Análise comparativa entre métodos analógico e automatizado para densidade de drenagem, no Chapadão do Diamante/ Serra da Canastra, MG

Sarah Miranda Rodrigues [1]
Luciane Ponzio da Silva Araújo [2]
Silvio Carlos Rodrigues [3]

RESUMO

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite a automação de parâmetros fundamentados na literatura clássica. No entanto, a transição do processo analógico para o digital levanta questionamentos sobre a veracidade conceitual de ferramentas que, embora possuam nomenclaturas idênticas, operam sob lógicas distintas. Este estudo investiga essa divergência no Chapadão do Diamante, área escarpada na Serra da Canastra (MG), região de elevada importância geológica e berço da nascente histórica do Rio São Francisco. O objetivo central é comparar os resultados de densidade de drenagem obtidos por métodos analógicos tradicionais — calculados individualmente para cada bacia — frente aos resultados gerados de forma automatizada no software QGIS (versão 3.40.12), utilizando a ferramenta "Densidade de Kernel" (com raio de 1 quilômetro e resolução de 30 metros). Para a delimitação da área de estudo, utilizou-se a cota altimétrica de 1080 metros como critério de contorno, derivada de curvas de nível com equidistância de 10 metros. O suporte cartográfico base consistiu no Modelo Digital de Elevação (MDE) do modelo SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*, com resolução espacial de 30 metros, utilizado para a extração da rede de drenagem e delimitação das 30 sub-bacias analisadas. A metodologia contempla a avaliação do algoritmo GRASS em comparação com dados oficiais da Base Hidrográfica Ottocodificada (ANA) e da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE-Sisema), observando as variações decorrentes de escalas e resoluções espaciais. Serão extraídos e analisados parâmetros como: rede de drenagem total, área das bacias, comprimento dos canais principais e densidade de drenagem. A análise possibilitará identificar como a variação de parâmetros dentro de uma mesma ferramenta SIG pode gerar resultados distintos, mesmo com dados de entrada idênticos. Espera-se, com este trabalho, fomentar o debate sobre a viabilidade e os limites da aplicação de conceitos geomorfológicos clássicos em ambientes automatizados, garantindo a integridade dos índices morfométricos.

Palavras-chave: Análise morfométrica; bacia hidrográfica; processamento.

[1] Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, sarah.rodrigues1@ufu.br
[2] Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, luciane.ambiental@gmail.com
[3] Professor Orientador do Curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, silgel@ufu.br

INTRODUÇÃO

Segundo Santos (2019), a rede de drenagem indica o grau de dissecação da superfície e indica as alterações na paisagem da bacia hidrográfica. Nesse sentido, as ferramentas no ambiente SIG – Sistemas de Informações Geográficas se consolidaram como técnicas eficazes no mapeamento de condicionantes para a análise morfométrica.

A escolha do Chapadão do Diamante se deu pela importância em relação à dinâmica hídrica tanto do Parque Nacional na Serra da Canastra – PNSC e seus entorno, como para destacar uma das principais nascentes brasileiras que abrange o bioma Cerrado, referente ao rio São Francisco.

A análise morfométrica para a caracterização de uma bacia hidrográfica consiste em utilizar parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo para compreender o seu regime hídrico e suas mudanças históricas sob influência do meio que o molda. Lima (2008) afirma que vários parâmetros físicos são aplicáveis à bacia como um todo, enquanto outros são relativos a apenas algumas características do sistema.

O critério para sintetizar esse trabalho apenas para a Densidade de Drenagem (Dd) é justificado pela eficiência em refletir diretamente as características das bacias hidrográficas, pois integra a relação entre escoamento de água, permeabilidade do solo e resistência das rochas à erosão. Ou seja, representa um parâmetro que sintetiza as condições hidrogeomorfológicas de uma área, espacialmente abrangente e padronizada, de forma a garantir a reprodutibilidade do método em outros trabalhos.

Tendo em vista a importância da discussão, cujos resultados contribuirão na área do conhecimento da Geografia e de suas temáticas, o presente estudo objetiva relacionar os conhecimentos da literatura clássica e sua aplicação analógica em contrapartida com os atuais métodos automáticos geoprocessados em softwares e programas digitais.

Área de Estudo

A área de estudo está localizada nas maiores altitudes do Parque Nacional da Serra da Canastra – PARNA Canastra, equivalente à delimitação escarpada do parque. O Chapadão do Diamante, como a área é conhecida, totaliza em uma área de 330,80 km², equivalente a 16,70% da área total do parque de 1.979,70 km², e perímetro de 127,15 km. Abrangendo 6 municípios, sendo eles São Roque de Minas, Delfinópolis, Sacramento, Vargem Bonita, São João Batista do Glória e Capitólio (Figura 1).

A área delimitada está localizada pelas coordenadas de latitude 20° 10’ a 20° 15” sul e longitude 46° 24’ a 46° 40’ oeste. A elaboração da camada de delimitação da área de estudo do Chapadão do Diamante foi determinada através da curva de nível de elevação 1080m. No software,

a partir da camada *raster* do modelo digital de elevação – MDE, foi utilizado com parâmetro de 10 metros de equidistância entre contornos (figura 2).

Dentro da área delimitada, a bacia hidrográfica do Rio Grande, localizada à sudoeste, apresenta um comprimento total de 48,80 km aproximadamente, possui em sua dinâmica sub-bacias de 2ª a 4ª ordem de magnitude. Enquanto a outra drenagem, localizada de forma predominante, refere-se à bacia hidrográfica do Rio São Francisco que, dentro da área de estudo, apresenta um comprimento total 488,80 km aproximadamente, possui em sua dinâmica sub-bacias que variam de 1ª a 5ª ordem de magnitude (Strahler, 1957).

Figura 1: Mapa de localização

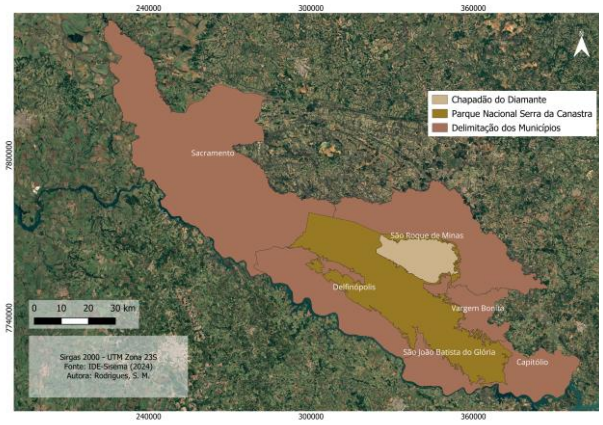
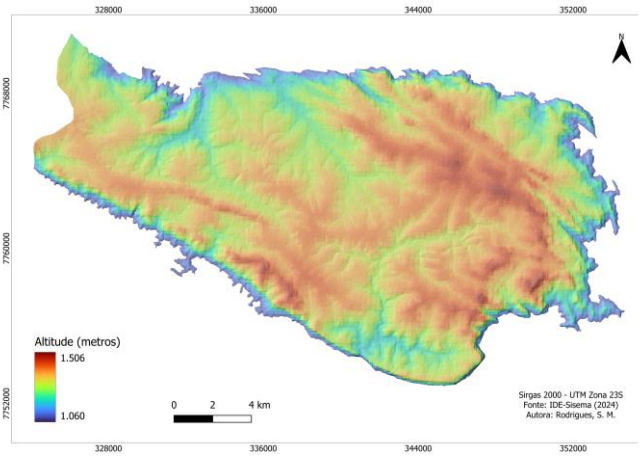


Figura 2: Mapa hipsométrico



Fonte: Os autores (2026).

Para a aplicação da análise da Densidade de Drenagem na bacia hidrográfica do Chapadão do Diamante foram escolhidos os parâmetros morfométricos em conjunto com as informações de declividade e elevação, com o intuito de avaliar as características morfológicas do estudo. Pois, segundo Meliani (2006), a Densidade de Drenagem expressa o grau de dissecação do relevo correlacionado com os canais fluviais disponíveis para o escoamento.

Segundo Nazar (2018), do ponto de vista geomorfológico, a superfície do Chapadão do Diamante evidencia na paisagem a ocorrência de superfícies aplainadas, vales encaixados com profundos depósitos aluviais, cristas quartzíticas com depósitos de tálus; além de marcas relacionadas à atividade estrutural (possível neotectônica), tais como lineamentos de feições e linhas de fraturas.

Em relação a estrutura geológica, segundo Simões (2015), a área de estudo é composta por litologia de quartzitos puras a micáceos, de origem metamórfica com baixo grau. Esta característica litoestrutura influência nos arranjos da drenagem que originam as nascentes presentes na área de estudo.

A serra é delimitada por uma escarpa, com declividade máxima de cerca de 70%, sendo considerada de alta a muito alta. Fato este que caracteriza a área em gerar pontos de ruptura abrupta na inclinação do leito ou queda do nível de base do curso d'água ao longo do seu perfil longitudinal, conhecidos como "*Knickpoints*", resultando em inúmeras cachoeiras em sua borda (Figura 3).

Figura 3 - Borda da escarpa vista pela região sul do PNSC



Fonte: A autora (2026)

REFERENCIAL TEÓRICO

Na literatura clássica, Christofoletti (1979) afirma que a Densidade de Canais é reconhecida como a variável mais importante na análise morfométrica, ele apresenta a equação $Dd = \frac{L_b}{A}$, onde L_b refere-se ao comprimento dos canais e *A* a área da bacia, como formulação para obter a Densidade de Drenagem de uma bacia hidrográfica através do em km/km², modificada por Horton (1932; 1945). Nesse sentido, Strahler (1964) contribuiu nessa análise ao abordar a atuação fluvial através da quantidade de canais de escoamento de certa bacia.

A aplicação do índice da Densidade de Drenagem se mostra útil sob variados aspectos: reflete dependência das condições climáticas existes na bacia, exerce controle sobre os processos, determina o tempo de travessia da água pela rede de drenagem e facilita a interpretação de paleo-redes de drenagem (Christofoletti, p. 24, 1979).

O mesmo autor (1980) aponta que diminuindo a capacidade de infiltração de uma área, haverá aumento do escoamento superficial e da densidade de drenagem, o que reflete em maior declividade das vertentes.

O fator topográfico também pode interferir para que a densidade de drenagem seja mais elevada nas bacias de ordem menor. Considerando a lei das declividades, os segmentos de ordens inferiores estão nas partes relativamente mais altas dos cursos de água, onde as declividades são mais

acentuadas. Aumentando o tamanho da bacia e a ordem da rede hidrográfica, incorporam-se áreas onde pode haver topografias relativamente mais suaves (Christofoletti, p. 34, 1979).

As restrições de aplicação desse índice morfométrico é enumerado, segundo Christofoletti (1979), em: problemas de definição da rede, características da documentação (diferentes escalas e técnicas de representação), estabelecer a rede e mensurar os comprimentos e as áreas e, definir a escolha do tamanho e da ordem da bacia.

Em sequência, a escolha da documentação mais apta à análise morfométrica é baseada na escala do mapa e na técnica de representação, o que reflete nas mensurações sobre os valores da densidade (Christofoletti, p. 25, 1979).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa foram os dados digitais processados e analisados pelo software QGis (versão 3.40.12), interpretação visual e análise das diversas propriedades da rede de drenagem. As etapas de operacionalização realizadas para atingir o objetivo deste trabalho corresponderam a extração da rede de drenagem total pelo método automático, geração das áreas das sub-bacias e dos comprimentos dos canais principais e cálculo densidade de drenagem, observado na Figura 4.

Primeiramente, a definição da rede de drenagem da área de estudo foi estabelecida de duas formas, para fins de comparação, através do metadados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH, referente à Agência Nacional de Águas - ANA, e pelo processamento do complemento “GRASS” na ferramenta “*watershed*”.

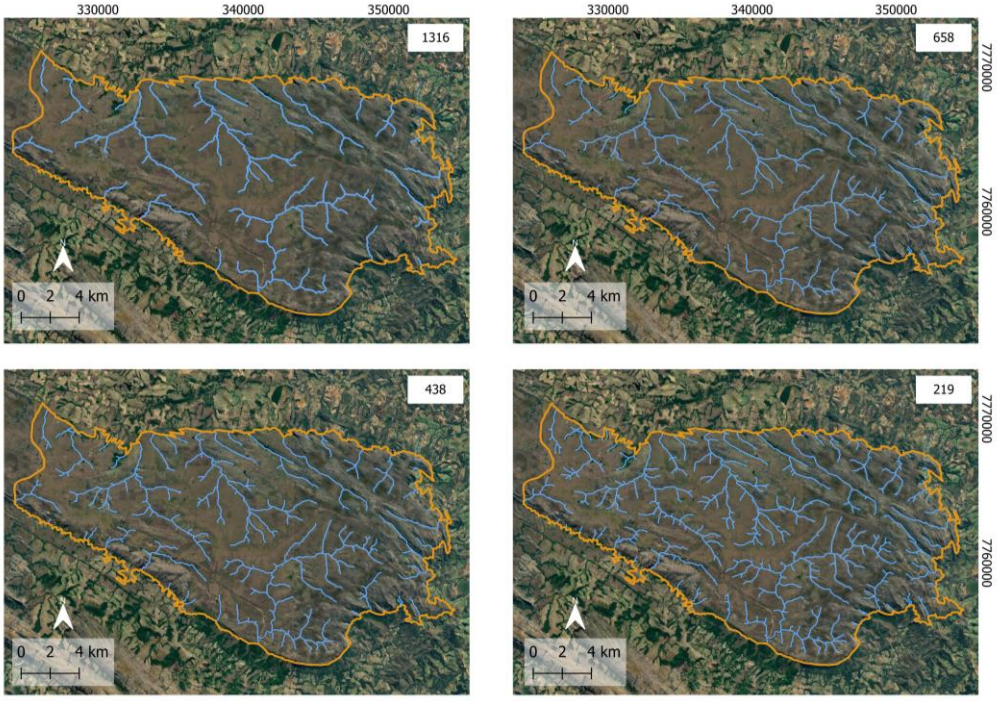
Foi utilizado o MDE do rador SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*, de parâmetro 30x30 metros, em que cada pixel representa uma área de 900 m². O valor de área mínima de contribuição (“*thereshold*”), de acordo com os parâmetros de área do MDE, foi *219 pixels* com base no valor de área do modelo de elevação em comparação com a área de cada pixel do raster.

Bertoni e Lombardi Neto (2008) cita que quanto mais canais a bacia possuir, melhor será o desenvolvimento do sistema de drenagem, sendo possível concluir que terá, assim, uma maior área de captação. Nesse critério, observa-se na Figura 4 que um menor parâmetro, no método automático de geração de drenagem, resulta em uma drenagem mais ramificada.

A definição da escolha do tamanho e da ordem da bacia são informações obtidas, pelo método automático, através das ferramentas “*r.water.outlet*” para delimitar a bacia hidrográfica (“*watershed basin*”) e posteriormente, na calculadora raster, obter sua área em km². Enquanto a ordem das bacias

é realizada pela ferramenta "Strahler *order*", através da camada de MDE como entrada, que classifica a hierarquia dos seguimentos de drenagem.

Figura 4: Comparação na geração da rede de drenagem pelo método automático com diferentes quantidades de pixels para definição de nascentes.

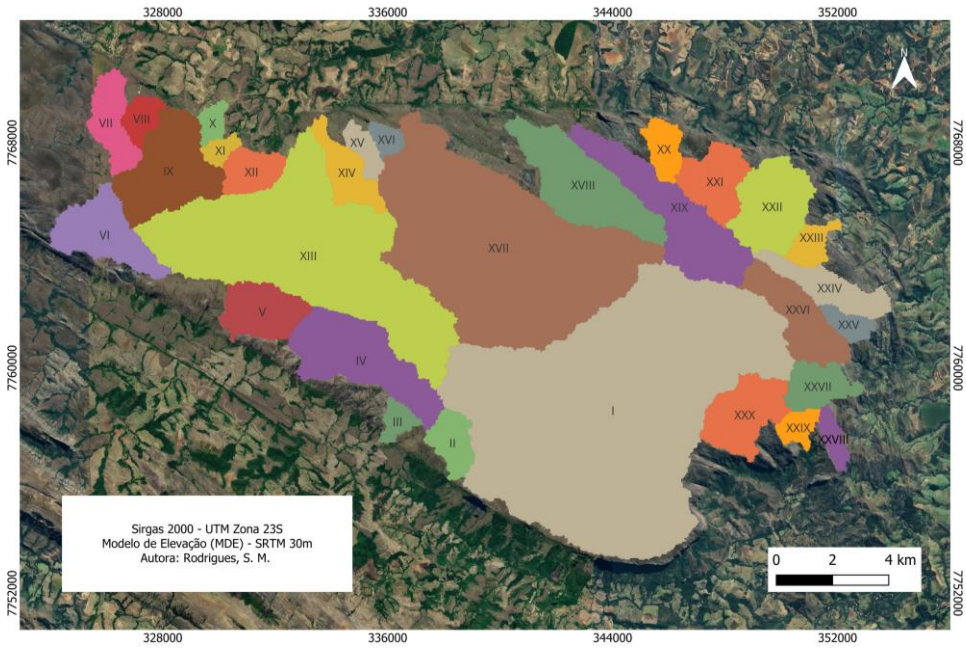


Fonte: Os autores (2026).

Para a realização do cálculo manual da densidade de drenagem, no ambiente do software, foi realizado o recorte das trinta sub-bacias (Figura 5) e a retirada dos valores de comprimento total em km e área em km² utilizando a calculadora *raster*. Assim, em uma camada vetorial criada com os valores agrupados, utilizou-se a calculadora *raster* para obter os valores da densidade de drenagem. Figuras 5 e 6.

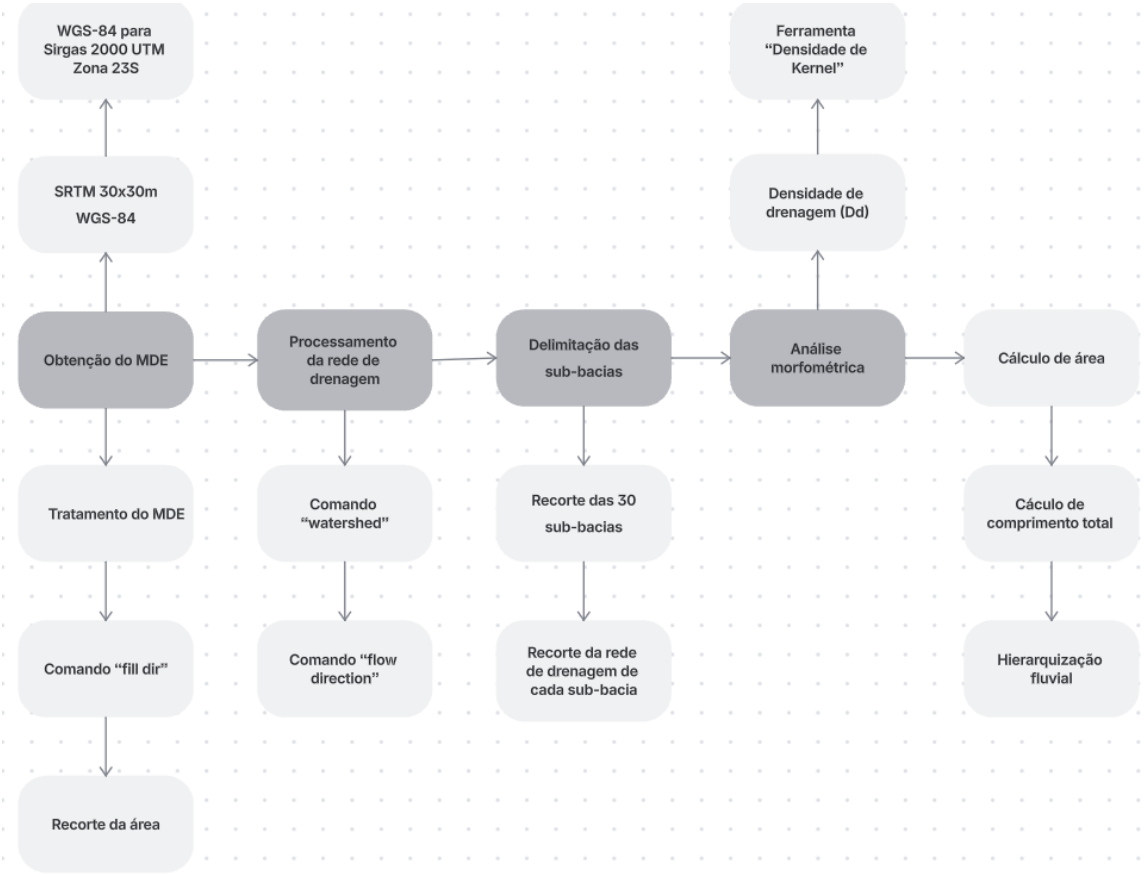
Por fim, para a construção do mapa de densidade de drenagem baseado no método de Kernel, foi utilizado como parâmetro a rede de drenagem no formato de pontos, com a distância de 1 quilômetro. Conclui-se que, na relação de comprimento e área, quanto maior a quantidade de pontos agrupados, maior o valor de densidade em km/km².

Figura 5: Mapa de delimitação das trinta sub-bacias



Fonte: Os autores (2026)

Figura 6: Etapas do método automático



Fonte: A autora (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para aplicação do método estimador de Kernel, foi necessário transformar as linhas de drenagem (parâmetro escolhido de valor 219) em pontos agrupados, de equidistância no valor de 1 quilômetro de raio da área e 30x30 metros de largura do pixel. O resultado encontrado (Figuras 7 e 8) mostra que a maior concentração de drenagens na área de estudo localiza-se na região central e sudeste, variando de 0 a 68,28 km/km², para a delimitação total da área de estudo. Isso significa que as áreas em vermelho possuem maior concentração de canais, logo, maior dissecação topográfica e maior potencial erosivo.

Enquanto para o método analógico, foi necessário calcular o comprimento total do curso d´água e a área total de cada umas das trinta sub-bacias, de forma a encontrar o valor da densidade de drenagem em km/km². No software, esses valores foram importados da tabela Excel (Figura 9), em formato *csv*, para uma camada vetorial em formato de linha. Nesse caso, o resultado apresentou uma variação de cor gradativa para representar os valores de 0,909 a 1,414 km/km² (figura 10). Isso indica que a rede hidrográfica é moderadamente desenvolvida e apresenta um equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial.

A principal diferença destes dois métodos refere-se ao fato de que, no analógico, os valores de densidade de drenagem são representados por linhas, já que o processamento ocorre através de um valor único para toda a drenagem da bacia. Enquanto, no método automático, a drenagem é convertida em pontos (Figura 7) determinados por todo o curso d´água no qual resulta em um mapa com dimensão de área e seus arredores.

Figura 7: Mapa de drenagem em pontos

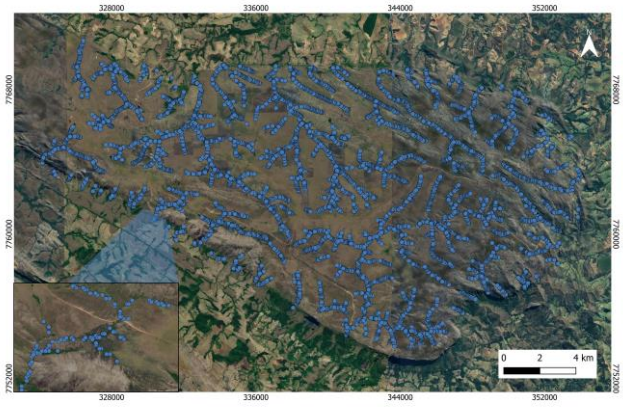


Figura 8: Mapa de densidade de drenagem método automático

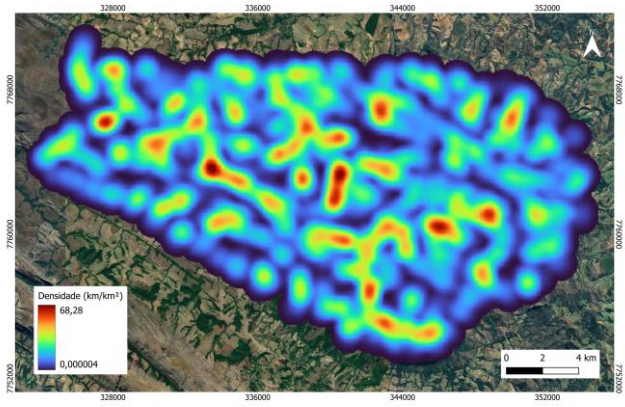


Figura 9: Cálculo tradicional

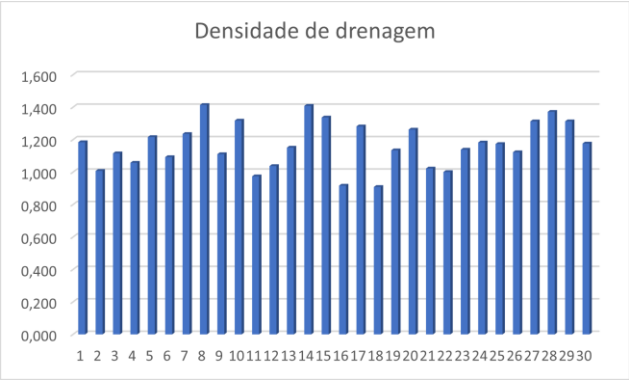
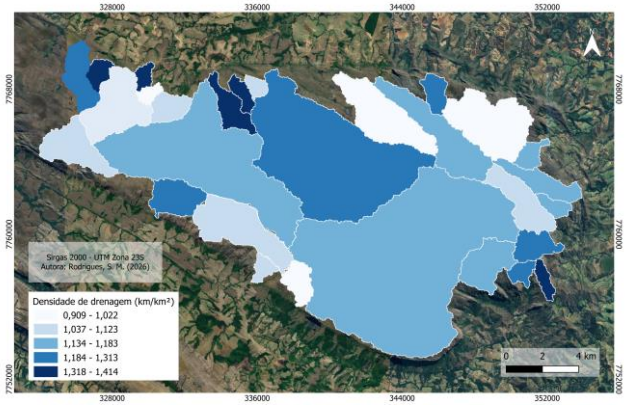


Figura 10: Mapa de densidade de drenagem método tradicional



Fonte: Os autores (2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os procedimentos de geotecnologias mostraram-se eficientes na confecção do mapa de rede de drenagem, no sentido em que os bancos de dados disponibilizados de fontes oficiais, igualam-se aos cursos d'água gerados em software. Porém, para os métodos de cálculo de densidade de drenagem, verifica-se diferenças sob a ótica dos resultados analógicos e automáticos, já que gera diferentes interpretações quando o conceito definido na literatura clássica é condicionado na ferramenta do ambiente SIG.

O índice de densidade de drenagem (Dd) reforça que as sub-bacias apresentam valores baixos, ou seja, resultado de pouca ramificação de canais e baixa capacidade de escoamento superficial. Implica em uma formação rochosa mais impermeável e resistentes à erosão, associada ao relevo geologicamente mais antigo e estável.

As geotecnologias tornam-se inevitáveis no momento atual que necessita de automatizações e novas tecnologias no espaço acadêmico, afim de contribuir com o conhecimento da literatura clássica e complementar a ela métodos e aplicações de estudos de Geomorfologia, Geoprocessamento e suas áreas em comum.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio Universitário (FAU), por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo financiamento da pesquisa, através do projeto de Iniciação Científica (IC) pelo Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES) e seus integrantes. E ao CNPQ Processo UNIVERSAL 403412/2023-4.

REFERÊNCIAS

CHRISTOFOLETTI, A. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. Geografia, p. 23-42, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

HORTON, R. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370, 1945.

NAZAR, T. I. S. M. O Chapadão do Diamante na Serra da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes. 2018. 270 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.608

MELIANI, P. F. Mapeamento da rede hidrográfica e análise dos parâmetros da densidade de drenagem aplicados ao estudo ambiental: o caso da Bacia do Rio Jeribucassu, Itacaré, Bahia. Geografia, v. 31, n. 1, p. 119-136, 2006.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R. Espacialização da susceptibilidade erosiva a partir da densidade de drenagem pelo interpolador Kernel. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 14, 2019.

SIMÕES, L. S. A. MARTINS, J. E. S. VALERIANO, C. M. GODOY, A. M. ARTUR, A. C. Folha Vargem Bonita, SF.23-V-B-I. Escala 1:100.000.: Projeto Fronteiras de Minas Gerais. Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais. Contrato CODEMIG 3473, FUNDEP 19967. Belo Horizonte: UFMG, 2015.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.