
MÉTODO PARA DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE DEPRESSÕES FECHADAS A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

SAULO ROBERTO DE OLIVEIRA VITAL
WILLIAM SALLUN FILHO
ALCINA MAGNÓLIA FRANCA BARRETO
THYAGO DE ALMEIDA SILVEIRA

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Centro de Ensino Superior do Seridó – CERES/Caicó
Departamento de Geografia, Caicó, RN
srovital@gmail.com, wsallun@gmail.com, alcinabarreto@gmail.com, thyago.silveira@gmail.com

RESUMO – No município de João Pessoa-PB e regiões circunvizinhas, ocorrem formas do relevo terrestre que chamam a atenção por serem muito comuns e por apresentarem características típicas de depressões originadas por processos cársticos. Essas feições também podem ser consideradas como bacias fechadas, uma vez que apresentam um padrão de drenagem específico, do tipo radial centrípeto. Tendo em vista essas características, foram utilizados dados do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para a detecção dos padrões de drenagem, delimitação dos divisores topográficos e caracterização morfométrica dessas feições. Os dados morfométricos obtidos referiram-se à área, perímetro, amplitude média, elipsidade, simetria interna, relação profundidade/diâmetro e número e subdepressões. Os respectivos dados revelaram que as depressões possuem divisores bastante sinuosos, formas elípticas, grande extensão e pouca profundidade, acarretando em baixos índices de profundidade/diâmetro, indicando uma gênese relacionada à subsidência lenta. Com esses resultados, percebeu-se que os dados do SRTM são bastante eficientes na detecção de depressões topográficas, uma vez que foi sensível à detecção dos padrões de drenagem e dos divisores topográficos das bacias.

ABSTRACT - In the city of João Pessoa-PB and surrounding regions, occur terrestrial landforms that are remarkable because they are very common and present typical features of depression caused by karst processes. These features may also be regarded as closed basins, since they have a specific pattern of drainage, the radial centripetal type. Given these characteristics, SRTM data were used (*Shuttle Radar Topographic Mission*) for the detection of drainage patterns, delineation of topographic splitters and morphometric characterization of these features. The morphometric data referred to the area, perimeter, average amplitude, elipsidade, internal symmetry, depth ratio / diameter and number and subdepressões. The respective data revealed that the depressions have very sinuous splitters, elliptical shapes, large size and little depth, resulting in low levels of depth / diameter, indicating a genesis related to the slow subsidence. With these results, it was realized that the SRTM data are quite efficient in detecting topographic depressions, since it was sensitive to the detection of drainage patterns and topographical dividing the basins.

1 INTRODUÇÃO

No município de João Pessoa-PB e regiões circunvizinhas, ocorrem formas de relevo que chamam a atenção por serem muito comuns e por apresentarem características típicas de depressões originadas por processos cársticos, levando em consideração não apenas sua forma, mas o embasamento geológico que é formado por uma cobertura areno-argilosa, onde ocorrem as depressões, e calcários subjacentes, correspondentes à Formação Gramame.

Alguns pesquisadores chegaram a tratar dessas feições, especialmente no sítio urbano de João Pessoa, denominando-as como formas resultantes de carste ou pseudocarste (LUMMERTZ, 1997; OLIVEIRA, 2001; MELO *et al.* 2001; FURRIER, 2007; MARINHO, 2011; ARAÚJO, 2012), porém, em nenhum desses estudos foi realizada uma análise pormenorizada acerca da gênese dessas depressões.

Tendo em vista essa questão, é viável a realização de estudos que visem esclarecer suas características geomorfológicas a amplitude do fenômeno e seus possíveis mecanismos genéticos.

De acordo com Ferrari *et al.* (1998), o estudo morfométrico de dolinas é um meio importante para a compreensão dos fatores genéticos envolvidos na elaboração dessas feições, a partir do momento em que a correlação dos parâmetros obtidos aliada à correlação de determinados tipos de processos naturais pode levar ao estabelecimento de modelos de evolução da paisagem.

Atualmente, as técnicas para a detecção de feições geomorfológicas tem se desenvolvido em detrimento do surgimento e avanço das técnicas de análise espacial, onde tem sido utilizada os mais variados tipos de ferramentas e produtos. Dentre estes, estão os Modelos Digitais de Elevação (MDE).

O uso de Modelos Digitais de elevação para estudos geomorfológicos tem sido uma tendência seguida por diversos autores nos últimos anos (GROHMANN *et al.*, 2008; MAGALHÃES; RODRIGUES, 2010; VITAL *et al.*, 2011; SOUZA; ALMEIDA, 2014; HIRUMA; FERRARI, 2014), dentre outros pesquisadores. Para estudos voltados à detecção de feições de natureza cárstica, poucas foram as iniciativas, a exemplo do trabalho realizado por Oliveira e Maillard (2001), onde a detecção desenvolveu-se a partir da classificação espectral e morfológica de imagens.

Outro estudo que merece destaque foi realizado por Hiruma e Ferrari (2014), que tratou justamente do uso de Modelos Digitais de Elevação para a detecção de dolinas. Como justificativa para essa análise, os autores afirmam que as cartas topográficas, embora de detalhe (1:10.000) e semidetalhe (1:50.000), ainda não são capazes de representar adequadamente a complexidade da rede de drenagem e das feições morfológicas típicas de terrenos cársticos. Para isso, foram utilizados dados do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), os quais foram comparados à dados obtidos por métodos convencionais de fotointerpretação, chegando ao entendimento que os valores morfométricos de área e perímetro obtidos automaticamente a partir do MDE foi muito próximo dos valores obtidos a partir da estereoscopia.

Diante desse quadro, o presente estudo tem como objetivo, utilizar o Modelo Digital de Elevação SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para identificação e mapeamento de depressões fechadas na região de João Pessoa e municípios circunvizinhos, assim como obter parâmetros morfométricos que auxiliem na interpretação genética acerca das mesmas.

1.1 Localização e caracterização da área em estudo

A área em estudo encontra-se localizada na faixa costeira do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, abrangendo os municípios de João Pessoa, Bayeux, Lucena, Santa Rita e Cabedelo (Figura 1).

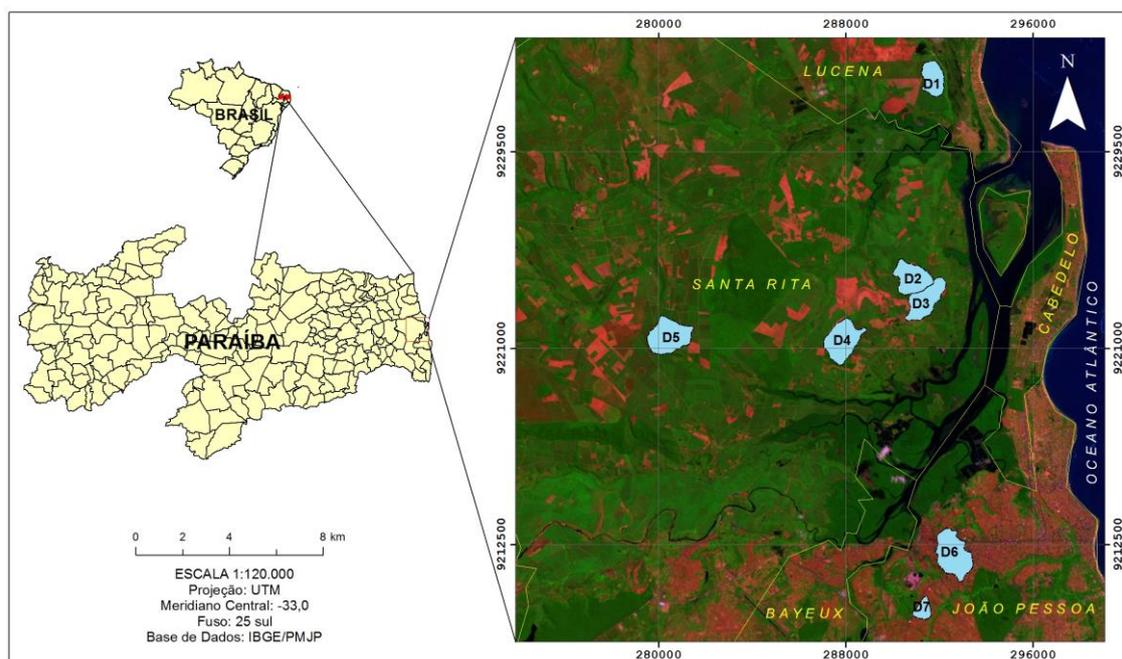


Figura 1 – Localização da área em estudo.

Seu contexto geológico é formado pelas unidades litoestratigráficas que compõem a Bacia Sedimentar da Paraíba, constituída por rochas que remontam do período Cretáceo, Paleógeno/Neógeno e Quaternário, as quais se estendem numa faixa de, aproximadamente, 40 km de extensão, sendo delimitada a norte pela falha de Mamanguape e a sul pelo lineamento Patos (BRITO; CAMPOS, 1971; BARBOSA; LIMA FILHO, 2005).

Em relação à geomorfologia, a área se encontra inserida nos domínios do Setor Oriental Úmido e Subúmido, abarcando as áreas sedimentares marinhas e fluviomarinhas (formações recifais, baixada litorânea com praias, restingas, dunas e mangues), áreas sedimentares continentais (baixo planalto costeiro com superfície preservada e dissecada, colinas residuais, falésias e planícies aluviais) (CARVALHO, 1982).

O clima é Tropical Litorâneo, úmido e quente, apresentando maiores índices de pluviosidade nos meses de Abril, Junho e Julho, com normal histórica de precipitação de 2.145,4mm (PEREIRA *et al.*, 2012).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Os dados SRTM foram obtidos gratuitamente na página do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Inicialmente, foi realizado um processo de extração automática das drenagens e das curvas de nível do terreno, onde foram identificados padrões de drenagem e o traçado dos divisores topográficos das referidas bacias fechadas.

As subdepressões foram detectadas a partir da identificação das cotas mínimas do terreno onde foram observadas drenagens com um padrão radial centrípeto, isto é, pontos de convergência do fluxo superficial.

A amplitude média foi obtida a partir do cálculo da diferença entre o ponto de elevação máxima e mínima, em metros.

Os dados relativos à elipsidade foram extraídos a partir da razão entre o eixo maior e menor das depressões, onde, valores acima de 1 indicam certo grau de elipsidade.

A simetria interna, que corresponde à regularidade dos divisores da depressão, foi auferida a partir da relação entre comprimento e largura e entre as partes do eixo longitudinal de cada lado do ponto de menor altitude (produto de simetria), conforme a equação: $Ps = R_1 \times R_w$, onde, Ps = produto de simetria, $R_1 = L_1/L_2$ e $R_w = W_1/W_2$, conforme proposto por Williams (1972).

Os parâmetros de profundidade/diâmetro (P/D) foram calculados a partir do produto entre a amplitude da depressão e seu eixo médio. O P/D é um índice importante no estudo da gênese de depressões fechadas, pois caracteriza quantitativamente a sua forma em perfil, classificando tipos de perfis íngremes (acima de 1) e suave (abaixo de 1), sendo, em geral, o íngreme característico de processos de colapso e o suave de processos lentos.

Os valores de área e perímetro de cada depressão, por sua vez, foram obtidos a partir da medição do limite interpretado, através de um Sistema de Informações Geográficas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificadas 7 depressões fechadas, as quais foram confirmadas a partir dos trabalhos de campo, conforme figura 2.

Com a extração dos índices morfométricos, percebeu-se que a maioria dessas feições apresentam extensões acima de um quilômetro quadrado e formas bastante assimétricas, elipsoidais, com eixos maiores seguindo direções preferenciais, muito semelhantes aos lineamentos regionais. Suas amplitudes não ultrapassam, em média, 35 metros, salvo alguns casos onde as bacias chegam a alcançar 69 metros.

A extração dos valores relativos à área e ao perímetro chegam a, aproximadamente, 2 km e 5 km, respectivamente. Ao relacionar a amplitude e extensão (eixo maior) através do índice profundidade/diâmetro (P/D), percebeu-se que as mesmas apresentam ondulação muito suave, remontando a uma gênese provavelmente ligada à subsidência lenta do terreno. A profundidade/diâmetro apresentou-se, em média, com valores abaixo de 0,05.

A simetria, que fornece uma medida da regularidade interna das depressões, diminui à medida que os divisores das depressões se tornam irregulares (WILLIAMS, 1972), o que foi confirmado nas depressões da área em estudo, onde valores acima de 1, caracterizam divisores bastante assimétricos.

A morfologia predominante, com uma relação entre profundidade e diâmetro (P/D) muito baixa, caracteriza um relevo dominado por vertentes de inclinação bastante suave e fundo plano.

A declividade predominantemente plana e suave ondulada reflete o mergulho estrutural da área, que é de camadas plano-paralelas, com suave inclinação para leste, influenciando também no alinhamento do fluxo geral.

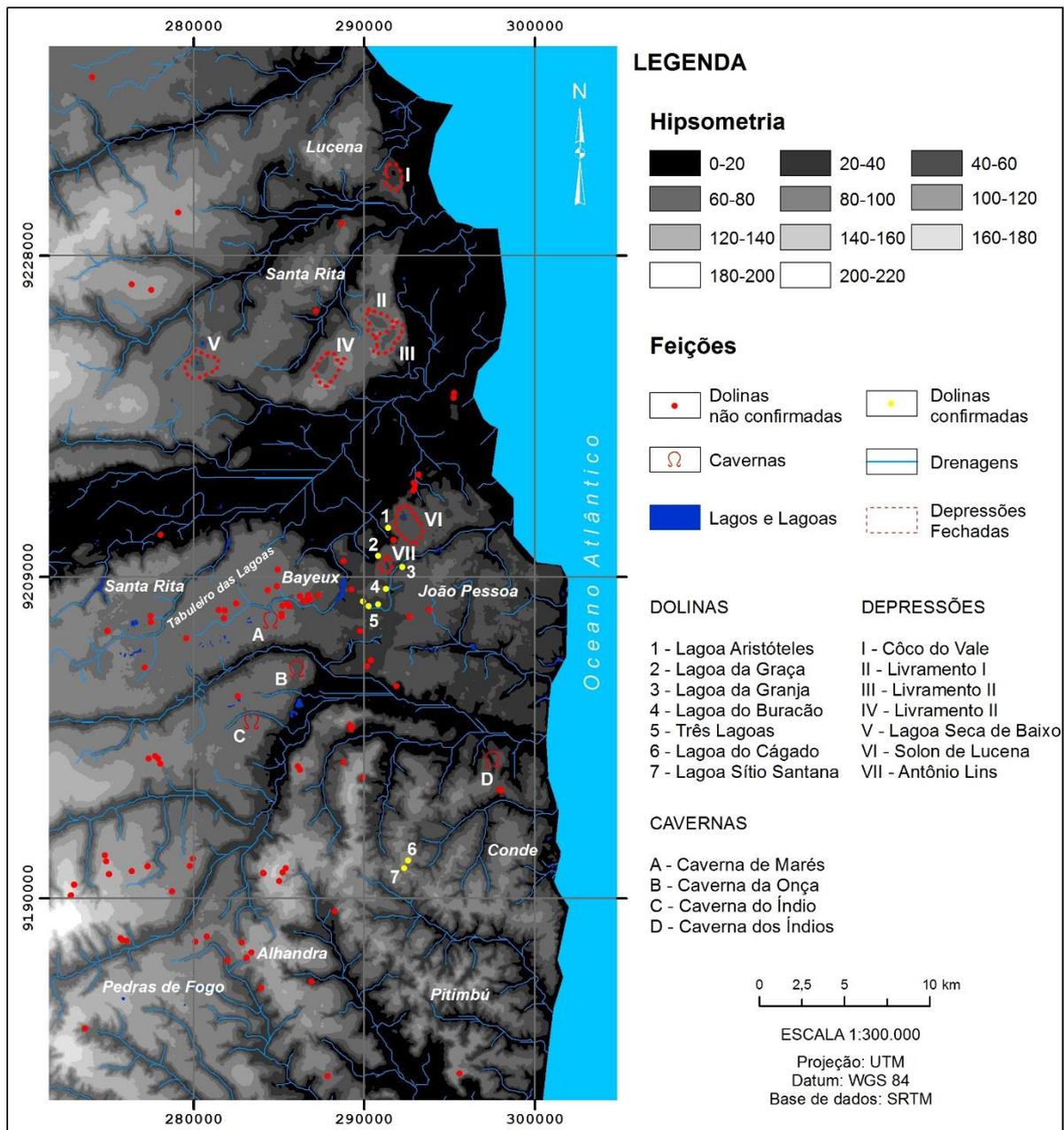


Figura 2 – Mapeamento das depressões fechadas e dolinas na região de João Pessoa (PB).

A partir do Modelo Digital de Elevação tornou-se possível realizar uma análise de cada uma das depressões detectadas, extraindo valores morfométricos importantes para a elucidação de seus agentes morfogenéticos, conforme exposto na tabela 1.

Tabela 1 – Valores morfométricos obtidos para as depressões identificadas

Identificação	Nº de subdepressões	Amplitude média (m)	Elipsidade	Simetria interna	P/D	Área (m ²)	Perímetro (m)
D1	2	33	1,84	1,08	0,027	1.170	4.280
D2	1	37	1,08	1,02	0,024	1.691	5.341
D3	0	41	2,76	1,06	0,025	1.709	5.903
D4	0	69	1,45	2,04	0,044	2.064	6.005
D5	1	30	1,34	0,46	0,016	2.192	5.887
D6	2	28	1,69	1,02	0,016	2.374	6.509
D7	0	25	1,60	3,17	0,031	502	2.826

A depressão D1 encontra-se localizada no município de Lucena-PB, onde nota-se claramente, através da imagem do SRTM, a variação de altitude, com uma amplitude de 33 metros e uma área de 1,17 km². Dentre suas características morfométricas gerais, têm-se um valor de 1,84 de elipsidade, 1,08 de sinuosidade e 0,02 de profundidade/diâmetro, caracterizando uma depressão mais extensa que profunda, originada por processos de subsidência lenta do terreno.

A depressão D2, por sua vez, encontra-se localizada no município de Santa Rita-PB, no Distrito de Livramento, apresentando características morfométricas semelhantes à depressão anteriormente citada. Da mesma forma, podem ser consideradas as depressões D3 e D4. Uma particularidade dessas depressões diz respeito ao seu elevado grau de elipsidade, facilmente perceptível no Modelo Digital de Elevação, alcançando valores de até 2,76, demonstrando forte condicionamento estrutural (Figura 2-D2-D4).

A depressão D5, que também encontra-se localizada no município de Santa Rita-PB, denominada Lagoa Seca de Baixo, apresenta um formato bastante característico, facilmente perceptível em campo. A área total da bacia chega a 2,1 km² por 30m de amplitude, alcançando uma relação profundidade/diâmetro de 0,016, também, característico de depressões mais extensas que profundas. Esta é uma tendência geral que se repete para todas as depressões analisadas (Figura 2-D5).

A depressão D6 apresenta uma particularidade, pois encontra-se localizada em uma zona urbanizada, no centro da cidade de João Pessoa. Isso faz dessa feição, uma das mais importantes do estudo, tendo os riscos inerentes à sua localização. Seus valores morfométricos não se diferem muito das demais, com 2,1 km² de área por 28m de profundidade, alcançando um P/D igual 0,016 (Figura 2-D6).

A depressão D7 se encontra em um contexto semelhante, porém numa área economicamente e estruturalmente menos favorecida, o que potencializa os riscos na região. É a menor dentre as depressões, com 502 m² por 25m de profundidade, alcançando um P/D igual a 0,03. Esta depressão apresenta uma elipsidade bastante expressiva e orientada, alcançando o valor de 1,60 (Figura 2-D7).

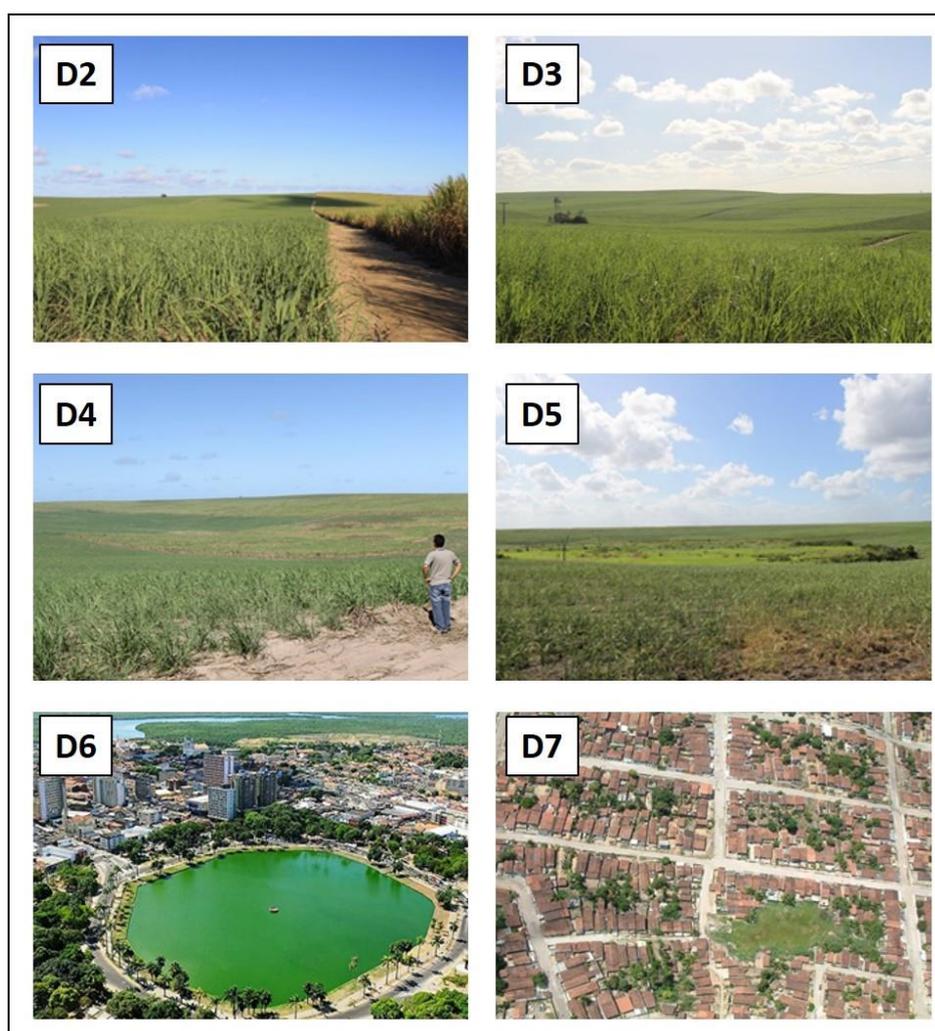


Figura 2 – Depressões analisadas na área em estudo.

5 CONCLUSÕES

Os dados do SRTM se revelaram bastante eficientes na identificação de depressões fechadas, uma vez que permitiu a extração das drenagens e das curvas de nível com certo grau de detalhe.

O levantamento sistemático referente aos atributos morfométricos das depressões permitiu identificar características importantes, tais como: canais de diferentes ordens, variações de profundidade e extensão, grau de sinuosidade e elipsidade dos divisores, dentre outras informações.

Dessa forma, recomenda-se o uso de Modelos Digitais de Elevação para estudos de identificação de morfologias dessa natureza em grandes áreas, uma vez que o uso de fotografias aéreas seria um recurso dispendioso e, até certo ponto, inviável, tendo em vista a extensão de determinadas áreas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. E. Água e rocha na definição do sítio de Nossa Senhora das Neves, atual cidade João Pessoa – Paraíba. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo. Universidade Federal da Bahia, 2012. 297p.
- BARBOSA, J. A., LIMA-FILHO, M. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 3., **Anais...** Brasil, 2005.
- BRITO, I. M.; CAMPOS, D. A. A bacia geológica costeira de Pernambuco – Paraíba. Instituto de Geociências da UFRJ, **Boletim de Geologia**, n.6, p.3-12, 1971.
- CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba: classificação geomorfológica**. João Pessoa: UFPB/FUNAPE, 1982. 72p.
- FERRARI, J. A.; HIRUMA, S. T.; KARMANN, I. Caracterização morfométrica de uma superfície cárstica do vale do Ribeira, São Paulo (Núcleo Caboclos – PETAR). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.19, n.1/2, p.9-17, 1998.
- FURRIER, M. Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000. 213p. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo, 2007.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. *Rev. Geog. Acadêmica*. v.2, n.2, p.73-83, 2008.
- HIRUMA, S. T.; FERRARI, J. A. Análise comparativa da extração automatizada de dolinas a partir de Modelos Digitais de Elevação. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.35, n.2, p.1-11, 2014.
- LUMMERTZ, F. B. Aspectos da hidráulica subterrânea na área da Grande João Pessoa. Dissertação de Mestrado. UFPE/Escola de Geologia, Recife, 1977.
- MAGALHÃES, C. S.; RODRIGUES, S. C. Utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) como ferramenta na realização e validação de mapeamentos geomorfológicos. **Caderno de Geografia**, v.20, n.34, 2010.
- MARINHO, E. G. A. Bases geológicas e geomorfológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2011. 318p.
- MELO, A. S. T., HECKENDORFF, W. D., ALVES, E. L., GUIMARÃES, M. M. M. O meio ambiente natural: componentes abióticos e bióticos. In: Melo, A. S. T. et al., (Org.). **Projeto de Pesquisa: Vale do Jaguaribe**, João Pessoa: Ed. UNIPÊ, 2001.
- OLIVEIRA, F. A. R.; MAILLARD, P. Detecção de formas cársticas a partir de classificação espectral e morfológica de imagens de sensoriamento remoto. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. **Anais...** Foz do Iguaçu, p.311-314, 2001.

OLIVEIRA, F. B. Degradação do meio físico e implicações ambientais na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa – PB. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

PEREIRA, M., MONTEIRO, D., SILVA, N. & MOURA, M. Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba. **Revista Geonorte**, 1(5), 921-929, 2012.

SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J. D. M. Modelo Digital de Elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. *Bol. Geog., Maringá*, v.32, n.2, p.134-149, 2014.

VITAL, S. R. O.; SILVEIRA, T. A.; ALENCAR, H. M. Q.; FERREIRA, B. Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 3., **Anais...** Recife, PE, p.001-005, 2010.

WILLIAMS, P. W. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 761-96, 1972.