

## Identificação de falhas carstificadas na Bacia Potiguar utilizando imagens de VANT/DRONE

Lorena Sávilla Brito Oliveira<sup>1</sup>  
Francisco Hilário Rego Bezerra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova – Natal - RN – Brasil  
lorenna\_savilla@hotmail.com; bezerrafh@geologia.ufrn.br

**Abstract.** Fractured carbonate reservoirs feature a wide variety of controls that need to be identified and characterized for future modeling of these. The use of analogous outcrops reservoirs is one of tool used currently in predicting and understanding these carbonate reservoirs. The technology for an unmanned aerial vehicle (UAV) for imaging of small fields with high spatial resolution is the basis for this work, which uses as desktop outcrops of Jandaíra Formation in the Potiguar Basin. The rocks of the Jandaíra Formation carbonate ramp that rises in nearly all the onshore portion of the Potiguar Basin. Aiming to analyze the structures karstified this formation, we used the methodology of aerial survey with a drone obtaining high resolution images. The obtained images were processed by a drone, studied and analyzed using the ArcGIS software, thereby creating a georeferenced database. The results obtained of this study show that some fairly conspicuous structures presents in imaged karst outcrops suffered a great karstification, causing enlargement of fractures and faults through a great percolation of fluids in these plans, for example. Through image analysis, it was possible to obtain a bank of structural and geomorphological data outcrop with interpretations about the genesis evolution of structures present.

**Palavras-chave:** Fracture, reservoirs, Jandaíra Formation, analyze, high resolution images, structures, aerial vehicle, ArcGis software.

### 1. Introdução

Reservatórios carbonáticos fraturados apresentam uma grande variedade de controles que precisam ser identificados e caracterizados, para que futuramente estes reservatórios possam ser entendidos e modelados. Esta complexidade genética e geométrica nem sempre é entendida usando dados de poços e sísmicos. Em muitos casos, os parâmetros que caracterizam a localização 3D, a geometria e a densidade de falhas e juntas não têm sido bem determinados por dados de subsuperfície em reservatórios petrolíferos, por conta do pequeno tamanho da amostra (poços) ou a resolução e a natureza indireta do método usado (sísmica) (Maia, R. P. et al., 2012). Por este motivo, estudos de campo e modelos teóricos são necessários caracterizar corredores de fraturas para quantificação da porosidade de reservatórios e para simulação de fluxo de fluidos.

Uma ferramenta cada vez mais usada para predição e entendimento de reservatórios petrolíferos é o uso de afloramentos análogos. A maior vantagem deste estudo é que falhas e estruturas relacionadas podem ser investigadas diretamente. Uma dessas tecnologias que surgem é o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT/DRONE) para imageamento de pequenas áreas com alta taxa de revisita e altíssima resolução espacial (Eisenbeiss, 2004; Nebiker *et al.*, 2008). Apesar da importância do estudo de estruturas tectônicas em afloramentos usando imageamento digital, pesquisadores de institutos de pesquisa e universidades passaram a trabalhar com este enfoque apenas recentemente. A partir dessa lacuna científica, como também sendo uma inovação mundial, o imageamento digital de áreas carstificadas consiste no enfoque desse trabalho. Utilizando a tecnologia de imagens com alta resolução do VANT para analisar falhas e estruturas a elas relacionadas, pode-se caracterizar a evolução de alguns conjuntos de relevos desenvolvidos segundo as direções dos principais

sistemas de falhas regionais que afetam as unidades litoestratigráficas pós-rifte da Bacia Potiguar, os quais atualmente exercem importante influência na evolução geomorfológica desta bacia, uma vez que controlam a drenagem e direcionam a dissecação e a deposição de sedimentos quaternários (Moura-Lima et al., 2011; Maia e Bezerra, 2012).

A Formação Jandaíra representa a mais extensa área de afloramento de carbonatos fanerozóicos do Brasil, e essa formação é a área enfocada nesse trabalho. Depositadas entre o Meso-turoniano e o Eocampaniano, as rochas da Formação Jandaíra constituem uma rampa carbonática que aflora em praticamente toda a porção emersa da Bacia Potiguar. Esta rampa carbonática foi submetida, durante e após sua deposição, a diversos episódios de soerguimento provocando exposição subaérea e erosão que resultaram em intensa carstificação, dissolução e brechação. A carstificação da Formação Jandaíra possui importante condicionamento estrutural (Bezerra et al., 2007), que pode ser observado e analisado através do sensoriamento remoto, como no presente trabalho. Nesse contexto, portanto, esse trabalho apresenta os resultados e a metodologia utilizada no aerolevanteamento com um VANT e as análises das estruturas carstificadas da Formação Jandaíra nessas imagens de alta resolução.

## 2. Metodologia de Trabalho

O trabalho desenvolvido pode ser dividido basicamente em três etapas: determinação da área para imageamento, coleta de dados, e análise das feições estruturais carstificadas em imagens em diferentes escalas.

Para selecionar as áreas na faixa das grandes zonas de falhas, como também a escolha de afloramentos, utilizou-se do *software* Google Earth, no qual foram vetorizados polígonos para obter o tamanho dos lajedos para imageamento, assim como houve o reconhecimento de algumas das áreas em mapeamento para melhor detalhe. Realizado os procedimentos no Google Earth, utilizou-se da tecnologia do VANT, sendo essa aeronave não tripulada de responsabilidade da *Technische Universiteit Delft* (TUDelft), universidade que reside na cidade holandesa de Delft. A tecnologia do VANT possibilita ter reconhecimento dos lajedos e de suas feições estruturais em alta resolução, chegando, por exemplo, a visualização de 1,37 cm por píxel. O VANT tem tamanho de 50x50 cm de área e 20 cm de espessura, pesando 1 kg. Podendo voar até 40 km por hora, o drone levanta voo por mais de 300 m, percorrendo uma distancia total de dois km por voo. Ele p uma pequena câmera acoplada com a resolução de 14 megapixels, a qual pode rotacionar, tendo assim a vantagem de se mover em todas as direções. O drone possui GPS e piloto automático, podendo, assim, ser programado automaticamente para onde ir e quando capturar imagens. A captura de imagens se percorrendo o trajeto programado, como exemplificado na Figura 1 abaixo:

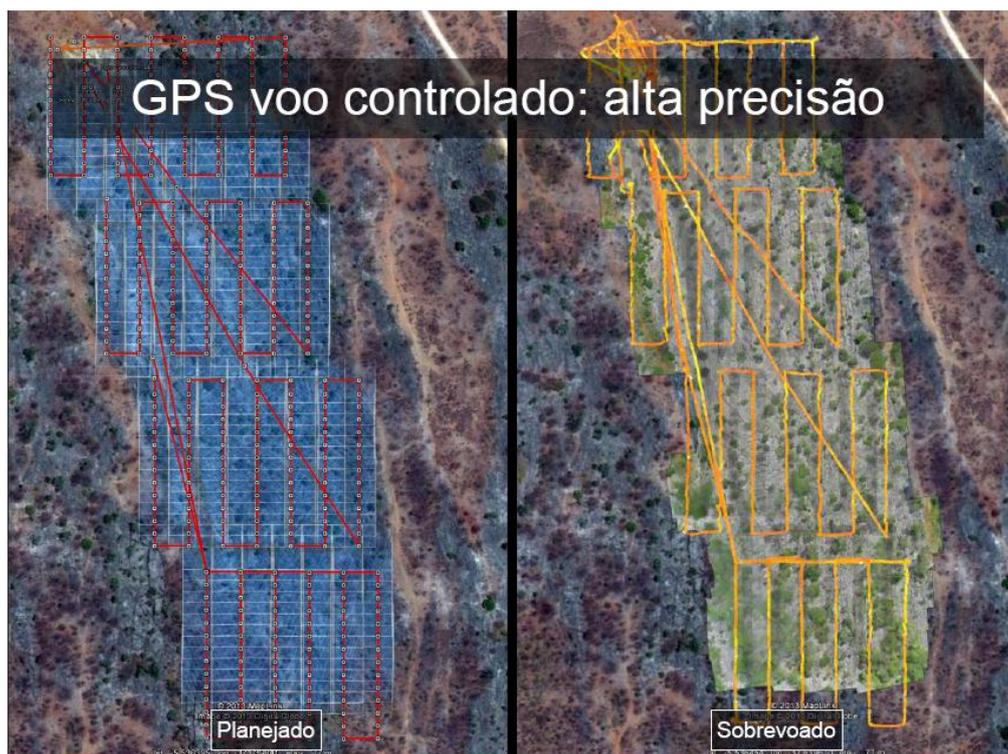


Figura 1 - Exemplificação do voo controlado por GPS do VANT

Após o procedimento de coleta de dados utilizando a tecnologia inovadora e vantajosa do drone, houve a etapa de análise, processamento, estudo e georreferenciamento das imagens com uso do *software* ArcGIS. Utilizando das ferramentas do ArcMap houve o mapeamento digital detalhado das imagens obtidas pelo VANT, buscando a análise de estruturas e feições evidentes nos lajedos em diferentes escalas, uma vez que se observou as imagens com diferentes graus de aproximação. A partir da alta resolução das imagens e seu rápido processamento, ocorreu tal análise mais detalhada dessas, observando as feições geológicas como zonas de falhamento e algumas estruturas relacionadas como, por exemplo, juntas distencionais. Houve também o reconhecimento de diferentes padrões estruturais, sendo possível, assim, adquirir dados geométricos que foram armazenados em um banco de dados digitais georeferenciados, sendo esses representados tanto por construção de planos de informações, como também por meio de *layers* através das ferramentas proporcionadas pelo *software* ArcGIS. A exportação dos dados obtidos nas fases possibilitou a correlação das estruturas georreferenciadas, ou seja, pode-se ter uma visão quantitativa e espacial das feições apresentadas nas imagens do drone.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos a partir das análise detalhada das imagens abrangem desde o âmbito da geologia estrutural à geomorfologia. Com a alta resolução das imagens, pode-se observar uma maior carstificação em zonas de falha e juntas distencionais, uma vez que essas feições são planos de fraqueza da rocha, as quais proporcionam uma maior percolação de fluidos, aumentando e alargando as feições estruturais presentes nos lajedos. As fraturas se mostram em sets com direções preferenciais bem marcadas na maioria dos lajedos, sendo que essas direções e suas repetições ainda estão sendo quantificadas com o decorrer das análises. Exemplificando a maior carstificação dessas feições, se tem o alargamento de fraturas, como mostrado na Figura 2 abaixo.

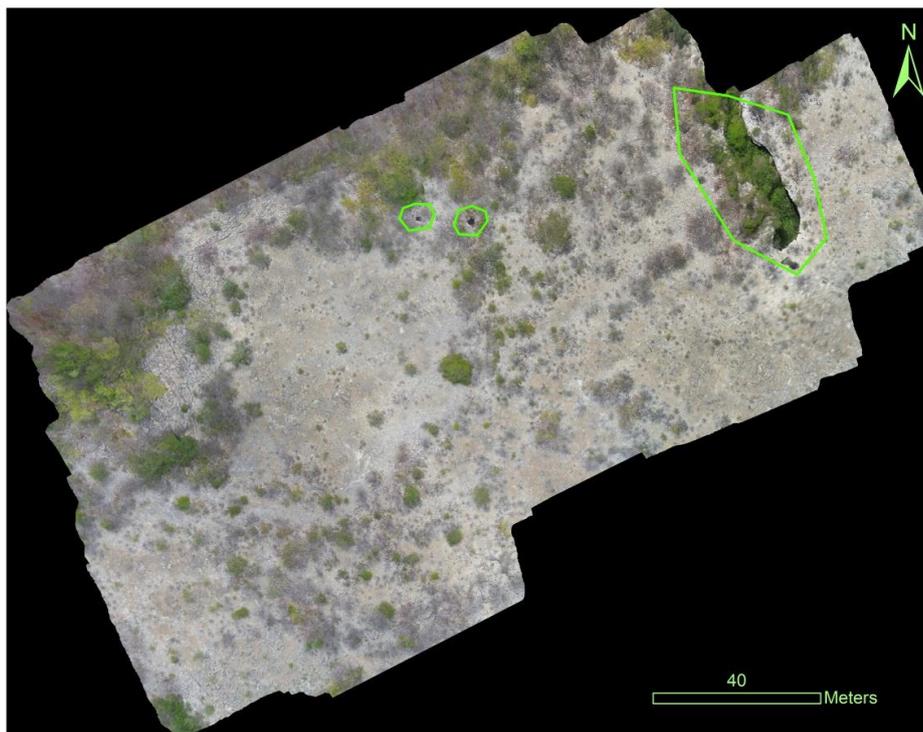


Figura 2 – Exemplificação de maior carstificação ao longo de fratura no lajedo imageado por drone.

Além disso, em uma análise mais estrutural, foram observados e quantificados, em diferentes escalas, alguns padrões estruturais, como anteriormente citados, que se repetem nas imagens da área trabalhada. Padrões e feições estruturais como o dendrítico, o qual é a ramificação de fraturas maiores em sets menores, encontrando-se também alargado, por isso, sofreu maior carstificação. Tal padrão pode ser observado na imagem do drone, exposta na Figura 3 abaixo:

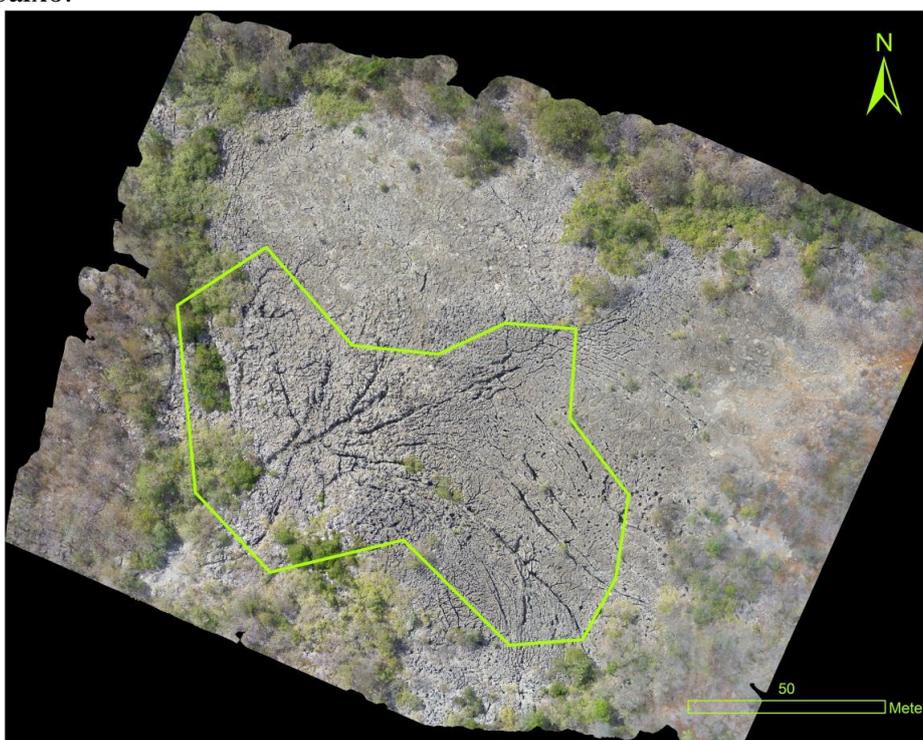


Figura 3. Exemplificação de alargamento das fraturas evidenciando a carstificação.

#### 4. Conclusões

O imageamento utilizando a tecnologia de alta resolução do VANT traz inovação e possibilita analisar falhas e estruturas a elas relacionadas à distância, sendo suficiente para alguns entendimentos como a evolução de conjuntos de fraturas desenvolvidos segundo as direções dos principais sistemas de falhas regionais que afetam as unidades litoestratigráficas. Além da percepção estrutural evidente devido à alta resolução das imagens, foi possível observar a relação de carstificação e a importância dos conjuntos de estruturas que influenciam na evolução geomorfológica da Bacia Potiguar, podendo, portanto, externar que os resultados apresentados mostram eficiente qualidade quanto àqueles obtidos com métodos tradicionais, como os de verdade de campo, para diferentes escalas dos lajedos. Em termos de resolução espacial e temporal, essas tecnologias estabelecem novos padrões, uma vez que a rapidez tanto de imageamento quanto de processamento das imagens do drone possibilita uma geração e análise de dados em menor tempo, assim como a resolução do VANT que traz um nível de detalhamento inovador para o sensoriamento remoto atualmente. Em relação a essa eficácia, sugere-se aqui novos estudos relacionando essas imagens com resultados de subsolo (dados de poços e linhas sísmicas). Sugere-se também trabalhos adicionais com LIDAR e MDT para ter uma visão 3D detalhada dos afloramentos da Formação Jandaíra. O imageamento descrito nesse trabalho servir como fonte de dados para outros trabalhos futuros com foco nas estruturas e suas relações com a carstificação dos lajedos.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao financiamento da pesquisa por meio do PRH22 – Petrobrás, como também a Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelas instalações de estudo, e a *Technische Universiteit Delft* (TUDelft) pela tecnologia e dados passados em relação ao drone.

#### Referências Bibliográficas

Bezerra, F. H. R., Ferreira, Takeya, M. K., Sousa, M. O. L., do Nascimento, A. F. 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault, Brazil. **Tectonophysics**, 430, p. 27–39.

Eisenbeiss, H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. **International Workshop on Processing and visualization using highresolution imagery**, 18-20.

S. Nebiker, S.; Annen, A.; Scherrer, M.; Oesch, D. A Light-Weight Multispectral Sensor for micro UAV – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F.H.B. Geomorfologia e Neotectônica da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró NE/Brasil. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 11, p. 209-228, 2012.

Moura-lima, e.n.; Bezerra, f. H. R.; Lima-filho, f. P.; De castro, david l.; Sousa, maria o.l.; fonseca, v.p.; aquino, m. R. 3-d. Geometry and luminescence hronology of Quaternary soft-sediment deformation structures in gravels, northeastern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 235, p. 160-171, 2011.