

AS FRATURAS E SUA IMPORTÂNCIA NO CONTROLE DA PAISAGEM CÁRSTICA EM CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO JANDAÍRA (CRETÁCIO DA BACIA POTIGUAR), FELIPE GUERRA – RN

THE FRACTURES AND YOUR IMPORTANCE IN CONTROL OF KASTC LANDSCAPE OF FORMATION JANDAÍRA (CRETACEOUS OF BACIA POTIGUAR), FELIPE GUERRA - RN

Iris Pereira Gomes, César Ulisses Vieira Veríssimo & Francisco Hilário R. Bezerra

CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Residência de Fortaleza-CE.

Contatos: iris.gomes@cprm.gov.br.

Resumo

A pesquisa em apreço envolve o estudo geológico, estrutural e espeleológico de uma área localizada no município de Felipe Guerra, porção oeste da Bacia Potiguar. Trata-se de um território pouco estudado e bem preservado, tornando-se um atrativo a novas descobertas. O objetivo da pesquisa é determinar a importância das fraturas na formação de feições cársticas e suas implicações para a gênese das cavernas do calcário Jandaíra. Após análise em imagem de satélite e mapeamento geológico-estrutural de superfície e subsuperfície, formou-se um banco de dados, para modelagem matemática e representação gráfica da densidade e geometria das estruturas presentes. O estudo resultou em um arranjo estrutural de três direções preferenciais: NW-SE, NE-SW e N-S. Este arranjo coincide tanto com os principais sistemas de falhas da Bacia Potiguar, como com a direção de cavernas na área de estudo, o que indica uma forte influência na morfologia do terreno. O trabalho, realizado através de uma parceria entre a Universidade Federal do Ceará e a Universidade Federal Rio Grande do Norte, contribui com informações geológicas acerca das rochas calcárias fraturadas da região, acreditando que a estruturação frágil tem grande importância no controle da paisagem cárstica.

Palavras-Chave: Fratura, Carste, Caverna, Calcário.

Abstract

The research in question involves the geological survey, structural and cave exploration in an area located in the municipality of Felipe Guerra, west of Potiguar Basin. This is an understudied area that is well preserved, making it an attraction to new discoveries. The purpose of this research is to determine the importance of fractures in the formation of karst features and their implications for the genesis of the limestone caves Jandaíra. After analyzing satellite imagery in geological and structural mapping and surface and subsurface, formed a database, for mathematical modeling and graphical representation of the density and geometry of these structures. The study resulted in a structural arrangement of three preferential directions: NW-SE, NE-SW and N-S. This arrangement coincides with both the main fault systems Potiguar Basin, as to the direction of the caves in the study area, indicating a strong influence on the morphology of the terrain. The study, conducted between the Federal University of Ceara and Federal University of Rio Grande do Norte, contributes geological information about the fractured limestone of the region, believing that fragile structure has great importance in controlling the karst landscape.

Key-words: fracture, karst, caves, limestone.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 7% do território brasileiro é ocupado por rochas carbonáticas, representando uma importante paisagem do país (Karmann, 2003). Hoje muitos pesquisadores promovem investigações geológicas acerca do carste da Bacia Potiguar, contribuindo com dados sobre sua história evolutiva.

A área estudada foi escolhida por possuir grande quantidade de cavernas, fato este que permite a correlação dos dados levantados em superfície com os de subsuperfície, bem como a influência do controle tectônico sobre a formação de potenciais espeleológicos da região.

1.1. Localização da Área de Pesquisa

O estudo concentra-se no município de Felipe Guerra, que situa-se no Oeste Potiguar, abrangendo as folhas Apodi (SB.24-X-C-VI) e Quixeré (SB.24-X-C-III), editadas na escala 1:100.000 pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (1982).

A área alvo do mapeamento geológico, executado na escala 1:10.000, perfaz 11 km² e está inserida na localidade de Arapuá, com polígono definido pelos vértices, segundo coordenadas UTM – WGS 84 (Figura 1): V1 (650.750/9.390.150); V2 (654.500/ 9.390.150); V3 (654.500/ 9.387.200); e V4 (650.750/ 9.387.200).

2. METOLOGIA DA PESQUISA

De início foi realizada uma pesquisa de material bibliográfico sobre a geologia da Bacia Potiguar. Em seguida, uma pré-análise estrutural em imagem de sensores remoto, cedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Na etapa de campo, foi feito o reconhecimento e mapeamento geológico da área. Nesta fase foram identificados e cartografados diversos sistemas de juntas e falhas, e concomitantemente ao mapeamento geológico, foram feitas coletas de amostras para análises petrográficas, químicas e da porosidade do calcário, além do levantamento topográfico e descrição endocárstica de uma das cavernas encontradas.

Com o término da etapa de campo, a pesquisa voltou-se à elaboração de mapas geológicos, de pontos e a preparação de amostras para análises laboratoriais. Nesta última, foram realizadas análises petrográficas e da microporosidade do calcário em 30 lâminas delgadas e análises químicas de 12 amostras.

Finalmente, os subsídios de campo, escritório e laboratório permitiram a composição de um banco de dados, a fim de correlacionar a influência das estruturas na formação de superfícies de dissolução e desenvolvimento de cavidades.

3. GEOLOGIA REGIONAL

O presente estudo encontra-se localizado no contexto geológico da Bacia Potiguar, extremo nordeste do Brasil. Segundo Françolin e Szatmari (1989) citado por Dantas (1998), a Bacia Potiguar é uma bacia sedimentar do tipo *rift* originada pela fragmentação do supercontinente *Gondwana*, que teve início ao final do Jurássico, estando sua origem diretamente ligada a formação do Atlântico Sul.

Estende-se por 48.000 km² de área e engloba parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Corresponde a uma transição entre o continente e o oceano, com porção emersa de 21.500 km² e submersa de 26.500 km², até a isóbata de – 2.000 m. Desenvolveu-se sobre um substrato de rochas pré-cambrianas pertencentes à Província Borborema, limitando-se ao sul e oeste com rochas do embasamento cristalino, ao norte e leste com o Oceano Atlântico (Figura 2).

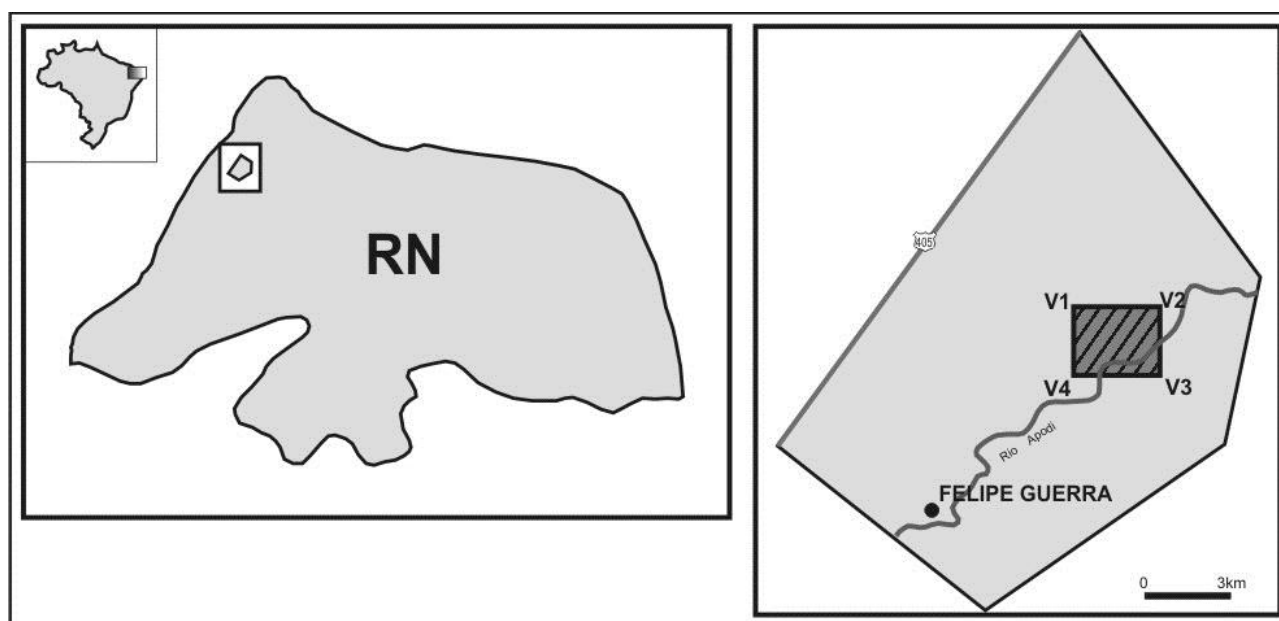


Figura 1 – Mapa de localização e acesso à área de pesquisa.

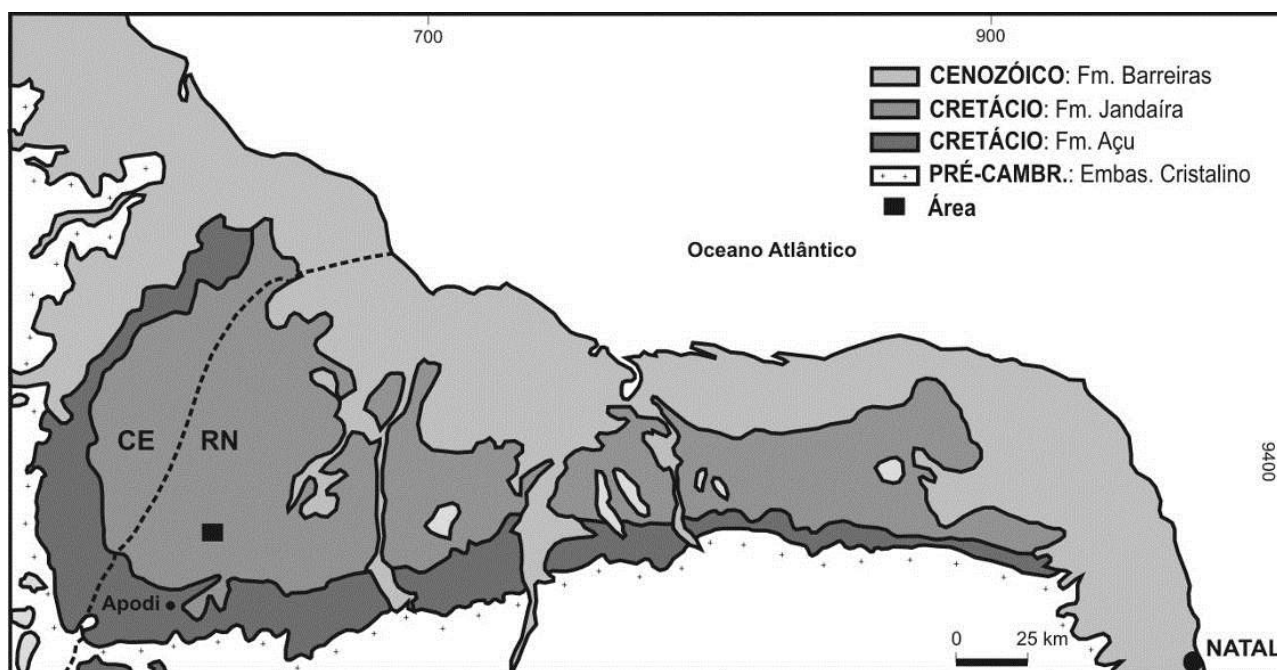


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar (Dantas, 1998).

O preenchimento sedimentar da bacia está relacionado com as diferentes fases de sua evolução tectônica, denominadas de: rift, transicional e de deriva continental. Cada uma foi responsável, respectivamente, pela deposição sedimentar das megassequências continental, transicional e marinha (Chang *et al.*, 1992 *apud* Pessoa Neto, 2003).

A fase *Rift* (Neocomiano/Eoaptiano) é representada pelos sedimentos das Formações Pendência (conglomerados, folhelhos lacustres e arenitos flúvio-deltáicos) e Pescada (arenitos intercalados a folhelhos e siltitos).

A fase Transicional (Neoaptiano/Eoalbio) é representada pelos sedimentos da Formação Alagamar e subdividida nos Membros Upanema (arenitos flúvio-deltáicos, intercalados a calcários e folhelhos), Camadas Ponta do Tubarão (folhelhos pretos e calciludito ostracoidal em sistema lagunar) e Galinhos (argilitos).

A fase de Deriva Continental (Albiano/Holoceno) foi marcada por duas etapas, uma transgressiva e outra regressiva. A transgressiva (Albiano ao Eocampaniano) teve início com os sedimentos da Formação Açu (conglomerados, arenitos e siltitos de sistemas fluvial e deltáico-estuarino), gradando lateralmente para as Formações Ponta do Mel (calcarenitos, arenitos e calciluditos intercalados a folhelhos) e Ubarana (folhelhos, siltitos, calcilutitos, arenitos, diamictitos, conglomerados e olistolitos). Sobrepostos a Formação Ponta do Mel depositou-se ainda o Membro Quebradas que são pelitos

intercalados a arenitos. Com a inundação da Formação Açu formou-se a ampla plataforma carbonática, Formação Jandaíra, composta por calcarenitos com bioclóstos e calciluditos.

A fase regressiva (Neocampaniano-Holoceno) consiste em sistemas de leques costeiros e bancos carbonáticos, representada pela Formação Timbau (arenitos grossos e leques costeiros) e pela Formação Guamaré (calcarenitos e calcilutitos de plataforma e taludes carbonáticos).

Toda a sequência é coberta, discordantemente, por sedimentos Terciários do Grupo Barreiras e por depósitos eólicos, aluvionares e *beachrocks* do Quaternário (Nogueira, 2004). Associados ainda à evolução da Bacia Potiguar ocorrem três eventos de vulcanismos: (I) Formação Rio Ceará Mirim (Jurássico-Cretáceo inf.), que são diques de diabásio toleíticos, adjacente ao embasamento cristalino; (II) Formação Serra do Cuó (Santoniano-Campaniano), intercalados a Formação Açu, que formam soleiras de diabásio; e (III) Formação Macau (Terciário), que intercalam-se aos sedimentos das Formações Ubarana, Guamaré e Tibau, sendo representados por *necks* e *plugs* de olivinas-basalto afaníticos, e de diabásios, com idade de 45 a 29 Ma (Dantas, 1998).

4. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Baseado nas observações de campo percebe-se que todo o calcário aflorante mostra-se fortemente deformado, em regime rúptil, sendo

marcado por rupturas que variam de centímetros a centenas de metros.

As falhas na área de estudo são demonstrações fundamentais da atividade tectônica em nível crustal superior, em associação a um deslocamento diferencial ao longo da superfície de ruptura (Figura 3).

De forma regional, as estruturas rúpteis desempenham papel importante na evolução da Bacia Potiguar, pois atuam no controle da sedimentação e na modelagem atual do relevo, como também tem grande importância em obras de captação de petróleo e gás, servindo como condutos para a migração de hidrocarbonetos na bacia.

Estas feições foram reconhecidas em campo por pequenas falhas com movimentação transcorrente destal, materializadas pelo aparecimento de fraturas de segunda ordem, as fraturas de *Riedel* (a), e pelo preenchimento em forma de brechas (b). As fraturas de *Riedel* funcionam como indicador cinemático do movimento, onde *R* assume sentido de cisalhamento idêntico ao do plano principal; e *R'*, com sentido oposto (Figura 4c).

Acredita-se que as fraturas são o ponto de partida para o desenvolvimento de porosidade dessa rocha. É através delas que a água inicia sua atuação de desagregação lenta e contínua da rocha, passando, a longo prazo, de microporosidade à cavidades subterrâneas.

Para o levantamento estatístico dessas feições, optou-se pelo método da linha, por sua simplicidade de execução e aplicabilidade na caracterização de suas propriedades mais importantes, tais como: orientação espacial, persistência, espaçamento, abertura e profundidade (Figura 5).

O traçado das estruturas na área de pesquisa comporta-se como enxames de lineamentos da ordem de metros a centenas de metros, tanto para comprimento, como para espaçamentos, profundidades e aberturas, em alguns casos com importante potencial cavernícola (Figura 6). De acordo com critérios sugeridos pela *International Society for Rock Mechanics* – ISRM (1983), estes parâmetros variam desde muito pequenos (<1m) até muito grandes (>20m). Quanto à orientação espacial, em campo foram encontradas quatro famílias de fraturas (N-S, E-W, NE-SW e NW-SE), mas lineamentos com direção E-W têm pouca ou quase nenhuma participação no traçado do sistema.

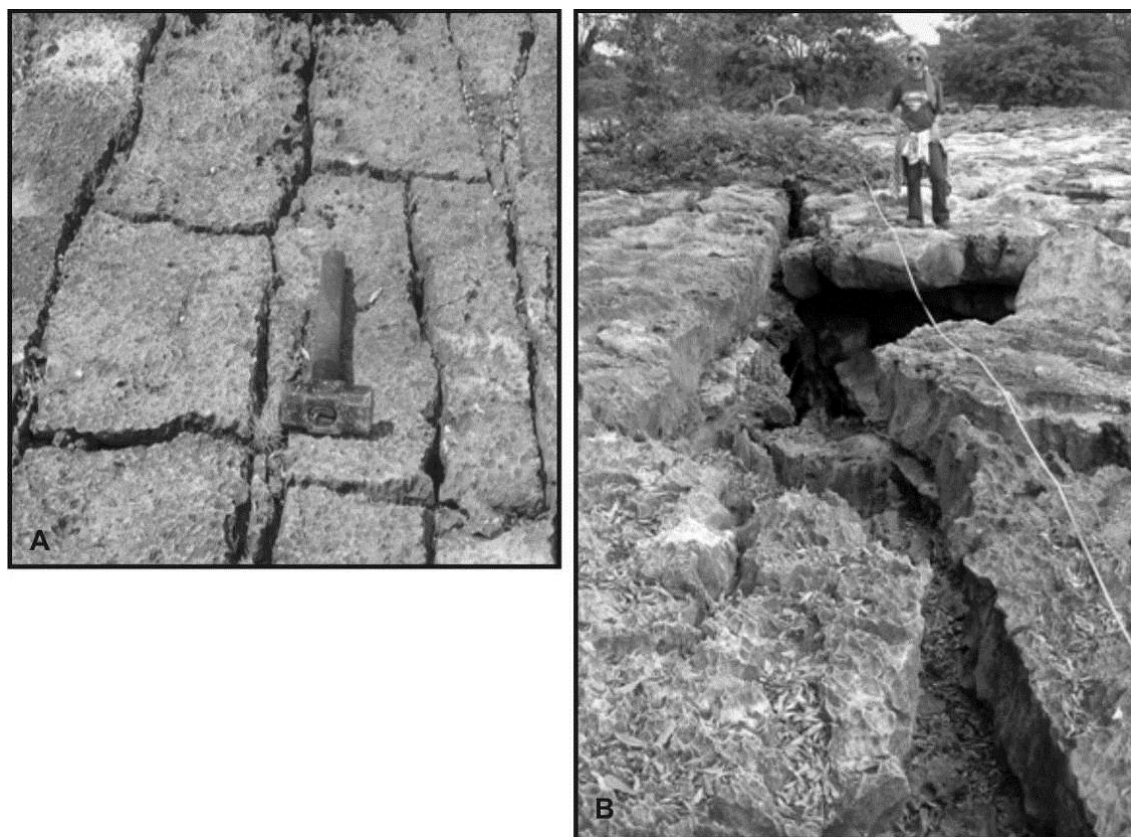


Figura 3 – Calcário marcado por rupturas centimétricas (A) e fratura com potencial cavernícola, favorável a formação de estruturas maiores (B).

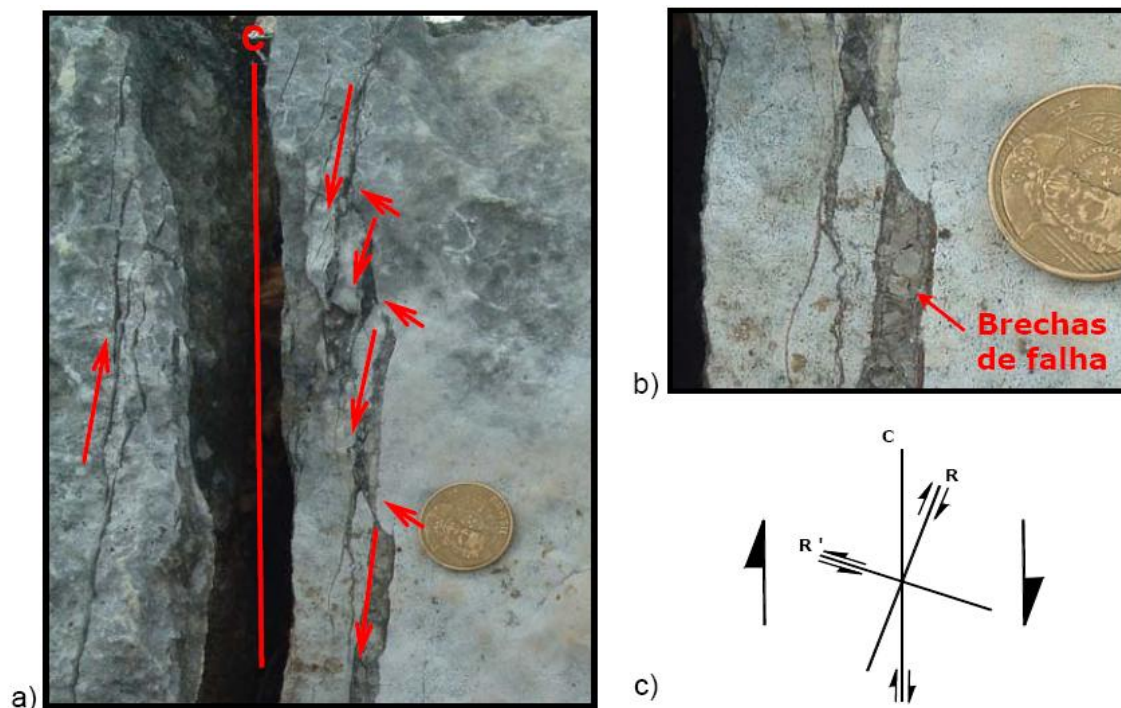


Figura 4 – a) Falha com movimentação destal; b) Preenchimento em forma de brechas; e c) Esquema de movimento entre o plano *C* e as fraturas de Riedel *R* e *R'*.



Figura 5 – Levantamento sistemático das famílias de fraturas pelo método da linha.

Para enfatizar a pesquisa, modelamentos matemáticos gerados na universidade do Rio de Janeiro (PUC Rio), através do *software Petbool*, reforçam novamente a tendência de três direções, NW-SE, NE-SW e N-S (Figura 7). Percebe-se que a intensidade do fraturamento diminui com a

profundidade, pois algumas fraturas alcançam estratos mais profundos que outras, variam desde “pequena”, onde predominam as de direção N-S, até “muito profundas”, ao longo das três direções preferenciais (Figura 8).



Figura 6 – Dolina encontrada na área, representando um importante potencial cavernícola.



Figura 7 – Simulação do plano XY, em diferentes profundidades, o topo, onde predominam fraturas de pequena profundidade de direção N-S; o centro, porção intermediária; e a base, que representa as fraturas muito profundas ao longo das três direções preferenciais: NW-SE, NE-SW e N-S.

Além disso, análise por sensores remotos, a partir de uma imagem *Quickbird*, permitiu reconhecer que a série de lineamentos interpretados e mapeados coincide, tanto com o arranjo local, como com todo o sistema estrutural da Bacia Potiguar, como por exemplo, os Sistemas de Falhas de Carnaubais (SFC) e de Afonso Bezerra (SFAB) de direções NE-SW e NW-SE, respectivamente. Segundo Hackspacher *et al.* (1985) citado por Dantas (1998), a Falha de Carnaubais é bem delimitada por métodos geofísicos, enquanto que a Falha de Afonso Bezerra compõe um extenso lineamento, facilmente identificado por sensoriamento remoto (Figura 9).

Com base neste contexto geológico, supõe-se de que as famílias de fraturas encontradas na área são reflexos de uma tectônica de expressão regional, ligada a evolução da margem continental brasileira, uma vez que a área de pesquisa apresenta

características estruturais condizentes com o desenvolvimento do intenso sistema de fraturas da Bacia Potiguar (Figura 10).

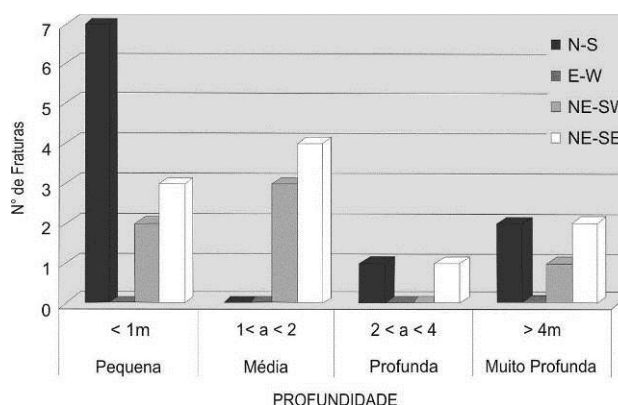


Figura 8 – Relação entre a orientação espacial e a profundidade das fraturas segundo ISRM – *International Society for Rock Mechani* (1983).

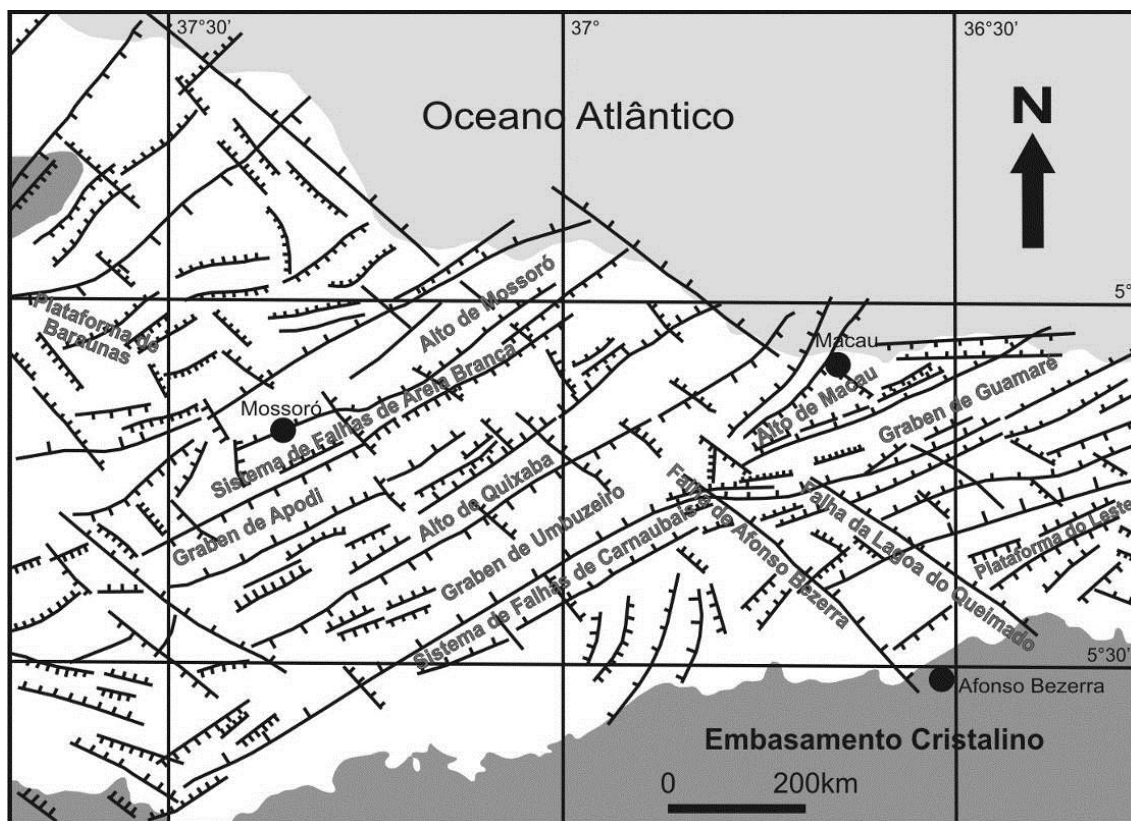


Figura 9 - Mapa estrutural proposto por Hackspacher *et al.* (1985) in Dantas (1998) mostrando que o complexo sistema de lineamentos NE e NW se entrelaça e penetra por quase toda a Bacia Potiguar.

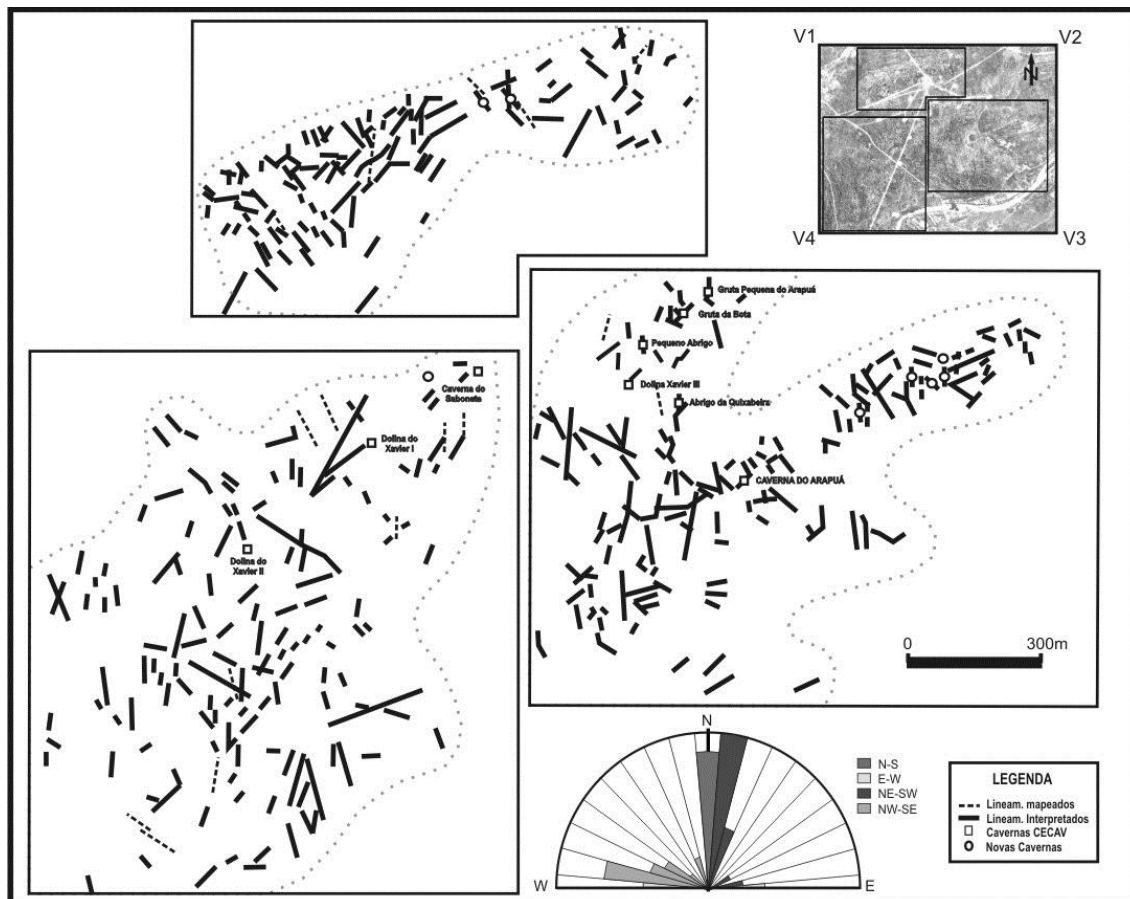


Figura 10 – Mapa de lineamentos interpretados e mapeados em imagem *Quickbird* referente ao arranjo local da área.

Em complemento aos fatos acima relatados e pensando em unir dados de superfície com os de subsuperfície, foi selecionada uma das cavernas encontradas na área, a caverna Arapuá, para a realização de mapeamento espeleológico.

A caverna Arapuá possui duas galerias, uma com 33m, na direção NE-SW e a outra com 54m, de direção NW-SE. Comparando as direções tomadas em seu interior, marcadas por alinhamentos de estalactites e fendas no teto, com aquelas medidas em superfície, temos novamente a concentração de duas direções preferenciais, NE-SW e NW-SE, e que essas estruturas assumem a direção aproximada ao desenvolvimento da caverna (Figura 11).

5. GÊNESE DAS CAVERNAS

Toda história evolutiva da Bacia Potiguar, conseqüentemente da Formação Jandaíra, é marcada por intensas atividades tectônicas, as quais originaram um complexo sistema de falhas. Fazendo-se analogia entre o sistema de falhamentos da área de pesquisa e os da Bacia Potiguar, pode-se dizer que a formação das cavernas da área, está

ligada a estas estruturas. Esta idéia é evidenciada pela direção das galerias principais da caverna mapeada, a caverna Arapuá, que coincide com o *trend* regional, ou seja, distribui-se segundo as direções NW-SE e NE-SW.

Certamente, aliado ao fator estrutural, as cavernas se formaram porque o calcário é uma rocha frágil à acidez e ao encontrar um ambiente extremamente fraturado e poroso, aos poucos foram surgindo cavidades subterrâneas. Agentes físicos também desempenham um importante trabalho, pois o arraste de partículas e o impacto causado pelo escoamento das águas gera desagregação; e a gravidade atua na conformação de grandes blocos colapsados no interior da caverna.

Com a erosão aparecendo, a caverna aumenta suas dimensões, formando galerias, por onde a água começa a circular livremente. Nessa etapa, a água, com grande poder dissolvente, chega às fendas carregando carbonato de cálcio suficiente para iniciar as primeiras estalactites, em seguidas as estalagmites, e por fim, sua morfologia senil, com abundantes espeleotemas (Figura 12).

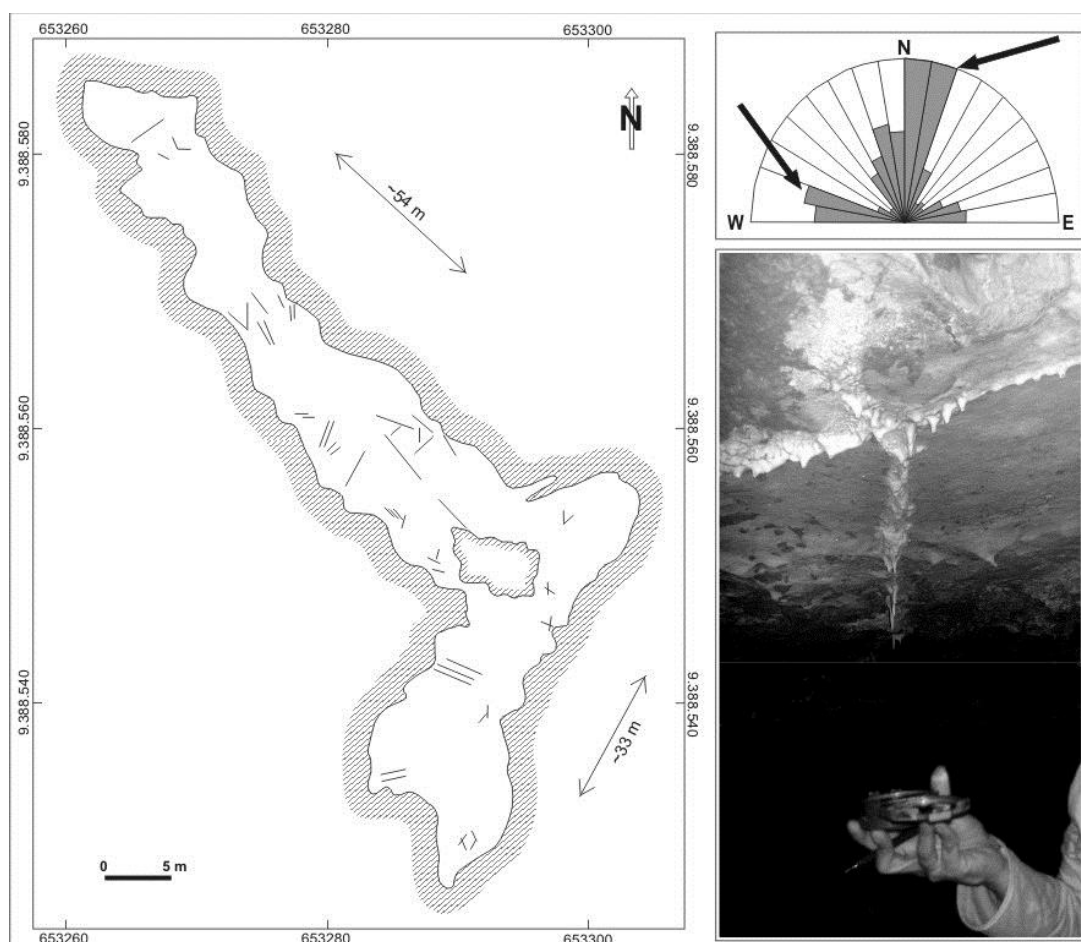


Figura 11 – Topografia da caverna, com diagrama de rosetas mostrando a frequência acumulada das fraturas internas da caverna.

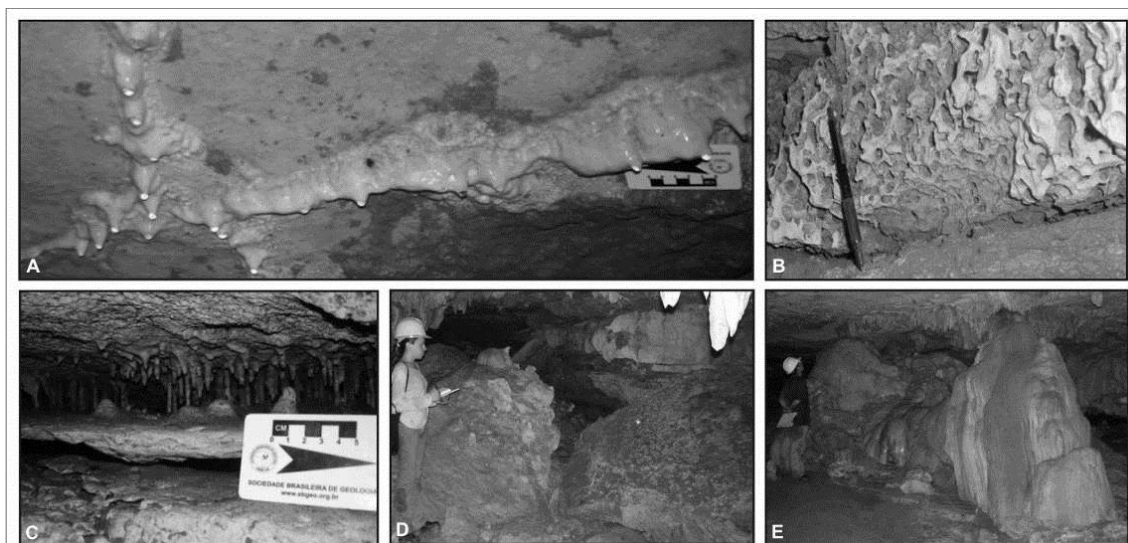


Figura 12 – Processo de dissolução do calcário: (A) água em contato com o interior da caverna através de fraturas no teto; (B) camada em estado inicial de dissolução; (C) formação de condutos; (D) blocos de rocha, que por gravidade despencaram do teto; e (E) estágio de maturidade, com espeleotemas bem desenvolvidos.

Atualmente, a mesma água, circulando pelas fendas e planos de estratificação, vem alargando lentamente todo o sistema de fraturas ali presentes, e aos poucos, formando cavidades na rocha. Os espaços porosos, condutos e vazios continuam sendo modelados pela ação da água e exercem, até hoje, importante papel no ornamento de cavernas da região.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As cavernas exercem fascinação ao ser humano, representam também o berço dos nossos antepassados e constituem um patrimônio de inestimável valor científico e cultural. Dotadas de beleza natural, despertam a curiosidade de compreender a natureza de suas formações e os múltiplos fenômenos associados ao seu aparecimento.

Ciente da necessidade de um maior direcionamento de pesquisas voltadas a terrenos carbonáticos fraturados, o trabalho fornece

informações e interpretações acerca do controle tectônico na formação de potenciais espeleológicos da região.

O estudo mostrou que a área compreende um relevo cárstico, produzido pela ação geológica da água superficial e subterrânea sobre rochas solúveis, os calcários da Formação Jandaíra. A formação de condutos é controlada pela solubilidade da rocha e seu padrão estrutural, ao longo de lineamentos preferenciais NW-SE e NE-SW. Com base nas evidências podemos afirmar que a presença destas estruturas exerce forte controle e influência direta na formação de cavidades subterrâneas, uma vez que estas direções coincidem com a topografia da caverna mapeada.

Esperamos, finalmente, que este trabalho seja uma parcela contribuinte para Geologia do Brasil e recomendamos a intensificação de esforços científicos, voltados a um detalhamento das descobertas cavernícolas, capazes de enriquecer o banco de informações espeleológicas de natureza singular.

REFERÊNCIAS

- DANTAS, E. P. **Gravimetria e Sensoriamento Remoto:** uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte. 1998. 97p. Natal. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). CCET, UFRN.
- CHANG H. K. ET AL, 1992. In: PESSOA NETO, O.C. **Estratigrafia de Sequências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira.** Revista Brasileira de Geociências, 2003. Volume 33, p. 263-278, 2003.

- FRANÇOLIN & SZATMARI (1989). In: DANTAS, E. P. **Gravimetria e Sensoriamento Remoto:** uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte. 1998. 97p. Natal. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). CCET, UFRN.
- HACKSPACHER *ET AL.*, 1985. In: DANTAS, E. P. **Gravimetria e Sensoriamento Remoto:** uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte. 1998. 97f. Natal. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). CCET, UFRN.
- ISRM – *International Society for Rock Mechanic*. **Suggested methods for the quantitative description of rock masses**. Traduzido pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Método para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos**. Edição autorizada pela Pergaman Press LTD Oxford-England. São Paulo, 1983. p. 132.
- KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: _____, **Decifrando a terra**. 2ª. Reimpressão. Oficina de Textos, São Paulo, 2003. Cap.7, p. 113-138.
- WILLIAMS, H., TURNER, F. J. & GILBERT, C. M. **Petrografia:** uma introdução ao estudo das rochas em seções delgadas. Traduzido por Ruy Ribeiro Franco. São Paulo-SP, Polígono e Editora da Universidade de São Paulo, 1970. 424p.