

*Mapeamento de dolinas utilizando Modelo Digital de Elevação
na Borda Ocidental do Chapadão Central – Oeste da Bahia,
Brasil*

*Dolinas mapping using Digital Elevation Model on the
Western Edge of Chapadão Central – West of Bahia, Brazil*

*Cartographie de dolinas à l'aide d'un Modèle d'Élévation
Numérique sur la Bordure Ouest de la Chapadão Centrale -
à L'Ouest de Bahia, Brésil*

Gisele Bispo da Silva
Universidade Federal de Goiás
giselebispo@discente.ufg.br

Luis Felipe Soares Cherem
Universidade Federal de Goiás
luischerem@ufg.br

Ana Karolyna Nunes Amaral
Universidade Federal de Goiás
ana.nunes.ufg@gmail.com

Resumo

As dolinas são feições superficiais indicativas do sistema cárstico que conectam a drenagem superficial à subterrânea. O sistema cárstico desenvolve-se sobretudo pela ação da dissolução em subsuperfície, com a interação da água com as rochas carbonáticas e algumas rochas siliciclásticas. Na porção Ocidental do Chapadão Central – Oeste da Bahia, desenvolvido sobre os arenitos do Grupo Uruçuaia, ocorrem essas depressões fechadas, que podem estar ligadas ao sistema cárstico de dissolução do arenito. O objetivo é mapear as dolinas que ocorrem sobre essa chapada a partir de um algoritmo já consolidado para esse fim e convalidando com as dolinas fotointerpretadas. Foram identificadas 8.187 depressões pelo método automático, 5.701 depressões depois de feita a limpeza topológica na rede de drenagem, 202 depois de ajustado o tamanho mínimo de 16.200 m² para 80.000 m² e fotointerpretadas 109 dolinas. Das 202 depressões mapeadas automaticamente, 43 correspondem a dolinas dispersas na chapada e não identificadas na fotointerpretação e 50 correspondem a erros ocasionados pela alta rugosidade no MDE. O mapeamento

automático mostrou-se efetivo quando os critérios do algoritmo foram ajustados.

Palavras-chave: técnica automática; geoprocessamento; depressões carstícas.

Abstract

The sinkholes are surface features indicative of the karst system that connect the surface drainage to the underground. The karst system develops mainly through the action of subsurface dissolution, with the interaction of water with carbonate rocks and some of the siliciclastic rocks. On the western side of the Chapadão Central – Western Bahia, developed on the sandstones of the Urucuaia Group, these closed depressions occur, which may be linked to the karst system of sandstone dissolution. The objective is to map the sinkholes that occurred on this plateau from an algorithm already consolidated for this purpose and validating with the photo interpreted sinkholes. A total of 8,187 depressions were identified by the automatic method, 5,701 depressions after topological cleaning of the drainage network, 202 after adjusting the minimum size from 16,200 m² to 80,000 m² and photointerpreted 109 sinkholes. Of the 202 depressions automatically mapped, 43 correspond to sinkholes dispersed in the plateau and not identified in the photointerpretation and 50 correspond to errors caused by the high roughness in the DEM. The automatic mapping proved to be effective when the algorithm criteria were adjusted.

Keywords: automatic technique; geoprocessing; karst depressions.

Résumé

Les dolines sont des éléments de surface révélateurs du système karstique qui relie le drainage de surface au sous-sol. Le système karstique se développe principalement sous l'action de la dissolution souterraine, avec l'interaction de l'eau avec les roches carbonatées et certaines roches silicoclastiques. Dans la partie ouest de Chapadão Central – à l'ouest de Bahia, développée sur les grès du Groupe Urucuaia, ces dépressions fermées se produisent, qui peuvent être liées au système karstique de dissolution des grès. L'objectif est de cartographier les dolines qui se produisent sur ce plateau à partir d'un algorithme déjà consolidé à cet effet et validant avec les dolines photointerprétées. Au total, 8 187 dépressions ont été identifiées par la méthode automatique, 5 701 dépressions après nettoyage topologique du réseau de drainage, 202 après ajustement de la taille minimale de 16 200 m² à 80 000 m² et photointerprété 109 dolines. Sur les 202 dépressions cartographiées automatiquement, 43 correspondent à des dolines dispersées dans le plateau et non identifiées dans la photo-interprétation et les autres 50 correspondent à des erreurs dues à la forte rugosité du MNT. Le mappage automatique s'est avéré efficace lorsque les critères de l'algorithme ont été ajustés.

Mots clés : technique automatique; géotraitement; dépressions karstiques.

Introdução

O sistema cárstico é caracterizado pelo processo dissolução em subsuperfície da interação entre a água e as rochas solúveis, em especial os carbonatos (FERREIRA & UAGODA, 2020). No entanto, o sistema cárstico tem se desenvolvido em diferentes tipos de rochas pelo processo de *pipping*, como, por exemplo, em rochas siliciclásticas (HARDT *et al.*, 2009; FABRI *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017). Os diferentes processos atenuantes nas rochas carbonáticas e siliciclásticas, resultam em morfologias específicas superficiais e subterrâneas.

As dolinas estão entre as principais feições superficiais do sistema cárstico, sendo consideradas feições deprimidas, com fluxo centrípeto e sem conexão com redes de drenagens superficiais exorréicas, com formato circular ou oval, cujo tamanho varia de alguns metros a centenas de metros de profundidade e diâmetro (FORD & WILLIAMS, 2007; SOUZA, 2014). As dolinas são, portanto, conectoras entre a superfície e o subterrâneo, tendo forte relação com o maior desenvolvimento do epicarste e possuem importância ambiental por concentrarem fluxos hídricos autogênicos e recursos tróficos à fauna subterrânea, funcionando como moderadoras do aporte hidrológico aos sistemas aquíferos subjacentes, tanto epicárstico, vadoso ou freático (KLIMCHOUK, 1995; WILLIAMS, 2008; FEEREIRA & UAGODA, 2020).

As dolinas têm formatos e tamanhos muito variados e podem ocorrer de forma disseminada na paisagem, o que torna a sua detecção muitas vezes um desafio, especialmente feições suaves, pequenas ou sob a densa vegetação. A partir da identificação e delimitação destas depressões é possível realizar uma série de análises morfométricas e de distribuição que podem subsidiar discussões a respeito da evolução da paisagem, principais condicionadores (climáticos, estruturais, litológicos, entre outros) e relacionar a aspectos ambientais, sobretudo hidrológicos ou de risco (FERREIRA; UAGODA, 2020).

O solo e os sedimentos funcionam como barreira no epicarste com diferentes níveis de eficácia na proteção da água subterrânea contra contaminantes despejados em superfície. Contudo, quando depressões fechadas concentram o escoamento superficial em pontos de absorção, a barreira protetora é completamente ignorada e os contaminantes podem ser rapidamente carregados para o aquífero. Neste contexto, o mapeamento de depressões fechadas é etapa fundamental para o planejamento de recursos hídricos em regiões cársticas, sobretudo em regiões cársticas com intensa ocupação humana (HIRUMA *et al.*, 2007). Os sistemas cársticos devido às suas peculiaridades, estão entre os ambientais mais vulneráveis e a destruição de dolinas está entre os problemas atuais em ambientes cársticos em todo o mundo. As excessivas atividades humanas têm causado inúmeros prejuízos ambientais, principalmente aos aquíferos e, como medidas de proteção, o reconhecimento desses ambientes utilizando técnicas de mapeamento como Modelos Digitais de Elevação e aplicação da morfometria em ambiente SIG e trabalho de campo tem dado resultados satisfatórios em estudo geomorfológicos na Eslovênia (KOVACIĆ & RAVBAR, 2013).

A dificuldade da identificação dessas feições em áreas remotas ou muito extensas e pouco estudadas tem induzido o desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) associadas a análise morfométrica em ambiente SIG (KOVACIĆ & RAVBAR, 2013; CARVALHO *et al.*, 2014; PARDO-IGÚZQUIZA *et al.*, 2013). Nesse sentido, o objetivo deste artigo é mapear e compartimentar a distribuição as depressões cársticas (dolinas) sobre o Chapadão Oeste da Bahia, com base a metodologia aplicada por Carvalho Júnior *et al.* (2014).

Materiais e método

Área de estudo

A área de estudo compreende a borda Ocidental do Chapadão Central localizado na mesorregião do Extremo Oeste Baiano, essa que possui uma área de aproximadamente 116.677 km² é constituída por 24 municípios, dentre os quais se destacam: Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Correntina, Jaborandi e Cocos como municípios integrantes do Chapadão Central (Figura 1).

O Chapadão Central é denominado Planalto do Divisor São Francisco-Tocantins, que possui altimetria superior a 500 metros e com cotas que chegam a 1200 metros como na Serra Geral de Goiás. Divide-se em duas unidades: o Chapadão Central e os Patamares do Chapadão. O Chapadão estende-se desde o sul do Piauí até o norte de Minas Gerais bordejando a oeste com Goiás e Tocantins, já os Patamares contornam a borda do Chapadão Central com altitudes médias entre 500 e 800 metros (MAURO *et al.*, 1982).

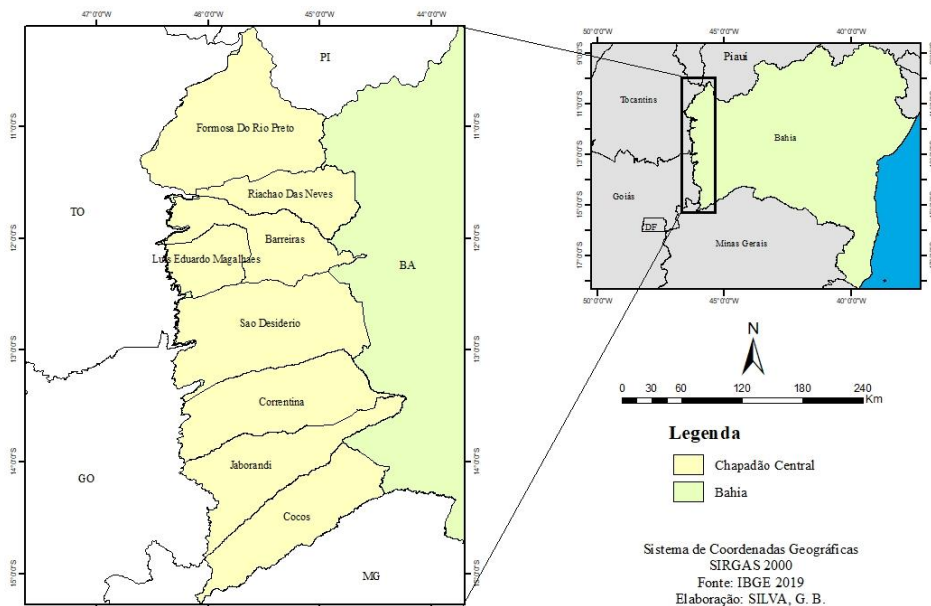


Figura 1: Localização da área de estudo

Geologicamente, a área encontra-se sob o domínio da Bacia Sanfranciscana, essa é uma bacia intracratônica. Essa bacia corresponde uma das três unidades morfo-tectônicas do cráton do São Francisco e está preenchida predominantemente por rochas sedimentares proterozóicas (Supergrupo Espinhaço e Grupos Araí, Paranoá, Macaúbas e Bambuí) cobertas por manchas remanescentes de rochas sedimentares permo-carboníferas (Grupo Santa Fé), cretáceas (Grupo Areado), por rochas vulcânicas neocretáceas (Grupo Mata da Corda) e por

uma chapada composta por arenitos de idade neocretácica (Grupo Urucuia) e abrange áreas dos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Tocantins (CAMPOS & DARDENNE, 1997; ALKMIM & MARTINS NETO, 2001). No entanto, a predominância de rochas são as do Grupo Urucuia que exibem uma divisão de duas Formações: Posse e Serra das Araras. A primeira apresenta-se subdividida em duas fácies, onde a primeira face é constituída por arenitos muito finos, finos, médios e bem selecionados, enquanto a segunda face apresenta ocorrências de materiais argilosos e feldspáticos menos maduros ante a primeira, estando relacionados a ambientes eólicos. A Formação Serra da Araras está relacionada a ambientes fluviais pretéritos de canais entrelaçados, ocorrendo arenitos, argilitos e conglomerados avermelhados e se encontram sobrepostos a Formação Posse (ROSA; NUNES; CHEREM, 2017).

Em termos hidrogeológicos, a área está sob o domínio do Sistema de Aquífero Urucuia (SAU), que é o conjunto de aquíferos que ocorrem no domínio do Grupo Urucuia, abrangendo a sub-bacia do Urucuia. Esse sistema enquadra-se na província hidrogeológica do São Francisco, é do tipo intergranular, composto por uma unidade geológica sedimentar, disposta na forma de um tabuleiro, constituída de quartzo areníticos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados, e em menor proporção níveis conglomeráticos. Em quase toda sua extensão, o SAU está mapeado como sobreposto ao conjunto de rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais, o qual constitui o sistema cárstico-fissural Bambuí. Na parte norte repousa sobre rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, e também diretamente sobre o embasamento granito-gnáissico, as quais compõem respectivamente os sistemas aquíferos Poti-Piauí/Serra Grande/ Cabeças e Cristalino. No limite oeste de sua área efetiva, o SAU exibe um eixo longitudinal divisor do fluxo subterrâneo, que separa o sentido do fluxo regional do sistema para leste e para oeste, onde o fluxo de base do lado leste contribui para a alimentação da rede de drenagem pertencente à bacia hidrográfica do São Francisco, enquanto que o fluxo de base do lado oeste contribui para os cursos superficiais que alimentam a bacia do Tocantins (GASPAR & CAMPOS, 2007).

O Chapadão Central está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, esse que nasce na Serra da Canastra no estado de Minas Gerais, possui aproximadamente 2.700 km de extensão, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, depois altera o seu curso para leste desaguando no Atlântico. Já em nível regional, abriga três bacias hidrográficas, são elas: bacia do Rio Grande, do Rio Corrente e do Rio Carinhanha, pertencentes à bacia do São Francisco.

As classes de solos encontrados na área são: Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Argissolos, Organossolos e Gleissolos Háptico e Melânico (FARIAS, 2016). O clima, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. (ALVARES et al., 2013), é Aw (tropical de savana) e Cwa (inverno seco e verão chuvoso) e temperatura média anual de 24° C. A precipitação média anual é de 1.250 a 1.500 mm, concentrada nos meses de novembro a fevereiro e com alta intensidade (JACOMINE et al, 1976).

O Chapadão Central integra a região marcada pela expansão da fronteira agrícola a partir da década de 1980, região essa que é formada por áreas majoritariamente cobertas pelo bioma Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conhecida pelo acrônimo MATOPIBA. Segundo Santos (2018) até recentemente predominava uma estrutura agrária de ocupação econômica pela pecuária extensiva, combinada com agricultura mercantil simples e extrativismo dirigido à exportação que passaram a ser considerados “a mais recente fronteira agrícola brasileira” e transformaram-se em um alvo muito apetitoso para a agroindústria, que já controla mais de 75% das terras cultiváveis do Brasil.

Procedimentos metodológicos

Inicialmente consistiu na revisão bibliográfica em artigos de periódicos nacionais e internacionais, teses e dissertações sobre o tema e a área de estudo da pesquisa. A metodologia aplicada tem por base a proposta dos autores Carvalho Júnior *et al* (2014) que usaram diferentes Modelos Digitais de Elevação para detectar depressões cársticas com auxílio da morfometria. Para este artigo, foi utilizado exclusivamente o raster da banda C da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) – imagem SRTM com resolução espacial de 30m foi feita através da plataforma *Google Earth Engine*, a qual foi manipulada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o mapa geológico do estado da Bahia com escala de 1: 1.000.000 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e imagens de satélites.

Para identificar as depressões fechadas, foi realizado o processo de preenchimento do MDE através do algoritmo de preenchimento pelo método de interpolação de elevações próximas. Algoritmo esse que foi apresentado por Jensen e Domingue (1988) que o objetivo principal é a restituição hidrológica dos canais e bacias. O modelo é baseado na direção e acumulação de fluxo de cada pixel, em processos computacionais de crescimento de regiões. A definição das linhas de drenagens nos modelos é baseada na sucessão de células mais baixas de forma que o fluxo seja sempre “drenado” da cena (raster). Trata-se de uma simulação da drenagem baseada nos dados altimétricos de cada pixel em relação aos seus vizinhos (CARVALHO JÚNIOR *et al*, 2014).

Em geral o procedimento de construção da drenagem nos modelos encontra percalços, representados por depressões unicelulares, que não drenam água para canto algum, sendo considerados defeitos do modelo e que devem ser corrigidos. A correção se dá pelo preenchimento dos pixels da depressão até o nível a partir do qual possa haver a retomada da conexão com a drenagem, com a elevação “artificial” do valor de altimetria dos pixels inferiores a esse limite. Nesse sentido, os autores previram a possibilidade de que neste processo, depressões autênticas, de origem cárstica ou glacial, fossem preenchidas. Entretanto, essa possibilidade se mostrou útil para a detecção de dolinas verdadeiras em áreas carstificadas, por um procedimento aritmético simples de subtração (FERREIRA; UAGODA, 2020). Essa técnica identifica o ponto ou conjunto de pontos adjacentes circundados por vizinhos com maior elevação e sobe para o menor valor no limite das depressões (CARVALHO JÚNIOR *et al*, 2014). Este procedimento preenche todas as depressões no MDE, incluindo aquelas geradas a partir de erros de dados e aquelas que registram características topográficas reais, como depressões cársticas.

Em seguida, é feito o cálculo de subtração entre o MDE original pelo MDE preenchido e que resulta em uma outra imagem que apresenta todas as depressões presentes no MDE da área de estudo, tanto as provenientes de erros da imagem como as feições naturais do relevo e a partir dela foram extraídas as profundidades das depressões (Figura 4). Em seguida, essa imagem é convertida para o formato vetorial passível a aplicação da análise morfométrica, essa tida como auxílio para a identificação das depressões cársticas verdadeiras (dolinas).

Os parâmetros aplicados às feições mapeadas são: a área, o perímetro, a profundidade e o índice de circularidade (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2014). A área e o perímetro foram calculados automaticamente em SIG e a partir dos resultados obtidos é possível determinar o índice de circularidade (IC), representado pela equação:

$$IC = 4\pi A/P^2 \quad (1)$$

onde a letra A corresponde a área e o P corresponde ao perímetro dos polígonos identificados. O índice de circularidade (IC) apresenta valores que variam de 0 a 1, isto quer dizer que, quanto mais próximo do valor 1 mais circulares são as formas das depressões e quanto mais próximo de 0 mais alongadas são. Esse procedimento permite que sejam eliminadas as depressões que não estejam relacionadas como sistema cárstico.

A última etapa consiste na interpretação visual, procedimento esse de validação das dolinas com o apoio de imagem de satélite de alta resolução disponível em SIG. Devido à grande extensão, a análise regional foi feita considerando os limites dos municípios localizados sobre o Chapadão.

Dolinas identificadas pelo algoritmo e fotointerpretadas

Considerando a metodologia proposta por Carvalho Júnior *et al* (2014), a figura (A) apresenta a distribuição espacial das depressões fechadas no MDE resultante do processo aritmético de subtração entre o MDE original e o MDE preenchido. Como técnica de evitar possíveis erros provenientes da imagem, foram aplicados atributos morfométricos, sendo considerados conforme os autores a profundidade, a área, o perímetro e o índice de circularidade (IC). Entretanto, os atributos aplicados na figura (A) foram o IC e a profundidade, onde o valor ideal do IC corresponde $>0,3$ e a profundidade >2 metros, portanto, àquelas abaixo desses valores foram excluídas, restando um total de 8×10^3 (8.187) depressões fechadas.

A figura (B) apresenta o MDE com as depressões fechadas com profundidades >2 metros, no entanto, fez-se a exclusão das depressões presentes nos talwegues, as áreas mais baixas do relevo, como forma de evitar erros devido a água ser um agente modelador do relevo. As depressões iniciais que totalizaram 8.187 na figura (A) após a exclusão das depressões nos talwegues restaram 5×10^3 (5.701) depressões. Já na figura (C) o MDE apresenta as depressões com um número bastante reduzido devido a aplicação do cálculo da área, que para os autores o valor ideal da metragem da área é $>16.200\text{m}^2$, mas, por causa da extensão do Chapadão, o valor de 16.200m^2 não apresentou um bom resultado sendo assim testados novos valores, chegando então ao valor de 80.000m^2 . Assim, na figura (C) as

depressões $<80.000\text{m}^2$ foram excluídas, restando então 2×10^2 (202) depressões, essas com valor de área $>80.000\text{m}^2$.

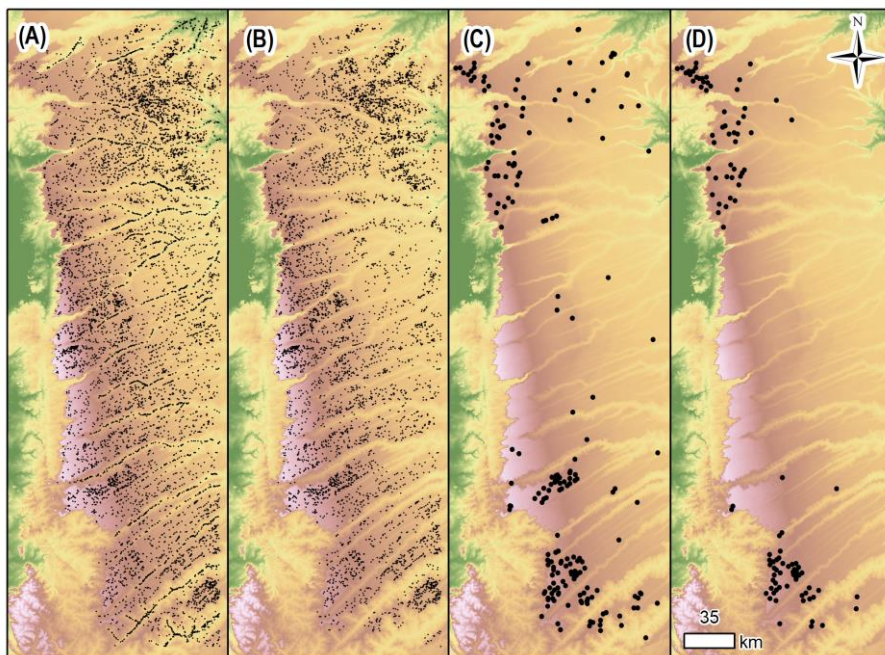


Figura 2: Representação espacial das depressões identificadas com a (A) aplicação clássica da metodologia de Carvalho et al. (2014), (B) depressões mapeadas em (A) excluídas as imperfeições na rede de drenagem; (C) depressões mapeadas em (B) excluídas aquelas com área inferior a 80.000m^2 ; (D) dolinas fotointerpretadas a partir de imagens de satélite de alta resolução (*Quickbird*) com auxílio de MDE gerado do radar SRTM-3⁷.

Por fim, a figura (D) apresenta o MDE com as depressões fechadas consideradas como dolinas verdadeiras pela técnica de interpretação visual, procedimento esse que utiliza imagens de satélite de altíssima resolução, nesse caso a imagem utilizada foi a *Quickbird*. Os autores enfatizam a importância de fazer a interpretação visual, podendo haver divergências entre a quantidade de dolinas identificadas pela metodologia visual, com a quantidade validadas pela interpretação visual. Com base em todos os procedimentos, na área do Chapadão Central foram validadas o total de $1,0 \times 10^2$ (109) dolinas verdadeiras. O método de Carvalho et al. (2014) ajustado (FIGURA 2C) apresentou distribuição espacial semelhante ao resultado do mapeamento feito por fotointerpretação, o que afirma que os critérios adotados para refinamento foram adequados.

Convalidação de dados manuais e automáticos: benefícios e limitações

O mapeamento das dolinas pelo método automático de Carvalho et al. (2014) com limiares adaptados apresentou correspondência com 93 das 109 dolinas mapeadas por fotointerpretação com proximidade inferior, com limiar de distância inferior a 100m

entre as feições mapeadas (FIGURA 3A). As dolinas identificadas com equivalência em ambos os mapeamentos (FIGURA 2 C e D) concentraram-se nas porções norte e sul da área de estudo enquanto as dolinas mapeadas automaticamente estão dispersas em todo o chapadão (FIGURA 3A). Assim, das 202 depressões mapeadas automaticamente, 43 correspondem a dolinas dispersas na chapada e não identificadas na fotointerpretação e 50 correspondem a erros ocasionados pela alta rugosidade no MDE (FIGURA 3).

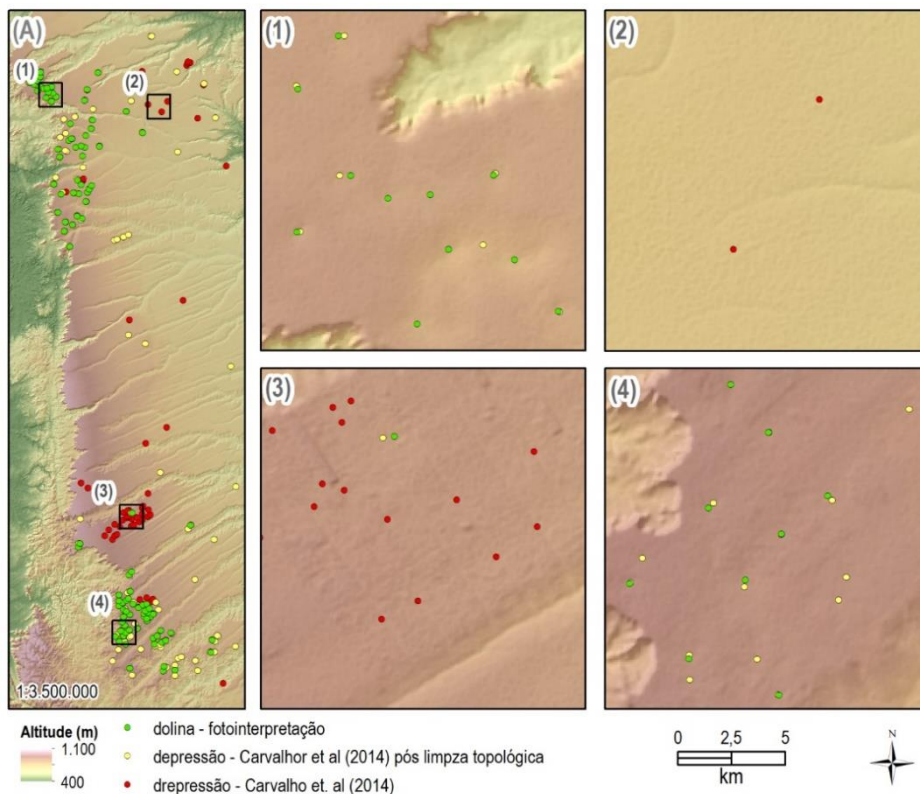


Figura 3. Mapeamento (1:3.500.000) das depressões identificadas, conforme Figura 2, coloridas de acordo com a fonte de dados (A), com encartes a direita (1:250.000) indicando quatro áreas chave sobre MDE sombreado (30m): (1) área de ocorrência de dolinas fotointerpretadas e identificadas pela metodologia refinada, (2) área com identificação falsa de dolinas pela metodologia de Carvalho et al. (2014) por rugosidade no dossel do Cerrado, (3) área com identificação falsa de dolinas pela metodologia de Carvalho et al. (2014) por rugosidade de trechos desmatados para implantação de estradas, (4) área de ocorrência de dolinas fotointerpretadas e identificadas pela metodologia refinada, com visível deslocamento entre ambas e identificação de dolinas a partir do procedimento automático que haviam sido negligenciadas pela fotointerpretação.

A associação das duas técnicas deu fiabilidade cumulativa, pois em ambas foi possível identificar dolinas não identificadas pela outra técnica, além de permitir identificar erros derivados de problemas na rugosidade do MDE bem como localizar dolinas dispersas no relevo que não sejam possíveis de identificar em fotointerpretação. Assim, em áreas extensas, como é o caso da porção ocidental do Chapadão Oeste da Bahia, a aplicação dessas técnicas de forma integrada pode melhorar o resultado, permitindo interpretações mais refinadas, seja para fins de estudos ambientais, seja para estudos geológico-geomorfológicos. Por outro lado, a aplicação da técnica de Carvalho et al. (2014) requer que sejam feitos ajustes nos limiares gerais propostos pela metodologia cujo refinamento pode demorar, ou não ser preciso, quando feito imprudentemente.

Conclusão

O mapeamento de dolinas tem diversas aplicabilidades nos estudos ambientais, no entanto, ainda é um desafio dependendo das técnicas e base de dados utilizadas. Os Modelos Digitais de Elevação juntamente com análise morfométrica e algoritmos computacionais estão entre as metodologias mais utilizadas em estudos geomorfológicos cársticos. Além de caracterizar, quantificar e descrever os elementos topográficos, os MDE permitem fazer análises hidrológicas, como delimitação de bacias e rede drenagens superficiais.

O uso de MDE apoiado na morfometria para o mapeamento das dolinas no Chapadão apresentou-se bons resultados, é uma metodologia de baixo custo que utiliza a classificação semi-automática das formas de relevo que permite a extração de informações desejadas, além de ser aplicável em áreas de grandes extensões. Ainda que a utilização de técnicas como essa apresenta bons resultados, o trabalho de campo é indispensável para validação das dolinas e evitar possíveis erros.

A aplicação de algoritmos em MDEs requer que a base de dados seja bem ajustada, como no caso das áreas de alta rugosidade que identifica depressões erroneamente. Algumas soluções é aplicar algoritmos de passa baixa para reduzir a variabilidade da altitude pela reflexão do dossel, ou testar *rasters* obtidos de sensores que deem menor reflexão pelo dossel.

Referências

ALKMIM, Fernando Flecha; MARTINS-NETO, Marcelo A. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais*. SBG, Belo Horizonte, p. 9-30, 2001.

Alvares, Clayton Alcarde; Stape, José Luiz; Sentelhas, Paulo Cesar; de Moraes Gonçalves, José Leonardo; Sparovek, Gerd (2013). «Köppen's climate classification map for Brazil». *Meteorologische Zeitschrift* (em inglês). 22 (6): 711–728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

CAMPOS, José Eloi Guimarães; DARDENNE, Marcel Auguste. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, [s. l.], v. 3, n. 22, p. 269-282, set. 1997.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GILLESPIE, A. R.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; SILVA, N. C. Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-derived digital elevation models in the Bambuí Group, Brazil. *Remote Sensing*, v. 6, p. 330–351, 2014.

FABRI, Fabiana; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; AULER, Augusto Sarreiro. Relevo Cárstico em Rochas Siliciclásticas: Uma Revisão com Base na Literatura. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 339-351, jun. 2014.

FARIAS, Marcus Fábio Ribeiro. *Integração do Mapeamento Digital do Relevo e de Solos na Ecorregião do Chapadão do São Francisco*. 2016. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2016.

FERREIRA, Cristiano Fernandes; UAGODA, Rogério Elias Soares. Um Panorama Sobre Mapeamentos de Dolinas no Brasil, Feições Elementares do Carste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [s. l.], v. 13, n. 01, p. 302-321, mar. 2020.

FERREIRA, Cristiano Fernandes; UAGODA, Rogério Elias Soares. Mapeamento de Dolinas: Desafios e Possibilidades do Uso de Modelos Digitais de Elevação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 21, ed. 03, p. 549-570, abr. 2020.

FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst hydrogeology and geomorphology*. Second ed. Chichester: Wiley, 2007.

GASPAR, Márcia Tereza Pantoja; CAMPOS, José Eloi Guimarães. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, Brasília, v. 4, n. 37, p. 216-226, dez. 2007.

HARDT, Rubens; RODET, Joël; PINTO, Sergio dos Anjos Ferreira; WILLEMS, Luc. Exemplos Brasileiros de Carste em Arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). *Espeleo-Tema*, Campinas - Sp, v. 20, n. 1/2, p. 07-23, dez. 2009.

HIRUMA, Silvio Takashi; FERRARI, José Antônio; AMARAL, Rosângela do; HONÓRIO, Rafael Fernando. Mapeamento e Caracterização de Feições Cársticas de Superfície na Faixa Itaiacoca nas Regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 27-28, n. 1/2, p. 1-12, 2007.

JACOMINE, Paulo Kingler Tito et al. *Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos da Margem Esquerda do Rio São Francisco, estado da Bahia*. Recife, EMBRAPA, Serviço Nacional de Conservação do Solo, 1976.

JENSEN, 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, p. 1593–1600, 1988.

KLIMCHOUK, Alexander. Karst Morphogenesis in the epikarstic zone. *Cave And Karst Science*, Ukraine, v. 21, n. 2, p. 45-50, mar. 1995.

KOVAČIČ, G., RAVBAR, N., 2013. Analysis of human induced changes in a karst landscape — the filling of dolines in the Kras plateau, Slovenia. *Science of the Total Environment Journal*, 447, 143–151.

MAURO, C. A.; DANTAS, M. & ROSO, F.A. Geomorgologia. In: *Projeto Radambrasil. Folha SD.23*. Brasília. Rio de Janeiro. 1982. P. 205-296.

PARDO-IGÚZQUIZA, E.; DURÁN, J. J.; DOWD, P. A. Automatic Detection and Delineation of Karst Terrain Depressions and its Application in Geomorphological Mapping and Morphometric Analysis. *Acta Carsologica*, Postojna, v. 1, n. 42, p. 17-24, out. 2013.

PEREIRA, Dércio Alves; ROCHA, Wanderson Ricardo Fonseca; SILVA, Fábio Candido da; CARVALHO, Luis Gomes. Dolinas em Arenitos do Grupo Urucuia na Formação Chapadão na Bacia Hidrográfica do Rio Grande em Barreiras – Bahia, *XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2017.

ROSA, Lucas Espíndola; NUNES, Elizon Dias; CHEREM, Luís Felipe Soares. Indicadores naturais e antrópicos da dinâmica dos movimentos de massa do município de Posse (GO). *Ateliê Geográfico*, Goiânia-Go, v. 11, n. 1, p. 127-141, abr. 2017.

SANTOS, Clóvis Caribé Menezes dos. MATOPIBA: Uma Nova Fronteira Agrícola ou um Reordenamento Geográfico do Agronegócio e dos Espaços Produtivos de “Cerrados”? *Cadernos do CEAS*, Salvador/Recife, n. 245, p. 570-600, dez. 2018.

SOUZA, Fernanda Cristina Rodrigues de. *Caracterização de Feições Cársticas Desenvolvidas em Quartzitos na Região Sudeste de Diamantina/MG*. 2014. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

WILLIAMS, Paul W. The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *International Journal Of Speleology*, Bologna (Italy), v. 37, n. 1, p. 1-10, jan. 2008.

Gisele Bispo da Silva

Graduada em Geografia/Bacharelado pelo Instituto de Estudos Socioambientais – IESA da Universidade Federal de Goiás – UFG. Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo do Instituto de Estudos Socioambientais – IESA da Universidade Federal de Goiás – UFG na linha de pesquisa de Análise Ambiental e Tratamento de Informação Geográfica.

Avenida Esperança, s/n – Samambaia, Goiânia-GO, Cep:74001-970.

E-mail: giselebispo@discente.ufg.br

Luis Felipe Soares Cherem

Graduado em Geografia/Bacharelado e mestre pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, doutor pela Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e pela Ecole Doctorale Sciences de l’Environnement - Aix-Marseille Université. Atualmente é conselheiro da União da Geomorfologia Brasileira e professor associado I da Universidade Federal de Goiás – UFG. Avenida Esperança, s/n – Samambaia, Goiânia-GO, Cep:74001-970 – ramal:216

E-mail: luischerem@ufg.br

Orcid: 0000-0002-4119-6690

Ana Karolyna Nunes Amaral

Graduada e mestra em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás – UFG. Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo na linha de pesquisa Análise Ambiental e Tratamento de Informação Geográfica.

Avenida Esperança, s/n – Samambaia, Goiânia-GO, Cep:74001-970

E-mail: ana.nunes.ufg@gmail.com

Recebido para publicação em janeiro de 2022.

Aprovado para publicação em março de 2022.