no sentido ortogonal das curvas de níveis.

Após a delimitação da bacia, o passo seguinte foi extrair do arquivo vetorial os dados matemáticos disponíveis no arquivo. Ressalta-se que o modelo ODR_Hidro calcula, dentro de um polígono, as formulações estatísticas, tais como: soma, média, mediana, desvio padrão, mínimo e máximo valores de *pixel*. Esses valores foram utilizados para os cálculos dos índices geomorfométricos propostos.

O modelo ODR_Hidro, por meio de suas ferramentas, recortou a imagem *raster* da bacia, originada a partir da imagem segmentada no processamento anterior, utilizando arquivo vetorial como máscara, resultado do atual processamento. Nessa etapa, o modelo ODR_Hidro é utilizado para efetuar o corte da imagem segmentada, tendo como base a feição vetorial da bacia como máscara de corte. A imagem segmentada é recortada, gerando nova imagem *Clipped_Basin_raster* segmentada, carregada com os atributos que darão subsídios para a extração dos demais índices geomorfométricos (Figura 17).

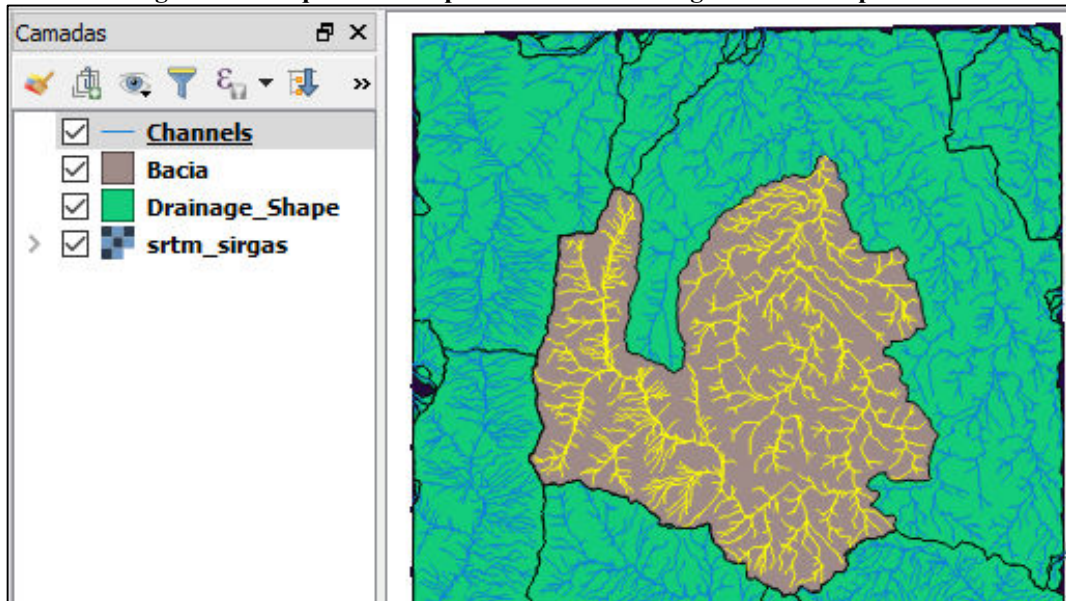
Figura 17 - Recorte da imagem segmentada utilizando o arquivo vetorial da bacia como máscara de corte para a geração de nova imagem da bacia hidrográfica em formato *raster*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os quatro arquivos finais são plotados na interface gráfica do programa (Figura 18), ou seja, na tela do computador do usuário: a imagem segmentada, os arquivos vetoriais da bacia segmentada, os canais segmentados e o arquivo vetorial no formato *shapefile* de drenagem segmentada.

Figura 18 - Arquivos finais plotados na interface gráfica do computador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os arquivos vetoriais dos canais e da delimitação da bacia trazem informações relativas aos índices geomorfométricos (Figura 19). Esses índices foram extraídos de forma totalmente automatizada. Para que o usuário tenha acesso a esses dados, basta que acesse a tabela de atributos do arquivo.

Figura 19 - Tabela de atributos mostrando os índices geomorfométricos que serão extraídos

value	label	Area	Perimetro	Kc	Ic	Dd	Ir	Ampl Alt	Kf	Re	Dh	Cm	Rb	Ccp	Alt Min	Alt Max
1	1	182.869	92.106	1.907	0.271	2.436	1515.445	622.071	0.882	1.060	6.420	410.488	2.451	14.395	611.000	1233.071

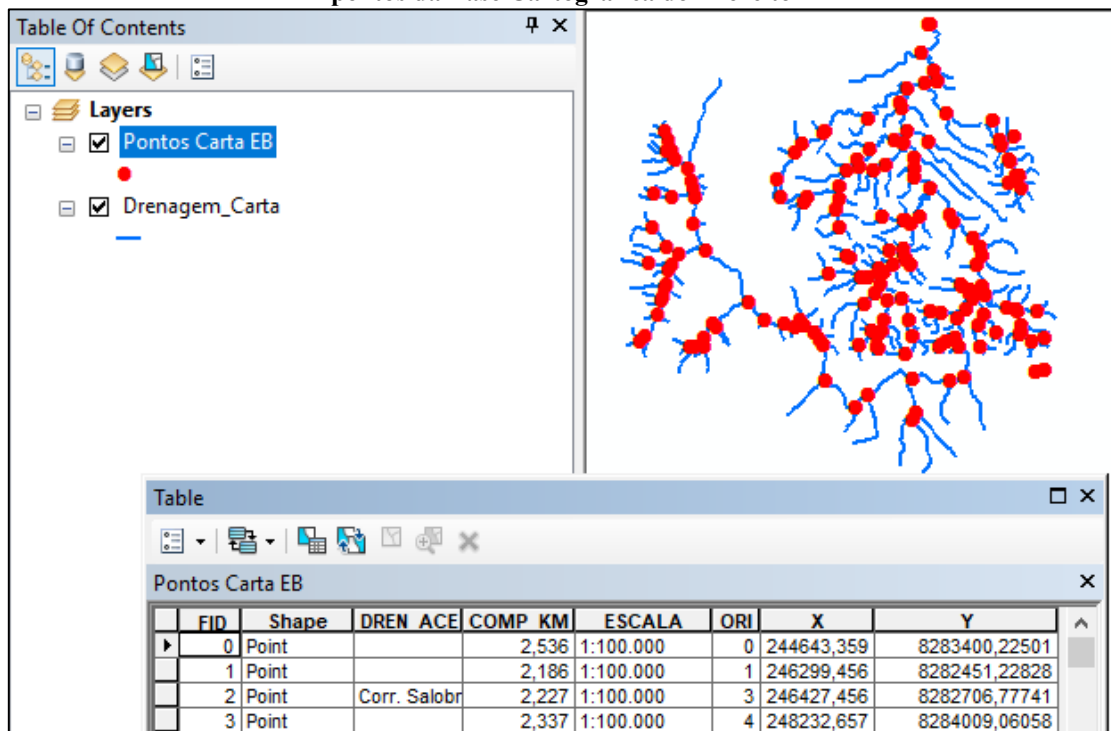
Ctr	CO1	DT1	CO2	DT2	CO3	DT3	CO4	DT4	CO5	DT5	CO6	DT6
445492.449	598	240178.729	243	98506.663	154	54325.103	68	17516.992	88	26582.395	23	8382.568

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio do ODR_Hidro, as feições geográficas foram extraídas do SRTM original, para que fossem utilizadas como parâmetro de comparação com os dados obtidos pela imagem segmentada, utilizando o modelo geomorfométrico ODR_Hidro. O outro procedimento executado utilizou o *software* ArcGIS, por meio das ferramentas *Spatial Analyst Tools* e *hydrology* para extração e delimitação das feições geográficas (bacia hidrográfica, canais de drenagens e sua respectiva ordenação), extraídas do SRTM em seu formato original (Figura 20).

Os dados relacionados às coordenadas E e N, oriundos das bifurcações das drenagens contidas na Base Cartográfica Vetorial, na escala de 1:100.000 do Exército, foram extraídos com o seguinte procedimento: utilizando a função *Feature Vertice To Point* do ArcGIS, introduziu-se pontos no final de cada segmento da drenagem contido na base cartográfica do arquivo vetorial da carta do Exército. Logo após se editou a tabela de atributos para a identificação das coordenadas nos eixos X e Y (Figura 20).

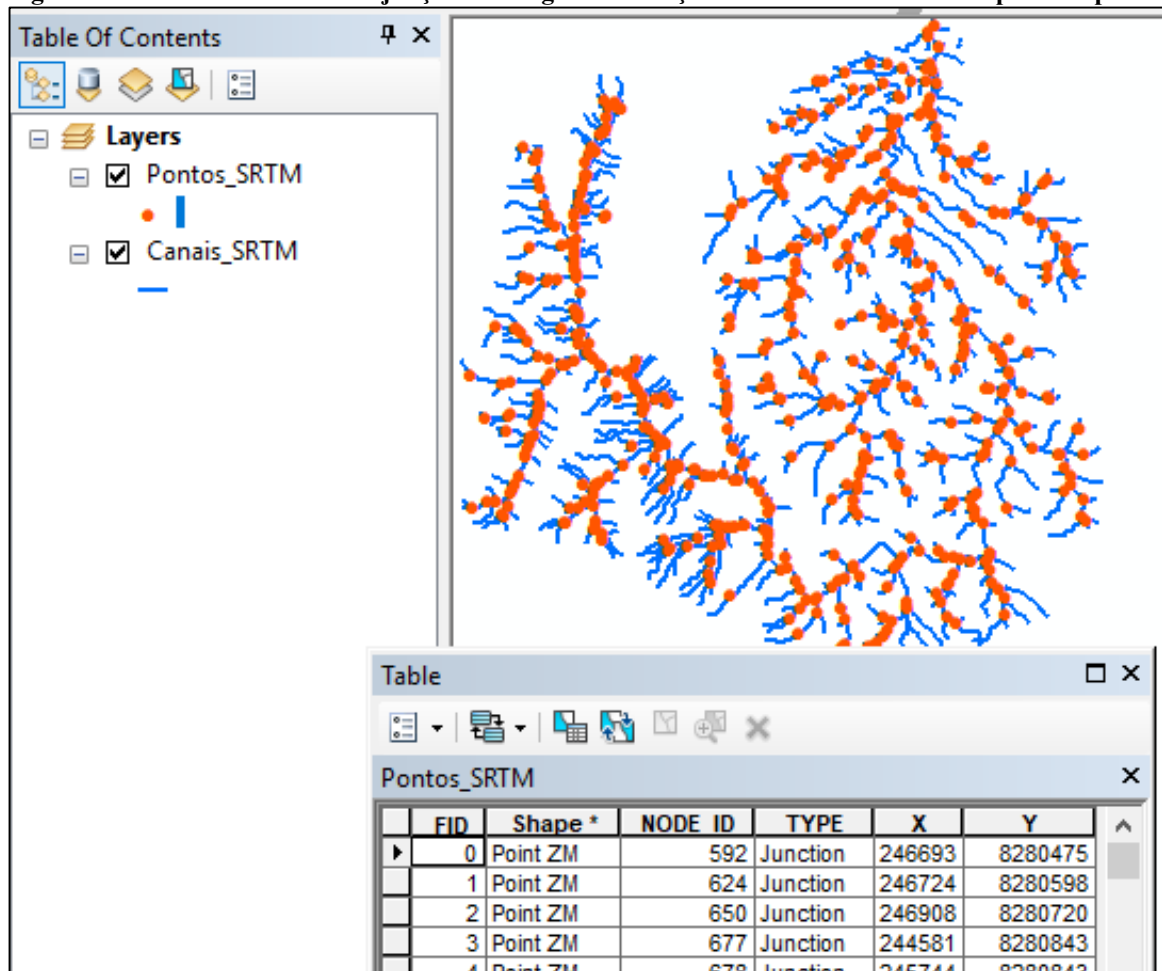
Figura 20 - Inserção de pontos nas junções das drenagens e extração das coordenadas dos respectivos pontos da Base Cartográfica do Exército



Fonte: Elaborado pelo autor (Programa ArcGIS 10.5).

Para extração dos dados relacionados às coordenadas E e N das bifurcações das drenagens do SRTM original, utilizou-se a mesma forma empregada para a obtenção das coordenadas a partir do modelo ODR_OBIA. Quando gerados os canais de drenagens por meio do ODR_Hidro, esse cria pontos no início e no final de cada segmento. Os arquivos de pontos e o de drenagens foram inseridos no ArcGIS para identificar e deletar os pontos do início de cada drenagem. Os pontos que restaram são aqueles pertencentes a cada bifurcação da drenagem analisada (Figura 21).

Figura 21 – Pontos inseridos nas junções drenagens e extração das coordenadas dos respectivos pontos



Fonte: Elaborado pelo autor (Programa ARCGIS 10.5).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

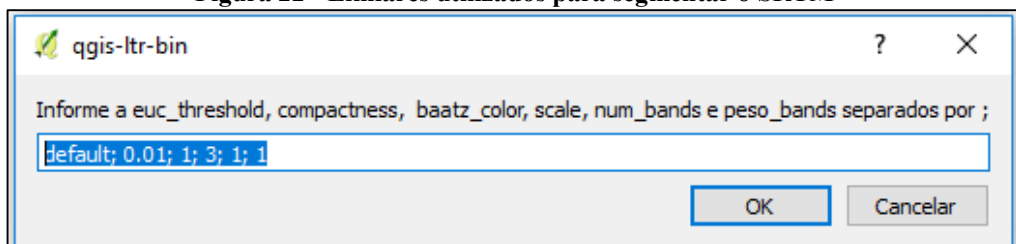
Neste capítulo serão apresentados os resultados alcançados, os quais foram analisados, comparados e avaliados estatisticamente. Submeteu-se os resultados ao teste de hipótese pelo método estatístico *Mann-Whitney*, para verificar a aceitação ou refutação da hipótese proposta pela pesquisa.

Os algoritmos ODR_Obia utilizados para segmentar imagens e o modelo hidrológico ODR_Hidro foram confeccionados para atenderem à demanda da pesquisa. O algoritmo ODR-Obia serviu-se do segmentador TA Baatz Segmenter para compor sua base de ferramentas, assim como a confecção de rotina para o perfeito funcionamento do segmentador ODR_Obia junto à plataforma do QGIS. O modelo hidrológico denominado ODR_Hidro foi confeccionado a partir de algoritmos já consolidados em análise geomorfométrica (SAGAGIS, GRASSGIS, QGIS e biblioteca GDAL). Visando a integração dessas ferramentas e os cálculos matemáticos dos índices geomorfométricos em uma única ferramenta para utilização no QGIS, necessitou-se efetuar adaptações, com escritura de novas rotinas em linguagem *Python*, cujos resultados desses dois algoritmos serão avaliados e discutidos a seguir.

4.1 SRTM SEGMENTADO UTILIZANDO ODR_OBIA

Utilizou-se a segmentação multirresolução do SRTM com o ODR_Obia, onde foram definidos os valores dos limiares de entradas, cujos resultados apresentaram-se bastante eficientes, sendo eles a compacidade (*compactness*), cor (*baatz_color*), escala (*scale*), número de bandas (*num_bands*) e peso da banda (*peso_bands*). Para o limiar da distância euclidiana – *euclidian threshold*, optou-se por deixá-lo como *default*, ou seja, no formato padrão, pois a introdução de um número qualquer para esse limiar não resultou em qualquer alteração nos resultados produzidos, compacidade 0,01, cor 1, escala 3, número de banda 1 e peso 1 relativos à banda da imagem utilizada (Figura 22), o que possibilitou melhor separação das classes.

Figura 22 - Limiares utilizados para segmentar o SRTM



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao definir os limiares respectivos a compacidade, cor, escala, número de banda e peso da banda como entrada para a segmentação, a “compacidade”, que é um parâmetro de forma, proporcionou melhor agrupamento dos *pixels* dos objetos, tendo em vista que o limiar utilizado permitiu representar objetos menos compactos e mais espalhados, sendo esse fator mais propício para trabalhar com alvos naturais. O parâmetro “cor” denota-se aos valores espectrais de cada alvo, ou seja, de cada objeto, determinando o quanto da informação de cor foi usado no processo dessa segmentação. O parâmetro escala é um importante valor utilizado pelo algoritmo de segmentação multirresolução, determinando a média do tamanho do objeto a ser criado resultante da segmentação. Quanto mais alto for o valor atribuído ao parâmetro escala, maiores serão os segmentos produzidos e, com isto, menor será a quantidade de segmentos criados, por outro lado, um menor valor atribuído para esse parâmetro, menores serão e conseqüentemente, maior será a quantidade de segmentos criados.

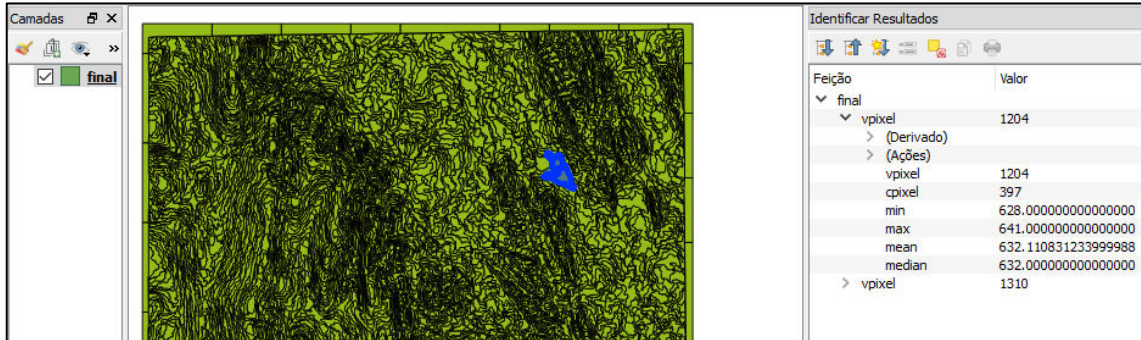
Outros limiares com valores diferentes foram testados, ao utilizar uma escala com o valor do denominador maior, 1.10 por exemplo, os segmentos de canais gerados eram menos adensados e mais espaçados. Ao elevar escala de segmentação para 1.50, 1.100, 1.300 e assim por diante, o modelo além de reduzir o número dos segmentos até gerar apenas um único canal dentro da bacia, altera o traçado e deforma o formato da bacia, comprometendo a qualidade dos produtos obtidos. Por outro lado, valores de escala menores que 1.3, a rede de drenagem gerada é tão adensada que pode ser mapeado até trechos de estradas e trieiros deixados pelos animais junto ao solo por onde a água tende a escoar, inviabilizando a pesquisa.

Os valores utilizados para a compacidade próximo de 1, não permitiu o agrupamento dos pequenos objetos, tendo em vista que na parte mais elevado do relevo, há incidência de pequenos segmentos de canais, que são menores e menos compactos e relativamente estão espalhados ao longo da bacia. Assim, os limiares que melhor ajustaram na segmentação do SRTM, que possibilitaram uma extração de canais mais fidedignos da bacia, estão expostos conforme demonstrados na figura 22.

Ao implementar o algoritmo de segmentação TA Baatz Segmenter, os pesquisadores do Inpe o disponibilizaram com restrição quanto ao tamanho dos dados a serem segmentados, tendo em vista que este só consegue segmentar imagens com até 100 *megabites*, ou com certo número de segmentos. Todavia, na proposição de Baatz e Schäpe (2000), o algoritmo não apresenta restrição quanto ao tamanho da imagem a ser segmentada.

No processo de segmentação pelo ODR_Obia é permitido que o usuário entre com os parâmetros (Figura 22): fator de cor, compacidade, escala, número de bandas e o peso atribuído a cada banda. Após a introdução desses parâmetros, a imagem é segmentada, tendo como resultado dois arquivos, um vetorial e um *raster* (Figuras 23 e 24).

Figura 23 - Resultado da segmentação feito pelo ODR_Obia em formato vetorial



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o resultado da segmentação em formato vetorial, os arquivos segmentados trazem como informação o valor de cada *pixel*, os valores mínimo e máximo de cada *pixel*, além dos valores de média e mediana de cada *pixel*. Esses valores servem para identificar as partes mais altas ou mais elevadas contidas na imagem segmentada (Figura 24). Por outro lado, o resultado obtido da segmentação em formato *raster* traz apenas o valor da média de cada *pixel* (Figura 24).

Por fim, foi atribuído peso à imagem (SRTM), o qual varia entre 0 e 1, e quanto maior o valor, maior o grau de importância conferida à respectiva imagem de entrada, sendo que o valor 0 implica em desconsideração da respectiva imagem no processo de segmentação.

Figura 24 - Imagem do SRTM segmentada com a altimetria corrigida



Fonte: Elaborado pelo autor.

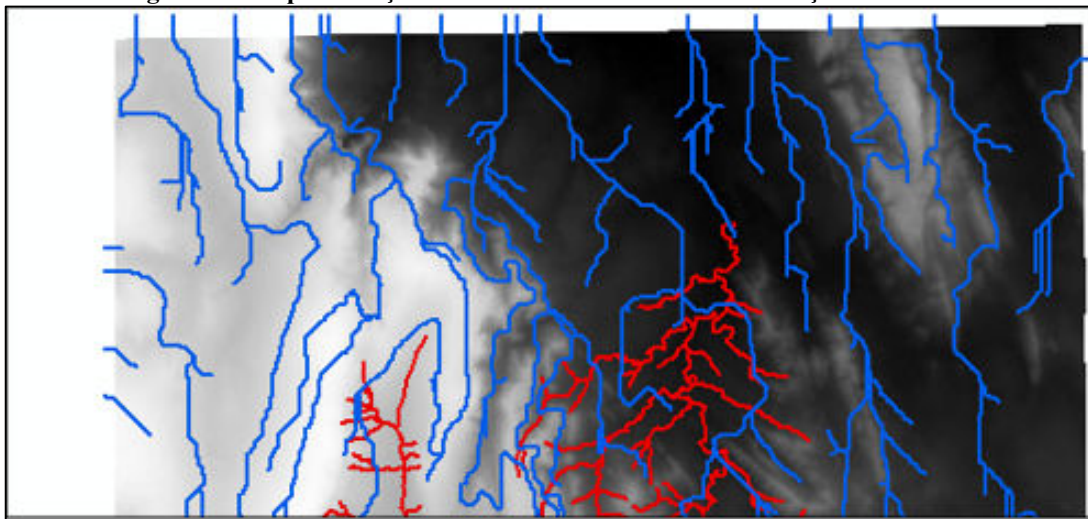
Tanto o arquivo vetorial (Figura 23) quanto o *raster* (Figura 24), gerado pela segmentação, trazem atributos matemáticos que serão utilizados no processamento para extração dos canais e delimitação da bacia, todavia, para a extração desses objetos será usada

apenas a imagem *raster*, que traz consigo o valor da média dos *pixels* da imagem já segmentada.

Utilizando o segmentador TA Baatz Segmenter ao produzir a imagem final para uso no ODR_Hidro para a extrair os canais, percebeu-se que a rede de drenagem, ao ser comparada com os canais da Base Cartográfica do Exército, não apresentava simetria, ou seja, o sentido do fluxo dos canais (em azul) extraído da imagem segmentada escoava em direção não condizente com a realidade, fazendo com que sua direção fosse ignorada. Por vezes até mapeou canais em local onde eles não existem (Figura 25).

Depois de várias aplicações e testes (tentativas e erros), percebeu-se que ao segmentar a imagem do SRTM, ela perdia sua referência altimétrica, induzindo o modelo ao erro quando da delimitação dos canais, tendo em vista que nenhuma informação relacionada a altimetria era trazido na imagem segmentada. Foi realizada as alterações no ODR_Obia para corrigir o erro sistemático e restabelecer a referência altimétrica da imagem segmentada (Figura 24), que traz como atributo a média da altimetria de cada *pixel* segmentado.

Figura 25 - Representação do fluxo com escoamento em direções diferentes



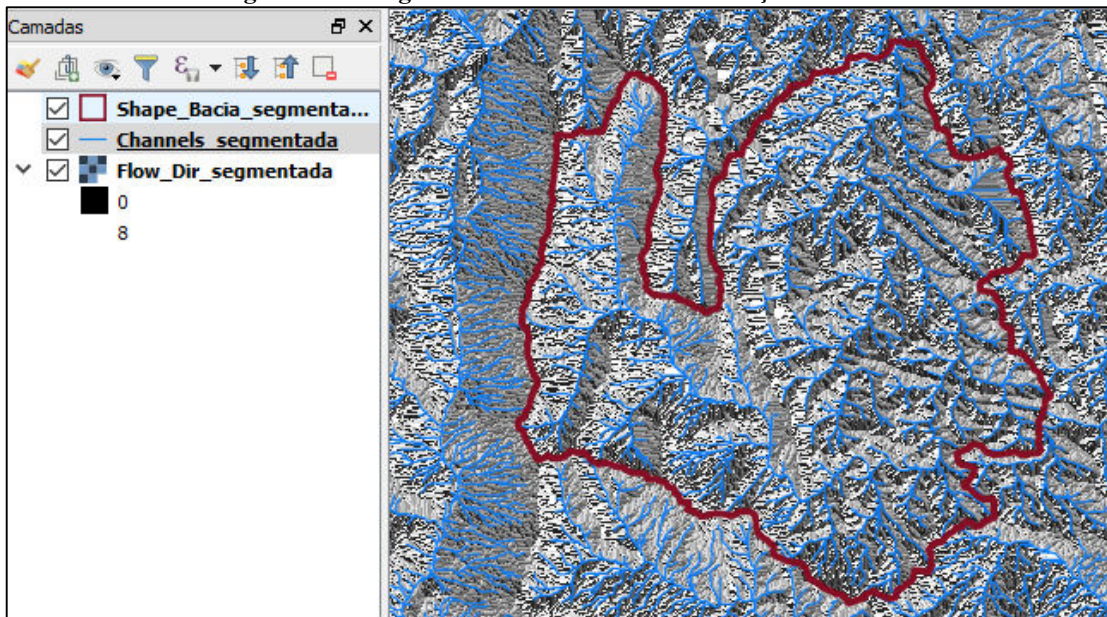
Nota: Canais vermelhos oriundos da Carta do Exército e azuis oriundos da imagem segmentada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 CANAIS E BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BANDEIRINHA

Com a segmentação da imagem do SRTM utilizando o modelo ODR_Hidro, foi determinado o *raster* da direção do fluxo (Figura 26). Tarboton (1997) aponta que o *Deterministic infinity* - D_{∞} baseia-se na estimativa da área de captação, definida como a somatória das áreas superficiais das células em que o escoamento contribuiu para um único ponto.

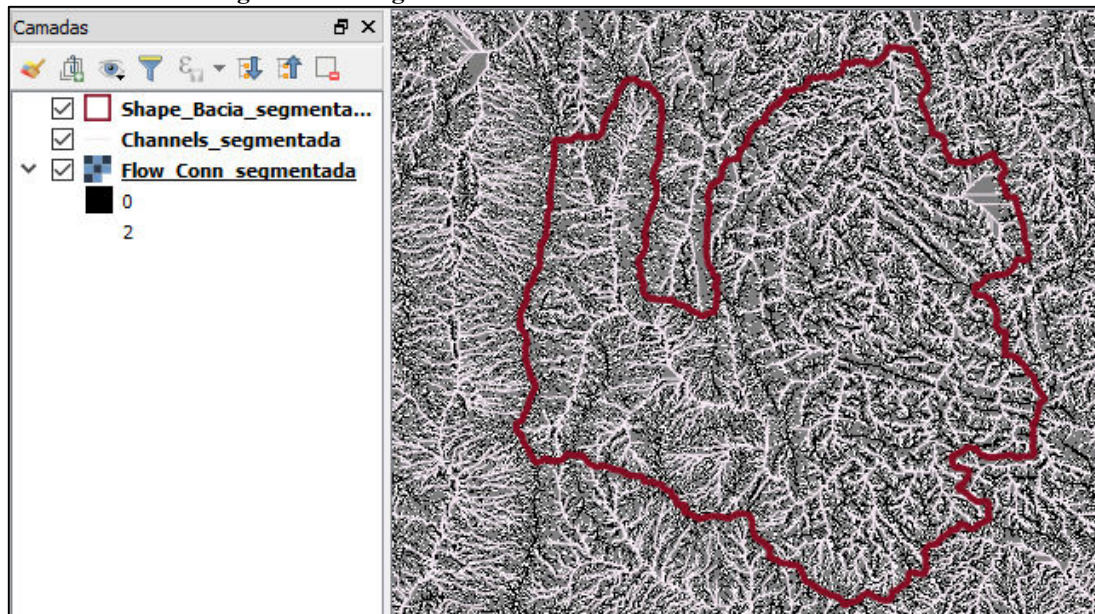
Figura 26 - Imagem *raster* do indicativo da direção do fluxo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo ODR_Hidro definiu as direções do fluxo para o cálculo das áreas acumuladas “fluxo de acumulação” a partir da cota mais elevada (Figura 27), obedecendo a gravidade da terra, onde o fluxo de água escoar para os locais teoricamente mais baixos por meio das contínuas passagens de células, considerando a maior declividade dos vizinhos.

Figura 27 - Imagem *raster* do indicativo de fluxo acumulado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Usando o modelo ODR_Hidro, por meio do algoritmo determinístico da direção de fluxo dos canais e hierarquização da rede de drenagem, utilizou-se da gravidade e da relação topologicamente consistida para que fossem possíveis a sua determinação. Conforme

pontuado por Fernandez et al. (2012), a direção do fluxo é baseada na estimativa da área de captação, que contribuirá para a soma das áreas superficiais das células em que o escoamento flui para um ponto específico. Vale ressaltar que os resultados dos fluxos são necessários para efetuar a ordenação dos canais.

O valor da área de captação é estimado utilizando a imagem *raster* segmentada por meio do limiar “*Filed_file*” (Figura 28), que representa a área mínima necessária para a definição de um canal, a partir do qual as linhas de drenagem são iniciadas. O valor do limiar “*Filed_file*” influenciou diretamente a densidade da rede de drenagem delimitada. Assim, altos valores de limiares geram redes de drenagens menos densas e valores menores produzem redes de drenagem com maior densidade de segmentos. Uma vez que a rede de drenagem foi delineada, ela foi dividida em segmentos, sendo que um segmento é parte exclusiva de um fluxo com pontos iniciais e finais correspondentes às coordenadas do fluxo (TARBOTON, 1997).

Figura 28 - Limiar *Filed_file* permite gerar drenagens mais ou menos adensadas

207	processing.runalg("saga:channelnetworkanddrainagebasins",filled_file,4,3,flow_dir_file,
208	

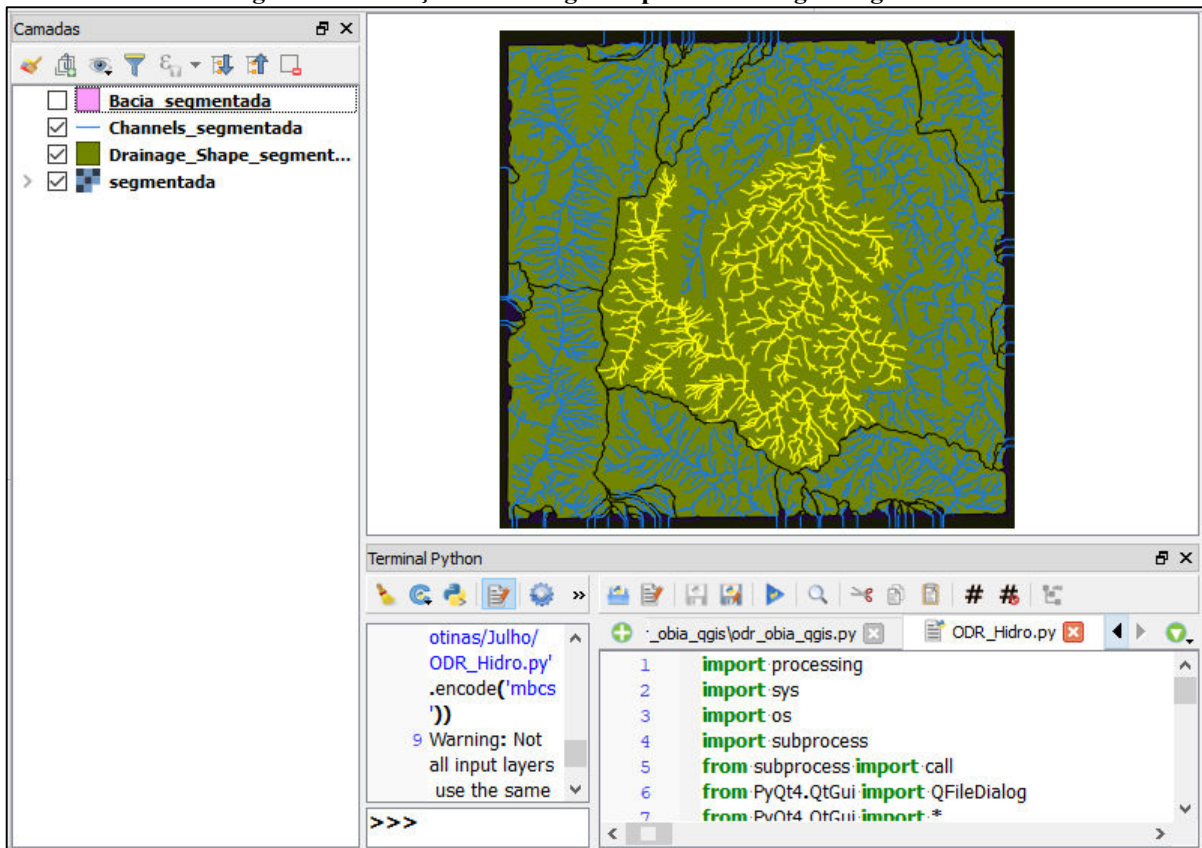
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os canais de drenagens demonstrados na Figura 29 foram extraídos com auxílio do algoritmo ODR_Hidro, a partir da imagem segmentada do SRTM. Visualmente, os canais mostram-se aparentemente conectados hidrológicamente, cada um seguindo seu curso natural. Observa-se na mesma Figura que existe rede de canais em evidência, ou seja, ao serem gerados eles foram plotados na interface do programa e selecionados para serem exportados para o formato vetorial para posterior utilização.

A extração da rede de canais, uma vez conectada, ou seja, consistida, é de fundamental importância, tendo em vista que a drenagem extraída da imagem segmentada assemelhou-se à rede hidrográfica vetorial de referência. Conforme apontado por Christofletti (1980), a rede hidrológica deve estar devidamente conectada e orientada para que os fluxos e ordens sejam definidos. É importante destacar que o modelo ODR_Hidro, conforme a colocação de Wang e Liu (2006), alterou os valores dos *pixels* da imagem (depressões preenchidas) apenas em locais que não compreendiam o talvegue dos canais de drenagens, mantendo a consistência numérica do fluxo.

Como destacado na Figura 29, a rede de drenagem extraída mostra-se totalmente conectada entre si, ou seja, não foi identificado canal despreendido de outro, o que possibilita perfeita hierarquização dos canais topologicamente consistidos.

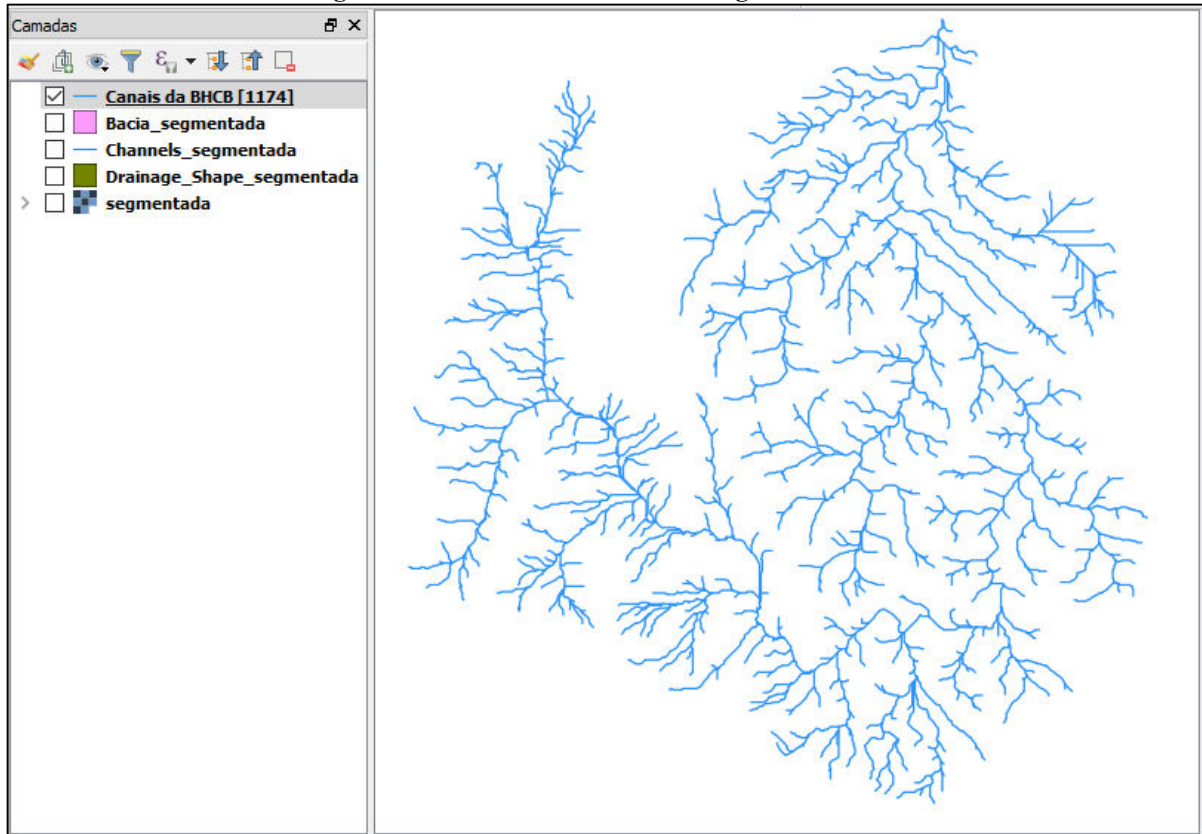
Figura 29 - Geração de drenagens a partir da imagem segmentada



Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede de canais pré-selecionada (Figura 29) contém os canais de drenagens oriundos da BHCBC. A Figura 30 representa os canais da BHCBC já exportados em formato vetorial, resultado da pré-seleção dos canais que estavam em evidência na Figura 29, tendo em vista que sua seleção facilitou a exportação e a separação dos demais canais da imagem. O arquivo vetorial plotado na interface gráfica da aplicação não perde sua configuração do sistema de referência de origem, uma vez que este fora normalizado no início do processo. Ressalta-se, ainda, que o número de objetos destacado na cena contém 1.174 segmentos consistidos topologicamente, conforme denotado na visualização do item das camadas do QGIS (Figura 30).

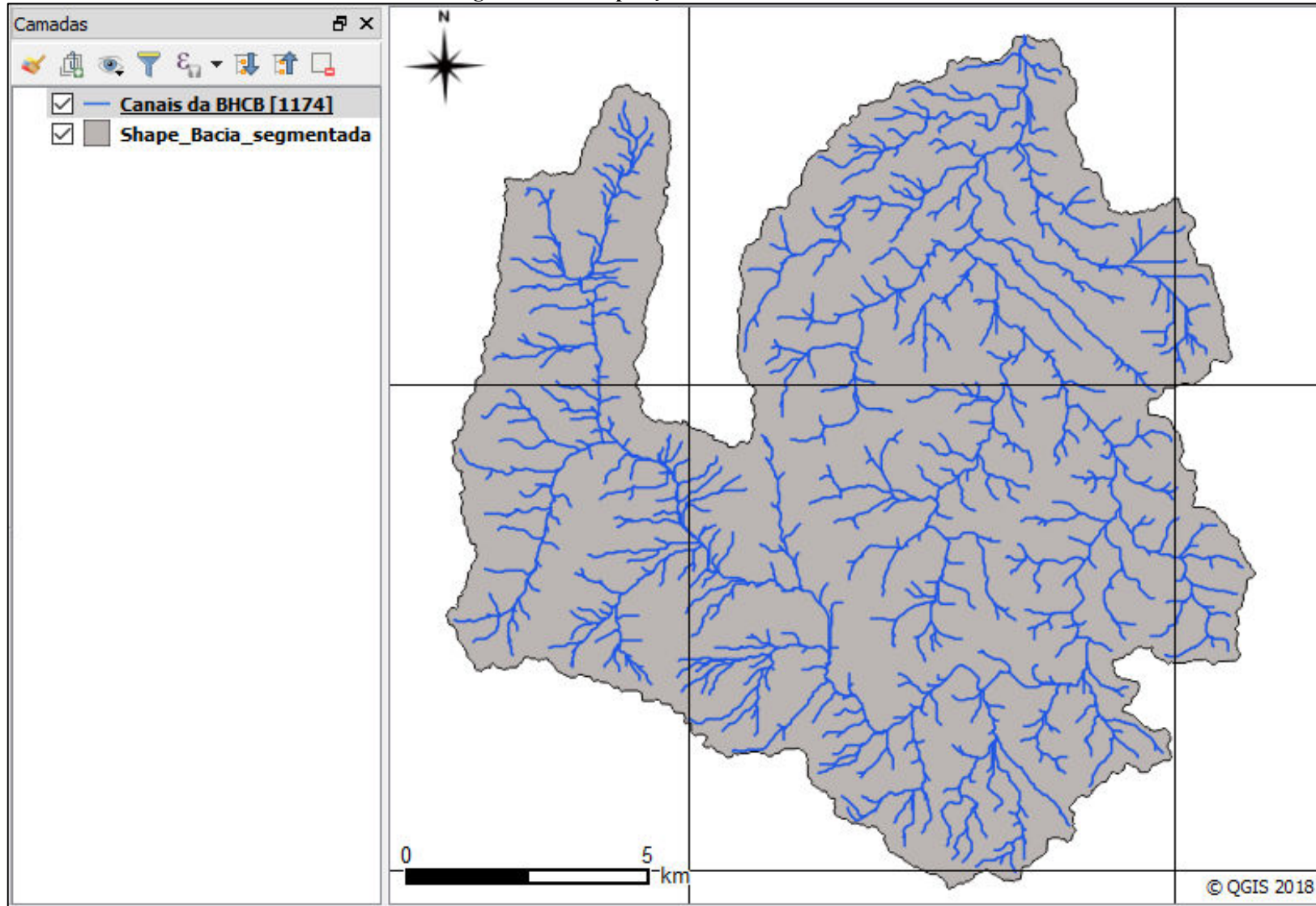
Figura 30 - Mosaico da rede de drenagem da BHCB



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao sobrepor os canais extraídos da imagem segmentada com o arquivo vetorial do perímetro da BHCB (Figura 31), não foi possível observar canal extravasando o perímetro da bacia, bem como não há também evidência de canal tocando as bordas da bacia delimitada. Conforme demonstrado na (Figura 31), não é observado canal sobrepondo-se a outro, com isso, infere-se a extração, tanto da bacia quanto da rede de canais, sem problemas, haja vista que se houvessem, estes se comportariam de forma diferente, ou seja, observar-se-iam canais ultrapassando os limites da bacia e até mesmo tocando suas bordas, o que denotaria falha de execução do algoritmo ODR_Hidro.

Figura 31 - Sobreposição dos canais da BHCB

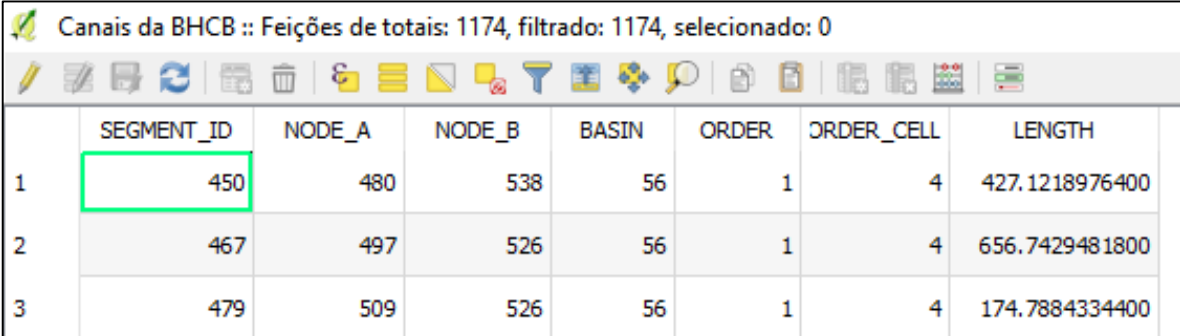


Fonte: Elaborado pelo autor.

A imagem *raster* do SRTM carrega em sua composição *pixels* de 30 x 30 metros. Com a segmentação da imagem recortada, os *pixels* são influenciados tanto pelo recorte quanto pelos limiares (compacidade, cor, escala, número de banda e peso da banda) de segmentação. Nesse processo de segmentação, os *pixels*, ao serem alterados, possibilitam ao ODR_Obia a extração da média da altitude do *pixel* central que está sendo segmentado, assim como a dos demais *pixels* vizinhos, estabelecendo um único valor de altitude para grupo de *pixels* que, conseqüentemente, foi transformado em segmento devido às contribuições de valores altimétricos de outros *pixels* vizinhos, permitindo a extração da bacia, utilizando os segmentos gerados pela segmentação da imagem.

Os canais de drenagem ao serem extraídos, conforme verificado na tabela de atributos (Figura 32), trazem alguns elementos relacionados aos índices geomorfométricos que proporcionam a identificação da ordem da bacia, distância em metro de cada segmento e a ordenação de cada canal (Figura 33A). Os dados descritos na Figura 32 estão mais bem representados na Tabela 3, assim como os demais índices geomorfométricos que foram extraídos utilizando o algoritmo ODR_Hidro (Figura 10), referentes à BHCB

Figura 32 - Tabela de atributos identificando ordem dos canais, das bacias e distâncias de cada segmento



	SEGMENT_ID	NODE_A	NODE_B	BASIN	ORDER	ORDER_CELL	LENGTH
1	450	480	538	56	1	4	427.1218976400
2	467	497	526	56	1	4	656.7429481800
3	479	509	526	56	1	4	174.7884334400

Fonte: Elaborado pelo autor.

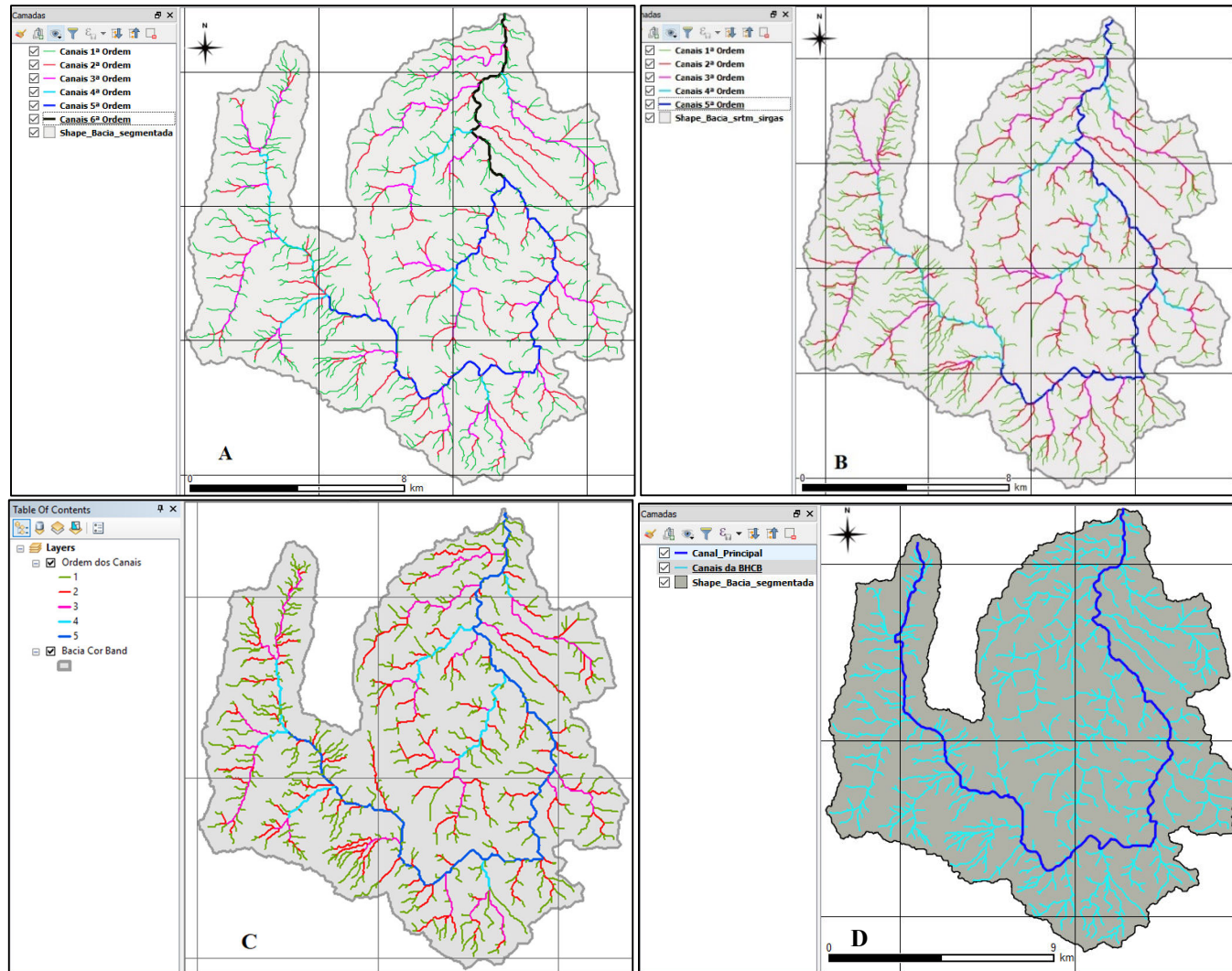
Para validar a classificação hierárquica extraída a partir da imagem segmentada, conforme definição dada por Strahler (1952), nos canais extraídos pelo modelo ODR_Hidro, confeccionou-se outras três classificações da ordenação fluvial, uma com o próprio modelo ODR_Hidro, utilizando o SRTM original (Figura 33B), outra no *software* ArcGIS, utilizando a mesma cena do SRTM original (Figura 33C) e, por fim, para validar de forma a não deixar dúvidas relativas à ordenação dos canais da BHCB, efetuou-se classificação hierárquica de forma manual, utilizando o arquivo vetorial da bacia e as duas cartas topográficas da DSG em formato vetorial, MI - 2216 - Carta Topográfica FORMOSA-SD-23-Y-C-V e MI - 2272 - Carta Topográfica VILABOA-SD-23-Y-C-II, 2ª ed. 2006, ambas na escala de 1:100.000 (Figura 41).

De acordo com as ordenações hierárquicas demonstradas nas Figuras 34, 33A, 33B e 33C, é possível observar que a classificação hierárquica apresenta-se de forma similar. As duas ordenações dos canais extraídas do SRTM original (Figura 33B e 33C) obtiveram resultados iguais, ou seja, a hierarquia da drenagem classificada foi de 5ª ordem, por outro lado, corroborando com essa afirmação, a hierarquização produzida de forma manual junto à carta topográfica classificou a hierarquia dos canais da BHCB em 5ª ordem. Em contrapartida, a hierarquização dos canais extraídos da imagem segmentada obteve classificação hierárquica da rede de drenagem com 6ª ordem. Ao visualizar a Figura 33A, que mostra os canais extraídos da imagem segmentada e compará-la com os canais extraídos utilizando a imagem do SRTM original (Figura 33B e 33C), observa-se que na primeira extração (Figura 33A), existe maior quantidade de canais de 1ª ordem. Ao observar a classificação manual (Figura 34), observa-se reduzida densidade de canais em comparação com as outras três classificações. A incidência do aumento de canais extraídos na imagem segmentada aconteceu principalmente em locais onde o relevo é mais movimentado. Essa característica do relevo pode ter contribuído para o aumento da extração de canais, pois em local onde o relevo é mais colinoso há maior incidência na formação de início de drenagens e pequenas depressões que favorecem o escoamento da água até chegar a um canal e que foram mapeadas pelo modelo.

Ao observar a formação do segmento de 4ª ordem na figura 33 A, B e C, verifica-se que o ponto de formação deste segmento é equivalente entre as três bacias. Entretanto, nota-se a formação de um outro canal de 4ª ordem, extraído na ordenação executada com o ArcGIS, utilizando o SRTM original na bifurcação das duas drenagens principais (Figura 33 C). No estudo proposto por Pimenta et al., (2015), neste segmento de canal observado na figura 33C, trata-se do curso principal, como pode ser observado também na carta topográfica da DSG (Figura 45).

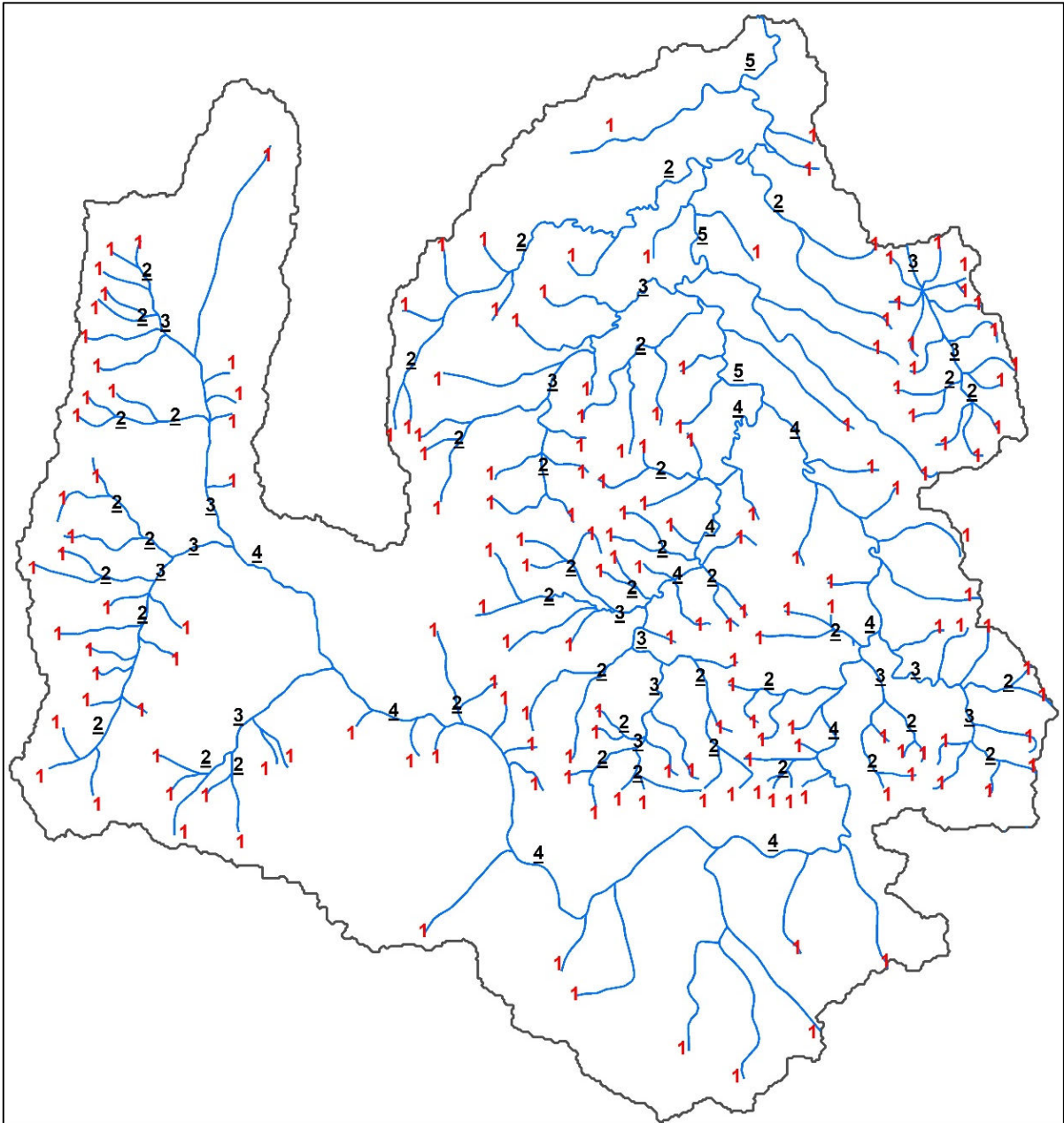
A ordenação efetuada pelo ODR_Hidro utilizando a imagem do SRTM segmentada e a imagem não segmentada na formação deste canal de 4ª ordem indicada na figura 33C é divergente (Figura 33 A e B). Conforme a ordenação executada pelo ODR_Hidro, observa-se que o segmento de canal correspondente a 4ª ordem continua a partir deste ponto pela sua direita, tendo como orientação de jusante para a montante da drenagem. A ordenação feita de forma manual utilizando os dados da carta da DSG (Figura 35) cuja escala dos dados é de 1:100.000, no ponto que representa a maior divergência, é o início do canal de 4ª ordem. Utilizando a metodologia proposta por Horton (1945), a partir do ponto da formação da bifurcação entre os dois canais, o que apresentar maior ângulo, é o canal de ordem menor.

Figura 33 - (A) Ordem dos canais da bacia segmentada com ODR_Hidro. (B) Ordem dos canais da bacia do SRTM original com ODR_Hidro. (C) Ordem dos canais da bacia do SRTM original utilizando ArcGIS. (E) BHCb, rede de drenagem com o canal principal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 - Ordenação de forma manual dos canais da BHCB com o uso da carta topográfica vetorial obtida da DSG



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando na formação do canal de 4ª ordem (Figura 33 C), o ângulo formado para este canal, visualmente se aproxima de 45°, enquanto o ângulo que se forma para o segmento de canal da direita, continua na mesma direção, assim, conforme pode ser observado na figura 33 D, seguindo o que foi estabelecido por Horton (1945), há evidências de que este canal apontado na pesquisa de Pimenta et al., (2015), não seja o canal principal. Corroborando com esta informação, observando as figuras 33 A, B, C, D e figura 34, percebe-se nitidamente que o canal da direita, ordenado em 4ª ordem pelo modelo ODR_Hidro, é o segmento de canal principal, cujo ângulo formado na bifurcação determina que o canal da direita seja o curso

principal, corroborando com esta afirmação, observa-se que este canal é o de maior distância entre a nascente e a foz, possui a maior área drenada, reafirmado pela maior altitude (1.212m) da nascente principal (Figura 33 D).

Outro aspecto a ser destacado nas hierarquizações é o ponto de formação do segmento de 5ª ordem. Ao comparar as quatro ordenações (Figuras 34 e 33) pode-se observar que a formação desse segmento não coincide em nenhuma delas. Olhando o córrego Bandeirinha de montante para a sua jusante, o segmento de 5ª ordem que se formou mais próximo da nascente foi o da hierarquização feita com o SRTM original utilizando o ArcGIS, (28C). Na sequência, a formação do segmento de 5ª ordem mais próxima da nascente foi a ordenação extraída da imagem segmentada, utilizando o ODR_Obia, (Figura 33A). A próxima formação do segmento da ordem 5ª foi a ordenação feita com ODR_Obia utilizando o SRTM original (Figura 33B). Por último, observando a classificação manual utilizando a carta vetorial da DSG (Figura 41), foi a que teve a formação do segmento de 5ª ordem bem próxima à foz.

O mapeamento das drenagens de 1ª ordem não apresentada nas cartas da DSG e identificadas e mapeadas com o uso do modelo ODR_Hidro, através da imagem segmentada, principalmente em local onde há incidência de relevo movimentado, contribuiu de forma significativa para a classificação de 6ª ordem do Córrego Bandeirinha. Ressalta-se ainda que o ponto de bifurcação das duas drenagens de ordem 5ª que contribuíram para a formação do segmento de 6ª ordem, conforme a hierarquização feita com a imagem segmentada (Figura 33 A), é coincidente com o ponto de bifurcação das duas drenagens de 4ª ordem da hierarquização feita manualmente usando a carta vetorial da DSG (Figura 45), que, ao se juntarem, imediatamente formaram o segmento da ordem 5ª da classificação manual. Reforça-se a argumentação que existe adensamento maior de canais para a extração utilizando o SRTM segmentado, entretanto, esse adensamento de canais extraídos da imagem segmentada não descaracterizou o padrão e nem a trajetória do canal principal.

O adensamento da rede de canais classificada em 6ª ordem, produzida pela imagem segmentada, deve-se também ao uso do limiar utilizado no modelo ODR_Hidro “Filed_file” (4) aparentemente baixo. Todavia, esse limiar foi o que melhor se ajustou para a extração dos canais em comparação com as outras duas extrações, conforme demonstrado nas Figuras 33 B e 33 C. A divergência observada em relação às outras três hierarquizações é de apenas uma ordem. Muito embora a ordenação efetuada com o auxílio da imagem segmentada não apresente resultados coincidentes com as outras três ordenações, ressalta-se que as ordenações dos canais são muito similares, não apresentando diferenças significativas.

E por fim, para sanar todas as dúvidas no que tange ao mapeamento dos cursos hídricos de 1ª ordem, identificados na imagem segmentada, foi executada a validação em campo, por meio da coleta de pontos de coordenadas das bifurcações in-loco e do levantamento fotográfico dos pontos de bifurcação coletado (Figuras 35 A, B, C, D e E). Utilizou-se GPS geodésico para identificar o local das bifurcações e o rastreo das coordenadas.

Figura 35 – (A) Coleta de ponto em drenagem mapeada pelo ODR_Hidro; (B) Coleta de ponto em bifurcação mapeada pelo ODR_Hidro; (C) Coleta de ponto em bifurcação mapeada pelo ODR_Hidro; (D) Coleta de ponto em drenagem mapeada pelo ODR_Hidro; (E) Coleta de ponto na junção de duas bifurcações.

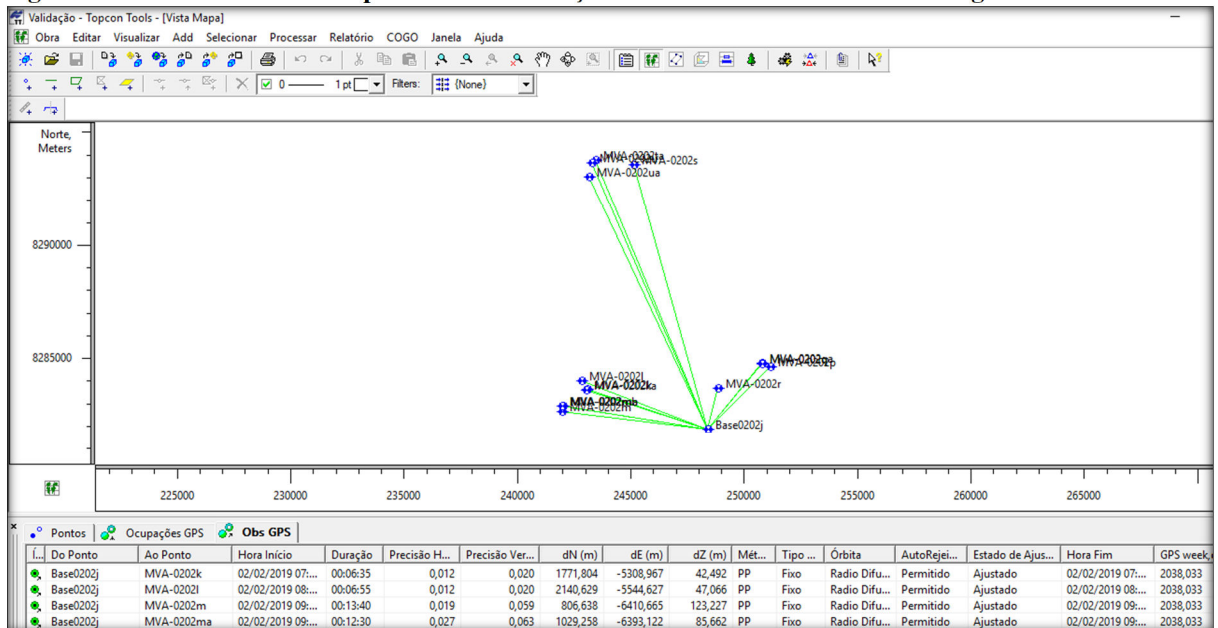


Fonte: O autor.

Os pontos coletados foram processados e ajustados para o sistema de referência SIRGAS UTM 2000, fuso 23, com o auxílio do software Topcon Tools (Figura 36) para que

suas coordenadas fossem comparadas, tanto com os dados das cartas da DSG, quanto aos dados mapeados com o ODR_Hidro.

Figura 36 – Processamento dos pontos das bifurcações coletados com auxílio do GPS geodésico.

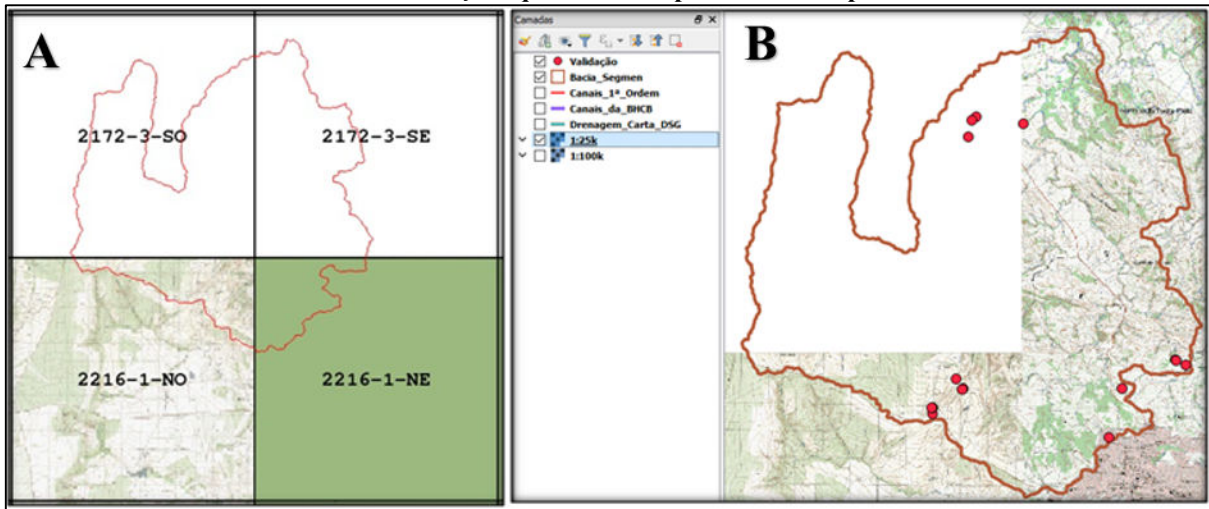


Fonte: Elaborado pelo autor.

A validação de campo, constatou a existência das drenagens de 1ª ordem na bacia (Figura 35 A, B, C, D e E) e que estas foram mapeadas pelo ODR_Hidro. As figuras ainda demonstram o rastreador de sinais de satélites efetuando o rastreo das coordenadas das respectivas junções destes canais. A existências destas drenagens demonstrou que o modelo mapeou em escala melhor que a de 1:100.000. Para a ratificar esta afirmação, buscou-se cartas topográficas do IBGE e do Exército afim de validar a informação. Contudo, as cartas do IBGE nas escalas 1:50.000 e 1:25.000 não abarcam a área de estudo e a DSG não mapeou em 1:50.000.

Entretanto, como o exército está efetuando um novo mapeamento desta região em escala de 1:25.000, algumas das cartas que já compõem o banco de dados geográficos do Exército (BDGEx), abarcaram partes da área de estudo (Figura 37 A e B), sendo elas; Carta topográfica SD-23-Y-C-II-3-SE, que passou a fazer parte do BDGEx a partir do dia 15/02/2019; SD-23-Y-C-V-1-NE, disponibilizada em 04/04/2017 e SD-23-Y-C-V-1-NO, sendo que esta já compõem o BDGEx desde 1985. Ressalta-se que os dados da folha SD-23-Y-C-II-3-SO, não foram disponibilizado ainda (Figura 37 A e B).

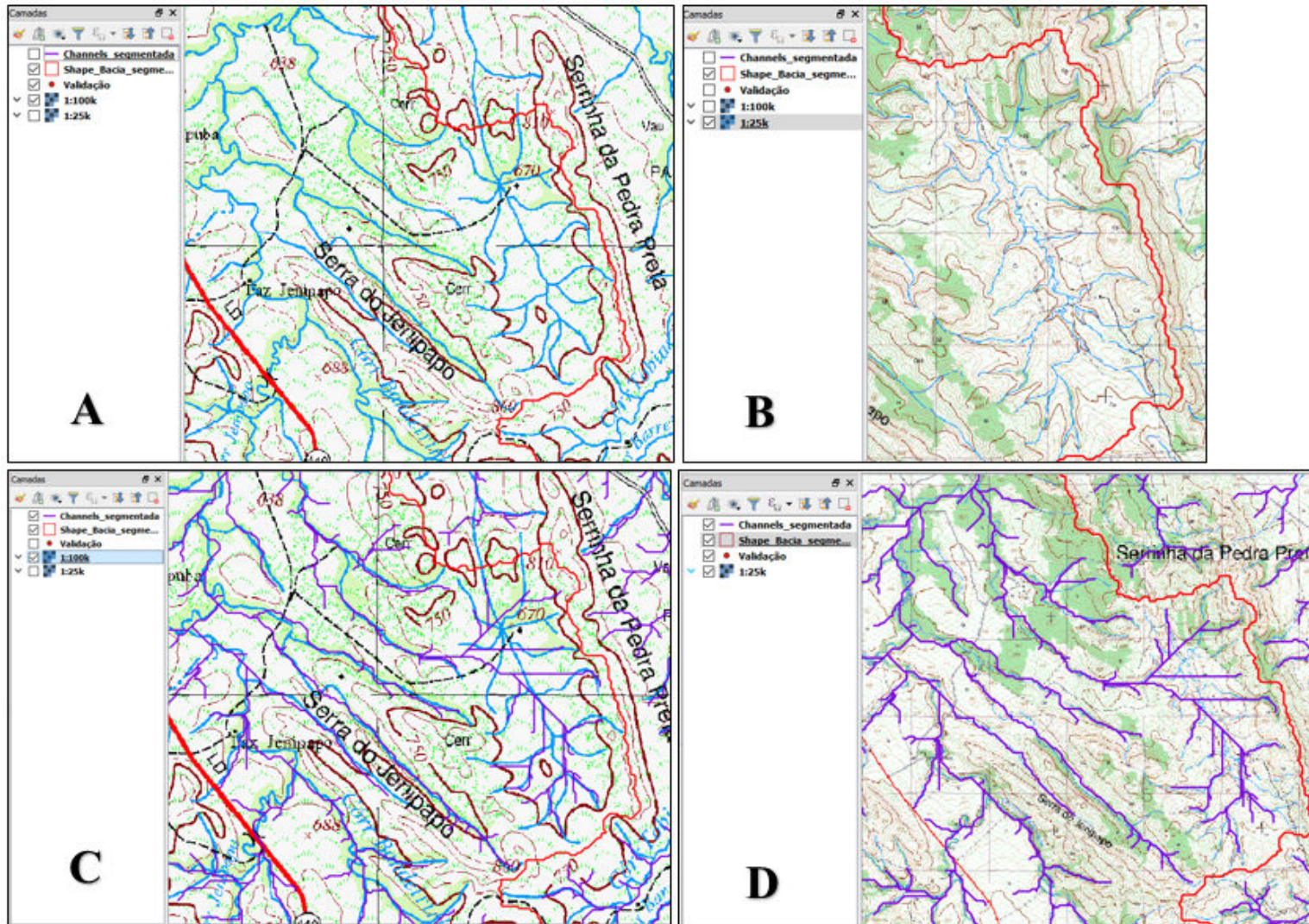
Figura 37 – Articulação das folhas das cartas topográficas na escala de 1:25.000 e indicativo dos pontos das bifurcações que foram mapeadas em campo.



Fonte: Adaptado do BDGEx.

A observação das figuras 38 A e B, no que tange ao escoamento da rede de drenagem, revelam que o mapeamento do Exército nas escalas de 1:100.000 e 1:25.000 apresentam divergências. Corroborando com esta informação, a sobreposição dos canais mapeados com o ODR_Hidro, sobreposto nas respectivas figuras 38 C e D, além do indicativo do limite da BHCB, pode ser verificado o conflito na figura 38 C, entre os canais gerados pelo ODR_Hidro e os canais mapeados na carta de escala de 1:100.000. Contudo, na carta de 1:25.000 (Figura 38 D), este conflito é inexistente, ou seja, os canais mapeados pelo ODR_Hidro escoam na mesma direção em que os canais mapeados na carta topográfica da DSG com escala de 1:25.000, sugerindo que o resultado do mapeamento feito pelo ODR_Hidro, seja compatível com a escala de 1:25.000 (Figura 38 D).

Figura 38 – (A) Carta topográfica na escala de 1:100.000 (B) Carta topográfica na escala de 1:25.000 (C) Canais sobrepondo a Carta topográfica na escala de 1:100.000 (D) Canais sobrepondo a Carta topográfica na escala de 1:25.000



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente à extração dos canais da BHCB, foi efetuada a delimitação da bacia do Córrego Bandeirinha usando como ferramenta o algoritmo ODR_Hidro. O processo teve início identificando-se a cota mais baixa da bacia, ou seja, seu exutório no Rio Paranã, seguindo pelos divisores topográficos até a delimitação completa da bacia.

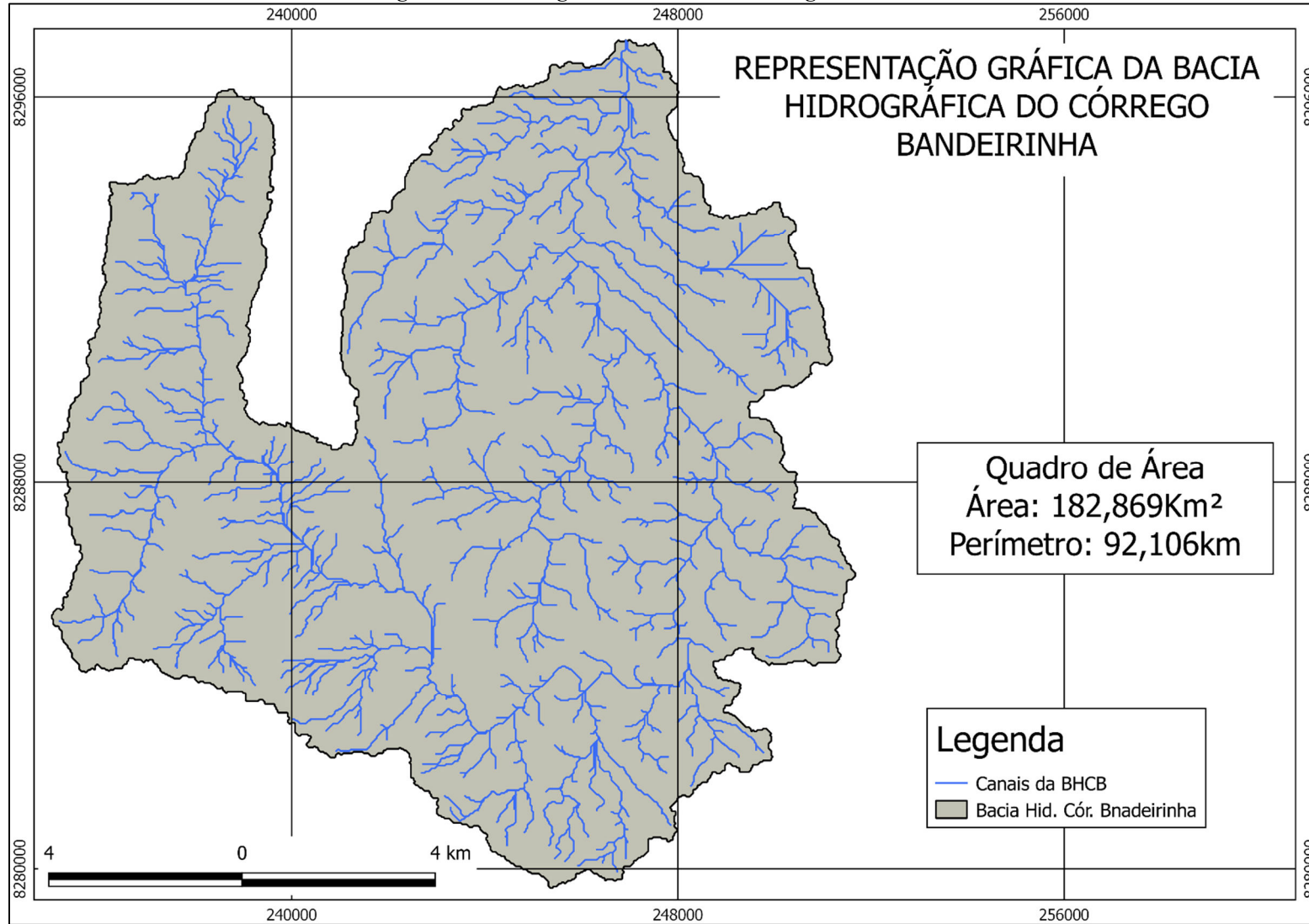
De acordo com a delimitação da BHCB a partir da imagem segmentada, utilizando o algoritmo ODR_Hidro, obteve-se a área de 182,869 km² de extensão superficial, com o perímetro de 92,106 km de extensão linear (Figura 43). Os atributos geomorfométricos relativos às características geométricas, características da rede de drenagem e características do relevo, obtidos com a aplicação dos procedimentos propostos, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Representação dos índices geomorfométricos

BHCB - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS				
NOME	ÁREA (Km²)	PERÍMETRO	ÍNDICE	Km
B.H. Córrego Bandeirinha	182,869	92,106 Km		
Coeficiente de Compacidade (Kc)			1,907	
Coeficiente de Manutenção (Cm)			410,488	
Índice de circularidade (Ic)			0,271	
Fator de Forma (Kf)			0,882	
Razão de alongação (Re)			0,882	
CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM				
Densidade de Drenagem (Dd)			2,436	
Número total dos canais			1,174	
Densidade Hidrográfica (Dh)			6,42	
Relação de Bifurcação (Rb)			2,451	
Comprimento do canal principal (Ccp) linha reta da nascente a foz				14,40
Comprimento total da rede de drenagem (Ctr)				445.492,45
Número de 1ª ordem			598	240.178,73
Número de 2ª ordem			243	98.506,66
Número de 3ª ordem			154	54.325,10
Número de 4ª ordem			68	17.516,99
Número de 5ª ordem			88	26.582,40
Número de 6ª ordem			23	8.382,57
CARACTERÍSTICAS DO RELEVO				
Índice de rugosidade (Ir)			1515.445	
Coeficiente de rugosidade (CR)			34,129	
Amplitude altimétrica			622	
Altitude máxima			1.233,07	
Altitude mínima			611	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Planta gráfica da Bacia do Córrego Bandeirinha

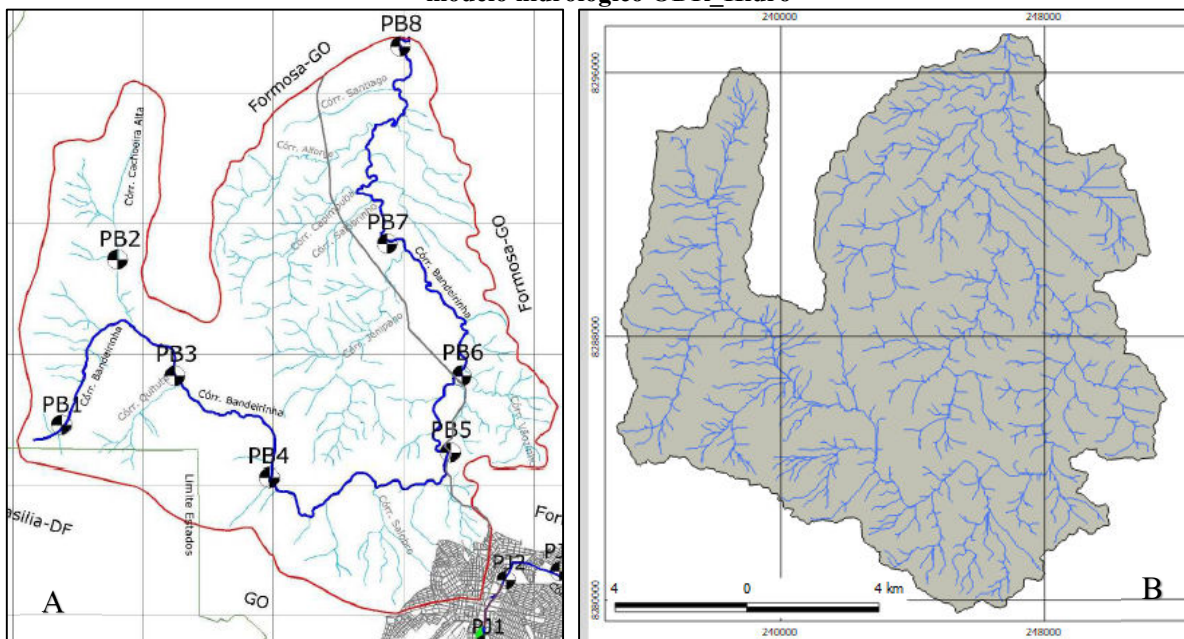


Nota: Limite da bacia, canais, área e perímetro obtidos com o ODR_Hidro utilizando a imagem do SRTM segmentada. Para acabamento utilizou-se o QGIS.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao concluir a confecção da planta topográfica da BHCB, oriunda da imagem segmentada com informações relacionadas à feição topográfica (área e perímetro) utilizando o modelo hidrológico ODR_Hidro, os dados foram confrontados com os obtidos por Pimenta et al. (2015), conforme demonstrado na Figura 40, observando-se discrepância entre os produtos cartográficos obtidos e os respectivos estudos.

Na pesquisa relacionada aos trabalhos de Pimenta et al. (2015) não foram apresentados os procedimentos para a delimitação e obtenção da feição cartográfica da BHCB, assim como não há referência acerca da forma de extração e obtenção da rede de drenagem da bacia, informando, somente, que a fonte foi o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, levando a crer que a escala dos dados utilizada por Pimenta et al. (2015) está representada na escala de 1:100.000. As discrepâncias observadas entre as duas pesquisas referem-se à densidade de drenagem e à forma geométrica da bacia, que apresentou variação de forma na parte nordeste da BHCB. Essas discrepâncias relacionadas à densidade de drenagem e formato da bacia refletem diretamente na hierarquização dos canais, na área e no perímetro da bacia. Fato esse que pode ser comprovado, tendo em vista que a área de estudo da pesquisa BHCB exibido por Pimenta et al. (2015) apresentou hierarquia de 4ª ordem, enquanto nesta pesquisa obteve-se hierarquização da drenagem da BHCB utilizando o SRTM segmentado de 6ª ordem.

Figura 40 - (A) BHCB produzido por Pimenta et al., (2015). (B) BHCB produzido com dados obtidos do modelo hidrológico ODR_Hidro



Fonte: (A) Pimenta et al., (2015).

Nota: Pontos PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6 e PB7 referem-se aos pontos de amostragem no córrego Bandeirinha no trabalho de Pimenta et al., (2015).

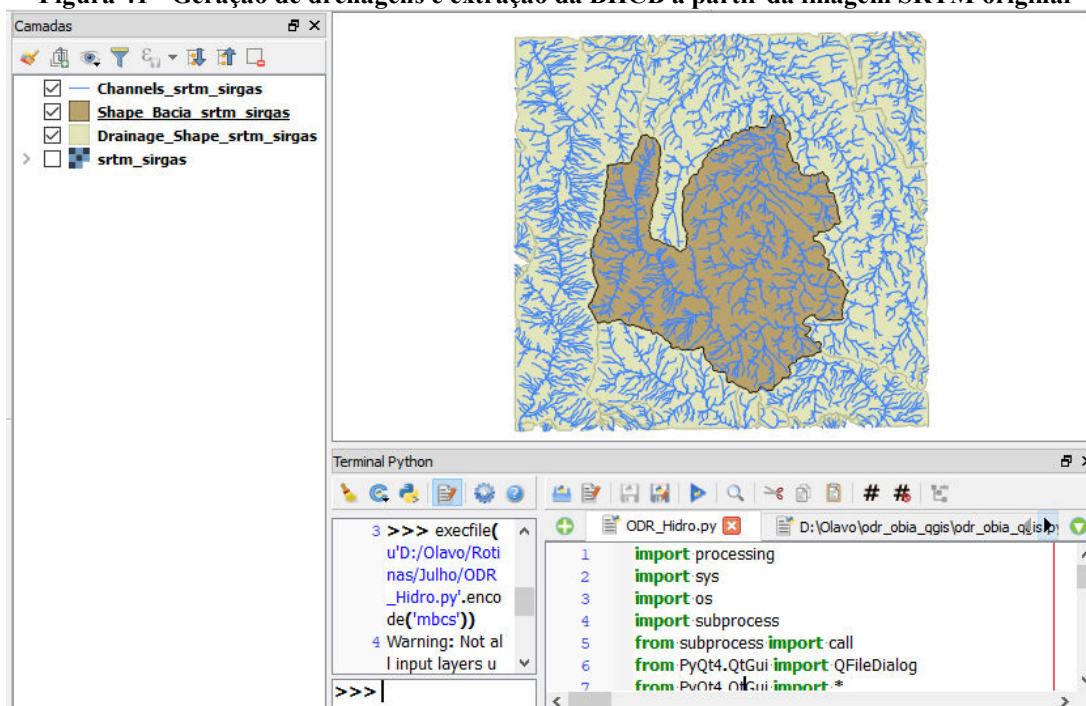
(B) Elaborado pelo autor.

4.3 DELIMITAÇÃO DA BHCB E EXTRAÇÃO DOS CANAIS UTILIZANDO O STRM ORIGINAL NO ODR_HIDRO

Com o objetivo de validar os dados obtidos pelo ODR_Hidro na extração dos canais e na delimitação da bacia do Córrego Bandeirinha, utilizou-se o SRTM sem a segmentação da imagem para verificação dos afastamentos dos pontos de confluências das drenagens geradas para a BHCB, haja vista que esses pontos serão comparados aos pontos de confluências extraídos a partir da imagem segmentada, bem como aos pontos de confluências extraídos a partir das cartas do Exército. Esses afastamentos relacionados às coordenadas dos eixos E e N serão tratados aqui como discrepâncias.

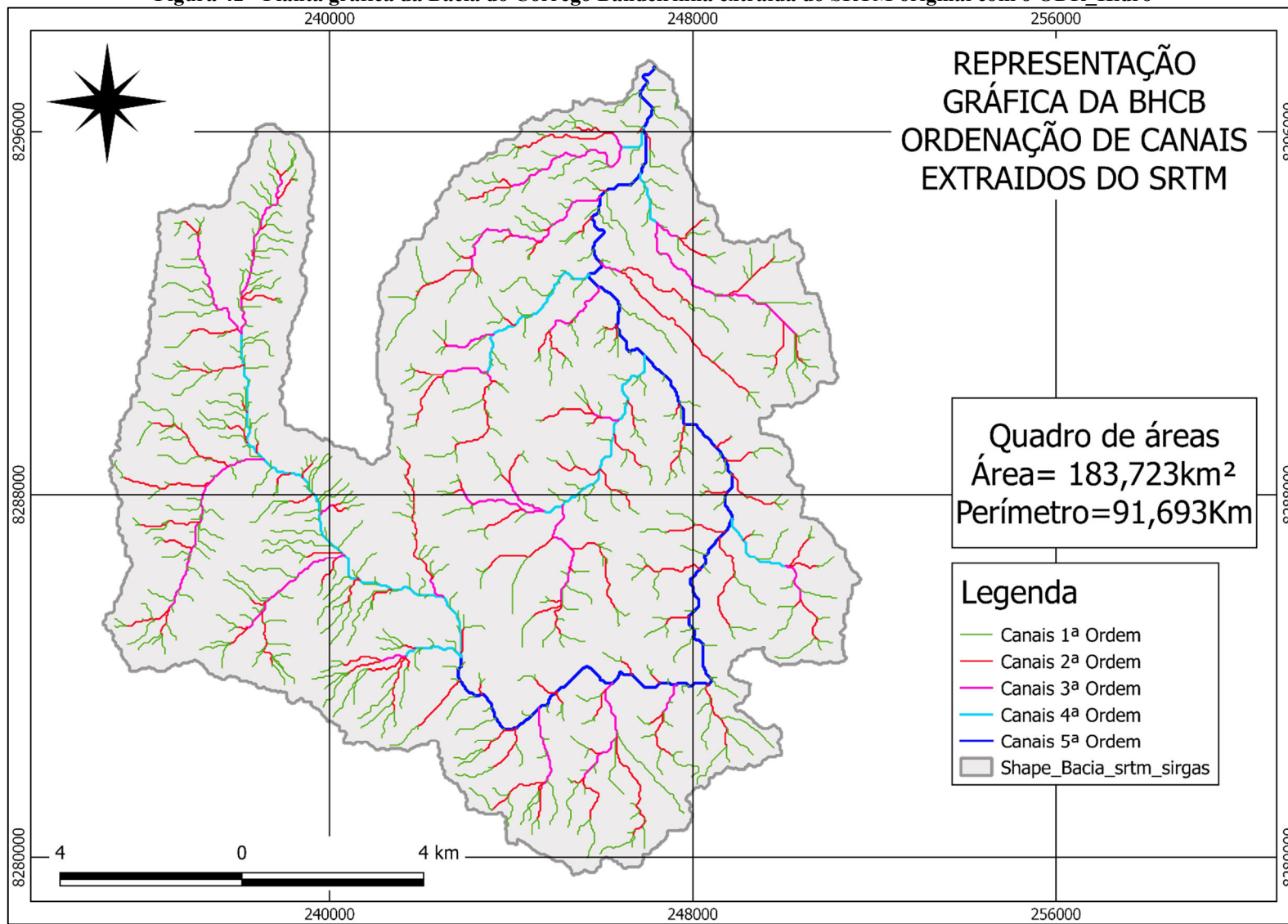
A BHCB, assim como os canais de drenagem (Figura 41) confeccionados a partir do SRTM original, teve seu processamento e, conseqüentemente, extração de todos os dados geomorfométricos utilizando o algoritmo ODR_Hidro, empregando a mesma metodologia para os dados extraídos na imagem segmentada.

Figura 41 - Geração de drenagens e extração da BHCB a partir da imagem SRTM original



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Planta gráfica da Bacia do Córrego Bandeirinha extraída do SRTM original com o ODR_Hidro

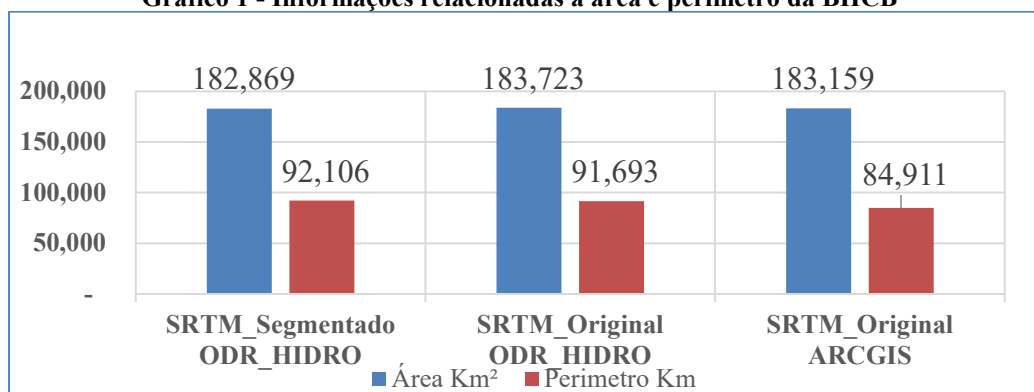


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 42 representa a BHCB com a área e perímetro da respectiva bacia, assim como a ordenação dos canais que foram extraídos junto ao SRTM, com o auxílio do algoritmo ODR_Hidro. O traçado que representa essa bacia, para a sua extração, empregou apenas os limiares do *pixel* do SRTM 30 x 30m, ou seja, valendo da altimetria desprendida para cada *pixel*. Observa-se que o formato da bacia acompanha o da bacia gerada anteriormente (Figura 39) por meio da segmentação do SRTM. Os canais visualmente aparentam a mesma semelhança dos canais gerados utilizando o SRTM original, discrepando apenas na quantidade de ordem de canais gerados, sendo que a BHCB delimitada utilizando a imagem segmentada apresenta uma ordem a mais do que a bacia gerada pelo SRTM original.

As divergências encontradas no ordenamento hierárquico dos canais entre as 03 feições topográficas da área de aplicação do estudo inferem que na extração de canais de drenagem da imagem segmentada, em função da introdução dos limiares de compacidade, cor e escala para a segmentação do SRTM, obteve-se objetos mais compactos e reduzidos, fator importante que contribui para obter uma rede de canais mais adensada do que as outras 02 hierarquizações. Ressalta-se que em função da segmentação, os *pixels* foram alterados em consequência dos limiares propostos para a segmentação e reunidos em um grupo de *pixels*, permitindo a retirada da média da altimetria desse grupo, ou seja, a união desse grupo de *pixel* agora composto por um único segmento tem a mesma altitude extraída por meio da média da altimetria composta pelo grupo de *pixels* reunidos. Justificando a obtenção de canais mais compactos e reduzidos, fator esse que foi preponderante para a obtenção de rede de canais mais adensada do que as outras 02 extrações.

Conforme demonstrado no Gráfico 1, em termos de área e perímetro, as 03 feições topográficas da BHCB equivalem-se, haja vista que os dados apurados foram trabalhados considerando a escala de 1:100.000. Nesse sentido, considerando os dados apurados, sugere-se que as 03 delimitações, observando sempre a escala do trabalho, apontam para uma delimitação fidedigna com a realidade do terreno.

Gráfico 1 - Informações relacionadas à área e perímetro da BHCB

Fonte: Elaborado pelo autor.

No tocante à área da BHCB (Gráfico 1), as divergências apresentadas na extensão superficial da bacia, por meio do cálculo de área, corroboram para melhor apuração dos dados cartográficos relacionados à imagem segmentada. As diferenças apresentadas pelo cálculo de área da bacia hidrográfica, produzido com o modelo hidrológico ODR_Hidro, entre a imagem SRTM segmentada e a imagem não segmentada são de apenas 0,854 km². Ao comparar a área da bacia do Córrego Bandeirinha, utilizando a imagem do SRTM segmentada com o processamento efetuado no ODR_Hidro, com a área da mesma bacia extraída do SRTM original, utilizando o ArcGIS, a diferença de área diminuiu para 0,290 km². No que tange à área da BHCB delimitada pelo ODR_Hidro utilizando a imagem do SRTM original, ou seja, sem a segmentação do MDE, e comparando-a com a área da mesma bacia, utilizando o mesmo MDE sem segmentá-lo, a diferença encontrada foi de 0,564 km².

Concernente às discrepâncias perimétricas apresentadas, observa-se que a diferença do perímetro da bacia hidrográfica do Córrego Bandeirinha, produzido com o modelo hidrológico ODR_Hidro, entre as imagens SRTM segmentada e não segmentada é de apenas 413 m. A discrepância perimétrica maior ocorreu entre o perímetro da BHCB extraído da imagem segmentada para o perímetro da mesma bacia produzido no ArcGIS, utilizando o SRTM original, sendo de 7,195 km, ou seja, o perímetro encontrado para a bacia produzido com o ODR_Hidro, utilizando a imagem segmentada, é 7,8% maior do que o perímetro encontrado utilizando o SRTM original com o uso do ArcGIS. Pode se dizer que para este estudo, essa variação não terá grande importância, uma vez que se deve sempre levar em consideração o fator escala (1:100.000) em que o estudo está sendo executado. Entretanto, se o estudo estivesse trabalhando na escala de 1:250.000, o erro seria reduzido em duas vezes e meia, ou seja, o erro de 7,195 km, considerando a escala de 1:250.000, teria valor de 2,878 km, o que tornaria esse erro sem expressividade alguma.

Observa-se ainda que essa variação não influenciou no formato da bacia, conforme evidenciado na Figura 42. Considerando que a discussão aqui é sobre o perímetro da bacia, esta variação é irrelevante, tendo em vista que o objetivo é demonstrar a dimensão do perímetro da bacia e não o seu detalhamento interno. Considerando que a escala de 1:100.000 não é escala de detalhe, a diferença encontrada é insignificante. Utilizando a acuidade visual humana, essa diferença não poderá ser visualizada, necessitar-se-á do auxílio de *software* específico para a identificação do erro. Se se distribuir o erro encontrado (7,195 km) ao longo dos 84,911 km, tem-se acréscimo de 0,079 km para cada 1 km do percurso do perímetro da bacia, portanto, o erro encontrado torna-se inexpressivo, o qual não irá modificar qualquer resultado no estudo, considerando a escala em que este se apresenta. Ressalta-se que o fator escala tem importância fundamental nos estudos hidrológicos; Christofolletti (1980) pontua que, principalmente na representação do relevo e na extração e ordenação da rede de drenagem, o fator escala influenciará diretamente nos resultados obtidos. Infere-se que quanto menor a escala, menores os detalhamentos presentes no estudo.

4.4 DELIMITAÇÃO DA BHCB E EXTRAÇÃO DOS CANAIS UTILIZANDO O SRTM NO ARCGIS

Com o propósito de analisar e validar a geometria vetorial da rede de drenagem BHCB extraída com ODR_Hidro, utilizando a imagem do SRTM segmentada, com a geometria dos canais produzidos por outro *software*, com a mesma cena do SRTM, sem a imagem estar segmentada, efetuou-se a delimitação e a ordenação dos canais de drenagens da bacia no *software ArcGIS* (Figura 43). Ao comparar as feições cartográficas das Figuras 39, 42 e 43, observa-se tanto no formato e na área da bacia quanto no padrão das drenagens extraídas, resultados apontando para a representação similar dos objetos geomorfométricos, todavia, as diferenças ficam em evidência ao se calcular a área e o perímetro da BHCB.

Observou-se, também, a ordenação dos canais frente a sua execução, utilizando *softwares* diferentes. Usou-se a mesma cena do SRTM para executar os três procedimentos de delimitação da BHCB e extração da rede de drenagem da referida bacia. O que diferenciou na execução dos procedimentos de extração da bacia, no que se refere à unidade de medida “área” e ordenação dos canais relacionados na Figura 39, foi a utilização da imagem segmentada utilizando o algoritmo ODR_Hidro, cuja área calculada para a bacia é de 182,869 km² e perímetro de 92,106 km, conforme representado na Figura 39.

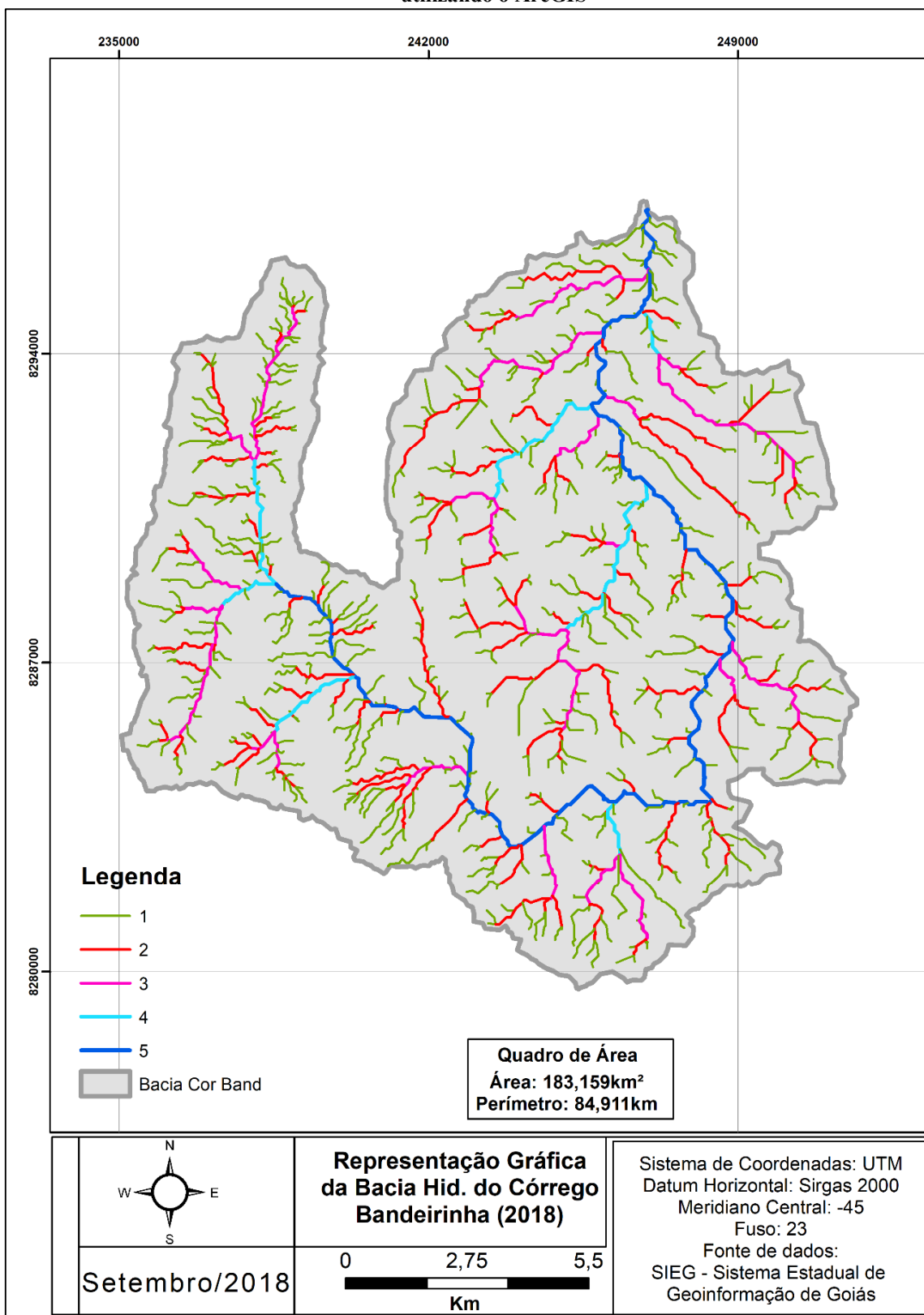
Utilizando a mesma cena da imagem, delimitou-se a bacia e a ordenação dos canais com o *software* ArcGIS, porém sem efetuar a segmentação da imagem, e encontrou-se área de 183,159 km² e 84,911 km de perímetro linear, ou seja, a diferença da área calculada é insignificante. A discrepância foi de apenas 0,16%, enquanto o cálculo de perímetro apresentou divergência maior, de 7,8%. Na extração e ordenação dos canais utilizando o ODR_Hidro obteve-se canais de até 6^a ordem, enquanto a extração executada no ArcGIS (Figura 39) observou canais de 5^a ordem. A mesma ordenação de canais fora encontrada na delimitação da BHCB (Figura 42) utilizando apenas o SRTM original.

Conforme apontado na Figura 42, ressalta-se que as hierarquizações seguem praticamente a mesma ordem, diferindo apenas em 1 ordem para a hierarquização na imagem segmentada. Contudo, as duas hierarquizações utilizando *softwares* diferentes, com a mesma cena do SRTM sem segmentação, foram a mesma, ou seja, tanto a hierarquização do modelo hidrológico ODR_Hidro usando o SRTM original, quanto a dos canais executada no ArcGIS com o SRTM original, resultaram em 5^a ordem.

Os resultados apontados para as duas classificações com o SRTM original são corroborados com a classificação hierárquica manual (Figura 41), que obteve a ordenação dos canais da bacia equivalente à 5^a ordem, diferindo da hierarquização feita com a imagem segmentada, que obteve hierarquização para os cursos da bacia em 6^a ordem. A hierarquização obtida com a imagem segmentada em 6^a ordem pode ter ocorrido em função da segmentação do SRTM, que pode ter considerado alguns trechos de ravinamentos e pequenas depressões encontrados ao longo do relevo, fator esse que favoreceu para o escoamento das águas, considerando essas ravinas e pequenas depressões como segmentos, contribuindo significativamente para o aumento do número de canais de primeira ordem mapeado pelo modelo ODR_Hidro por meio da imagem segmentada.

A discrepância encontrada na ordem hierárquica dos canais entre as 03 feições geocartográficas da área BHCB é observada devido à extração dos canais de drenagem da imagem segmentada, ocorrida em função da aplicação dos limiares de compacidade, cor e escala para a segmentação do SRTM, que obteve a média altimétrica dos *pixels* vizinhos e os transformou em segmentos, contribuindo para aquisição de objetos mais compactos e reduzidos, auxiliando na obtenção de rede de canais mais densa do que as outras 02 hierarquizações. Por outro lado, em relação ao formato da bacia, assim como sua área, encontrou-se valores praticamente iguais, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

Figura 43 - Planta com extração e cálculo de área e ordenação dos canais segundo Strahler (1952), utilizando o ArcGIS



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PONTOS DE CONFLUÊNCIA DA REDE DE DRENAGEM ENTRE A CARTA DO EXÉRCITO, ODR_HIDRO E SRTM ORIGINAL

Para averiguar qual o teste estatístico que deve ser aplicado para comprovação ou rejeição da hipótese, verificou-se a normalidade das amostras por meio do teste de normalidade Kolmogorov – Smirnov, conhecido como estatística KS, (Tabela 4), que é indicado para amostras igual ou superior a 30 elementos. A estatística KS calculada 0,00572 é maior que o valor-p calculado 0,0243, indicando que o conjunto amostral não segue um padrão normal, assim como o valor-p calculado 0,0243 é menor do que o nível de significância de 0,05, reafirmando que os dados não se ajustam a distribuição normal.

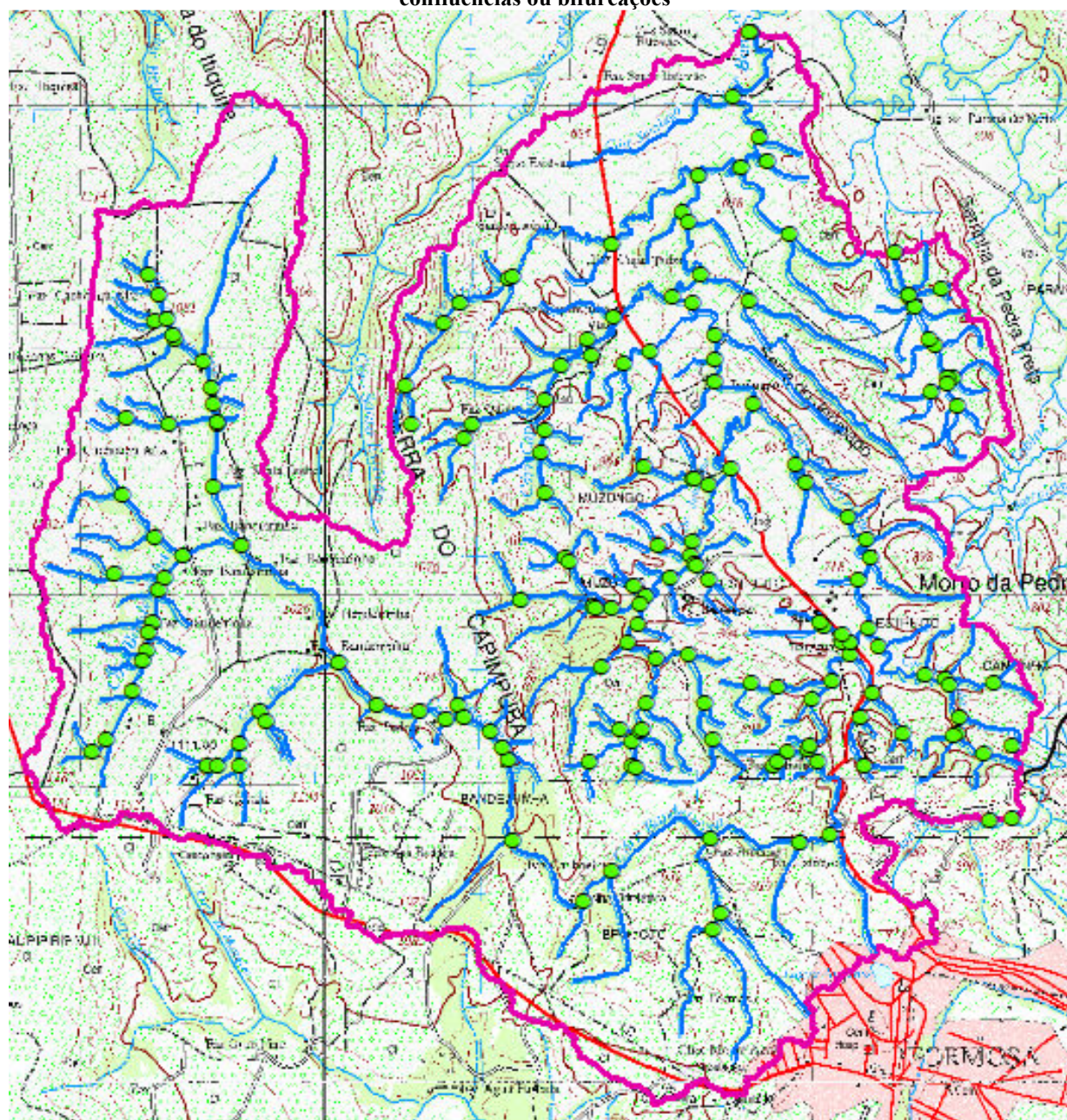
Ao aferir que a distribuição das amostras não segue um padrão normal de distribuição, considerando ainda o tamanho do universo amostral, foi utilizado um teste não paramétrico para a análise estatística dos dados. A metodologia utilizada para efetuar a análise estatística dos produtos obtidos, foi a estatística U, ou teste de *Mann-Whitney*, que é um teste não paramétrico, utilizou-se como verdade de campo duas cartas topográficas da DSG em formatos vetorial (Figura 44) e matricial, MI - 2216 - Carta Topográfica Matricial - FORMOSA-SD-23-Y-C-V e MI - 2272 - Carta Topográfica Matricial - VILABOA-SD-23-Y-C-II, 2ª Ed. 2006, ambas na escala de 1:100.000 (Figura 45).

Tabela 4 - Teste de Normalidade

Testes	Estatísticas	P-valores
Kolmogorov – Smirnov (KS)	0,057261354	0,0243

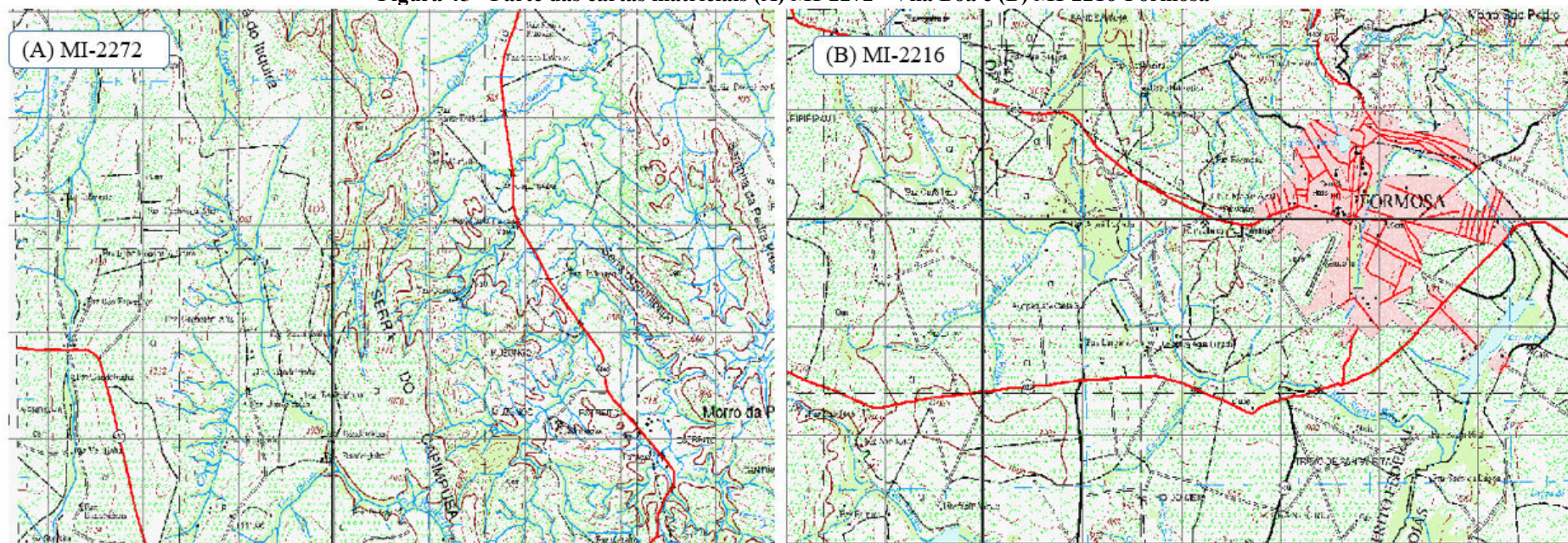
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Representação do arquivo vetorial sobrepondo o matricial com pontos das respectivas confluências ou bifurcações



Fonte: Elaborado pelo autor.

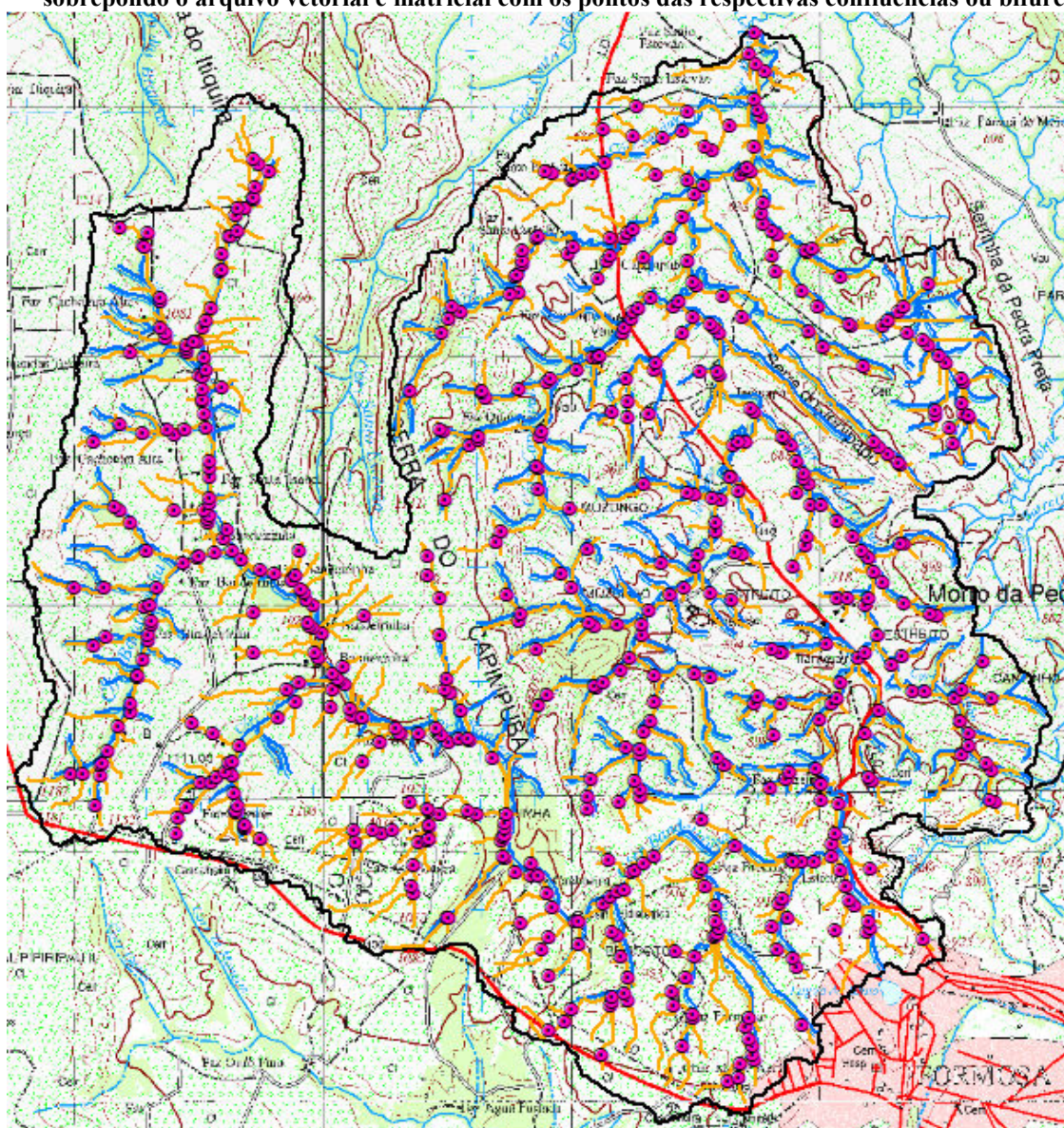
Figura 45 - Parte das cartas matriciais (A) MI-2272 - Vila Boa e (B) MI-2216-Formosa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio das cartas topográfica do Exército (MI - 2216 e MI – 2272) em formato vetorial, determinou-se as confluências da rede de drenagem (Figura 44), obtendo população amostral de 143 pontos, tendo sido utilizados todos os pontos de confluências, conforme demonstrado na Figura 44. A obtenção dos pontos de confluências, representados por meio das coordenadas E e N, forneceu subsídios necessários para análises comparativas dos pontos de confluências ou bifurcações geradas das outras 02 amostras de pontos obtidas (Figuras 46 e 47).

Figura 46 - Representação do arquivo vetorial extraído do SRTM segmentado com auxílio do ODR_Hidro sobrepondo o arquivo vetorial e matricial com os pontos das respectivas confluências ou bifurcações



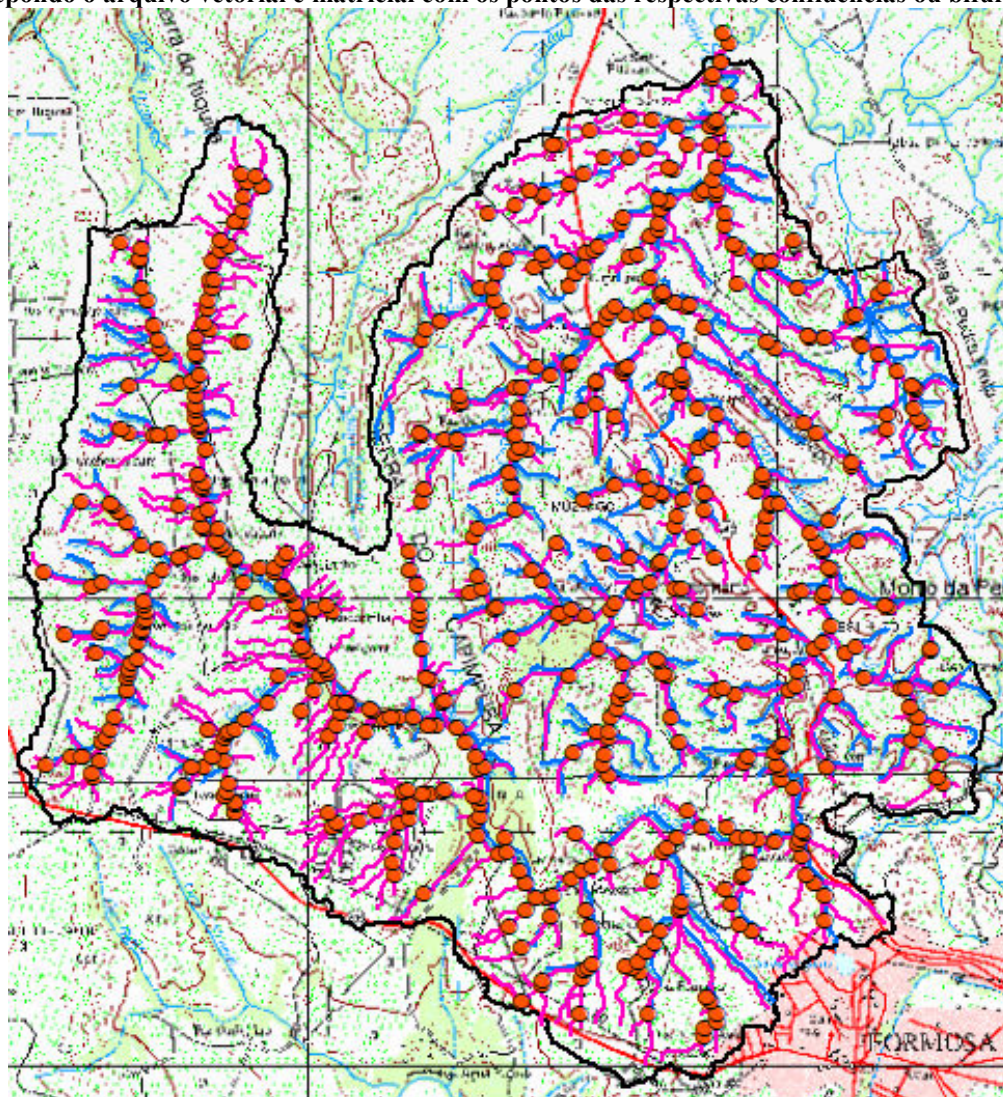
Fonte: Elaborado pelo autor.

As coordenadas E e N dos pontos de confluência obtidas nas cartas do Exército foram comparadas às obtidas na imagem SRTM segmentada com o auxílio do algoritmo ODR_Hidro. Os dados estatísticos obtidos das coordenadas (média, mediana, desvio padrão,

valores máximo e mínimo) foram utilizados para efetuar o teste de *Mann-Whitney*. Dos 03 conjuntos de amostras, 02 tiveram suas confluências extraídas utilizando o ODR_Hidro, sendo um com o SRTM segmentado e o outro com o SRTM original. O último conjunto de amostras foi extraído utilizando as cartas topográficas do Exército, com o auxílio do ArcGIS.

Para a identificação das confluências utilizando o ODR_Hidro, o algoritmo baseou-se em segmentos, cujo nó inicial representa a nascente e o nó final a sua junção em outro canal (Figura 14), assim, é gerado em todos os segmentos uma feição tipo ponto no início e no final de cada um. Ao exportar esses elementos para o ArcGIS ou QGIS, os nós iniciais são descartados, restando apenas os nós que representam as confluências ou bifurcações de cada drenagem. A partir daí, as coordenadas das respectivas confluências são extraídas, tendo em vista que todos os dados foram normalizados no início do processo.

Figura 47 - Representação do arquivo vetorial extraído do SRTM original com auxílio do ODR_Hidro sobrepondo o arquivo vetorial e matricial com os pontos das respectivas confluências ou bifurcações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente à determinação do número amostral dos 03 conjuntos de dados, calculou-se as discrepâncias relativas às coordenadas de cada ponto de confluência e efetuou-se os cálculos da média, da variância e do desvio padrão das amostras, tendo como referência os dados determinados a partir das cartas topográficas do Exército. Com a obtenção dos dados estatísticos, estabeleceu-se as hipóteses a serem testadas, aplicando o teste *Mann-Whitney*. Nesse sentido, a hipótese testada (hipótese nula) é aquela cuja população de referência amostral (cartas do Exército) apresenta as médias das discrepâncias das coordenadas encontradas para os eixos E e N dos pontos de confluências iguais ou similares àquelas que foram produzidas pelo modelo ODR_Hidro, tanto na imagem SRTM segmentada quanto na do SRTM puro.

Por outro lado, a hipótese alternativa a ser confrontada será a média das discrepâncias dos afastamentos das coordenadas E e N das confluências ou bifurcações das duas populações a serem testadas, não sendo iguais àquelas produzidas pelas médias das discrepâncias das coordenadas de referências, obtidas por meio das cartas do Exército, tendo como nível de significância 05% para o teste de *Mann-Whitney*.

Com as hipóteses formuladas extraiu-se os valores da estatística U para valor-p (Tabela 5), obtendo-se resultados distintos entre os três grupos amostrais, referente aos afastamentos das coordenadas dos eixos E e N. Concernente aos dados apurados entre a carta do Exército e o modelo ODR_Hidro, por meio da imagem segmentada, os resultados obtidos através da estatística U do teste de Mann-Whitney, referente a coordenada do eixo E, apontou similaridade no valor-p calculado de 0,9954% de significância (Tabela - 5), sugerindo que não há diferenças significativas entre os dados amostrais, implicando na aceitação da hipótese nula.

Relacionado aos valores do teste estatístico obtidos para as coordenadas dos eixos E, entre os valores das coordenadas obtidos pela carta topográfica do Exército, e os valores obtidos pelo ODR_Hidro, utilizando a imagem do SRTM não segmentada, estatisticamente os resultados apontaram similaridade através do valor-p calculado de 0,9909% (Tabela - 5). Tratando ainda das coordenadas do eixo E, ao comparar os resultados produzidos entre o ODR_Hidro, por intermédio do SRTM segmentado e o SRTM não segmentado, os resultados também se mostraram bem ajustados. O valor-p calculado foi de 0,9954% (Tabela - 5), implicando na aceitação da hipótese nula, cuja diferenças amostrais não apresentam afastamentos significativos.

Por outro lado, ao observar os ajustamentos relacionados as coordenadas dos eixos N, as mesmas não mostraram tão acuradas como as coordenadas dos eixos E. Os resultados apontados na tabela 5, mostraram que há afastamentos significativo referente aos dados produzidos pela carta do Exército em comparação aos encontrados pela imagem *raster* do SRTM segmentado, efetuados pelo ODR_Hidro. Observa-se que a estatística U calculada, cujo valor-p encontrado foi de 0,8919% (Tabela - 5), apontando para não similaridade do grupo amostral, inferido que a hipótese nula deve ser rejeitada, e conseqüentemente o aceite da hipótese alternativa. Da mesma forma, ao comparar os dados obtidos entre a carta topográfica da DSG e os dados produzidos pelo ODR_Hidro, utilizando a imagem do SRTM não segmentada, mostrou-se que os dados não possuem similaridades para um alfa de 5%, tendo em vista que o valor-p calculado foi de 0,8976% (Tabela - 5). Portanto, conforme a literatura, rejeita-se a hipótese nula de que as medias produzidas pelos afastamentos entre as coordenadas dos eixos N para estas duas comparações, tendo em vista que o valor apurado, indicou que as mesmas não possuem medias iguais.

Tabela 5 - teste de Mann-Whitney, com duas amostras admitindo variações iguais

Carta DSG (E) vs ODR_IMG_SEG (E)			Carta DSG (N) vs ODR_IMG_SEG (N)		
Amostras (N=143) vs (N=143)			Amostras (N=143) vs N=143)		
Mean ranks:	71,77	71,73	Mean ranks:	72,08	71,42
T=Ub:	1,02E+04		T=Ub:	1,01E+04	
p(same):	0,9954		p(same):	0,8919	
Monte Carlo p:	0,9952		Monte Carlo p:	0,8955	
Carta DSG (E) vs ODR_IMG_N_SEG (E)			Carta DSG (N) vs ODR_IMG_N_SEG (N)		
Amostras (N=143) vs (N=143)			Amostras (N=143) vs N=143)		
Mean ranks:	71,78	71,72	Mean ranks:	72,07	71,43
T=Ub:	1,02E+04		T=Ub:	1,01E+04	
p(same):	0,9909		p(same):	0,8976	
Monte Carlo p:	0,9903		Monte Carlo p:	0,8954	
ODR_IMG_SEG (E) vs DR_IMG_N_SEG (E)			ODR_IMG_SEG (N) vs ODR_IMG_N_SEG (N)		
Amostras (N=143) vs (N=143)			Amostras (N=143) vs N=143)		
Mean ranks:	71,73	71,77	Mean ranks:	71,77	71,73
T=Ub:	1,02E+04		T=Ub:	1,02E+04	
p(same):	0,9954		p(same):	0,9954	
Monte Carlo p:	0,9947		Monte Carlo p:	0,9959	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, os valores encontrados relativos as coordenadas do eixo N, na comparação entre o ODR_Hidro utilizando o SRTM segmentado e os resultados encontrados pelo ODR_Hidro com o SRTM original, cujo valor-p calculado foi de 0,99544% (Tabela - 5), indicando estatisticamente que os dados obtidos apresentam similaridade, corroborando para aceitação da hipótese nula, ou seja, é possível afirmar que não há afastamentos significativos entres estes dois grupos de amostras, sugerindo que estas amostras possam ter vindo de populações com médias iguais. O teste U de Mann-Whitney mostrou similaridade estatística entre as variâncias das coordenadas E, tanto obtidas nas cartas do DSG como no modelo com e sem dados segmentados. Porém, não houve similaridade estatística nas coordenadas N dos dois conjuntos de dados e isso pode ser decorrente tanto da linearidade das drenagens obtidas no SRTM como por detalhes obliterados nos dados do DSG devido à escala.

Embora o teste estatístico em duas comparações tenha apontado para a rejeição da hipótese nula, onde as médias das coordenadas das bifurcações obtidas da carta vetorial da DSG, tanto no eixo E, quanto no eixo N, e comparadas com as coordenadas das bifurcações, obtidas através do mapeamento do ODR_Hidro nos eixos E e N, utilizando a imagem segmentada, ao serem testadas deveriam serem iguais ou com variações aceitáveis, conforme apontado pela estatística do teste de *Mann-Whitney*. Contudo, há também de se observar que assim como os dados vetoriais das drenagens da BHCB disponibilizado pela DSG, como as imagens originais do SRTM não passaram por correções relacionadas ao posicionamento (qualidade no Georreferenciamento), uma vez que este não era o propósito da pesquisa, pode ter influenciado para as discrepâncias encontradas nos eixos E e N.

Os resultados alcançados apontam que o modelo ODR_Hidro, embora tenha produzido resultados similares aos dados obtidos com o uso do ArcGIS, no que tange à área, perímetro e número de canais, mostrou-se eficiente ao produzir dados tanto usando a imagem segmentada e como a não segmentada, em comparação com os dados extraídos do arquivo vetorial e do *raster* da carta topográfica do Exército.

O modelo ODR_Hidro carece de outras aplicações concernentes à produção de dados geomorfométricos utilizando escalas de estudos diferentes da que foi proposta neste estudo, com o intuito de efetuar ajuste adequado no modelo, haja vista que uma vez bem ajustado, poderá contribuir para produção de dados geomorfométricos em larga escala e com tempo de produção bem reduzido, auxiliando o usuário na obtenção dos índices de análise de morfometria de bacias hidrográficas, pois o processamento desses dados acontece de forma acelerada e totalmente automatizada.

5 CONCLUSÕES

Pode-se relacionar as principais conclusões como: a hipótese de que a aplicação de técnicas de segmentação de imagens trará respostas mais eficientes para a extração de dados visando à modelagem geomorfológica de bacias hidrográficas, pode ser confirmada, tendo em vista que a maior parte dos resultados apontou para a aceitação da hipótese, assim como os resultados da validação de campo, que também corroboraram para a confirmação de aceite da hipótese. Ao efetuar a comparação dos resultados encontrados com os obtidos por meio do SRTM original e com a classificação hierárquica feita de modo manual, confirmou-se que as técnicas de segmentação de imagens pode contribuir para a obtenção de resultados mais expressivos no que tange a extração de índices de bacias hidrográficas. Por outro lado, utilizando a estatística do teste de *Mann-Whitney*, aplicando o teste de hipótese de similaridade para um conjunto de 6 amostras, apenas 02 destes conjuntos de amostras tiveram suas hipóteses não confirmadas, ao utilizar os resultados obtidos com a carta gerado pela DSG. Entretanto, os resultados produzidos com o ODR_Hidro utilizando a imagem do SRTM segmentado, comparados com os dados obtidos do SRTM não segmentado, apontou para a aceitação da hipótese nula.

O mapeamento efetuado através da validação de campo, comprovou in-loco a existência das drenagens, mapeadas com o ODR_Hidro, extinguindo assim qualquer dúvida relacionada a existência física destes canais. Há de ser ressaltado que as cartas topográficas da DSG, tanto em formato vetorial quanto em formato raster, cuja escala apresentada é de 1:100.000, contribuíram de forma expressiva para a rejeição da hipótese nula (Tabela 5). Foi possível observar que as cartas topográficas de escala de 1:100,000 apresentam inconsistências de altimetria, conforme foi apresentado na figura 36 A, B, C e D. Os resultados obtidos apontaram para rejeição da hipótese nula apenas para as coordenadas dos eixos N, nos dados que foram comparados com os produtos fornecidos pela DSG. Todavia, essa rejeição da hipótese nula, não se confirmou para as coordenadas dos eixos E. Os dados produzidos através do SRTM segmentado e não segmentado, assim como a validação de campo não confirmaram a rejeição da hipótese, indicando que o mapeamento efetuado através do ODR_Hidro, esteja correto, conforme foi corroborado através da figura 36, apontando que o mesmo ao trabalhar com a imagem segmentada do SRTM, mapeou os canais de drenagens em escala melhor que 1:50.000, melhorando a qualidade do SRTM.

Os resultados produzidos utilizando a segmentação do SRTM, com a delimitação da BHCB, extração e ordenação dos canais conforme observado na da Figura 42, comportaram-

se de forma similar quando em comparação aos dados produzidos com auxílio do programa ArcGIS, usando a imagem do SRTM original (Figura 43) e com a classificação hierárquica feita manualmente, diferindo apenas uma ordem na classificação fluvial (Figura 41). Destaca-se que essa diferença está atrelada ao fato de que a segmentação possibilitou o melhoramento da imagem raster utilizada para o mapeamento através do ODR_Hidro, assim, o modelo utilizando a imagem segmentada, mapeou em escala melhor do que aquela que é compatível com o SRTM original, haja visto a quantidade de drenagens que foi mapeada pelo modelo e comprovada a sua existência através da validação de campo.

Com relação ao formato da bacia, os dados produzidos pelo modelo ODR_Hidro, utilizando a imagem segmentada do SRTM, comparados aos dados obtidos pelo ArcGIS e pelo ODR_Hidro usando a imagem do SRTM original, não apresentaram diferenças que pudessem ser consideradas relevantes para a pesquisa, observando também que a escala do trabalho não é considerada como escala de detalhe. Essas pequenas nuances ou diferenças só podem ser observadas com auxílio de software específico e ferramenta de zoom. No que tange ao padrão de drenagem e ao comportamento do traçado da rede hidrográfica, os dados produzidos pela segmentação do SRTM, comparando com a rede de drenagem da carta topográfica do Exército, equivalem-se tanto no padrão quanto no traçado das drenagens, conforme apontado nas Figuras 42 e 43.

Referente ao número de canais produzidos pelo modelo ODR_Hidro, por meio da segmentação do SRTM, que diferiu do número de canais contido na carta topográfica do Exército, isso se deve ao fato de que o valor do limiar “Filed_file” (Figura 28) influenciou diretamente na densidade de produção da rede de drenagem. Embora o limiar utilizado tenha adensado a rede de canais, foi o que mais se ajustou para a extração dos canais. Esse detalhe pode ser observado nas Figuras 42 e 43, como também se verifica que todos os canais presentes na carta foram sobrepostos ao canal gerado pelo modelo ODR_Hidro.

No que tange a definição do Rio Principal, foi analisado se a rede de drenagem apresentava controle estrutural, fato não comprovado em razão de grande parte (quase a totalidade) que, na classificação de Christofletti (1980), apresenta um padrão de drenagem dendrítica. Assim, utilizou-se para definição do canal principal o conceito do menor ângulo, atrelado ao canal de maior distância entre a nascente e a foz, ligado a maior área drenada e vinculado com a maior altitude nascente principal. A aplicação levou a uma configuração diferente da usualmente definida por Pimenta et al., (2015).

As variáveis topográficas do SRTM foram extraídas das imagens segmentada e original. As variáveis extraídas da imagem segmentada contribuíram para a estruturação e

construção do modelo proposto, enquanto as retiradas da imagem não segmentada contribuíram no sentido de fornecer subsídios para auxiliar nas comparações e avaliações utilizadas para efetuar a validação dos dados obtidos a partir do processamento no modelo geomorfométrico.

Os dados obtidos pela segmentação do SRTM, tais como: área, perímetro, Coeficiente de compacidade (Kc), Coeficiente de manutenção (Cm), Índice de circularidade (Ic), Fator de forma (Kf), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Número total dos canais, Densidade hidrográfica (Dh), Relação de bifurcação (Rb), Comprimento do canal principal (Ccp), linha reta da nascente à foz, Comprimento total da rede de drenagem (Ctr), hierarquização de canais, Índice de rugosidade (Ir), Coeficiente de rugosidade (CR), Amplitude altimétrica e Altitudes máxima e mínima, atendem ao propósito da pesquisa, que se apresenta na escala de 1:100.000, e podem ser aproveitados em outros estudos com escalas menores.

Os dados relacionados à área, perímetro, canais hierarquizados etc. foram todos analisados e os resultados mostraram-se bastantes significativos, tendo em vista que os cálculos de área, perímetro e hierarquização da rede de drenagem comportaram-se de forma similar aos dados produzidos pela classificação manual e pelos dados obtidos com o auxílio do ArcGIS. Ao considerar a escala da pesquisa, o erro planimétrico ocorrido entre os resultados produzidos pelo modelo ODR_Hidro e os produzidos pelo processamento no ArcGIS foi da ordem de 7,8% e deve ser desconsiderado, pois a escala utilizada, de 1:100.000, não permite a visualização de detalhes. Portanto, todos esses índices geomorfométricos poderão ser aproveitados em estudos com escalas maiores, como 1:50.000 ou 1:25.000.

Mesmo, o teste estatístico de *Mann-Whitney*, apontando para a rejeição da hipótese, de dois conjuntos de amostras do Eixo N, tendo em vista que os afastamentos obtidos a partir dos pontos de confluências da drenagem da BHCB divergem da hipótese de que as coordenadas das confluências não teriam afastamentos significativos, ou seja, as coordenadas relativas aos eixos E e N não deveriam possuir discrepância maior do que aquelas apontadas, por meio do valor do cálculo do teste de *Mann-Whitney* (Tabela 5), e sim deveriam ficar dentro da faixa de aceitação da hipótese nula, o que não se concretizou. Contudo, ficou evidenciado que em função da qualidade do Georreferenciamento dos dados vetoriais do exército, contribuiu de forma significativa para a rejeição da hipótese em dois dos seis conjuntos amostrais. Entretanto, através dos resultados obtidos e reafirmado pela validação de campo, é possível

concluir que os resultados produzidos através do mapeamento do ODR_Hidro são totalmente satisfatórios, atendendo aos pré-requisitos da pesquisa.

Todavia, essa densidade de canais produzida com o modelo ODR_Hidro, utilizando a segmentação do SRTM, deve ser melhor analisada, aplicando-se a outras bacias que possuam diferentes conformações topográficas e com o uso de outros produtos para geração de modelos do terreno, como curvas de nível e produtos orbitais, como por exemplo o Alos Palsar e, ainda, utilizando diferentes escalas. Ressalta-se que a topografia da BHCB em sua maior parte é composta por relevo com alto índice de rugosidade, o que possibilitaria a existência de pequenas drenagens por onde a água facilmente poderia escoar, e estas por sua vez, foram mapeadas pelo ODR_Hidro. Da mesma forma, o emprego do modelo ODR_Hidro utilizando escalas maiores, como é o caso de 1:50.000 ou 1:25.000, deve ser considerado, pois o estudo restringiu-se apenas a dados na escala de 1:100.000, desconhecendo o comportamento do modelo para extração dos dados geomorfométricos na proporção de outras escalas.

O modelo desenvolvido além de acelerar, qualifica o processo de obtenção dos dados geomorfométricos, embora os resultados apresentados, mesmo divergindo dos dados produzidos com o uso da carta topográfica planialtimétrica obtida da DSG, demonstrados por meio do teste de *Mann-Whitney*. Essa divergência pode ser atribuída ao mapeamento executado pelo modelo ODR_Hidro, utilizando a imagem do SRTM segmentada para a produção da rede de canais, demonstrando através da validação de campo que o modelo ODR_Hidro utilizando o SRTM segmentado, mapeou em escala melhor do que 1:50.000. Contudo, é prudente efetuar novos testes em outras bacias com conformações topográficas diferentes para melhor aferição do modelo.

REFERÊNCIAS

- ACUNHA, G. G.; MITISHITA, E. A. Um exercício de identificação automática de desatualizações na representação de edificações em bases cartográficas de áreas urbanas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, 2016.
- ALBUQUERQUE, L. B.; SAKAMOTO, A. Y. Análise ambiental e o sistema hidrográfico do córrego do Porto, Três Lagoas (MS) para fins de planejamento ambiental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 1, 2015, p. 5-18.
- ALMEIDA, F. B.; BAYER, R. M.; JÚNIOR, L. G. F. Compartimentação morfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio à análise de fragilidade ambiental (Morphometric compartmentation of the Coco River basin as subsidy to analysis of environmental fragility). **Revista Mercator**, v. 15, n. 4, 2016, p. 83-94.
- ALMEIDA, L. F. F.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Análise de imagem baseada em objeto para classificação das fisionomias da vegetação em imagens de alta resolução espacial. **Geociências (São Paulo)**, v. 32, n. 3, 2013, p. 441-451.
- ALMEIDA, W. S.; DE SOUZA, N. M.; JUNIOR, D. S. R.; & DE CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2014.
- 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 - PPGeo-UFJF**, v. 6, n. 4, 2017.
- ANDRADES FILHO, C. O.; ZANI, H.; RIBEIRO, B. M. G. Cronologia relativa de eventos deposicionais no megaleque do Rio Taquari revelada por hipsometria. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 27, 2016, p. 51-67.
- ANTUNES, A. F. B. Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 9, n. 1, 2003.
- ANTUNES, F. S.; NEVES, L. V.; SILVA, K. S.; & GRAÇA, A. J. S. Análise da integração entre Sensoriamento Remoto e SIG na classificação da cobertura da terra em Duque de Caxias/RJ. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 1, 2017, p. 82-102.
- APOLINÁRIO, O. K. S.; SOUZA, B. I.; ALMEIDA, N. V. Diagnóstico físico conservacionista e degradação ambiental no município de Cabaceiras-PB. **Revista Okara: Geografia em debate**, v. 8, n. 2, 2014, p. 377.
- ASSIS, F. R. V.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; SANTOS, H. C. M.; MEDEIROS, J. X. Uso do geoprocessamento no estudo da cobertura dos solos no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4b, 2012.
- ATAIDE, L. C. P.; RODRIGUES, R. S. S.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n. 1, 2017, p. 130-133.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, AGIT Symposium. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: Herbert Wichmann, 2000, p. 12-23.

BAND, L. E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water resources research**, v. 22, n. 1, 1986, p. 15-24.

BAPTISTA, G. M. D. M., VIVALDI, D. D., & MENESES, P. R. (2016). Atmospheric and crosstalk corrections in Aster data for the mapping of soil mineralogical relationship. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1272-1282.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo EDUSP, 2000, p.187-207.

BEREZUK, A. G.; MARTINS, J. H. P.; DO NASCIMENTO RIBEIRO, A. F.; & DE ALCÂNTARA LIMA, P. Análise morfométrica linear e areal da bacia hidrográfica do Amambai-Mato Grosso do Sul-Brasil. **Revista Eletrônica AGB-TL**, v. 1, n. 20, 2014, p. 8-38.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, 2012, p. 159-168.

BERTOSSI, A. P. A.; KLIPPEL, V. H.; OLIVEIRA PELUZIO, T. M.; MENEZES, J. P. C.; & CECÍLIO, R. A. Análise morfométrica da sub-bacia do Córrego Horizonte, Alegre-ES, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). **Nucleus**, v. 8, n. 2, 2011.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação, sua interpretação e importância. Curitiba: Editora UFPR, 1979, p. 183.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, n. 65, 2010, p. 2-16.

BLASCHKE, T.; FEIZIZADEH, B.; HÖLBLING, D. Object-based image analysis and digital terrain analysis for locating landslides in the Urmia Lake Basin, Iran. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 7, n. 12, 2014, p. 4806-4817.

BORSATO, F. H., MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Human and Social Sciences, v. 26, n. 2, 2004, p. 273-285.

BRASIL. Decreto-Lei n. 94.076, de 05 de março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 06 de março de 1987. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1985-1987/D94076.htm>; Acesso em: 21 mai. 2017.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Plano diretor do Município de Formosa - GO. **Relatório final consolidado**. Revisão final, 2003, p. 188. Disponível em: <<http://livrozilla.com/download/932022>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

BRAZ, A. M.; BRAZ, A. M.; BARROS, M. H. S.; & GARCIA, P. H. M. Validação das classificações das imagens dos satélites Landsat 8 e Sntinel-2 na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho/MS. **Revista Eletrônica AGB-TL**, v. 1, n. 26, 2017, p. 47-58.

BRITO, D. D. S.; GRANGEIRO, C. M. M. Análise ambiental da microbacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, Ceará. **GEOSABERES - Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 3, 2016, p. 72-83.

BURIOL, T. M.; BENETI, C. Visualização científica interativa de dados de radar meteorológico. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 3, n. 1, 2015.

BUSTOS, X.; BERMÚDEZ, M. A. Determinación y comparación de índices de erosión teóricos en cuencas del flanco surandino venezolano, apoyado en sistemas de información geográfica y programación Python. Caracas, Venezuela: Terra Nueva, 2017.

CAMPANHARO, W. A. et al. Utilização de geotecnologias para análise morfométrica e diagnóstico ambiental de microbacia hidrográfica no Espírito Santo. In: SANTOS, A. R. et al. (Org.). **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**. 1. ed. Suprema, 2012, p. 210-222.

CAMPOS, S.; SILVA, C. O. D.; GARCIA, Y. M. Avaliação morfométrica da microbacia do Ribeirão Benfica-Piquete (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 2012, p. 407-421.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, 2015, p. 40-55.

CARUSO, A.; RIDOLFI, L.; BOANO, F. Impact of watershed topography on hyporheic exchange. **Advances in water resources- Elsevier**, v. 94, 2016, p. 400-411.

CASAGRANDE, L.; CAVALLINI, P.; FRIGERI, A.; FURIERI, A.; MARCHESINI, I.; & NETELER, M. G. **GIS Open Source**. GRASS GIS, Quantum GIS e Spatialite. Dario Flaccovio Editore S.r.l., 2012. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/r.to.vect.html>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

CENTENO, J. A. S. Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais. Curitiba: UFPR, 2010, p. 219.

CHAURASIA, V.; PAL, S. Early prediction of heart diseases using data mining techniques. **Caribbean Journal of Science and Technology**, v. 1, 2013, p. 208-217.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. 14. imp. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, p. 188.

CHRISTOFOLETTI, A. Morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 36, 1978, p. 130-142.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. New method for positional cartographic quality control in digital mapping. **Journal of Surveying Engineering**, v. 141, n. 3, 2015.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. D. N.; LIMA, E. R. V.; NETO, A. R.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, 2014, p. 64-72.

COHEN, Y.; SHOSHANY, M. Analysis of convergent evidence in an evidential reasoning knowledge-based classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, 2005, p. 518-528.

COLARES, I. V. V.; OLIVEIRA NUNES, M. T.; SOUSA, G. M., & COUTO FERNANDES, M. Aplicação de GEOBIA para classificação da cobertura da terra no Parque Nacional do Itatiaia. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 1, 2015, p. 19-26.

CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V., AND BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, **Geosci. Model Dev.**, v. 8, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>>, Acesso em: 21 ago. 2018.

COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B.; FERREIRA, R. S.; & CASTEJON, E. F. Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the interimage system: major characteristics and recent developments. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on 102 Geographic Object-Based Image Analysis - GEOBIA 2010**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII. ITC, Enshede, 2010.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; & OLIVEIRA, D. A. B. INTERIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, 2008, p. 331-337.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 5691-5698.

DÉSTRO, G. F. Diagnóstico físico-conservacionista no estudo dos conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, 2010.

DINIZ, J. M. F. D. S. et al. Detection of mining area expansion in the Ferriferous Quadrangle, Minas Gerais, from 1985 to 2011 by means of remote sensing techniques. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, 2014, p. 683-700.

DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D.; & OLIVEIRA, Y. M. M. Índice para a avaliação de segmentação de imagens. **Floresta**, v. 39, n. 1, 2009.

DOS SANTOS, J. A. E.; IMBERNON, R. A. L. A concepção sobre natureza e meio ambiente para distintos atores sociais. **Terra e Didática**, v. 10, n. 2, 2014, p. 151-159.

DOS SANTOS, L. L. M.; RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M. Morfometria das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n. 1, 2017, p. 66-75.

DOUBRAWA, B. et al. Remoção de CO² associada à dinâmica da cobertura florestal na bacia hidrográfica do rio Iguazu no período 2000-2010. **Interciência**, v. 39, n. 8, 2014.

DRĂGUȚ, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, n. 3-4, 2006, p. 330-344.

DURO, D. C.; FRANKLIN, S. E.; DUBÉ, M. G. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 118, 2012, p. 259-272.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006, p. 306.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013, p. 353.

ESTEVEZ, E. T.; MATTIOLI, F. E. R.; ANDRADE, R. B. Predição de casos de dengue utilizando redes neurais artificiais. **Jornal de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente-JETMA**, v. 1, n. 2, 8, 2017.

FARIA, A. D. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. [Tese não publicada - Universidade de Brasília]. Brasília, 1995, p. 199.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996, p. 90.

FELTRAN FILHO, A.; & LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do Rio Uberabinha-Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, vol. 19, n. 1, 2007, p. 65-80.

FERNANDES, P. E. C. A. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD 23 Brasília: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1982, p. 25-204.

FERNÁNDEZ, D. C. J. et al. Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 3, 2012.

FERRARI, J. L.; SILVA, S; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, 2013, p. 181-188.

FERREIRA, D. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do Rio Tietê. **HOLOS**, v. 2, 2015, p. 50-68.

FERREIRA, G. A.; OLIVEIRA FERREIRA, V.; & BRITO, J. L. S. FISIOGRAFIA DA SUB-BACIA DO RIO DAS PEDRAS, EM UBERLÂNDIA E TUPACIGUARA. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 14, n. 45, 2013, p. 81–99.

FERREIRA, N. H.; FERREIRA, C. A. B. V.; PIROLI, E. L. Análise ambiental da microbacia do Córrego Água da Onça com a utilização de geoprocessamento no município de Avaré/SP. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.12, n. 4, 2016.

FERREIRA, R. D. S.; COSTA, G. A.; FEITOSA, R. Q. (2013). Avaliação de critérios de heterogeneidade baseados em atributos morfológicos para segmentação de imagens por crescimento de regiões. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 3.

FIGUEIREDO, A. V. A.; MAROTI, P. S. Bacia hidrográfica do Rio Sergipe – Significado, identidade e escolha de usos a partir da percepção dos membros do Comitê (Gestão 2008-2010). **REDE - Revista Eletrônica do ProdeMA**, 2011, p. 22-41.

FOLHARINI, S. D. O.; SOUZA, S. O. Classificação geobia aplicada à gestão de bacias hidrográficas: o caso da microbacia do córrego Monte Alegre (Geobia classification applied to the watershed management: case of watershed of monte alegre stream). **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris: PUF, 1960.

FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Avaliação de desempenho de atributos estatísticos e texturais em uma classificação de cobertura da terra baseada em objeto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, n. 2, 2012.

FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, 2012.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribution of morphometry to flood studies in the Luís Alves Basin/SC, Brazil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 3, 2015, p. 151-167.

FRÓES FILHO, A. S.; COSTA, J. R.; ZIMMER, J. R.; & CASTRO, P. Aplicação do método “verah” para a determinação da suscetibilidade a erosões na microbacia do córrego Tereza Botas, Poconé, Mato Grosso. **Geociências (São Paulo)**, v. 34, n. 2, 2016, p. 286-301.

GARCIA, Y. M. Aplicação do Código Florestal como subsídio para o planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó - São Paulo. [Trabalho de conclusão de bacharelado em Geografia - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 145 f.]. São Paulo, 2011.

GDAL/OGR contributors. **GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library**. Open Source Geospatial Foundation. 2018. Disponível em: <<http://gdal.org>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

GHIMIRE, M. Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. **Geomorphology**, v. 204, 2014, p. 192-207.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.

GOMES, D. D. M. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista de Geologia- UFC**. Fortaleza/Ceará, 2014.

GOMES, M.; SANTOS, D. J.; JANSEN, D. C., & MANSUR, M. F. Aplicação do índice para avaliação de segmentação (IAVAS) no mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 3, 2013, p. 12-34.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing New Jersey**, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com/books?id=IDojQwAACAAJ&pgis=1>>. Acesso em: 23 out. 2017.

GOODCHILD, M. F.; LI, L. Assuring the quality of volunteered geographic information. **Spatial statistics - Elsevier**, v. 1, 2012, p. 110-120.

GOODIN, D. G.; ANIBAS, K. L.; BEZYMENNYI, M. Mapping land cover and land use from object-based classification: an example from a complex agricultural landscape. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 18, 2015, p. 4702-4723.

GUI, R.; XU, X.; DONG, H.; SONG, C.; & PU, F. Individual building extraction from TerraSAR-X images based on ontological semantic analysis. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, 2016, p. 708.

HAPP, P. N.; FEITOSA, R. Q.; BENTES, C.; & FARIAS, R. A region growing segmentation algorithm for GPUs. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 2, 2013, p. 208-226.

HOFFMANN OLIVEIRA, A.; DA SILVA, M. A.; NAVES SILVA, M. L.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; CAMARGOS LIMA, G.; & PEREIRA, P. H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema - MG. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, 2012.

HOFMANN, P. Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. **GeoBIT/GIS**, v. 6, n. 1, 2001, p. 28-33.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc America Bulletin**, v. 3, n. 56, 1945.

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, 1988, p. 1593-1600.

JORGE, A. A. S.; DA SILVA, A. C. S.; DE MELLO ANAYA, L.; DO NASCIMENTO, J. R.; & SANTOS, L. B. L. Free computational approach for Strahler classification of Brazilian rivers related to natural disasters. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 8, n. 1, 2015, p. 23-34.

JUNIOR, E. B. F.; DIAS, W. R.; RIBEIRO, E. S. Funcionamento hídrico da cobertura pedológica de uma cabeceira de curso d'água afluente do Rio São Lourenço em Campo Verde-MT. **Biodiversidade**, v. 14, n. 1, 2015.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; LUCHIARI, A. Mapeamento do desmatamento em São Félix do Xingú utilizando composição colorida multitemporal de imagens frações sombra. **Revista da ANPEGE**, v. 9, n. 11, 2017, p. 119-133.

- KUNTSCHIK, D. P.; EDUARTE, M.; UEHARA, T. H. K. **Matas ciliares**. V. 7. SMA, 2011.
- LAMBRECHT, F. R.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M. **Incremento diamétrico de *Tabebuia Aurea* no bioma cerrado, Formosa, GO**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2016.
- LATRUBESSE, E. M. **Mapa geomorfológico do estado de Goiás**. Relatório final. Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração-Goiás. Goiânia, 2005.
- LATRUBESSE, E.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal**. Superintendência de Geologia e Mineração-Série Geologia e Mineração, v. 2, 2006.
- LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise Morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do Córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. **Floresta**, v. 46, n. 4, 2016, p. 439-446.
- LEOTTI, V. B.; COSTER, R.; & RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA. Porto Alegre**. Vol. 32, no. 2 (2012), p. 227-234.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. S: Oficina de textos, 2016.
- LI, D.; WANG, X.; ZHENG, H.; ZHOU, K.; YAO, X.; TIAN, Y.; & CHENG, T. Estimation of area-and mass-based leaf nitrogen contents of wheat and rice crops from water-removed spectra using continuous wavelet analysis. **Plant methods**, v. 14, n. 1, 2018, p. 76.
- LI, M.; MA, L.; BLASCHKE, T.; CHENG, L.; & TIEDE, D. A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 49, 2016, p. 87-98.
- LIKENS, G. E. Beyond the shoreline: a watershed-ecosystem approach. Verh. Internat. Verein. **Limnol**, v. 22, n. 1, 1984.
- LIMA, A. S.; FONTES, A. L. Estudo de parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do Rio Jacarecica (SE). **InterEspaço Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 3, 2015, p. 203-221.
- LIMA, P. C. A.; ANDRADE FRANCO, J. L. As RPPNs como estratégia para a conservação da biodiversidade: o caso da chapada dos veadeiros. (RPPNs as a strategy for the conservation of biodiversity: The Case of the Chapada dos Veadeiros). **Revista Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, 2014.
- LIMA, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: USALQ/USP, 2008, p. 245.
- LIMA, W. P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ, 1986, p. 241.
- LINSLEY, R. K.; JR. KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. **Hydrology for engineers**. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1975.

MACÊDO, R. J. A.; SALES, S. F. Análise digital de terreno utilizando a linguagem computacional r: exemplo de aplicação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 2, 2017.

MAGALHÃES, P. S.; DA SILVA GOMES, A.; DE SOUZA, C. M. P.; & FERNANDES, E. S. Análise fisiográfica da sub-bacia de transição do Rio das Contas, Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v. 8, n. 1, 2014.

MARTINS, E. R. Experiência multidisciplinar no Curso de Sistemas de Informação (SI) do Instituto Federal de Goiás (IFG). **Tecnia**, v. 1, n. 1, 2016, p. 51-66.

MARTINS, F. B.; ROCHA, J. D.; ROBAINA, A. D.; KURTZ, S. M. D. J. M.; GARCIA, M.; SANTOS, A. D. O.; & NOAL, T. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, 2005, p. 315-322.

MARTINS, L. P.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M. **Crescimento de Eugenia Dysenterica (Mart.) DC no Bioma Cerrado, Formosa, GO**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2015b, p. 5.

MARTINS-FERREIRA, M. A. C.; CAMPOS, J. E. G. Compartimentação geomorfológica como suporte para estudos de evolução geotectônica: aplicação na região da Chapada dos Veadeiros, GO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, 2017.

MASELLI, L. Z.; NEGRI, R. G. Desenvolvimento de um método de segmentação de imagens baseado em agrupamento hierárquico divisivo e funções Kernel. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 10, 2016.

MATA, W. J. M. Análisis cuantitativo del relieve en cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo "El Ávila" (estado Vargas, Venezuela) y su significado hidrogeomorfológico. Investigaciones Geográficas, **Boletín del Instituto de Geografía**, 2016.

MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset. **Landscape and Urban Planning**, v. 78, 2006, p. 241-250.

MENDES, T. A.; SOUZA FARIA, R. K. N.; MALHEIROS, R. Análises de tipos de relevo e solos propícios à ocorrência de *Rhinodrilus Motu Righi* em municípios goianos segundo relatos populares. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, 2017.

MENDOZA, M. E.; GRANADOS, E. L.; GENELETTI, D.; PÉREZ-SALICRUP, D. R.; SALINAS, V. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). **Applied Geography**, v. 31, n. 1, 2011, p. 237-250.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1. ed. Brasília: CNPq, v. 1, 2012, p. 256.

MENEZES, J. P. C.; FRANCO, C. S.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; BITTENCOURT, R. P.; DE SÁ FARIAS, M.; & FIA, R. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, 2014.

MENEZES, N. N. C. **Introdução à programação com Python**. Algoritmos e lógica de programação para iniciantes. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2016.

MORALES, J.; GONZALEZ, J. A.; REYES-GARCIA, C. A.; & ALTAMIRANO, L. Transition regions detection from satellite images based on evolutionary region growing segmentation. **Intelligent Data Analysis**, v. 18, n. 2, 2014, p. 305-316.

MOREIRA, L. L.; SERRA, J. C. V. Avaliação de metodologias utilizadas em estudos morfométricos de bacias hidrográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, 2017.

MORISAWA, M. E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. **Geological Society of America Bulletin**, v. 73, n. 9, 1962, p. 1025-1046.

NARDINI, R. C.; CAMPOS, S.; GOMES, L. N.; RIBEIRO, F. L.; PISSARRA, T. C. T.; & CAMPOS, M. Técnicas de geoprocessamento para análise morfométrica da microbacia do Ribeirão Alto Água Fria-Bofete (SP) (Geoprocessing Techniques to Morphometric Analysis of Alto Agua Fria Stream Watershed-Bofete (SP)). **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 2, 2016, p. 170-180.

NARDINI, R. C.; GOMES, L. N.; CAMPOS, S.; & SILVEIRA, G. R. Caracterização morfométrica do Córrego Santa Flora, município de Dracena (SP). **Geografia** (Londrina), v. 25, n. 1, 2016, p. 05-22.

NASCIMENTO, L. A.; DAL POZ, W. R.; DOS SANTOS, A. D. P.; & DE FREITAS, K. X. S. Geração automatizada de séries temporais de dados posicionais utilizando o IBGE-PPP. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, 2017, p. 150-165.

NASCIMENTO, M. A. L. Geomorfologia do estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 12, n. 1, 1992, p. 1-22.

NASCIMENTO, V. B.; & WERLANG, M. K. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CADENA/SANTA MARIA-RS. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, v.3, n. 4, ,2012, p. 715-727.

NASCIMENTO, V. B.; WERLANG, M. K. Caracterização física da bacia hidrográfica do Arroio Cadena/Santa Maria-RS. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 6, 2012, p. 715-727.

NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2007, p. 206.

NETELER, M.; MITASOVA, H. **Open source gis: a grass gis approach**, 2008. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user_manual/plugins/plugins_zonal_statistics.html>. Acesso em: 23 ago. 2018.

NETELER, M.; MITASOVA, H. **Open Source GIS: a GRASS GIS Approach**. Boston, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/r.stream.extract.html>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

NETO, F. D. D. F.; JÚNIOR, J. G.; BOTELHO, M. F.; DOS SANTOS, A. D. P.; NASCIMENTO, L. A.; & FONSECA, A. L. B. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, 2017, p. 134-149.

NETO, F. O. L.; GORAYEB, A.; de Sá PEREIRA FILHO, N.; & SILVA, E. V. Geotecnologias aplicadas na caracterização ambiental, geomorfológica, hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Guaribas: subsídios para o planejamento ambiental. **Revista Geo Amazônia**, v. 3, n. 6, 2016, p. 28-41.

OLIVEIRA, A.; MELO, R. Contribuições do método geossistêmico aos estudos integrados da paisagem. **Geoambiente On-line**, v. 19, 2012, p. 01-19.

OLIVEIRA, B. R.; ANTÔNIO, G. B. Caracterização da bacia do Maxixe com auxílio de Sistemas de Informações Geográficas. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, n. 3, 2015, p. 761-782.

OLIVEIRA, H. A.; NAVES SILVA, M. L.; CURTI, N.; KLINKE NETO, G.; SILVA, M. A.; & ARAÚJO, E. F. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, 2012.

OLIVEIRA, I. J. D. Chapadões descerrados: relações entre vegetação, relevo e uso das terras em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, 2014, p. 311-336.

PAIVA, B. P.; SCHETTINI, C. A.; PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; & ANDUTTA, F. P. Circulation and suspended sediment dynamics in a tropical estuary under different morphological setting. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 3, 2016, p. 1265-1276.

PASSO, D. P.; BIAS, E. S.; BRITES, R. S., & COSTA, G. A. Uso do sistema InterImage para a identificação de alvos urbanos em imagens do satélite Worldview II. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 65/6, 2013.

PERSECHINO, A.; ALBUQUERQUE, M. P. Processamento digital de imagens: conceitos fundamentais. Digital image processing: fundamental concepts. **Monografias - CBPF**, v. 1, n. 4, 2015.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1989. (Manuscrito não publicado).

PIAZZA, G. A.; VIBRANS, A. C. Classificação orientada a objetos para mapear florestas secundárias em Santa Catarina, Sul do Brasil. **Rbc**, v. 66, n. October, 2014, p. 993-1005.

PIMENTA, M. L. F.; VICENS, R. S.; CRONEMBERGUER, F. M.; & SILVA SEABRA, V. Mapeamento geomorfológico por meio de classificação baseada em objetos: estudo de caso para a bacia do Rio São João-RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/2, 2014.

PIMENTA, S. M.; BOAVENTURA, G. R.; PEÑA, A. P.; & RIBEIRO, T. G. Study of water quality using benthic biological indicators in rural and urban streams. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 1, 2016, 198-210.

PIMENTA, S. M.; BOAVENTURA, G. R.; RIBEIRO, T. G.; & PEÑA, A. P. Estudo dos sedimentos da corrente em drenagens inseridas na área rural e na área urbana do município de Formosa-GO. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, 2015, p. 87.

PIMENTA, S. M.; BOAVENTURA, G. R.; RIBEIRO, T. G.; & PEÑA, A. P. Qualidade da água e correlação de parâmetros físico-químicos em drenagens urbana e rural de Formosa (GO). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, 2015, p. 78-94.

PINTO, V. G.; SOUZA, L. R. N.; MELO, R. C. B.; OLIVEIRA, M. P. J. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio à identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil/Physical and environmental diagnosis as a subsidy identifying vulnerable areas to erosion in the Ribeirão do Espírito Santo watershed in Juiz de Fora (MG), Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, 2014, p. 632.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: **Conceitos de bacias hidrográficas. Teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2004, p. 297-305.

QUEIROZ, S. S. F.; PINTO, K. L. N. Extração de características e reconhecimento de padrões e objetos. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 24, n. 2, 2014, p. 2-13.

RAMBO, J. A.; RAMBO, L. I. Implantação do cadastro territorial multifinalitário no Brasil. **Brazilian Journal of Geomatics**, v. 1, n. 1, 2013, p. 42-51.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S.; TRAFICANTE, D. P.; & NARDINI, R. C. PHYSIOGRAPHY the water shed of stream Coqueiro-Jataizinho, PR, obtained by geotechnical mens. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 8, n. 2, 2016, p. 73-80.

ROCHA, C. H.B., COELHO PEREIRA, B. H., ROCHA DA SILVA, A. F., DE OLIVEIRA, M., CASQUIN, A. P., & REIS DE FIGUEIREDO, M. (2016). Impactos do uso do solo nos recursos hídricos da bacia de contribuição do Lago dos Manacás, Minas Gerais, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 11(4).

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; MENEZES NETO, E. L.; & AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 2, 2014.

RODRIGUES, E. L.; TIMBÓ ELMIRO, M. A.; JACOBI, C. M.; & LOPES LAMOUNIER, W. Aplicação do modelo Swat na avaliação do consumo de água em áreas de florestas plantadas na bacia do rio Pará, Alto São Francisco, em Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, 2015.

RODRIGUES, T. C.; KUX, H. J. Uso do *software* livre InterImage para a classificação orientada a objetos em área de expansão urbana na Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, 2015.

ROMERO, V.; FORMIGA, K. T. M.; MARCUZZO, F. F. N. Hidromorphology study of urban river basin in Goiânia/GO. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 2, 2017, p. 32.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSSI, M.; PFEIFER, R. M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, v. 58, n. 1, 1999, p. 141-156.

RUIZ, L. F. C.; GUASSELLI, L. A.; TEN CATEN, A. Árvore de decisão e análise baseada em objetos na classificação de imagens com resolução espacial submétrica adquiridas por VANT. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 2, 2017.

SANTANA, D. P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003, p. 63.

SANTIAGO, C. M. C.; GOMES, L. C. F.; SALES, M. C. L.; & DE ABREU PAULA, J. E. Arranjo espacial da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise morfométrica e dos aspectos ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 2, 2015, p. 402-421.

SANTOS SILVA, N. D.; ALVARES SOARES RIBEIRO, C. A.; RIBEIRO BARROSO, W.; ÁLVARES RIBEIRO, P. E.; SOARES, V. P.; & SILVA, E. **Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas**. *Revista Árvore*, v. 32, n. 5, 2008, p. 891-897.

SANTOS, A. D. P.; MEDEIROS, N. D. G.; SANTOS, G. R., & RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 21(2), 2015, p. 233-250.

SANTOS, A. D. S.; MEDEIROS, N. D. G.; SANTOS, G. R. D., & LISBOA FILHO, J. Use of geostatistics on absolute positional accuracy assesment of geospatial data. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 3, 2015, p. 405-418.

SANTOS, A. G.; SEGANTINE, P. C. L.; DA SILVA, I. Controle de qualidade de mapas digitais urbanos para uso em sistemas de informações geográficas. **Minerva**, v. 5, n. 2, 2008, p. 169-176.

SANTOS, E. F.; SOUSA, F. A. Aspectos morfométricos da bacia do córrego Tamanduá em Iporá-GO (Morphometric aspects basian of Córrego Tamanduá in Iporá-GO). **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 7, n. 15, 2014, p. 191-199.

SANTOS, L. C. A. **Gestão das águas da sub-bacia hidrográfica do Rio Cacao Maranhão**. [Tese de Doutorado em Geografia - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente]. São Paulo, 2012.

SÃO MIGUEL, A. E.; MEDEIROS, R. B.; OLIVEIRA, W. Avaliação do uso da terra na bacia hidrográfica Ribeirão Água Limpa-Brasilândia/MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, n. 2, 2012.

SCHMITT, A.; MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o *software* gratuito Quantum - GIS. **Revista Cultivando o saber**. Edição especial, 2015, p. 125-137.

SCHULTZ, B.; FORMAGGIO, A. R.; EBERHARDT, I. D. R.; SANCHES, I. D. A.; DE OLIVEIRA, J. C.; & LUIZ, A. J. B. Classificação orientada a objetos em imagens multitemporais LandSat aplicada na identificação de cana-de-açúcar e soja. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, 2016.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, 1956, p. 597-646.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 3, 2015, p. 137-152.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. B. M. Uso do sensoriamento remoto na avaliação de alterações dos estados dinâmicos da paisagem da bacia hidrográfica do Rio São João. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, 2014, p. 303-320.

SHREVE, R. L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, v. 74, n. 1, 1966, p. 17-37.

SILVA VIEIRA, D. M.; TORRES, J. L. R.; BARRETO, A. C.; & CUNHA, M. A. Avaliação quantitativa das características geomorfológicas das microbacias hidrográficas que compõem a área de proteção ambiental do Rio Uberaba. **Irriga**, v. 17, n. 3, 2012, p. 313.

SILVA, J. L.; TONELLO, K. C. Morfometria da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas-SP. **Irriga**, v. 19, n. 1, 2014, p. 103.

SILVA, L.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, 2010, p. 112-122.

SILVA, M. T. et al. Morphometric analysis of the basin low middle São Francisco River. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 8, 2015, p. 168-174.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; & DE ARAUJO, G. M. C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, 2016, p. 82-100.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola (Jaboticabal)**, v. 30, n. 1, 2010, p. 46-57.

SOUSA, G. M.; COUTO FERNANDES, M.; COSTA, G. A. O. P. Classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, 2015.

SOUSA, G. M.; SANTOS, F. V.; COUTO FERNANDES, M. Mapeamento da cobertura da terra da APA Petrópolis utilizando análise baseada em objeto no sistema Interimage. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 4, 2012.

SOUZA ANTUNES, F., NEVES, L. V., DA SILVA SANTOS, K., & GRAÇA, A. J. S. Análise da integração entre Sensoriamento Remoto e SIG na classificação da cobertura da terra em Duque de Caxias/RJ. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 1, 2017, p. 82-102.

SOUZA, A.; SANTOS, D. A.; ARISTONE, F.; KOVAČ-ANDRI, E.; MATASOVIĆ, B.; PIRES, J. C.; & IKEFUTI, P. V. Impacto de fatores meteorológicos sobre as concentrações de ozônio modelados por análise de séries temporais e métodos estatísticos multivariados. **HOLOS**, v. 5, 2017, p. 2-16.

SOUZA, M. F.; MARQUES, E. E.; MIRANDA, E. B.; ARAUJO, A. F. Do rio Tocantins à Hidrelétrica de Peixe Angical: os peixes e as pescarias na memória dos pescadores. **Revista Interface** (Porto Nacional), v. 12, 2017, p. 119-134.

SOUZA, N. C.; PITOMBO, C.; CUNHA, A. L.; LAROCCA, A. P. C.; & DE ALMEIDA FILHO, G. S. Modelo de classificação de processos erosivos lineares ao longo de ferrovias através de algoritmo de árvore de decisão e geotecnologias/Classification model of gully erosion process along of railway line through Decision Tree algorithm and geotechnology. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, 2017, p. 72.

SOUZA, N. D. C.; GIANOTTI, M. A.; LAROCCA, A. P. C.; QUINTANILHA, J. A.; & DE ALMEIDA FILHO, G. S. Análise da associação entre características topográficas e tipos de ocorrência de processos erosivos ao longo de linha férrea-estudo de caso: Malha Paulista-All (SP). **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 4, 2014.

SPANGHERO, P. E. S. F.; MELIANI, P. F.; MENDES, J. S. Mapeamento hidrográfico de detalhe e análise morfométrica comparativa das bacias dos rios Tijuípe e Tijuipinho, Litoral Sul da Bahia. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 53, 2015.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Bull. Geol. Soc. Am.**, v. 69, 1958, p. 279-300.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. The Geological Society of American Bulletin, v. 63, n. 11, 1952, p. 1.117-1.142.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans Am Geophys Union**, n. 38, 1957, p. 913-920.

SU, T. & ZHANG, S. (2017). Local and global evaluation for remote sensing image segmentation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 130, 256-276.

SUESS, R. C.; BEZERRA, R. G.; SOBRINHO, H. C. Percepção ambiental de diferentes atores sociais sobre o Lago do Abreu em Formosa- GO. **HOLOS**, v. 6, 2013.

TAHER, T. Groundwater abstraction management in Sana'a Basin, Yemen a local community approach. **Hydrogeology Journal**, v. 24, n. 6, 2016.

TARBOTON, DAVID G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water resources research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

TEDESCO, A.; ANTUNES, A. F. B.; OLIANI, L. O. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 4, 2014.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., & FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista ReBraM**, v. 11, n. 1, 2015, p. 137-156.

TOMÁS, L.; FONSECA, L.; ALMEIDA, C.; LEONARDI, F.; & PEREIRA, M. Urban population estimation based on residential buildings volume using IKONOS-2 images and Lidar data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37(sup1), 2016, p. 1-28.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, 2006, p. 849-857.

TRAJANO, S. D. S. et al. Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape. Embrapa Gestão Territorial. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

TUCCI, C. E.; MENDES, C. A. **Curso de avaliação ambiental integrada de bacia**. Brasília-DF: RHAMA, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; PARESCHI, D. C.; LUZIA, A. P.; VON HAELING, P. H.; & FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, 2008, p. 159-172.

VANACKER, V. et al. River channel response to short term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**, v. 72, n. 1-4, 2005, p. 340-353.

VELILLA-TORRES, J. M.; NAVARRO, M.; GASPAR, J.; FEMENIA-RIBERA, C.; & MARTÍNEZ LLARIO, J. C. La representación gráfica georreferenciada alternativa en la coordinación catastro-registro en España. Estudio de la implantación de la norma ISO-19152 (LADM) a nivel internacional. In: **Primer Congreso en Ingeniería Geomática. Libro de actas Editorial Universitat Politècnica de València**, 2017, p. 69-76.

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

VOLLENWEIDER, R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris: Organisation for economic co-operation and development, 1971.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 2, 2006, p. 193-213.

WERNECK, F. P.; COLLI, G. R. The lizard assemblage from seasonally dry tropical forest enclaves in the cerrado biome, Brazil, and its association with the pleistocenic arc. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 11, 2006, p. 1.983-1.992.

ZONTA, A.; ZONTA, M. C. M. Desenvolvimento de sistema de gerenciamento de eventos agropecuários com uso de *software open source*. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica**, v. 6, n. 2, 2016.

APÊNDICE A – CÓDIGO DO ODR_OBIA

```

import os, warnings
import numpy as np

from numpy import*
import re
import glob
import subprocess
import urlparse, urllib
import time
import tempfile
from math import sqrt
from pprint import pprint
import shutil
#environList = os.environ['PATH'].split(';')
#environList.insert(0,r'C:\Program Files (x86)\GDAL')
#environList.insert(0,os.environ['GDAL'])
#os.environ['PATH'] = ';'.join(environList)
from osgeo import gdal, osr, ogr, gdalconst
#import dbf

from PyQt4.QtGui import QDialog
from PyQt4.QtGui import *
import sys
import glob, processing

cwd = os.getcwd()
print cwd

localfolder = 'd:/olavo'

sys.path.append(localfolder+'odr_obia_qgis')
import segmentation_values
#import force_rmtree
import numpy
print numpy.__path__

class BaatzSegmenter(object):
    def __init__(self):
        QgsMapLayerRegistry.instance().removeAllMapLayers()
        self.label = "Segmentador Baatz"
        self.description = ("Segmentacao ")
        self.canRunInBackground = False
        self.qid = QDialog()

        qfd = QDialog()
        title_img = 'Selecione a Imagem de Entrada'
        path = localfolder

```



```

imagem = QFileDialog.getOpenFileName(qfd, title_img, path)

if(imagem==""):
    print('Imagem nao selecionada')
    return

#imagem = path
#print(imagem)

title_folder = 'Selecione a Pasta de Saida'
path = localfolder+"/output"
pasta_saida = QFileDialog.getExistingDirectory(qfd, title_folder, path)
#pasta_saida = path
#print(pasta_saida)

default = "default; 0.5; 0.5; 500; 1; 1"

dlg = QDialog()
dlg.setInputMode( QDialog.TextInput)
dlg.setLabelText('Informe a euc_threshold, compactness, baatz_color, scale, num_bands e
peso_bands separados por ;')
dlg.setTextValue (default)
dlg.resize(500,100)
ok = dlg.exec_()
parametros = dlg.textValue()
#print imagem
self.execute(imagem, pasta_saida, parametros)

def info_image(self,arq):
    print(arq)
    datafile = gdal.Open(arq)

    #nbands = datafile.RasterCount
    GW = gt[0]
    GS = gt[3] + cols*gt[4] + rows*gt[5]
    GE = gt[0] + cols*gt[1] + rows*gt[2]
    GN = gt[3]
    return (GW,GN,GE,GS)

def limp_temp (self, folder_temp):
    Folder_files = os.listdir(folder_temp)
    file_ = [s for s in Folder_files if "ta_segementer" in s]
    if file_:
        os.remove(folder_temp+"\\"+file_[0])

def limp_output_folder (self, out_put_folder):
    files = glob.glob(out_put_folder+"\\*")
    for f in files:
        os.remove(f)

```

```

def tempo (self,start, end):
    elapsed = end - start
    hours, rest = divmod(elapsed,3600)
    minutes, seconds = divmod(rest, 60)
    print "-> IMAGEM SEGMENTADA COM SUCESSO!"
    print "Tempo de processamento: ",int(hours),"h", int(minutes), "min", "%.1f" %
seconds,"seg"

def createDir(self,path):
    try:
        os.makedirs(path)
    except OSError:
        if not os.path.isdir(path):
            raise

def clearOutputFolder (self,out_put_folder):
    files = glob.glob(out_put_folder+"\\*")
    for f in files:
        os.remove(f)

def info_image (self, arq):
    datafile = gdal.Open(arq)

    gt = datafile.GetGeoTransform()
    rows = datafile.RasterYSize
    cols = datafile.RasterXSize
    #nbands = datafile.RasterCount
    GW = gt[0]
    GS = gt[3] + cols*gt[4] + rows*gt[5]
    GE = gt[0] + cols*gt[1] + rows*gt[2]
    GN = gt[3]
    return (GW,GN,GE,GS,rows,cols)

def limp_folder (self, folder_temp):
    Folder_files = os.listdir(folder_temp)
    file_ = [s for s in Folder_files if "ta_segmenter" in s]
    if file_ :
        os.remove(folder_temp+"\\'+file_[0])
def
                                                    baatz
(self,exe_file,Input,coord,temp,euc_threshold,compactness,baatz_color,scale,bands_str,weigh
ts_str,output_file):

    "" "+temp+" "" "Baatz" ""+str(euc_threshold)+" "" ""+str(compactness)+"
""+str(baatz_color)+"\
    ""+str(scale)+" ""+str(bands_str)+" ""+str(weights_str)+" ""+output_file+" "seg" "0.2" "" ""
"no" &')
    barras = executar.replace('\', '\\')
    os.system(barras)
    print barras

```

```

def image2shape (self,image, saida):
    datafile = gdal.Open(image)

    #geoinformation = datafile.GetGeoTransform()
    prj=datafile.GetProjection()
    srs=osr.SpatialReference(wkt=prj)

    drv = ogr.GetDriverByName("ESRI Shapefile")
    dst_ds = drv.CreateDataSource( dst_layername + ".shp" )
    dst_layer = dst_ds.CreateLayer(dst_layername, srs = srs )

    gdal.Polygonize( srcband, None, dst_layer, 0, [], callback=None )

    dst_ds.Destroy()
    OUTdatafile=None
    srcband=None

    return (dst_ds)

def slice(self, in_path, input_filename, output_path, fator):

    self.createDir(output_path+'\\temp_slice')
    out_path = output_path+'\\temp_slice'
    output_filename = 'tile_'

    info = self.info_image_(in_path +'\\'+ input_filename)
    #divisao = round(tamanho_arquivo / max_size + 0.499)
    if int(fator) % 2 != 0:
        fator = int(fator) + 1

    tamx = int(info[4] / fator)
    tamy = int(info[5] / fator)

    tile_size_x = tamx #int(round(float(tamx / divisao) + 0.499))
    tile_size_y = tamy #int(round(float(tamy / divisao) + 0.499))

    self.createDir(out_path)
    self.limp_folder(out_path)

    ds = gdal.Open(in_path +'\\'+ input_filename)

    band = ds.GetRasterBand(1)
    xsize = band.XSize
    ysize = band.YSize

    listaArquivos = []
    fator = int(fator)
    for x in range(0,fator):

```

```

    for y in range(0,fator):
        #print str(x*tamy), str(y*tamx), tamy, tamx
        com_string = "gdal_translate -of GTIFF -srcwin " + str(x*tamy)+ ", " + str(y*tamx) + ",
" + str(tamy) + ", " + str(tamx) + " \" + str(in_path) + '\\'+ str(input_filename) + "\" \" +
str(out_path) + '\\'+ str(output_filename) + str(x) + "_" + str(y) + ".tif\""
        print com_string
        os.system(com_string)
        listaArquivos.append(str(out_path) + '\\'+ str(output_filename) + str(x) + "_" + str(y) +
".tif")

    return listaArquivos

def getExt(self,ext):
    xmin = ext.xMinimum()
    xmax = ext.xMaximum()
    ymin = ext.yMinimum()
    ymax = ext.yMaximum()
    coords = "%f,%f,%f,%f" %(xmin, xmax, ymin, ymax)
    return coords

def execute(self, image, pasta_saida,parameters) :
    parametros = parameters.split(';')
    #print(image)
    euc_threshold = parametros [0]
    compactness = parametros [1]
    baatz_color = parametros [2]
    scale = parametros [3]
    bands_str = parametros [4]
    weights_str = parametros [5]

    expBand = bands_str.split(',')
    newBand = []
    for b in expBand:
        newBand.append(str(int(b)-1))

    bands_str = ', '.join(newBand)

    exe_file = exe_file.replace('/', '\\')
    image = image.replace('/', '\\')
    pasta_saida = pasta_saida.replace('/', '\\')

    _Temp = tempfile.gettempdir()
    temp = _Temp.replace('\\', '\\\\')

    spt_image = image.split("\\")

    image_name = re.sub('\.tif$', "", spt_image[len(spt_image)-1])

    if os.path.exists(pasta_saida + "\\ "+image_name):

```

```

shutil.rmtree(pasta_saida + "\\"+image_name)
#self.clearOutputFolder(pasta_saida + "\\"+image_name)

filezise = float(os.path.getsize(image))

start = time.time() # Inicia contagem de tempo
#print(image)
arrImages=[]
tamanho_max_arquivo = 4000000
if(filezise > tamanho_max_arquivo):
    tmp = spt_image
    fileName = tmp[len(tmp)-1]
    del tmp[-1]
    concatenatedString = '\\'.join(tmp)

    fator = sqrt(filezise)/ sqrt(tamanho_max_arquivo)

    arrImages = self.slice(concatenatedString, fileName, pasta_saida,fator)
else:
    arrImages.append(image)

arrPasta = []
for img in arrImages:
    spt_img = img.split("\\")

    img_name = re.sub('\\.tif$', "", spt_img[len(spt_img)-1])

    #print '2:'+ nova_pasta

    self.createDir(nova_pasta)
    self.limp_output_folder(nova_pasta)

    self.createDir(nova_pasta_img_temp)
    self.limp_output_folder(nova_pasta_img_temp)

    arrPasta.append(str(nova_pasta))
    output_file = nova_pasta + '\\'+img_name+'_'+seg_ + 'baatz_comp' +
str(compactness).replace('.',',') +'_cor' + str(baatz_color).replace('.',',') + '_escala' + str(scale)

    coord = self.info_image(image)

    self.limp_temp (temp)

    self.baatz
(exe_file,image,coord,temp,euc_threshold,compactness,baatz_color,scale,bands_str,weights_s
tr,output_file)
    self.image2shape (image, output_file)

```

```

    shutil.copy2(output_file+'.plm_output.tif',
nova_pasta_img_temp+'\\'+img_name+'_plm_output.tif')
    #shutil.copy2(output_file+'.plm_output.tif', nova_pasta_img_temp+'\\'+img_name+'_plm')
    shutil.copy2(output_file, nova_pasta_img_temp+'\\'+img_name)
    os.remove(output_file+'.plm_output.tif')
    os.remove(output_file+'.plm')
    os.remove(output_file)
    self.limp_temp (temp)

    #print 'ultimo '+output_file

matches = []
for fold in arrPasta:
    spt_fld = fold.split('\\')
    nome_temp = spt_fld[len(spt_fld)-1]

    img1 = fold+'/temp/'+nome_temp+'_plm_output.tif'

    img2 = pasta_saida+'/temp_slice/'+nome_temp+'.tif'

    if(os.path.isfile(img2)==False):
        img2 = image

    #print matches

processing.runalg("qgis:mergevectorlayers",";".join(matches),unicode(os.path.join(pasta_said
a+'\\'+image_name,'final.shp'))))

    extent = QgsVectorLayer( unicode(os.path.join(pasta_saida+'\\'+image_name,'final.shp')),
", 'ogr' ).extent()
    ext_ = self.getExt(extent)

processing.runalg("grass7:v.to.rast.attribute",unicode(os.path.join(pasta_saida+'\\'+image_na
me,'final.shp')),0,"mean",ext_,30,-
1,0.0001,unicode(os.path.join(pasta_saida+'\\'+image_name,'segmentada.tif')))

    #QgsMapLayerRegistry.instance().removeAllMapLayers()

    #layer = QgsVectorLayer(unicode(os.path.join(pasta_saida+'\\'+image_name,'final.shp')),
'Final', "ogr")
    #QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
    #unicode(os.path.join(pasta_saida+'\\'+image_name,'final.shp'))

bs = BaatzSegmenter();

#bs.OpenBrowse()

```

APÊNDICE B – CÓDIGO DO ODR_HIDRO

```

import processing
import sys
import os
import subprocess
from subprocess import call
from PyQt4.QtGui import QFileDialog
from PyQt4.QtGui import *
import sys
import re
import glob
from qgis.PyQt.QtCore import QVariant
import gdal
import math
import numpy as np
from collections import OrderedDict

#####
##

#####
##
def createDir(path):
    try:
        os.makedirs(path)
    except OSError:
        if not os.path.isdir(path):
            raise

def clearOutputFolder (out_put_folder):
    files = glob.glob(out_put_folder+'\\*')
    for f in files:

        try:
            if os.path.isfile(file_path):
                os.unlink(file_path)
        except Exception as e:
            return

        #print(f)
        #os.remove(f)

def paint(layer):
    renderer = layer.renderer()
    provider = layer.dataProvider()
    extent = layer.extent()

if ver is not False:
    print "minimumValue = ", stats.minimumValue

```

```

print "maximumValue = ", stats.maximumValue

if (stats.minimumValue < 0):
    min = 0

else:
    min= stats.minimumValue

colDic = { 'red': '#ff0000',
           'yellow': '#ffff00',
           'blue': '#0000ff',
           'green': '#2EFE2E',
           'green_2': '#122A0A',
           'magenta': '#FF0040',
           'azul_claro': '#58FAF4',
           'laranja': '#FE642E',
           'rosa': '#FE2EF7',
           'marrom': '#181907',
           'lilas': '#8000FF',
           'roxo': '#240B3B'
         }

#valueList =[min, interval, max]
valueList =[1, 2, 4, 8, 16, 32,64, 128]

lst = [ QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[0], QColor(colDic['marrom']),'1'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[1], QColor(colDic['lilas']),'2'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[2], QColor(colDic['blue']),'4'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[3], QColor(colDic['red']),'8'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[4], QColor(colDic['green']),'16'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[5], QColor(colDic['azul_claro']),'32'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[6], QColor(colDic['magenta']),'64'),
        QgsColorRampShader.ColorRampItem(valueList[7], QColor(colDic['roxo']),'128'), ]

myRasterShader = QgsRasterShader()
myColorRamp = QgsColorRampShader()

myColorRamp.setColorRampItemList(lst)
myColorRamp.setColorRampType(QgsColorRampShader.INTERPOLATED)
myRasterShader.setRasterShaderFunction(myColorRamp)

myPseudoRenderer = QgsSingleBandPseudoColorRenderer(layer.dataProvider(),
                                                    layer.type(),
                                                    myRasterShader)

layer.setRenderer(myPseudoRenderer)
layer.triggerRepaint()

def getExt(ext):
    xmin = ext.xMinimum()

```



```

    xmax = ext.xMaximum()
    ymin = ext.yMinimum()
    ymax = ext.yMaximum()
    coords = "%f,%f,%f,%f" %(xmin, xmax, ymin, ymax)
    return coords

def openFile():
    QgsMapLayerRegistry.instance().removeAllMapLayers()

    qfd = QFileDialog()
    title_img = 'Selecione a Imagem de Entrada'
    path = "D:/olavo/new" #alterei o caminho o input
    imagem = QFileDialog.getOpenFileName(qfd, title_img, path)
    return imagem

def myFunction(selFeatures):
    id = selFeatures[0] + 1

    lyr=iface.activeLayer()
    selection = lyr.getFeatures(QgsFeatureRequest(QgsExpression("\"NODE_ID\" =
    \""+str(id)+"\"")))

    for feature in selection:

        geom = feature.geometry()
        p= geom.asPoint()
        minPoint = p
        #print str(p.x())
        coordenadas = '{:.4f},{:.4f}'.format(p.x(), p.y())
        #print str(len(selFeatures)) + " features were selected: " + str(selFeatures)
        lyr.selectionChanged.disconnect()

        continua(coordenadas)
        lyr.startEditing()

def processo(imagem):

    if(imagem==""):
        print('Imagem nao selecionada')
        return

    imagem = imagem.replace('/', '\\')
    spt_image = imagem.split("\\")

    global image_name
    image_name = re.sub('\.tif$', "", spt_image[len(spt_image)-1])

    arrPath = []
    for i in spt_image:

```

```

if(i!=image_name+'.tif'):
    arrPath.append(i)

#arrPath = arrPath[:-1]
pasta = '\\'.join(arrPath)
pasta = pasta + '\\output_delimitacao_bacia_'+image_name#alterei o nome para output

global minPoint

global clipped_raster
clipped_raster = pasta+'/Clipped_Basin_raster'+image_name+'.tif'

global channels_file
global mainCRS
input = imagem
layer = QgsRasterLayer(input, image_name)
mainCRS = layer.crs().authid()

createDir(pasta)
clearOutputFolder(pasta)

input = imagem
layer = QgsRasterLayer(input, image_name)
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

filled_file= pasta+'\\Filled_'+image_name+'.tif'
flow_file= pasta+'\\Flow_'+image_name+'.tif'
watersheed_file= pasta+'\\WS_'+image_name+'.tif'
#print input

layer = QgsRasterLayer(filled_file, 'Filled_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

ext = layer.extent()
extensao = getExt(ext)

layer = QgsRasterLayer(flow_file, 'Flow_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
layer = QgsRasterLayer(watersheed_file, 'WS_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

flow_dir_file    =    pasta+'/Flow_Dir_'+image_name+'.tif'#definicao    do    arquivo
Flow_Dir_Dem.tif
connectivity_file    =    pasta+'/Flow_Conn_'+image_name+'.tif'#definicao    do    arquivo
Flow_Conn_Dem.tif
drainage_raster_file    =    pasta+'/Drainage_Raster_'+image_name+'.tif'#definicao do arquivo
Drainage_Raster_Dem.tif
channels_file    =    pasta+'/Channels_'+image_name+'.shp'#definicao    do    arquivo
Channels_Dem.shp

```

```

drainage_shape_file = pasta+'/Drainage_Shape_'+image_name+'.shp'#definicao do arquivo
Drainage_Shape_Dem.shp
junctions_file = pasta+'/Junctions_'+image_name+'.shp'#definicao do arquivo
Junctions_Dem.shp

```

```

layer = QgsRasterLayer(flow_dir_file, 'Flow_Dir_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
#aqui chama o metodo para aplicar a escala de cores
layer = iface.activeLayer()
paint(layer)
#===== fim =====

```

```

layer = QgsRasterLayer(connectivity_file, 'Flow_Conn_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
#layer = QgsRasterLayer(order_file, 'Strahler_Order_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
layer = QgsRasterLayer(drainage_raster_file, 'Drainage_Raster_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

```

```

layer = QgsVectorLayer(drainage_shape_file, 'Drainage_Shape_'+image_name, "ogr")#o
que e ogr????
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

```

```

layer = QgsVectorLayer (channels_file, 'Channels_'+image_name, "ogr")
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
global channels
channels = iface.activeLayer()

```

```

global flow_dir_extract_file
flow_dir_extract_file = pasta+'/Flow_Dir_'+image_name+'.tif'

```

```

processing.runalg("grass7:r.stream.extract",filled_file,None,None,1,0,0,0,extensao,0,0,None,
None,flow_dir_extract_file)
#layer = QgsRasterLayer(flow_dir_extract_file, 'Flow_Dir_Extract_'+image_name)
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

```

```

global shape_bacia
shape_bacia = pasta+'/Shape_Bacia_'+image_name+'.shp'

```

```

global shape_bacia_
shape_bacia_ = pasta+'/Shape_Bacia_'+image_name+'.Alterado_.shp'

```

```

global statistic_file
statistic_file = pasta+'/Statistic_'+image_name+'.shp'
global basin_file
basin_file = pasta+'/Bacia_final_'+image_name+'.tif'
global etx_
etx_ = extensao

```

```

global canais_ordem_1
global canais_ordem_2
global dictQtdCanais
global dictWidthCanais

```

```

layer = QgsVectorLayer(junctions_file, 'Junctions_'+image_name, "ogr")
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

```

```

lyr=iface.activeLayer()

```

```

iface.actionSelect().trigger()
QMessageBox.information(None, "DEBUG:", 'Selecione o Ponto de Inicio da Bacia')
lyr.selectionChanged.connect(myFunction)

```

```

def retrieve_pixel_value(geo_coord, data_source,maxValue,junctions):

```

```

    band = data_source.GetRasterBand(1)
    cols = data_source.RasterXSize
    rows = data_source.RasterYSize

```

```

    transform = data_source.GetGeoTransform()

```

```

    xOrigin = transform[0]
    yOrigin = transform[3]
    pixelWidth = transform[1]
    pixelHeight = -transform[5]

```

```

    data = band.ReadAsArray(0, 0, cols, rows)

```

```

    #print(geo_coord)

```

```

    dictFinal = {}

```

```

    for key, point in geo_coord.iteritems():

```

```

        #print(point)

```

```

    #for point in geo_coord:

```

```

        col = int((float(point[0]) - xOrigin) / pixelWidth)

```

```

        row = int((yOrigin - float(point[1]) ) / pixelHeight)

```

```

        #myDict[area_feature.id()] = [coordenadas_x , coordenadas_y]

```

```

        dictFinal[key] = data[row][col]

```

```

    emOrdem = sorted(dictFinal.items(), key=lambda x:x[1])

```

```

    #sorted(dictFinal.items(), key=lambda v:-dh/mn v, reverse=True)

```

```

    #print emOrdem

```

```

    idMax = emOrdem[len(emOrdem)-1][0]

```

```

    idMin = emOrdem[0][0]

```

```

    junctions.select([idMin,idMax])

```

```

    return [idMin,idMax]

```

```

    #print emOrdem

```

```

def continua(param):

```

```

processing.runalg("grass7:r.water.outlet",flow_dir_extract_file,param,etx_,0,basin_file)
layer = QgsRasterLayer(basin_file, 'Bacia_Final_'+image_name)

#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)

ext = layer.extent()
extensao = getExt(ext)

processing.runalg("grass7:r.to.vect",basin_file,2,True,extensao,3,shape_bacia)

processing.runalg("qgis:zonalstatistics",imagem,1,shape_bacia,"_",False,statistic_file)

statis = QgsVectorLayer(statistic_file, 'Statistic_'+image_name,"ogr")

crs = statis.crs()
spCrs = mainCRS.split(':')

crs.createFromId(int(spCrs[1]))
statis.setCrs(crs)

myDict = {}

lyr_ = iface.activeLayer()
features_statis = lyr_.getFeatures()
QgsMapLayerRegistry.instance().removeMapLayer( lyr_.id() )
print('Junctions_'+image_name)
vl = QgsMapLayerRegistry.instance().mapLayersByName('Junctions_'+image_name)[0]
iface.setActiveLayer(vl) .
for feat in features_statis:
    min = feat['_min']
    max = feat['_max']
    mean = feat['_mean']
    std_dev = feat['_std']

    junctions = iface.activeLayer()
    cands =
junctions.getFeatures(QgsFeatureRequest().setFilterRect(feat.geometry().boundingBox()))
    points = []

    for junction in junctions.getFeatures():
        for area_feature in cands:
            if feat.geometry().intersects(area_feature.geometry()):
                arr = []
                geom = area_feature.geometry()
                p= geom.asPoint()
                #print str(p.x())
                coordenadas_x = '{:.4f}'.format(p.x())
                coordenadas_y = '{:.4f}'.format( p.y())

```

```

#print(coordenadas)
myDict[area_feature.id()] = [coordenadas_x , coordenadas_y]
points.append(area_feature.id())

#junctions.select(points)
#print(points)

layer = QgsVectorLayer(shape_bacia, 'Bacia_'+image name,"ogr")
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
crs = layer.crs()
spCrs = mainCRS.split(':')

crs.createFromId(int(spCrs[1]))
layer.setCrs(crs)
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(layer)
lyr = iface.activeLayer()

processing.runalg("gdalogr:cliprasterbymasklayer",imagem,shapebacia,"True,True,True,5,4,7
5,6,1,False,0,False,"",clipped_raster) ll = QgsRasterLayer(clipped_raster, 'Clipado')
#QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(ll)

ds = gdal.Open(clipped_raster)
mm = retrieve_pixel_value(myDict, ds,max,junctions)

request = QgsFeatureRequest()
request.setFilterFids(mm)
features_ = junctions.getFeatures(request)

gg = []
for feature in features_:
    #print feature.id(), feature
    geom = feature.geometry()
    gg.append(geom.asPoint())

distancia = math.sqrt((gg[0].x()-gg[1].x())**2 + (gg[0].y()-gg[1].y())**2)
distancia = distancia / 1000
#print distancia
# Print the min, max, mean, stdev based on stats index
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Area", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Perimetro", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Kc", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Ic", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Dd", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Ir", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Ampl Alut", QVariant.Double, "double", 15,
3)])

lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Kf", QVariant.Double, "double", 15, 3)])

```

```

lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Re", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Dh", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Cm", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Rb", QVariant.Double, "double", 15, 3)])

```

```

lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Ccp", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Alt Min", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Alt Max", QVariant.Double, "double", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("NumCanais", QVariant.Int, "integer", 15, 3)])
lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Ctr", QVariant.Double, "double", 15, 3)])

```

```

lyr.updateFields()
features_bacia = lyr.getFeatures()

```

```

global inicio
global fim
for feat in features_bacia:
    area = feat.geometry().area() / 1000000
    perimeter = feat.geometry().length() / 1000

```

```

kc = 0.28 * (perimeter/math.sqrt(area))
ic = (12.57 * area) / (perimeter ** 2)

```

```

canais = []

```

```

cands = []
channels.getFeatures(QgsFeatureRequest().setFilterRect(feat.geometry().boundingBox()))
som_peri_canais = 0
canais_ordem_1 = 0
canais_ordem_2 = 0

```

```

dictQtdCanais = {}
dictWidthCanais = {}

```

```

for channel in channels.getFeatures():
    for area_feature in cands:
        if feat.geometry().contains(area_feature.geometry()):
            som_peri_canais = som_peri_canais + area_feature.geometry().length()
            canais.append(area_feature.id())
            attrs = area_feature.attributes()

            dictQtdCanais[str(attrs[4])] = dictQtdCanais[str(attrs[4])] + 1
            dictWidthCanais[str(attrs[4])] = dictWidthCanais[str(attrs[4])] +
            area_feature.geometry().length()

            if(attrs[4]==1):
                canais_ordem_1 = canais_ordem_1 + 1

```

```

    if (attrs[4]==2):
        canais_ordem_2 = canais_ordem_2 + 1
#print(dictQtdCanais,dictWidthCanais)
dictQtdCanais = OrderedDict(sorted(dictQtdCanais.items(), key=lambda t: t[0]))
dictWidthCanais = OrderedDict(sorted(dictWidthCanais.items(), key=lambda t: t[0]))
#print(dictQtdCanais,dictWidthCanais)
for indice in dictQtdCanais:
    lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("CO"+str(indice), QVariant.Int, "integer", 15,
3)])
    lyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("DT"+str(indice), QVariant.Double, "double",
15, 3)])
    lyr.updateFields()

```

```
channels.select(canais)
```

```

Kf = ((area)/ (distancia ** 2))
#print(Kf)
Aa = max - min

```

```
Dh = len(canais)/area
```

```
Dd = (som_peri_canais / area) / 1000
```

```

Ir = (Aa * Dd)
Cm = (1 / Dd) * 1000

```

```

Re = (1.128 * (area**0.5))/dist
Rb = (canais_ordem_1 * 1.0) / (canais_ordem_2 + 1)

```

```
lyr.startEditing()
```

```

feat['Area'] = area
feat['Perimetro'] = perimeter
feat['Kc'] = kc
feat['ic'] = ic
feat['Dd'] = Dd
feat['Ir'] = Ir
feat['Ampl Alt'] = Aa
feat['Kf'] = Kf
feat['Re'] = Re

```

```
feat['Dh'] = Dh
```

```

feat['Ccp'] = distancia
feat['Alt min'] = min
feat['Alt max'] = max
feat['NumCanais'] = len(canais)

```



```
feat['Ctr'] = som_peri_canais

lyr.updateFeature(feat)
lyr.commitChanges()
QgsMapLayerRegistry.instance().removeMapLayer( vl.id() )

bs = QgsMapLayerRegistry.instance().mapLayersByName('Bacia_'+image_name)
lr = bs[0]
it = lr.getFeatures()
lr.startEditing()

dictQtdCanais = dict(dictQtdCanais)
dictWidthCanais = dict(dictWidthCanais)

for feat in it:
    for indice in dictQtdCanais:
        co = lr.fieldNameIndex('CO'+indice)
        dt = lr.fieldNameIndex('DT'+indice)

        lr.changeAttributeValue(feat.id(), co, dictQtdCanais[indice])
        lr.changeAttributeValue(feat.id(), dt, dictWidthCanais[indice])

lr.commitChanges()

teste =1
imagem = openFile()
processo(imagem)
```

25/04/2019

#1658 Sinopse



[CAPA](#) [SOBRE](#) [PÁGINA DO USUÁRIO](#) [PESQUISA](#) [ACTUAL](#) [ANTERIORES](#) [NOTÍCIAS](#)

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #1658 > **Resumo**

#1658 Sinopse

[RESUMO](#) [AVALIAÇÃO](#) [EDIÇÃO](#)

Submissão

Autores

Olavo Amancio de Oliveira, Edilson de Souza Blas, Valdir Adilson Steinke, Rogerio Baptista de Sousa, Denilson Pereira Passo, Gustavo Macedo de Mello Baptista, Waterloo Pereira Filho

Título

ANÁLISE DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO PARA MELHORIA NA OBTENÇÃO DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COM BASE EM FERRAMENTAS OPEN SOURCE

Documento original

[1658-386388657-1-SP.DOC](#) 2019-04-25

Docs. Sup.

[1658-386388659-1-SP.DOCX](#) 2019-04-26 [INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR](#)

[1658-386388660-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388661-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388662-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388663-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388664-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388665-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388666-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388667-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388668-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388669-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388670-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388671-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388672-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388673-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388674-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388675-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388676-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388677-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388678-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388679-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388680-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388681-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388682-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388683-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388684-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388685-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388686-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388687-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388688-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388689-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388690-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388691-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388692-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388693-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388694-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388695-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388696-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388697-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388698-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388699-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388700-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388701-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388702-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388703-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388704-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388705-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388706-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388707-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388708-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388709-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388710-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388711-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388712-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388713-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388714-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388715-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388716-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388717-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388718-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388719-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388720-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388721-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388722-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388723-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388724-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388725-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388726-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388727-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388728-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388729-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388730-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388731-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388732-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388733-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388734-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

[1658-386388735-1-SP.PNG](#) 2019-04-26

USUÁRIO

Logado como:

olevotop

- [Perfil](#)
- [Sair do sistema](#)

CONTEÚDO DA REVISTA

Pesquisa

Escopo da Busca

Todos

Procurar

- [Por Edição](#)
- [Por Autor](#)
- [Por título](#)

AUTOR

Submissões

- [Ativa \(2\)](#)
- [Arquivo \(0\)](#)
- [Nova submissão](#)

TAMANHO DE FONTE

[Ajuda do sistema](#)

IDIOMA

Selecione o idioma

Português (Brasil)