



ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

RIBEIRO, T. G. R.; ALMEIDA, S. S.; TIMÓTIO, B. S. A.; FILHO, C. V. S.; OLIVEIRA, F. O.; CUNHA, A.. Controles espeleogenéticos no desenvolvimento de cavernas na região de Natalândia-MG In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.359-366. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_359-366.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

CONTROLES ESPELEOGENÉTICOS NO DESENVOLVIMENTO DE CAVERNAS NA REGIÃO DE NATALÂNDIA – MG.

SPELEOGENETIC CONTROLS IN THE DEVELOPMENT OF CAVES IN NATALÂNDIA'S REGION.- MG.

Tulio Gabriel Ramos RIBEIRO (1,2); Samuel Santos de ALMEIDA (1,3); Beatriz Soares de Andrade TIMÓTIO (1,3); Cezar Vicente de Sousa FILHO (1,3); Fábio Osório de OLIVEIRA (1); André CUNHA.

- (1)Grupo Espeleológico da Geologia da Universidade de Brasília- GREGEO-UnB, Brasília-DF;
(2)TR Geologia;
(3)Universidade de Brasília.

Contatos: tuliograbrielrr@gmail.com; almeidasamuel.geo@gmail.com; fabiogeounb@gmail.com.

Resumo

A deformação tectônica em carbonatos do Grupo Bambuí na região de Natalândia – MG, favoreceu um arcabouço estrutural de *trend* de dobras e falhas alinhadas com as cristas de serras e morros calcários de direção NW-SE. Diversos trabalhos descreveram formação de condutos associadas a zonas de charneira, falhas e juntas. Essas estruturas planares favorecem a percolação hídrica em carbonatos, e consequentemente a dissolução preferencial ao longo desses caminhos, que evoluem para cavidades, normalmente com padrão reticular. A Região de Natalândia-MG no entanto, apresenta ausência de padrão reticulado em algumas cavernas mapeadas, contudo ainda assim, é notável o forte controle estrutural na orientação dos condutos, assim como na forma dos mesmos.

Palavras-Chave: Controle estrutural; Condutos; Cavernas; Hipogênese; Natalândia.

Abstract

The carbonate tectonic deformation of the Bambuí Group in the region of Natalândia – MG favored a structural framework with a trend of folds and faults aligned with the crests of limestone hills in the NW-SE direction. Several works described the formation of conduits associated with hinge zones, faults and joints. These planar structures support water percolation into carbonates, and consequently preferential dissolution along these “paths”, which evolve into cavities, usually with a reticular pattern. The region of Natalândia-MG, however, presents an absence of a reticulated pattern in some mapped caves, even so, the strong structural control in the orientation of the conduits, as well as in their shape, is remarkable.

Keywords: Structural control; Conduits; Caves, Hypogenesis; Natalândia.

1. INTRODUÇÃO

A principal forma de espeleogênese é através da dissolução por uma solução aquosa enriquecida em ácido carbônico. A migração desses fluidos pode ocorrer de duas formas no carste: pelo fluxo de matriz/difuso, com transferência através da porosidade primária da rocha; ou por fluxo de fratura (fissural)/conduto, ocorrendo através de porosidade secundária como fraturas (FAIRCHILD & BAKER, 2012; WILLIAMS, 2008). Estudos mostram que a migração do fluxo de conduto por dissolução preferencial de fraturas geradas durante a deformação tectônica, são predominantes em relação ao fluxo difuso (KLIMCHOUK & FORD, 2000; PALMER, 1991). Palmer, 1991 ainda sugere que a dissolução inicial de proto-condutos preferencialmente se desenvolve ao longo de planos

de acamamento (57%) e fraturas (42%), enquanto que somente 1% dos casos são gerados pela porosidade primária da rocha. Outros autores (BAUER et al., 2016; BAUER & TOTH, 2015; ENNES-SILVA et al., 2016; KIM & SANDERSON, 2010; WATKINS et al., 2015a) também enfatizam que mudanças litológicas combinadas a estruturas tectônicas são fortes controladores de migração de fluidos e de espeleogênese em sistemas cársticos.

Rauch et al. (1977) também observaram que carbonatos que circundam lâminas siltosas são mais propensos a se dissolver. Isso se deve pelo aumento da rugosidade da superfície, podendo acelerar a dissolução pelo aumento da área de contato da água e/ou pelo fato desses carbonatos serem mais puros (com menos argila), acarretando na dissolução preferencial nesses horizontes.

Controle estrutural é relevante quando influencia no comportamento hidrológico, apresentando padrões complexos em zonas de falhas que ocorrem em carbonatos como destacado por Bauer et al., 2016. Com respeito a migração de fluido, essas estruturas atuam como condutos, barreiras ou ambos simultaneamente (CAINE *et al.*, 1996). Esses fatores variam de acordo com a composição da rocha encaixante, mecanismos de deformação, arquitetura da zona de falha e processos de alteração (dissolução) relacionados a essas zonas. Dois processos tectônicos principais afetam a permeabilidade de carbonatos falhados. O primeiro é a deformação cataclástica (pulverização de rocha) que resulta no aumento da permeabilidade em rochas de baixa porosidade ou a diminuição no caso dos carbonatos de porosidade primária elevada. O segundo processo está relacionado a perda de permeabilidade devido a cimentação de poros primários e/ou fraturas gerada pela interação com fluidos ou cisalhamento.

2. OBJETIVOS

Com o objetivo de elaborar um projeto de estudo financiado pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), o Grupo Espeleológico da Geologia da Universidade de Brasília (GREGEO – UnB) apresentou um projeto denominado de “Unalândia – Conhecer para Proteger”, onde diversos temas de estudo foram pesquisados envolvendo espeleologia, tais como impactos ambientais, técnicas de prospecção espeleológica, zoneamento da fitofisionomia, arqueologia e geoespeleologia.

Sendo assim, o objetivo específico desse trabalho está focado na caracterização do carste local em Natalândia-MG, assim como a interpretação dos fatores que controlaram a epeleogênese e moldaram as formas de relevo identificadas.

3. ÁREA DE ESTUDO

A região de Natalândia-MG está inserida na Província Tocantins, mais especificamente na Faixa de Dobramentos Brasília (FDB). Essa é subdividida em duas grandes zonas separadas pela Falha do Rio Maranhão (FUCK et al., 1994). A zona externa, a leste da falha, é composta por rochas sedimentares dos Grupos Canastra e Paranoá depositadas em ambiente de margem passiva que posteriormente foram submetidas a grau metamórfico xisto verde baixo. Encontram-se também na região as sequências metassedimentares dos grupos Vazante e Bambuí, que teriam se desenvolvido além dos limites da faixa. Essas sequências encontram-se

falhadas e dobradas, indicando vergência para o Cráton São Francisco (BRITO NEVES & CORDANI, 1991; PIMENTEL ET AL., 2011; PIMENTEL & FUCK, 1992).

De acordo com a Folha Unaí (BAPTISTA et al., 2015) apresentada nos mapas geológicos e litológico da região, ambas as áreas estão inseridas no contexto dos grupos Paranoá e Bambuí, sendo que há ocorrência de carbonatos, com muito alto potencial espeleológico, no subgrupo Paraopeba e Formação Sete Lagoas (NP2bpc - Figura 1), pertencentes ao Grupo Bambuí.

A intercalação entre unidades carbonáticas, susceptíveis a dissolução, com unidades pelíticas, menos permeáveis e selantes, propiciou a formação de aquíferos físsuro-cársticos, que foram soerguidos como o paleo-carste local.

A estruturação tectônica presente na região, com *trends* de dobras e falhas, favorece o desenvolvimento de estruturas planares que condicionam a dissolução preferencial de condutos.

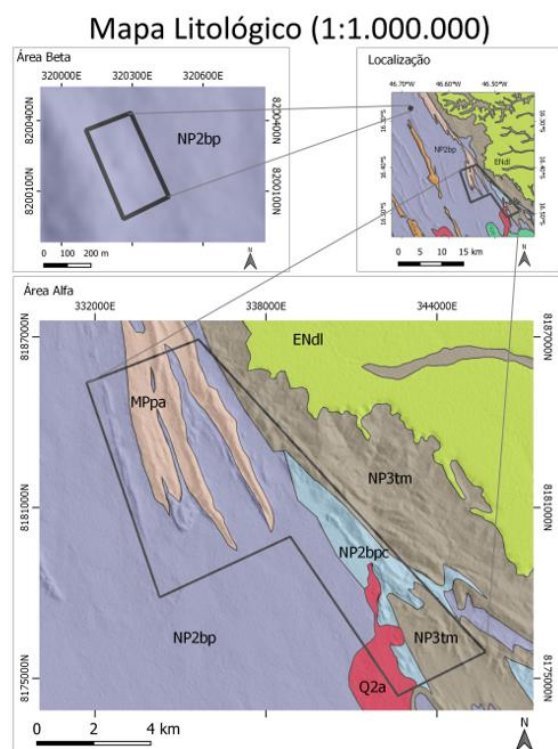


Figura 1 - Mapa Litológico da área estudada. Produto confeccionado ao longo do “Projeto Unalândia – Conhecer para Proteger”. ENdl – Sedimentos e solos quaternários; Q2a – Depósitos de areia; NP2bp – Calcarenitos, arcóseos, margas, dolomitos, pelitos e ritimitos; NP2bpc – Calcário, dolomito, marga e siltito; NP3tm – Arcóseo, argilito e siltito; Mppa – Metapelito arcoseano, metapelitos e calcário.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse estudo iniciou-se com a revisão de dados de prospecção no

banco de dados do Grupo Espeleológico da Geologia da UnB, que permitiu a seleção da área, de elevado potencial espeleológico.

Mapas base temáticos com respeito a geologia, declividade, pedologia, hidrogeologia e mapa falsa cor nas bandas *Sentinel* RGB – 762 auxiliaram como eficientes guias prospectivos nas campanhas de campo, que ocorreram entre os dias 27/12/2020 – 03/01/2021 e 26/12/2021 – 02/01/2022.

Após a fase de prospecção e reconhecimento, duas cavidades foram selecionadas para mapeamento e análise estrutural, sendo a Gruta do Pinguço (MG-2458) e Gruta dos Meandros (MG-2459). Nessas grutas foram realizados mapeamentos topográficos, aplicando a metodologia tradicional com bússola-clinômetro da marca *Eyeskey* (não declinada), trena a laser *Bosch*, com croqui desenhado em escala 1:300, em papel milimetrado. A digitalização dos mapas e seções foi realizada utilizando o software *CorelDRAW*, versão 2018.

Já as medidas estruturais foram tomadas na anotação *Clar* (sentido do mergulho/ângulo de mergulho para os planos e inclinação/sentido de caimento para as linhas) utilizando-se bússola geológica modelo *Brunton* e o aplicativo para celular *FieldMoveClino*, ambos devidamente declinados.

A interpretação dos tipos de estruturas tectônicas foi feita em campo, enquanto que a projeção dos planos medidos e a análise dos diedros retos (*Right Dihedron*) com a otimização F5 (*R. Optimization F5*) DELVAUX; SPERNER, 2003) através do software *WinTensor*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. O exocarste de Natalândia – MG

Previamente à discussão dos fatores controladores da dissolução no interior do Endocarste, se faz necessário descrever as formas de relevo externas (Exocarste) da área, a fim de compreender as interconexões entre o meio externo e o subterrâneo.

As feições geomorfológicas de maior destaque são os maciços de calcários, que se destacam com paredões atingindo até 100 metros de altura (da base para o topo). Esses morros encontram-se alinhados na direção NW-SE, de acordo com a estruturação tectônica regional.

Na base desses maciços encontram-se depósitos de tálus, composto por blocos e matações desprendidos dos paredões rochosos (Figura 3). Essa zona é caracterizada por alta permeabilidade, podendo conter solos orgânicos localmente, que propiciaram o desenvolvimento de vegetação

semidecídua. É nessa zona onde foram interceptadas a maioria das entradas de cavernas.

Ainda no sopé dos maciços foi observada a presença de sumidouros, tanto de água pluvial, quanto de drenagem perene, como no caso do Riacho Momoneira, com trecho subterrâneo na Gruta Alto da Serra (Figura 2).

Apesar da área superficial dos morros ter maior extensão em área, as bordas de sopés desses maciços têm uma grande importância na captação hídrica para o subterrâneo. Isso se deve pelo fato dos carbonatos que compõem os maciços terem uma relativa permeabilidade hídrica muito maior que as rochas pelíticas que os circundam. Essa característica faz com que o fluxo hídrico subterrâneo seja canalizado dos aquíferos porosos dos solos e dos aquíferos fraturados dos pelitos e arenitos silicificados, para os aquíferos físsuro-cársticos presentes nos calcários. Além disso, parte do fluxo hídrico superficial pluvial sobressalente, é escoado para dolinas, fissuras ou sumidouros, normalmente localizados nas áreas de sopé.



Figura 2 - Ressurgência do Riacho Momoneira em uma das entradas da Gruta Alto da Serra.



Figura 3 - Depósitos do tipo tálus formando pequeno abrigo.

Os paredões por sua vez são verticalizados e apresentam dois tipos de sub-morfologias lineares que normalmente se destacam (Figura 4). A primeira são lapiás de dissolução por água da chuva, enquanto que a segunda são fraturas (falhas ou

juntas) que cortam os maciços. Também é possível identificar ao longo dessa feição algumas cavernas.



Figura 4 - Paredão típico no Morro do Macaco. Notar que linhas verticais são dissoluções (lapiás) e linhas inclinadas a interceptação por planos de fraturas.

Os topos dos maciços (Figura 5) apresentam padrões heterogêneos, com espículas e torres calcáreas bordejadas por fendas de dissolução ou dolinas de abatimento. Devido a maior influência por dissolução vadosa, toda a superfície apresenta alta rugosidade devido as lâminas de lapiás, podendo apresentar abismos, que por vezes interceptam cavernas.



Figura 5 - Levantamento aéreo por drone com imagem do topo do morro da região da Gruta do Sagui. Notar fendas dissolvidas na direção NW-SE, acompanhando o acamamento, que nesse local encontra-se subverticalizado.

5.2 O endocarste de Natalândia – MG

As cavernas são as feições mais relevantes a serem consideradas no endocarste local. Três principais agentes dissolutivos foram identificados na mesma unidade geomorfológica do maciço carbonático.

O primeiro agente é relacionado ao fluxo vadoso, que canaliza água pluvial principalmente na área acima do morro, por fraturas, que evoluem para fissuras, podendo se tornar abismos. Essas fissuras e abismos (Figura 6) concentram-se principalmente no topo do morro, mas podem evoluir até níveis mais profundos, atingindo cavernas freáticas.



Figura 6 - Fenda dissolvida por fluxo vadoso superficial. Notar scallops em uma das paredes indicando fluxo hídrico.

O segundo processo é relacionado a dissolução induzida por fluxo hídrico alóctone, oriundo de drenagens perenes, intermitentes ou efêmeras. Nesse caso as drenagens interceptam ou interceptaram o maciço rochoso e dissolveram cavernas relativamente extensas, com padrão de mapa dendrítico-meandrante e modelaram seções em forma de fechadura ou riftes, indicando sentido de escavação para baixo. Nessas cavernas também foram encontrados sedimentos clásticos em seu leito. Como exemplos, cita-se as grutas dos Meandros, do Sagui e Alto da Serra.

Dentre essas três, a Gruta dos Meandros encontra-se com o processo fluvial inativo, sendo atualmente o fluxo vadoso e abatimento de blocos os processos atuantes na expansão dos condutos.

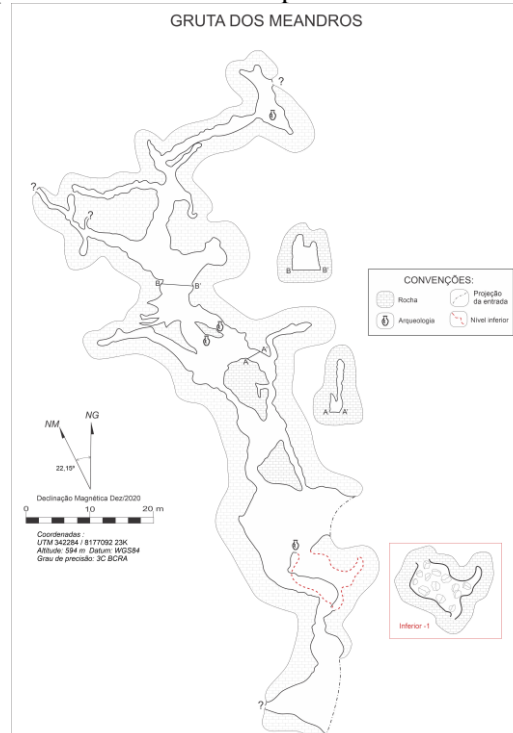


Figura 7 - Mapa simplificado da Gruta dos Meandros.

Apesar da natureza de gênese fluvial, a Gruta dos Meandros (Figura 7) apresenta uma orientação preferencial de desenvolvimento de

condutos na direção NW-SE. Quase que ortogonalmente, observa-se a presença de condutos de menor porte, orientados no *trend* NE-SW.

De acordo com a análise estrutural realizada com mensurações nas paredes expostas da gruta, auxiliado pela análise do campo de tensões utilizando o *software* *Wintensor* (Figura 8), é possível interpretar que a orientação dos condutos NW-SE é paralela à encontrada para juntas flexurais, desenvolvidas ao longo de zonas de charneira de dobras parasíticas.

Ortogonalmente a essa estruturação foram notadas a presença da família de juntas de tensão (*tension gashes*), de porte menor, podendo ser preenchidos por calcita branca.

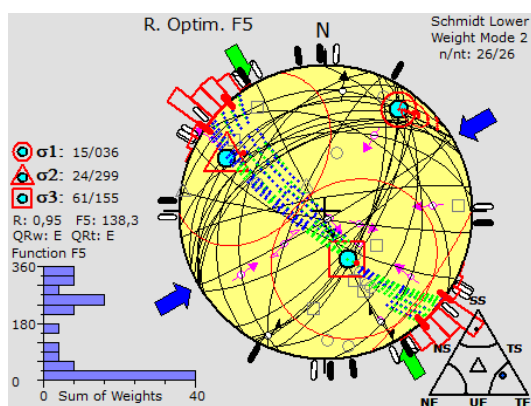


Figura 8 - Campo de tensão relacionado às fraturas medidas na Gruta Meandros. Família de fraturas NE-SW são relacionadas a juntas de tensão enquanto que ortogonalmente, na direção NW-SE observou-se as juntas flexurais.

Nesse caso, interpreta-se que mesmo em contexto fluvial, a direção dos condutos tenha sido condicionada principalmente pela direção de juntas (fraturas abertas ou preenchidas por cimento).

Por fim, o terceiro agente responsável pela dissolução tenha sido a dissolução freática. Evidências para essa afirmação baseiam-se principalmente na ampla presença de condutos e proto-condutos com seções circulares ou elípticas em cavernas da região.

A Gruta do Pinguço, por exemplo, reúne evidências de transição da fase freática para a fase vadosa.

A direção dos condutos em planta na Gruta do Pinguço não aparenta seguir padrões de orientação. Contudo isso se deve aos estágios de alargamento de conduto, principalmente paragênese e abatimento de blocos no interior da cavidade.

Mesmo assim, ainda foi possível identificar no teto que parte dos condutos seguem a direção preferencial de juntas flexurais, desenvolvida em zonas de charneiras, e que em geral, os condutos

ampliaram para salões devido a dissolução preferencial ao longo da zona de dano de falhas compressivas (Figura 9 e Figura 12).

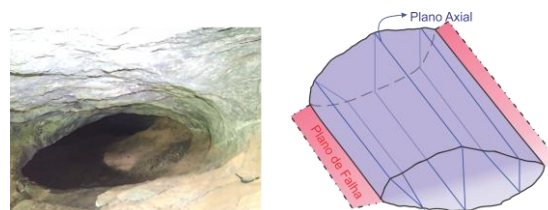


Figura 9 - Exemplo de conduto freático na Gruta do Pinguço. Modelo esquematiza direção de desenvolvimento do conduto paralelo a planos axiais de dobras e dissolução lateralmente alinhada com plano de falha.

Além da natureza freática, é possível inferir que, pelo menos parte da dissolução inicial dos proto-condutos tenha tido participação de fluxos canalizados de baixo para cima, na hipogênese. Essa hipótese é reforçada pela presença de pequenas cúpulas em teto irregular e esponjiforme (Figura 10-A), além da presença de espeleotemas gipsita (Figura 10-B), podendo indicar que a dissolução inicial tenha sido conduzida pela dissolução por ácido sulfúrico.



Figura 10 - A – Cúpulas em teto de cavidade. Possível indicativo de dissolução sobre condições confinantes. B – “Pétalas de gipsita” cristalizando ao longo do acamamento verticalizado do calcário. Indicativo da presença de enxofre no sistema dissolutivo.

Após a dissolução inicial dos condutos freáticos (Figura 13 – Seção A), espera-se que tenha ocorrido a fase epifreática, com ampliação lateral dos condutos seguida por possível paragênese (Figura 13 – Seção B).

O processo subsequente ao rebaixamento do freático possivelmente foi a escavação vadosa, com participação de sedimentação clástica e formação de espeleotemas de água corrente (Figura 13 – Seção E), atingindo então o deslocamento de blocos, formando tetos em formas cúbicas (Figura 13 – Seção D).



Figura 11 - Mapa da Gruta do Pinguço.

O padrão de acamamento observado encontra-se extremamente dobrado (Figura 14) ao longo de toda caverna, sendo associado principalmente a capa de falhas transpressivas (Figura 12).

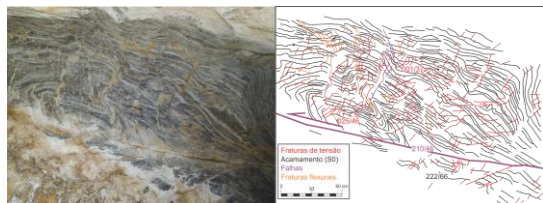


Figura 12: Parede da Gruta do Pinguço intensamente dobrada e fraturada por falha compressiva.

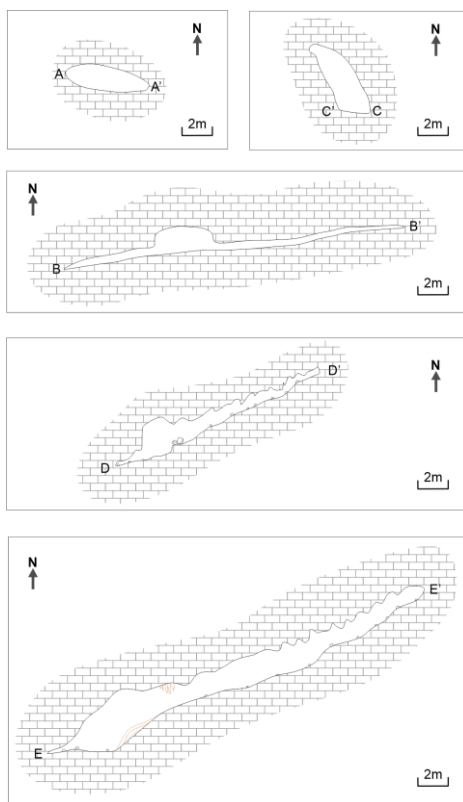


Figura 13 - Padrão das formas de condutos da Gruta do Pinguço.

Assim como na Gruta dos Meandros, a Gruta do Pinguço também teve a dissolução orientada preferencialmente ao longo das NW-SE e NE-SW. De acordo com a análise estrutural, as juntas

flexurais encontradas nessa cavidade são paralelas à direção noroeste, enquanto que as juntas de tensão são alinhadas no sentido nordeste (Figura 15).

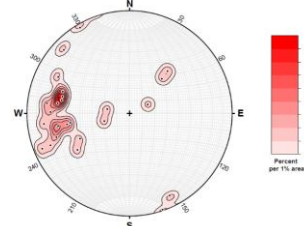


Figura 14 - Densidade de polos representando medidas de acamamento. Medidas feitas no interior da Gruta Pinguço.

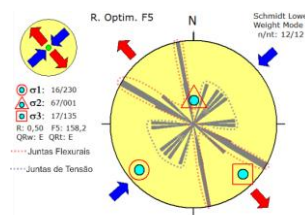


Figura 15 - Roseta de fraturas mensuradas na Gruta do Pinguço. Família bordejada em azul foram interpretadas como juntas de tensão, paralelas ao sigma 1, enquanto que a família bordejada em vermelho foram tidas como juntas flexurais desenvolvidas ao longo de zonas de charneira.

6. CONCLUSÕES

O mapeamento geo-estrutural da área de estudo evidenciou uma estrutura de dobras associadas à falhas, onde os morros carbonáticos evoluíram ao longo dos flancos dessa dobra na escala de dezenas de quilômetros. Diversas cavernas e abrigos foram identificados na região, onde duas foram selecionadas para maior detalhamento de suas gênese.

As grutas do Pinguço e dos Meandros têm seus condutos desenvolvidos preferencialmente orientados de acordo com fraturas, principalmente juntas flexurais paralelas às zonas de charneira. De forma secundária, há também o desenvolvimento de condutos orientados paralelamente a juntas de tensão, quase que ortogonalmente às juntas flexurais.

As cavernas têm uma história evolutiva complexa, iniciando-se aparentemente em contexto de aquíferos confinados, com aparente hipogênese (Gruta do Pinguço), passando por fase epifreática seguida por paragênese e infiltração vadosa (Gruta dos Meandros).

A influência de zonas de cisalhamento compressivas e falhas de baixo ângulo (empurrões) favoreceu o desenvolvimento de uma zona de dano, com intenso dobramento na capa e cristalização de calcita equante, fluorita e óxidos. Possivelmente

durante o início da espeleogênese, protocondutos tenham surgido nessa zona de dano, devido a maior permeabilidade, dissolvendo preferencialmente os horizontes das falhas (*inception horizons*).

Também foram descritas cavidades com gênese relacionada a drenagens alóctones (Gruta Alto da Serra e do Sagui), assim como abismos e fendas dissolvidas puramente em contexto vadoso verticalizado.

7. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos os envolvidos diretamente ou indiretamente na campanha de campo do Projeto Unalândia: conhecer para proteger (2020 - 2021), ao apoio dos membros do GREGEO - UNB, à SBE pelo financiamento através do edital 2020/01, ao suporte logístico da prefeitura de Natalândia e participação do secretário de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Leandro dos Reis Marques.

REFERÊNCIA

- BAPTISTA, M.C., FREITAS, F.M., RIBEIRO, J.H., FÉBOLI, W.L., SIGNORELLI, N. **Mapa Geológico, Folha Unaí - SE.23-V-A-III**. CPRM. 2015
- BAUER, H., SCHRÖCKENFUCHS, T.C., DECKER, K. **Hydrogeological properties of fault zones in a karstified carbonate aquifer (Northern Calcareous Alps, Austria)**. Hydrogeol. J. 24, 1147–1170. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1388-9>. 2016.
- BAUER, M., TOTH, T.M. **Modeling microfracture geometry to assess the function of a karst system (Vízfő spring catchment area, Western Mecsek Mountains, Hungary)**. Geol. Croat. 58, 11–23. <https://doi.org/10.4154/GC.2015.02>. 2015.
- BRITO NEVES, B. B., & CORDANI, U. G. **Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic**. Precambrian Research, 53(1-2), 23-40. 1991
- CAINE, J.S., EVANS, J.P., FORSTER, C.B. **Fault zone architecture and permeability structure**. Geology 24, 1025–1028. 1996.
- DELVAUX, D., SPERNER, B. **New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program**. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 212, 75–100. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.212.01.06>. 2003.
- ENNES-SILVA, R.A., BEZERRA, F.H.R., NOGUEIRA, F.C.C., BALSAMO, F., KLIMCHOUK, A., CAZARIN, C.L., AULER, A.S. **Superposed folding and associated fracturing influence hypogene karst development in Neoproterozoic carbonates, São Francisco Craton, Brazil**. Tectonophysics 666, 244–259. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.11.006>. 2016.
- FAIRCHILD, I.J.; BAKER, A. **Speleothem Science. From Process to Past Environments**. John Wiley & Sons. 2012.
- FORD, D.; WILLIAMS, P.W. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. 2013. 432p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- FUCK, R. A., PIMENTEL, M. M., SILVA, L. J. H. D., & LUIZ, J. H. **Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins**. In SBG, Congresso Brasileiro de Geologia (Vol. 38, No. 1, pp. 215-216). 1994.
- KIM, Y.S., SANDERSON, D.J. **Inferred fluid flow through fault damage zones based on the observation of stalactites in carbonate caves**. J. Struct. Geol. 32, 1305–1316. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.04.017>. 2010.

KLIMCHOUK, A., FORD, D. **Lithological and structural controls of dissolutional cave development.** 2000

PALMER, A.N. **Origin and morphology of limestone caves.** Geol. Soc. Am. Bull.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0001:OAMOLC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0001:OAMOLC>2.3.CO;2). 1991

PIMENTEL, M. M., & FUCK, R. A. **Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil.** Geology, 20(4), 375-379. 1992.

PIMENTEL, M.M.; RODRIGUES, J.B.; DELLAGIUSTINA, M.E.S.; JUNGES, S.; MATTEINI, M.; ARMSTRONG, R. **The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review.** Journal of South American Earth Sciences. V.31. p.345-357. 2011.

RAUCH, H.W., VIRGINIA, W., WHITE, B. **Dissolution kinetics of carbonate rocks. 1. Effects of lithology on dissolution rate.** Water Resour. Res. 13. 1977.

WATKINS, H., BOND, C.E., HEALY, D., BUTLER, R.W.H. **Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop.** J. Struct. Geol. 72. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.02.001>. 2015a