

Análise comparativa de variáveis morfométricas no município de Campos do Jordão (SP) a partir dos modelos digitais globais COPDEM e FABDEM

RESUMO

Cinthia Maria Amaral

cinthiaamaral@gmail.com

orcid.org/0000-0002-8221-4541

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

André de Souza Avelar

andreavelar@acd.ufrj.br

orcid.org/0000-0003-4708-3803

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Este artigo objetivou realizar uma análise descritiva e comparativa das variáveis declividade, orientação de vertentes e hipsometria a partir dos MDEs COPDEM e FABDEM (30m), no município de Campos do Jordão (SP) e quatro áreas de detalhamento (AD1, AD2, AD3 e AD4), em escala de 1: 25 000. No software QGIS 3.36 foram realizados os cálculos que permitiram quantificar e comparar as variáveis. No que tange as classes, definiu-se para a declividade os intervalos de 0–10°, 10–20°, 20–35° e >35°; para a orientação de vertentes as seções: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste; e para a hipsometria, cuja amplitude é de 950 a 2050 metros de altitude, os intervalos foram fixados a cada 50m. Os resultados mostraram que para o COPDEM e o FABDEM os valores de áreas classificadas de cada variável são próximos, o que corrobora com interpretações geomorfológicas semelhantes. Entretanto, nas variáveis de declividade e hipsometria, o FABDEM apresentou maior número de área classificada quando comparada a área total do município. Na análise descritiva de detalhamento foi possível identificar visualmente onde ocorrem as principais diferenças em cada modelo, constatando suas aptidões para o tipo de análise proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Morfometria. Modelos Digitais de Elevação (MDEs). COPDEM. FABDEM.

INTRODUÇÃO

Os estudos geomorfológicos visam a compreensão da dinâmica natural da superfície terrestre somada às intercorrências antrópicas ao meio. Análises que buscam identificar e caracterizar o relevo são um aporte primordial ao planejamento e políticas públicas, principalmente quando envolve áreas urbanas demasiadamente ocupadas por populações vulneráveis e que estão suscetíveis a diversos riscos.

A ciência geomorfológica tem como objeto de estudo a morfogênese, a morfodinâmica, a morfocronologia e a morfologia, que abrange as descrições qualitativas (morfografia) e quantitativas (morfometria) do relevo. Na morfometria constam variáveis como a declividade (inclinação), o comprimento e a orientação (aspecto) de vertentes, a hipsometria (altitude), a amplitude altimétrica, a densidade de drenagem, a frequência de rios e a amplitude interfluvial (FLORENZANO, 2008).

Dentre as variáveis geomorfométricas mais utilizadas para caracterização do relevo, destacam-se a: declividade, que é definida pelo ângulo de inclinação do relevo (superfície) em relação ao seu plano horizontal, expressa em graus ou porcentagem; a orientação de vertentes, definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente, em graus (0º a 360º); e a hipsometria, que quantifica a altura do relevo em relação ao nível do mar (altura absoluta do relevo) (FLORENZANO, 2008; VALERIANO, 2008).

O mapeamento e as caracterizações geomorfológicas através do Sistema de Informações Geográficas – SIG (*Geographic Information System – GIS*) vêm sendo utilizado em larga escala a fim de viabilizar e agilizar o processo cartográfico, bem como fornecer acesso e (re)conhecimento de áreas remotas. Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto e toda sua conjuntura, é uma tecnologia intrínseca aos estudos geomorfológicos, em essencial para os cálculos de variáveis morfométricas oriundas de Modelos Digitais de Elevação – MDEs (*Digital Elevation Model – DEMs*).

Os MDEs são uma representação topográfica de um dado terreno na superfície terrestre, gerados a partir de diferentes fontes e base de dados, como o próprio Sensoriamento Remoto (FLORENZANO, 2008). Quando o MDE considera e possui informações sobre a elevação da vegetação, das edificações ou de qualquer corpo e/ou elemento acima da superfície, natural ou não, este é considerado um Modelo Digital de Superfície – MDS (*Digital Surface Model – DSM*) e, caso o modelo não possua tais informações, considerando somente os dados altimétricos do relevo em si, trata-se de um Modelo Digital de Terreno – MDT (*Digital Terrain Model - DTM*). O MDT e o MDS seriam “tipos” do MDE, pois este apresenta uma definição mais genérica (JENSEN, 2009; TSCHIEDEL *et al.*, 2023). Motta *et al.* (2021) ressaltam que, na esfera comercial, o MDT e o MDS são nomeados e considerados um MDE.

Vários MDEs estão disponíveis global e gratuitamente e com resoluções espaciais diversas (90m, 30m, 15m etc.), desde o pioneiro SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e alguns de seus sucessores AW3D30, ALOS/PALSAR, ASTER, TanDEM-X, MERIT, NASADEM, COPDEM e FABDEM. Inúmeros estudos vêm sendo realizados com o intuito de comparar e/ou analisar esses modelos em diferentes

perspectivas e temáticas, como os trabalhos de Uuemaa *et al.* (2020); Lacerda *et al.* (2021); Borgohain *et al.* (2023); Bielski *et al.* (2024) entre outros.

Dos modelos digitais globais mais atuais, o COPDEM e o FABDEM vêm ganhando notoriedade nos estudos e análises morfométricas (geomorfométricas). O *Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model* (COPDEM) apresenta informações de superfície considerando as altimetrias de árvores e edifícios e, o *Forest And Buildings removed Copernicus DEM* (FABDEM), baseado em *machine learning*, surgiu com o objetivo de desconsiderar esses valores altimétricos referentes aos elementos e corpos que estão superfície (HAWKER *et al.*, 2022; TSCHIEDEL *et al.*, 2023). Logo, exemplificamos aqui, um MDS e um MDT, respectivamente.

Uuemaa *et al.* (2020), a partir de seus estudos direcionados aos MDEs, destacam que as variáveis topográficas e de terreno derivadas desses produtos são insumos fundamentais para a modelagem da paisagem e análise espacial, sobretudo para as pesquisas em geomorfologia, geologia e hidrologia. Desse modo e, considerando a importância do Sensoriamento Remoto e de seus produtos (MDEs) ao mapeamento geomorfológico, o presente artigo objetivou comparar quantitativamente os resultados da extração automática das variáveis morfométricas declividade, orientação de vertentes e hipsometria, dos modelos COPDEM e FABDEM, no município de Campos do Jordão (SP) e analisar descritivamente quatro áreas de detalhamento, denominadas AD1, AD2, AD3 e AD4. O software utilizado para o processamento e classificação das imagens e dos cálculos de área das variáveis, em quilômetro quadrado (Km²) e porcentagem (%), foi o QGIS 3.36 (*Maidenhead*), mantendo, assim, a condição de produtos e ferramentas gratuitos utilizados nesta pesquisa.

MATERIAL E MÉTODOS

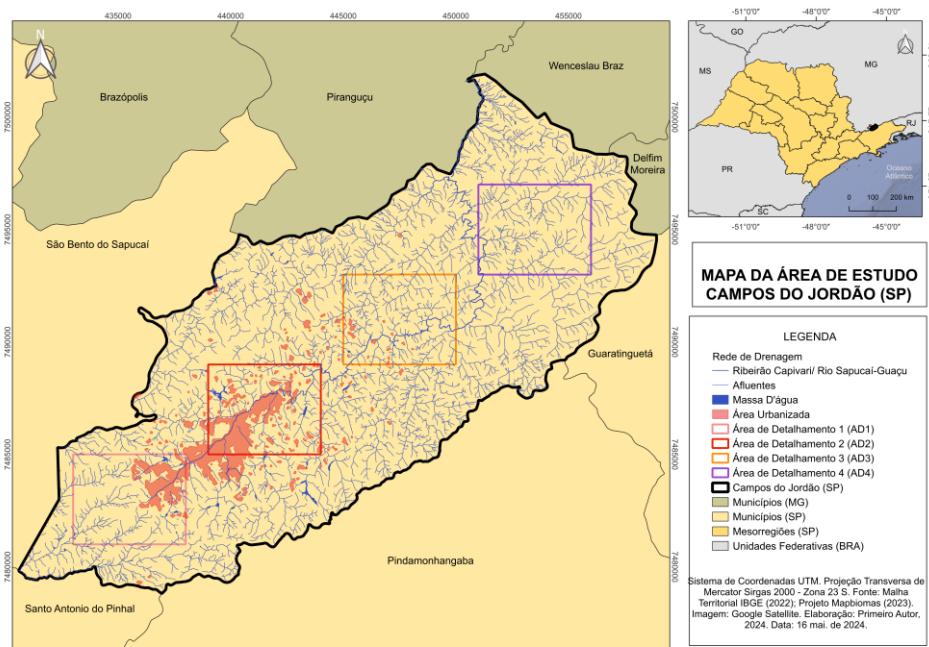
ÁREA DE ESTUDO

Campos do Jordão é um município paulista com área urbana territorial de 289,981 Km², sendo 11,39 Km² urbanizada, e população de 46 974 mil habitantes (IBGE, 2022; PROJETO MAPBIOMAS, 2022). Limita-se com os municípios de Piranguçu, Wenceslau Braz e Delfim Moreira pelo estado de Minas Gerais, e com os municípios de São Bento do Sapucaí, Santo Antônio do Pinhal, Pindamonhangaba e Guaratinguetá, pelo estado de São Paulo (Figura 1).

Geomorfologicamente, a área de estudo se insere na Serra da Mantiqueira e se apresenta, morfoclimaticamente, no Domínio de Mares de Morros (AB'SÁBER, 2012). O ribeirão Capivari que, posteriormente, ainda em área urbana, recebe o nome de rio Sapucaí-Guaçu é o principal curso d'água jordanense e se desenvolve no sentido SO-NE com entorno composto por um relevo que se eleva abruptamente em sua margem esquerda e mais suavemente na sua margem direita, mesmo que ainda acidentado. Esse relevo se caracteriza por declividades médias e altas com amplitudes locais de até 300m e apresenta vertentes com topos arredondados e com perfis retilíneos. Configura também, eventualmente, serras restritas. Com exceção às áreas próximas ao ribeirão Capivari, que apresenta maior largura, comumente encontra-se vales mais encaixados e com planícies aluvionares restritas devido a configuração da rede de drenagem. Essas

características geomorfológicas desencadearam uma ocupação urbana preferencial nos fundos de vale, ramificando-se posteriormente para encostas adjacentes (ROSA FILHO, 2006).

Figura 1 – Área de estudo: município de Campos do Jordão (SP)



Fonte: Autoria própria (2024).

DADOS UTILIZADOS

Para realização dessa análise utilizou-se dois modelos digitais globais com resolução espacial de 30 metros: COPDEM, ano de 2021, extraído a partir de um recorte da área de estudo pela plataforma *OpenTopography* e, o modelo FABDEM, disponibilizado pela *University of Bristol*, ano de 2023, folha S23W046_FABDEM_V1-2. Para complemento da análise de detalhamento foi utilizada imagem do *Google Satellite*, renderizada para 0,5 metros de resolução espacial. Além dos produtos rasters, foram utilizados arquivos vetoriais em formato shapefile do limite territorial nacional, estadual e municipal (Campos do Jordão - SP), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Por fim, no âmbito do geoprocessamento e processamento de imagens, utilizou-se como ferramenta o software QGIS 3.36 (Maidenhead).

Ressalta-se que todos os produtos (dados) e ferramentas utilizados neste artigo são de livre acesso e disponibilizados gratuitamente para download em suas respectivas plataformas oficiais.

PROCEDIMENTOS

Após a aquisição dos dados, a primeira etapa consistiu na inserção das imagens rasters (COPDEM e FABDEM) em ambiente de geoprocessamento (QGIS 3.36) para realizar a projeção de suas camadas (Sigras 2000) e, em seguida, sua reprojeção para UTM (Projeção Transversa de Mercator) (Sigras 2000 – 23S).

Na segunda etapa, a fim de viabilizar e otimizar o tempo de processamento, foi feito um recorte espacial nessas camadas com a referência do limite territorial municipal da área de estudo aplicando-se um buffer de 2Km, que objetivou amenizar e/ou anular os possíveis efeitos de borda após a classificação e cálculo das variáveis. Em seguida, na terceira etapa, foi aplicada a ferramenta de preenchimento de dados vazios.

A classificação e o cálculo das variáveis foram concretizados na quarta etapa, tanto para o modelo COPDEM quanto para o FABDEM. A Tabela 1 sintetiza as principais informações a respeito da rotina estabelecida para gerar esses processos no software QGIS 3.36. A variável relevo sombreado foi utilizada apenas para compor sobreposição com a variável hipsometria, facilitando assim, a partir da interpretação visual, o entendimento das amplitudes altimétricas na área de estudo.

Tabela 1 - Rotinas aplicadas para os cálculos das variáveis morfométricas

Modelo Digital	Variáveis	Ferramentas (QGIS 3.36)	Extensões
COPDEM e FABDEM	Declividade	Raster-Análise-Declividade	GDAL
	Orientação de Vert.	Raster-Análise-Aspecto	GDAL
	Relevo Sombreado	Raster-Análise-Sombreamento	GDAL
	Hipsometria	Análise de dados raster – Reclassificar por tabela	-

Fonte: Autoria própria (2024).

Assim como na hipsometria, as variáveis de declividade e orientação de vertentes também foram reclassificadas, ação indispensável para melhores interpretações e visualização dos resultados. Dessa forma, na quinta etapa, foi necessário realizar um novo recorte de área e, desta vez, com o arquivo shapefile do limite territorial da área de estudo disponibilizado pelo IBGE (2022). Em seguida, foi realizada a reclassificação a partir das ferramentas reclassificar por tabela, para as variáveis declividade e hipsometria, e o *r.reclass*, para a variável orientação. As classes escolhidas e seus respectivos intervalos ficaram definidas em: a) declividade (0 – 10°, 10 – 20°, 20 – 35°, > 35°), baseado em Coelho Netto *et al.* (2007); b) orientação de vertentes: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste; Oeste, Noroeste; e c) hipsometria (intervalos de 50m): 950 – 1000; 1000 – 1050; 1050 – 1100; 1100 – 1150; 1150 – 1200; 1200 – 1250; 1250 – 1300; 1300 – 1350; 1350 – 1400; 1400 – 1450; 1450 – 1500; 1500 – 1550; 1550 – 1600; 1600 – 1650; 1650 – 1700; 1700 – 1750; 1750 – 1800; 1800 – 1850; 1850 – 1900; 1900 – 1950; 1950 – 2000; 2000 – 2050.

A sexta etapa consistiu no cálculo das áreas classificadas através da ferramenta *r.report*, da extensão GRASS, objetivando quantificar as variáveis (por intervalo) para realizar a comparação entre os resultados dos modelos COPDEM e FABDEM para todo o município de Campos do Jordão.

Em seguida, foi realizada a confecção dos mapas (etapa sete) e a escolha das áreas de detalhamento (etapa oito). O recorte para esse detalhamento foi feito para quatro áreas distintas (AD1, AD2, AD3 e AD4) (Tabela 2), que apresentam características diversificadas em relação ao seu uso e ocupação do solo e cobertura vegetal. Os quatro arquivos shapefiles gerados possuem cada um tamanho de 5 km x 4 km (X e Y). A escala de visualização final é de 1: 25 000.

Tabela 2 - Coordenadas UTM das áreas de detalhamento por quadrante

Ponto	Área 1 (AD1)	Área 2 (AD2)	Área 3 (AD3)	Área 4 (AD4)
1	438002,286	444002,513	449999,053	455999,281
	7485002,805	7489000,498	7493001,880	7497000,495
2	438002,286	443998,825	449999,975	455999,281
	7481001,424	7485002,805	7488999,576	7492995,426
3	4330001,481	439001,709	445000,093	450998,476
	7481001,424	7484999,117	7488999,576	7492995,426
4	433001,481	438998,021	444998,249	450998,476
	7485002,805	7488996,811	7492998,192	7497000,495

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao final, etapa nove, a fim de complementar a análise detalhada de áreas, foi extraído um recorte de imagem do *Google Satellite* (disponibilizada pela ferramenta *QuickMapServices* no QGIS 3.36 e renderizada para 0,5 metros de resolução espacial, intencionando proporcionar a identificação de elementos naturais e/ou construídos. Para essa imagem e seus respectivos recortes, não foram computados cálculos, classificações ou análises quantitativas, apenas descritivas.

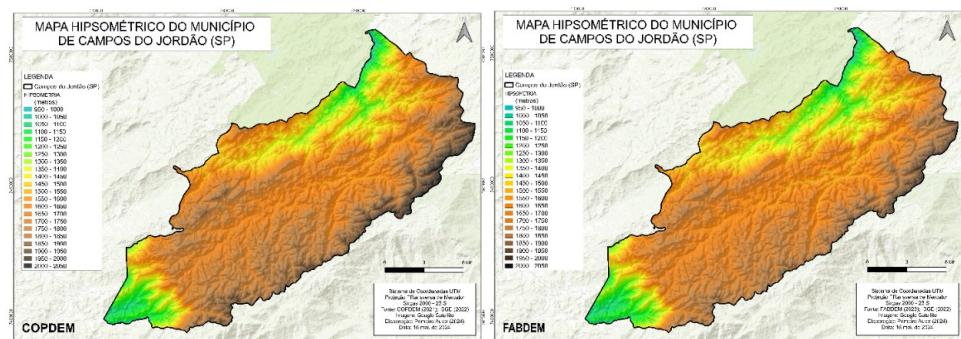
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização dos MDEs COPDEM e FABDEM ainda é muito recente em comparação aos modelos tradicionais, mas, todavia, alguns estudos iniciais já destacaram e publicaram os efeitos positivos e negativos do uso dos MDEs para estudos geomorfológicos. A seguir, serão apresentados os resultados quantitativos em uma análise comparativa e, logo após, uma análise comparativa e descritiva entre as áreas de detalhamento, destacando, principalmente, o uso e ocupação da terra e da cobertura vegetal.

ANÁLISE COMPARATIVA A PARTIR DOS RESULTADOS QUANTITATIVOS E DESCRIPTIVOS DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS: MUNICÍPIO DE CAMPOS DO JORDÃO (SP)

De acordo com os modelos analisados, COPDEM e FABDEM, a altimetria de Campos do Jordão varia de 950 a 2050 metros, aproximadamente. As porções de maior elevação estão localizadas nos limites do município na parte Sul – Sudeste, com o município de Pindamonhangaba (SP) - região do Pico do Itapeva. Já as porções de menor altitude encontram-se em dois extremos: ao norte do município, próximo à divisa com o estado de Minas Gerais e, a sudoeste, nos limites com os municípios de São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal, ambos pertencentes ao estado de São Paulo. As porções de altitude mediana compõem a maior parte do território, mas, de todo modo, apresentam amplitude altimétrica significativa em sua distribuição no decorrer do município (Figura 2).

Figura 2 – Mapas hipsométricos do município de Campos do Jordão (SP)



Fonte: Autoria própria (2024).

No geral, em relação a variável hipsometria, os modelos apresentaram resultados aproximados, não havendo, neste caso, nenhuma discrepância a destacar (Tabela 3). O FABDEM apresentou maiores áreas classificadas para os intervalos de 950 – 1000 a 1650 – 1700 (baixa a média altitude) e o COPDEM para as classes de 1700 – 1750 a 2000 – 2050 (alta altitude). Em relação a área total classificada o FABDEM obteve 289.767977 Km² e o COPDEM 289,760416 Km², diferença de 0,007561 km².

Tabela 3 – Quantitativo de classes em porcentagem e Km² para a variável hipsometria (continua)

Classes (metros)	COPDEM (Km ²)	FABDEM (Km ²)	COPDEM (%)	FABDEM (%)
950-1000	0,299072	0,359419	0,10	0,12
1000-1050	2,288067	2,522096	0,79	0,87
1050-1100	3,882833	4,069005	1,34	1,40
1100-1150	3,580362	3,640874	1,24	1,26
1150-1200	4,257522	4,472470	1,47	1,54
1200-1250	5,519230	5,757744	1,90	1,99
1250-1300	7,609332	7,958302	2,63	2,75
1300-1350	9,280565	9,617089	3,20	3,32
1350-1400	11,430141	11,763909	3,94	4,06
1400-1450	14,822735	15,450592	5,12	5,33
1450-1500	16,286656	16,471588	5,62	5,68
1500-1550	21,071801	21,310524	7,27	7,35
1550-1600	30,540135	31,150487	10,54	10,75
1600-1650	37,025400	37,463215	12,78	12,93
1650-1700	38,787543	39,034791	13,39	13,47
1700-1750	33,134921	31,959179	11,44	11,03
1750-1800	21,353030	20,715898	7,37	7,15
1800-1850	14,836329	14,164438	5,12	4,89
1850-1900	8,585563	7,496695	2,96	2,59

Tabela 3 – Quantitativo de classes em porcentagem e Km² para a variável hipsometria (conclusão)

Classes (metros)	COPDEM (Km ²)	FABDEM (Km ²)	COPDEM (%)	FADDEM (%)
1900-1950	3,667025	3,373953	1,27	1,16
1950-2000	1,490260	1,011305	0,51	0,35
2000-2050	0,011895	0,004405	0,00*	0,00**
Área Total	289,760416	289,767977	100	100

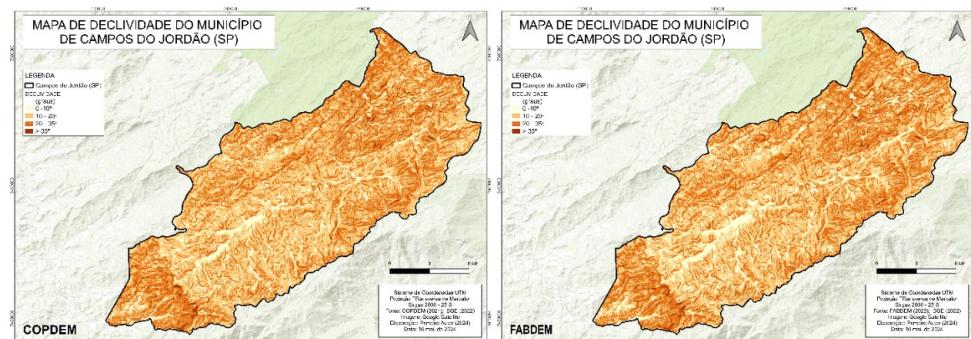
* valor real em porcentagem: 0,004105

** valor real em porcentagem: 0,001520

Fonte: Autoria própria (2024).

Conforme mencionado anteriormente, Campos do Jordão é um município composto em mares de morros (AB'SÁBER, 2012) e, por esse e outros aspectos naturais, em sua maior parte, apresenta um relevo declivoso. Em relação a variável declividade, a porção sudoeste apresenta os maiores declives, fato observável no mapa a seguir (Figura 3). No geral, a declividade do município é diversificada na sua distribuição, ou seja, encontra-se altas declividades em quaisquer áreas, seja rural ou urbana, ocupada ou não.

Figura 3 – Mapas de declividade do município de Campos do Jordão (SP)



Fonte: Autoria própria (2024).

Desse modo, das classes estabelecidas que possuem maiores valores de área classificada, em ordem decrescente, são: 10 – 20°; 20 – 35°; 0 – 10° e > 35° (Tabela 4). As porções com os menores declives (0 – 10°) estão inseridas em vales, seja formado pelo ribeirão Capivari – rio Sapucaí-Guaçu ou de seus afluentes. As áreas com declividade de 10 – 20° detém a maior representatividade, podendo ser encontradas por todo o território. Em área urbana, os declives menos acentuados encontram-se na margem direita do ribeirão Capivari, conforme mencionado anteriormente por Rosa Filho (2006). Os declives de 20 – 35° também são expressivos, principalmente na área urbana e em bairros periféricos (margem esquerda do ribeirão Capivari). Declividades acima de 35° estão em menor proporção no município, abrangendo, em média, 1,20% do território. Em síntese, o modelo COPDEM apresentou maiores valores de áreas classificadas nos intervalos de 10 – 20° e >35° e o FABDEM nos intervalos de 0 – 10° e 20 – 35°. Em relação à área total classificada, a diferença se manteve em 0,007561 km², sendo a área classificada do COPDEM em 289,760416 Km² e a do FABDEM em 289.767977 Km².

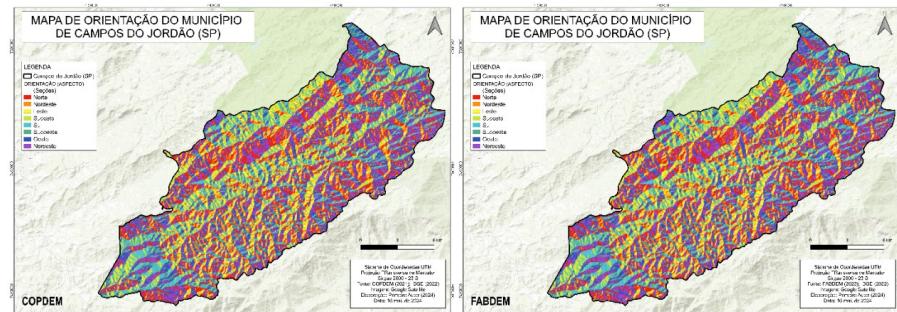
Tabela 4 – Quantitativo de classes em porcentagem e Km² para a variável declividade

Classes (graus)	COPDEM (Km ²)	FABDEM (Km ²)	COPDEM (%)	FABDEM (%)
0 – 10	55,311247	58,964020	19,09	20,35
10 – 20	132,255055	126,609582	45,64	43,69
20 – 35	98,670677	100,818660	34,05	34,79
> 35	3,523437	3,375715	1,22	1,17
Área Total	289,760416	289,767977	100	100

Fonte: Autoria própria (2024).

Na orientação de vertentes os resultados entre os MDEs também apresentaram valores aproximados e a sua distribuição no município condiciona um determinado padrão em algumas regiões (Figura 4). O setor Noroeste é o que possui maior representação, com aproximadamente 18% da área classificada, seguido dos setores Norte, Oeste e Sul. As menores porções são representadas, em sequência, pelos setores Leste, Sudoeste, Sudeste e Nordeste. Os maiores valores de área classificada para o COPDEM são dos setores Norte, Sul, Leste e Noroeste e, do FABDEM, dos setores Oeste, Nordeste, Sudeste e Sudoeste. No que tange a área total classificada, a diferença constada foi de 0,193306 Km², sendo o COPDEM com a maior abrangência (289,520819 Km²) (Tabela 5). Ao contrário do ocorrido com os resultados das variáveis hipsometria e declividade, a área total classificada na variável de orientação obteve um menor valor, diferença aproximada de 0,24 Km² para o COPDEM e 0,44 Km² para o FABDEM.

Figura 4 – Mapas de orientação de vertentes do município de Campos do Jordão (SP)



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 5 – Quantitativo de classes em porcentagem e Km² para a variável orientação

Classes (direção)	COPDEM (Km ²)	FABDEM (Km ²)	COPDEM (%)	FABDEM (%)
Norte	44,912563	44,714132	15,51	15,45
Sul	32,433122	32,121269	11,20	11,10
Leste	27,195971	26,689469	9,39	9,23
Oeste	43,509815	43,242983	15,03	14,95
Nordeste	31,424605	31,974154	10,86	11,05
Sudeste	29,505279	29,623839	10,19	10,24
Sudoeste	28,486567	29,032737	9,84	10,03
Noroeste	52,052897	51,928930	17,98	17,95
Área Total	289,520819	289,327513	100	100

Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, destaca-se a diferença entre os valores totais das áreas classificadas dos modelos COPDEM e FABDEM com o valor oficial de área total do limite territorial do município fornecido pelo IBGE (2022), arquivo vetorial que foi utilizado para o segundo recorte espacial dos arquivos rasters. Nesse aspecto, afirma-se que o modelo FABDEM teve melhor desempenho no quesito citado, pois teve valor de área final calculada mais próximo ao valor do IBGE nas variáveis de hipsometria e declividade. Já o modelo COPDEM, se desenvolveu positivamente na variável orientação de vertentes. Em relação as áreas não classificadas (não computadas), as diferenças, em porcentagem, são de 0,08 para o COPDEM e 0,07 para o FABDEM, nas variáveis de hipsometria e declividade. Para a orientação de vertentes, esses valores são de 0,13 (COPDEM) e 0,19 (FABDEM) (Tabela 6).

Tabela 6 – Quantitativo de área classificada em porcentagem e Km²

Variável	Descrição	COPDEM (Km ²)	FABDEM (Km ²)	COPDEM (%)	FABDEM (%)
Hipsometria	Área Total	289,760416	289,767977	100	100
	Área Total (IBGE, 2022)	289,981444	289,981444	-	-
	Área Não Classificada	0,221028	0,213467	0,08	0,07
Declividade	Área Total	289,760416	289,767977	100	100
	Área Total (IBGE, 2022)	289,981444	289,981444	-	-
	Área Não Classificada	0,221028	0,213467	0,08	0,07
Orientação de Vertentes	Área Total	289,520819	289,327513	100	100
	Área Total (IBGE, 2022)	289,981444	289,981444	-	-
	Área Não Classificada	0,460625	0,653931	0,13	0,19

Fonte: Autoria própria (2024).

Em suma, neste estudo, O FABDEM se apresenta como melhor opção para as variáveis morfométricas analisadas. Hawker *et al.* (2022), afirmam que o FABDEM apresentou menores erros e algumas vantagens em detrimento a outros MDEs analisados, principalmente para estudos voltados a hidrologia e modelagens de inundações.

Na literatura atual, ainda não há estudos comparativos diretos com os MDEs COPDEM e FABDEM, principalmente no que tange os estudos morfométricos. Dessa forma, não é possível contrastar diretamente os resultados deste estudo com o de outros autores, mas, todavia, é importante ressaltar alguns estudos realizados com esses modelos nos últimos anos.

Ribeiro *et al.* (2023), para avaliar bacias e redes hidrográficas geradas por MDEs em região plana da savana amazônica, constataram que o modelo COPDEM obteve melhores resultados quando comparado ao FABDEM e outros modelos utilizados na pesquisa (ALOS, MERIT DEM e NASADEM). Tschiedel *et al.* (2023) concluíram que, dentre os modelos NASADEM, AW3D30, ALOS PALSAR,

SRTM e ASTERGDEM, o COPDEM e o FABDEM foram os mais adequados para estudos relacionados a rompimento de barragens. Borgohain *et al.* (2023), em pesquisa de comparação de parâmetros geomorfológicos, ressaltam a importância e a potencialidade do FABDEM em relação a resolução espacial, pois pode ofertar resultados mais refinados e detalhados. Por fim, em seus estudos comparativos, Bielski *et al.* (2024) ressaltam a relevância dos modelos COPDEM e FABDEM quando comparados aos MDEs ALOS, ASTER, NASADEM e SRTM, sendo que o FABDEM melhora as características do COPDEM para todas as áreas, com exceção de áreas íngremes. Os autores reforçam ainda que os resultados podem variar conforme a área escolhida e dos critérios mais relevantes.

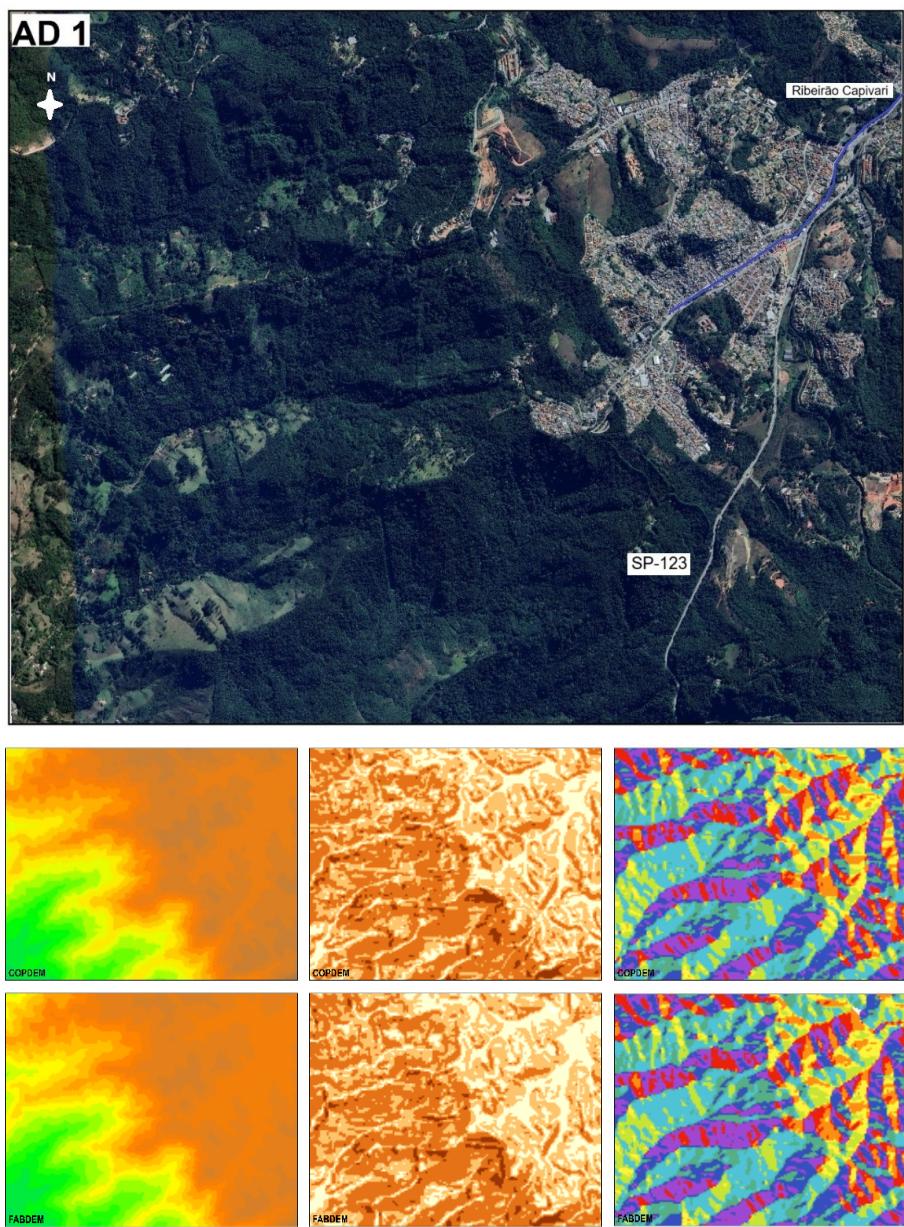
ANÁLISE COMPARATIVA E DESCRIPTIVA DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS: DETALHAMENTO DE ÁREAS

A análise de detalhe permitiu apurar, com mais afinco, as principais diferenças visuais entre as variáveis morfométricas (hipsometria, declividade e orientação de vertentes) para os modelos digitais aqui estudados, COPDEM e FABDEM. Com o auxílio da imagem *Google Satellite*, renderizada para 0,5 metros de resolução espacial, possibilitou-se uma análise descritiva dessas áreas no que tange seu comportamento socioespacial, a partir da identificação dos diferentes modos e padrões do uso do solo e cobertura vegetal. A descrição e análises visuais das áreas de detalhamento estão dispostas a seguir.

Nas áreas de detalhamento, a partir do mosaico de imagens (Figuras 5 a 8), no comparativo dos MDEs, é perceptível que o modelo FABDEM prioriza os menores intervalos em detrimento dos maiores nas variáveis de hipsometria e declividade. Na declividade, nota-se, por exemplo, que as áreas de menor declive (0 – 10°) estão em menor abrangência no modelo COPDEM. Na variável orientação de vertentes, essas diferenças não são tão perceptíveis nas comparações visuais. Este é um padrão que pode ser constatado para todas as áreas de detalhamento (AD1, AD2, AD3 e AD4).

A Área de Detalhamento 1 (AD1) (Figura 5) pode ser caracterizada como uma área mista, onde há uma parcela de área urbana mesclada com uma porção de território que não apresenta ocupação humana, possuindo mais elementos naturais, como vegetação homogênea. No recorte é visível a rodovia estadual SP-123, uma das principais vias rodoviárias para de acesso ao município. Os bairros que estão localizados nessa porção apresentam ocupação de média a alta densidade e estão inseridos em declividades mais acentuadas. Percebe-se como a declividade se comporta em relação ao relevo local, variando significativamente em algumas áreas, validando a característica entre as margens do ribeirão Capivari: direita, menos declivosa e, esquerda, mais declivosa. Na margem esquerda situa-se, também, os bairros mais vulneráveis socioecononomicamente e suscetíveis fisicamente (risco de deslizamentos, por exemplo).

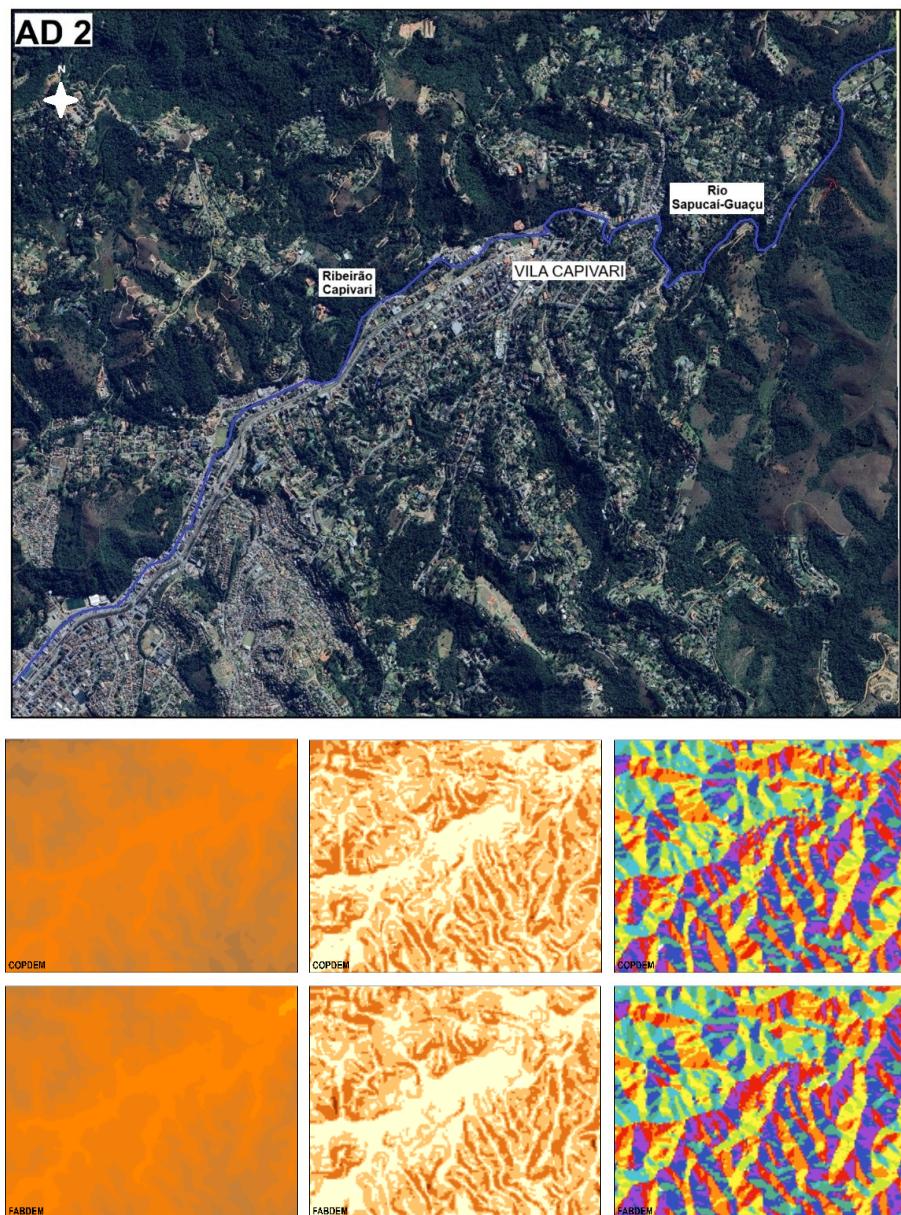
Figura 5 – Recorte espacial da Área de Detalhamento 1 (AD 1)



Fonte: Autoria própria (2024).

A Área de Detalhamento (AD2) (Figura 6) também representa a malha urbana, áreas urbanizadas de menor densidade de ocupação cujo domínio é o setor turístico (Vila Capivari). Percebe-se que Campos do Jordão possui uma abrangência significativa de áreas verdes por toda sua extensão, mesmo em encostas declivosas.

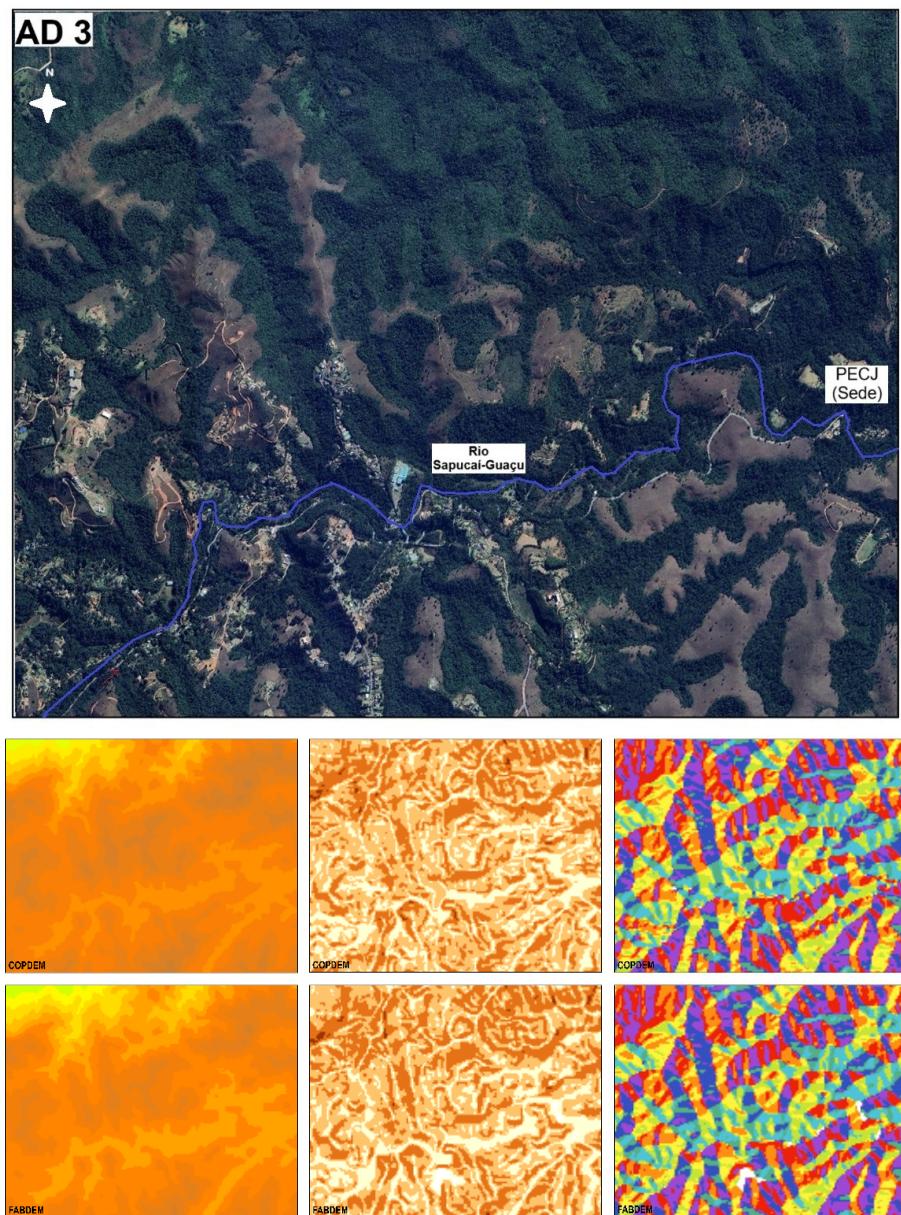
Figura 6 – Recorte espacial da Área de Detalhamento 2 (AD 2)



Fonte: Autoria própria (2024).

A Área de Detalhamento (AD3) (Figura 7) possui, como referência, a sede do Parque Estadual de Campos do Jordão (PECJ), no extremo leste. Nesse recorte há poucas construções e estradas pavimentadas e a presença de vegetação densa é dominante na porção Norte – Nordeste. No restante do recorte identifica-se os fundos de vale vegetados e os topos de morro em formação (ativa ou não) de pastagem.

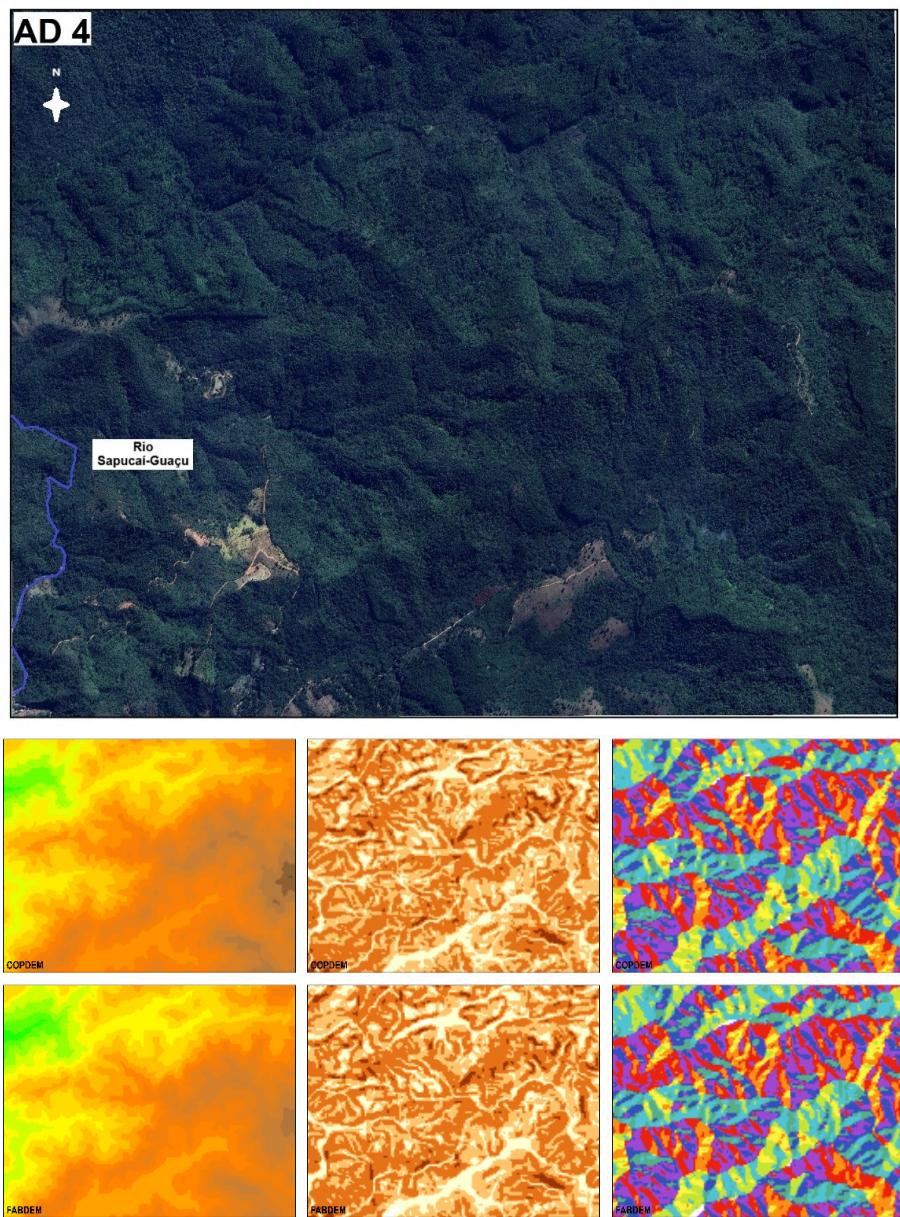
Figura 7 – Recorte espacial da Área de Detalhamento 3 (AD 3)



Fonte: Autoria própria (2024).

A Área de Detalhamento (AD4) (Figura 8) é quase que majoritariamente coberta por vegetação densa, seja nos topo das encostas ou nos vales mais encaixados. Configura-se como área rural e não apresenta, ou pouco apresenta, construções significativas.

Figura 8 – Recorte espacial da Área de Detalhamento 4 (AD 4)



Fonte: Autoria própria (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos comparativos são essenciais para conhecer a potencialidade de novas (geo)tecnologias, essenciais ao Sensoriamento Remoto. Os modelos digitais globais gratuitos COPDEM e FARDEM são um dos mais atuais e promissores do mercado, elevando a competitividade entre esses tipos de produto.

Neste artigo, tanto o COPDEM quanto o FARDEM, apresentaram resultados significativos para o objetivo proposto. Se isolarmos as variáveis e, a depender do objetivo de pesquisa e da área de estudo, o FARDEM pode atender melhor às necessidades, pois, por não apresentar as altitudes de elementos e corpos a partir da superfície (árvores, edificações, objetos etc.), considera-se que o seu

resultado em áreas urbanas seja mais fidedigno. Entretanto, ressalta-se, que os resultados quantitativos obtidos pelo COPDEM estão bem próximos do modelo FABDEM.

Os trabalhos de campo, quando viáveis, podem e devem auxiliar na confirmação ou refutação desses resultados e a sua execução se torna intrínseca à pesquisa. O conhecimento prévio da área de estudo também auxilia nos procedimentos de geoprocessamento, bem como na definição e escolha de variáveis e parâmetros a serem abordados.

Por fim, destaca-se que os modelos digitais globais aqui analisados são produtos que auxiliam na compreensão e análise de qualquer tipo de relevo, principalmente para áreas mais remotas e de difícil acesso. A disponibilização de softwares e de modelos gratuitos com ampla cobertura é essencial aos planejamentos e políticas públicas, somado a uma mão de obra especializada e multidisciplinar.

Comparative analysis of morphometric variables in the municipality of Campos do Jordão (SP) based on the global digital models COPDEM and FABDEM

ABSTRACT

This paper aimed to perform a descriptive and comparative analysis of the variable slope, aspect and hypsometry from the COPDEM and FABDEM DEMs (30m), in the municipality of Campos do Jordão (SP) and four detailed areas (AD1, AD2, AD3 and AD4), on a scale of 1: 25,000. The calculations that allowed quantifying and comparing the variables were performed in the QGIS 3.36 software. Regarding the classes, the intervals of 0–10°, 10–20°, 20–35° and >35° were defined for the slope; for the aspect, the sections: North, Northeast, East, Southeast, South, Southwest, West and Northwest; and for the hypsometry, whose range is from 950 to 2050 meters of altitude, the intervals were fixed every 50m. The results showed that for COPDEM and FABDEM the values of classified areas for each variable are close, which corroborates similar geomorphological interpretations. However, in the slope and hypsometry variables, FABDEM presented a greater number of classified areas when compared to the total area of the municipality. In the detailed descriptive analysis, it was possible to visually identify where the main differences occur in each model, confirming their aptitudes for the type of analysis proposed.

KEYWORDS: Morphometry. Digital Elevation Models (DEMs). COPDEM. FABDEM.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento através de bolsa de estudo de Doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. (2012). **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial. 158p.

BIELSKI, C.; LÓPEZ-VÁZQUEZ, C.; GROHMANN, C. H.; GUTH, P. L.; HAWKER, L.; GESCH, D.; TREVISANI, S.; HERRERA-CRUZ, V.; RIAZANOFF, S.; CORSEAUX, A.; REUTER, H. I.; STROBL. Novel approach for ranking DEMs: Copernicus DEM improves one arc second open global topography. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 62, p. 1-22, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.08425>.

BORGOHAIN, A.; KHAJURIA, V.; GARG, V.; KOTI, S. R.; BHARDAWAJ, A. Comparison of geomorphological parameters detected using MERIT and FABDEM products. **Environ. Sci. Proc.** v. 25, n. 59, p. 1-7, 2023. <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14298>.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; FERNANDES, M. C.; LACERDA, W. A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. **Geomorphology**, v. 87, n. 3, p. 120-131, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.041>.

FLORENZANO, T. G. (2008). Introdução a Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 11-30.

HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environ. Res. Lett.** 17, p. 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Campos do Jordão (2022).** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campos-do-jordao/panorama>. Acesso em: 14 jun 2024.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres.** Traduzido por: Epiphanio, J. C. N.; Formaggio, A. R., Santos, A. R., Rudorff, B. F. T., Almeida, C. M., Galvão, L. S., São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604p.

LACERDA, H. C.; LEITÃO, R.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; MACEDO, D. R. (2021). Avaliação comparativa da precisão vertical de modelos digitais de elevação derivados de satélites globais gratuitos. **Revista Espinhaço**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5095061>.

MOTTA, J. S.; RODRIGUES, A. G. S.; GUIRRA, A. P. M.; RIBEIRO, A. A. (2021). Análise hidrológica por meio de modelos digitais. In: PARANHOS *et al.* (Orgs.). **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul, p. 224 – 234. *E-book*.

PROJETO MAPBIOMAS (2022). **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 12 jun 2024.

ROSA FILHO, A. **Percepção geográfica de escorregamentos de encostas em favelas nas áreas de risco – Campos do Jordão – SP**. 2006. 214f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2006.

TSCHIEDEL, A. F.; OLIVEIRA, R. C.; GRESSLER, M.; MENESCAL, R. A.; BOMFIM, M. Modelos digitais de elevação globais e simulação de rompimento de barragens. Avaliações do SRTM ao FABDEM. In: XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Sergipe. **Anais [...]**. Sergipe: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRHidro. Sergipe, 2023. V. 1. 10 p.

UUEMAA, E.; AHI, S.; MONTIBELLER, B; MURU, M.; KMOCH, A. Vertical accuracy of freely available global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM and NASADEM). **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12213482>

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 75 p.

Recebido: 04 fev. 2025
Aprovado: 20 out. 2025
DOI: 10.3895/rbgeo.v13n2.19866

Como citar: AMARAL, C. M.; AVELAR, A. S.. Análise comparativa de variáveis morfométricas no município de Campos do Jordão (SP) a partir dos modelos digitais globais COPDEM e FABDEM. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 266-284, jul./dez. 2025. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Cinthia Maria Amaral

Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Ilha do Fundão, CEP 21945970 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

