



Universidade de Brasília – Instituto de Geociências (UnB/IG)
Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

**ESTUDO DE SEDIMENTOS CLÁSTICOS EM CAVERNA
ENQUANTO REGISTROS PALEOAMBIENTAIS: GRUNA
TARIMBA, MAMBAÍ/GO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Nº 173**

DANDARA MARIA VITALINA DA SILVA CALDEIRA

Orientador: Rogério Uagoda

**BRASÍLIA/DF
2020**



Universidade de Brasília – Instituto de Geociências (UnB/IG)
Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

**ESTUDO DE SEDIMENTOS CLÁSTICOS EM CAVERNA
ENQUANTO REGISTROS PALEOAMBIENTAIS: GRUNA
TARIMBA, MAMBAÍ/GO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 173

DANDARA MARIA VITALINA DA SILVA CALDEIRA

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rogério Uagoda (Orientador)

Prof. Dr. Luís Beethoven Piló (Instituto do Carste/UFPE)

Prof. Dr. José Elói Guimarães Campos (UnB)

**BRASÍLIA/DF
2020**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CC146e Caldeira, Dandara Maria Vitalina da Silva
Estudo de sedimentos clásticos em caverna enquanto
registros paleoambientais: Gruna Tarimba, Mambai/GO /
Dandara Maria Vitalina da Silva Caldeira; orientador
Rogerio Elias Soares Uagoda. -- Brasilia, 2020.
81 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Geociências
Aplicadas) -- Universidade de Brasília, 2020.

1. Caverna. 2. Carste. 3. Sedimentação. I. Uagoda,
Rogerio Elias Soares, orient. II. Título.

Dedicatória

A minha mãe,

Dorotil Silva

A um dos melhores Doutores que já conheci,

Meu avô,

Ludigero Silva- *in memoriam*

Aos meus ancestrais,

Os Silva's

*“Mas é preciso ter força
É preciso ter raça
É preciso ter gana sempre
Quem traz no corpo a marca
Maria, Maria
Mistura a dor e a alegria*

*Mas é preciso ter manha
É preciso ter graça
É preciso ter sonho sempre
Quem traz na pele essa marca
Possui a estranha mania
De ter fé na vida.”*

Milton Nascimento

AGRADECIMENTOS

A Deus, aos orixás e aos bons espíritos que me acompanharam neste percurso que se iniciou a muitos anos atrás. A jornada foi longa o caminho árduo, mas conseguimos, resistimos. Os frutos de hoje são resultados de muito trabalho e esforço daquelas (es) que vieram antes de mim e serviram de alicerce para minhas conquistas. Gratidão à família Silva! Meus sinceros e saudosos agradecimentos a minha avó (Maria Jose da Silva- *in memorian*) que ainda sem oportunidade de estudar plantou nos filhos a semente da educação como o impulso para a mudança. A minha mãe (Dorotil Silva) por todo apoio e dedicação, por ser esforçar ao me proporcionar oportunidades que lhe foram negadas, por me ajudar e apoiar incondicionalmente me incentivando durante todo o processo e sempre acreditando em mim. Ao meu avô (Ludigero Silva- *in memorian*) por sua maestria em levar a vida trazendo alegria, calma e simplicidade tornando esse processo mais leve. Saudades eternas! Ao meu tio (Ludigero Silva) que me enveredou pelos caminhos da leitura e do estudo sempre se fazendo presente.

Ao professor Rogerio Uagoda pelas oportunidades concedidas durante estes seis anos de várias orientações. Obrigada por propor este desafio, pelas correções, discussões, contribuições e possibilitar condições para que o estudo se realizasse. Ao professor Jeremie Garnier pelas revisões, sugestões, apontamentos e análises.

As meninas do Chazinho de Hortelã (Adivane Nogueira e Maria Rita) por todos os cafés das 16:00, mesmo que virtualmente, pelas lições de vida, compartilhamento de experiências e conhecimento, conselhos, risadas e principalmente pela amizade. Aos amigos do Geovale (Werlen, Larissa, Cintia, Vitor ...) pela companhia e risadas, além das discussões geográficas. A Luciana, Laura, Mariana e Beatriz por tornarem minha estadia em Brasília mais familiar e cheia de emoções.

Aos guias turísticos Danilo, Vanilson e Geovane pelos conhecimentos partilhados, companhia durante as longas horas dentro das cavernas e por ajudar logisticamente com esta pesquisa. Ao Emílio Calvo pelas visitas guiadas as cavernas, topografia da Tarimba, auxílio com conhecimentos da região e apoio na execução do trabalho.

Aos funcionários da APA Nascente do Rio Vermelho por fornecer um importante apoio administrativo indispensável ao estudo. A equipe do LEGaL em especial a técnica Thays que me auxiliou com toda paciência e profissionalismo na obtenção das datações.

Aos moradores de Mambai/GO pela receptividade e solicitude, além do melhor creme de cupuaçu e bolo de mandioca do Goiás!!!. A Dona Joana e família por facilitar a entrada na Tarimba, pela comidinha caseira reconfortante e a melhor laranjada de todas!

Ao ICMBio/CECAV pela bolsa concedida e apoio financeiro essencial para o desenvolvimento dessa pesquisa.

A CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Cavernas preservam no seu interior importantes registros paleoambientais protegendo-os do processo de evolução exterior da paisagem. Os sedimentos clásticos presentes nestes ambientes, ainda que pouco estudados, constituem importante fonte de análise refletindo em parte as condições do ambiente circundante. A presente pesquisa teve como objetivo principal o estudo dos sedimentos clásticos no interior da Gruna Tarimba na Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho (APANRV) de forma a compreender a dinâmica deposicional dentro da caverna associando à possíveis condições ambientais no seu exterior. Diferentes metodologias foram utilizadas compreendendo geocronologia (Luminescência Opticamente Estimulada e Carbono 14), descrição de fácies, análises granulométricas, morfoscópica, químicas (ICP-OES) e mineralógica (Difração de Raio-X). O desenvolvimento constitui inicialmente na realização de uma revisão teórica acerca da temática incluindo os principais estudos na mesma perspectiva em território brasileiro. A segunda etapa consistiu na escolha de perfis sedimentares no qual são trabalhados os dados obtidos por visitas em campo e atividade em laboratório além de contemplar uma discussão sobre do tema. Os resultados indicam um histórico deposicional de ao menos 200 mil anos com sedimentos oriundos de diversas fontes. Oito fácies sedimentares foram identificadas sendo uma de origem autóctone (Guano) e sete de origem alóctone que correspondem ao fluxo de detritos (Diamictito) e fluvial (Canal, Decantação e Inundação) abrigando uma diversidade de materiais, desde cascalhos a argilas. No entanto para uma melhor efetividade e detalhamento das sequencias sedimentares sugere-se a utilização de outras técnicas de datação bem como aumento no quantitativo de amostragem. Este estudo fornece os primeiros dados sobre sedimentos clásticos nessa região e servirá de base para o plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho.

Palavras chave: Carste, Caverna, Sedimentação

ABSTRACT

Caves preserve important paleoenvironmental records protecting them from the external landscape evolution. Clastic sediments present in these environments, although little studied, constitute an important source of analysis, reflecting in part the conditions of the surrounding environment. The present research had as main objective the study of the clastic sediments inside the Gruna Tarimba in the Environmental Protection Area of Rio Vermelho (APANRV) in order to understand the depositional dynamics inside the cave associating it with possible environmental conditions outside. Different methodologies were used, comprising geochronology (Optically Stimulated Luminescence and Carbon 14), facies description, granulometric, morphoscopic, chemical (ICP-OES) and mineralogical analysis (X-Ray Diffraction). The development initially consists of conducting a theoretical review on the subject including the main studies from the same perspective in Brazilian territory. The second stage consisted of the choice of sedimentary profiles in which the data obtained by field visits and laboratory activity are worked on, in addition to contemplating a discussion on the topic. The results indicate a depositional history at least of 200 thousand years with sediments from different sources. Eight sedimentary facies were identified, being one of native origin (Guano) and seven of allochthonous origin that corresponds to the flow of detritus (Diamictito) and fluvial (Channel, Decantation, and Flood) housing a variety of material, from pebbles to clay. However, for better effectiveness and detailing of sedimentary sequences, we suggest the use of other dating techniques as well as an increase in sampling. This study provides the first data on clastic sediments in this region and will serve as a basis for the management plan for the Environmental Protection Area of Rio Vermelho.

Keywords: Karst, Cave, Sedimentation

SUMÁRIO

<u>AGRADECIMENTOS</u>	VI
<u>RESUMO</u>	VIII
<u>ABSTRACT</u>	IX
<u>SUMÁRIO</u>	VII
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	IX
<u>LISTA DE TABELAS</u>	XI
<u>LISTA DE ABREVIATURAS</u>	XII
<u>1 INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 ÁREA DE ESTUDO	4
1.2 OBJETIVO GERAL	6
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS	7
1.3.1 MAPEAMENTO DE CAVERNAS COM SEDIMENTOS CLÁSTICOS	8
1.3.2 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA	9
1.3.3 ANÁLISE DE FÁCIES	9
1.3.4 GEOCRONOLOGIA	10
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
<u>2 ARCABOUÇO TEÓRICO/METODOLÓGICO</u>	16
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 SEDIMENTOS CLÁSTICOS CAVERNÍCOLAS	18
2.2.1 DEFINIÇÃO	18
2.2.2 CLASSIFICAÇÃO	18
2.2.3 TRANSPORTE	20
2.2.4 PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO	21
2.2.5 DIAGÊNESE	23
2.2.6 FÁCIES SEDIMENTARES	23
2.3 ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS	25
2.3.1 MÉTODOS DE DATAÇÃO	26
2.3.2 OUTROS MÉTODOS	29
2.4 ESTUDOS BRASILEIROS E SUAS POTENCIALIDADES	30
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
<u>3 RESULTADO/DISCUSSÃO</u>	40
3.1 INTRODUÇÃO	41
3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO/GEOMORFOLÓGICO	42

3.3 GRUNA TARIMBA.....	47
3.4 METODOLOGIA	49
3.4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	50
3.4.2 ANÁLISE DE FÁCIES.....	51
3.4.3 DATAÇÃO.....	51
3.4.4 ANÁLISE GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA	52
3.5 RESULTADOS.....	53
3.5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	53
3.5.2 DATAÇÃO.....	61
3.5.3 ANÁLISE QUÍMICA E MINERALÓGICA	63
3.6 DISCUSSÃO.....	64
3.6.1 AMBIENTE SUPERFICIAL E ENTRADA DE SEDIMENTOS NA CAVERNA.....	64
3.6.2 FASES DE DEPOSIÇÃO SEDIMENTAR	65
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
3.8 FINANCIAMENTO.....	68
3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
3.10 MATERIAL SUPLEMENTAR	73
<u>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS - GERAL.....</u>	<u>80</u>

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-1: A- Localização da área de estudo no Cráton São Francisco. B- Mapa geológico. Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Sistema de coordenada, UTM. Zona, 23S. SIRGAS 2000. C- Contexto geomorfológico (GASPAR; CAMPOS, 2007) modificado por Uagoda et al.(2019) demonstrando como o processo de regressão da serra Geral disponibiliza sedimentos depositados na forma de colúvios e como o rio Corrente estabelece o nível base locais(Vermelho e Extrema) controlando os níveis de deposição no interior das cavernas..... 5
- Figura 1-2 Fluxograma da pesquisa 7
- Figura 1-3 Cavernas com sedimentos clásticos na APANRV: A – Areião, B – Árvore, C – Rio das Pedras, D – Dores, E – Extrema, F – Itaguaçu, G - Nova Esperança, H – Penhasco, I - Queda d’ Água e J – Revolucionários 8
- Figura 2-1- Fluxo global de sedimentos em bacia subterrânea (Bosch e White, 2007)..... 21
- Figura 2-2- Histograma de Hjulstrom demonstrando a relação entre o tamanho das partículas e a velocidade necessária para erosão, transporte e deposição. (Ford e Williams, 2007; Gillieson, 1996; Springer, 2005). 21
- Figura 2-3- Relações entre o tipo de fluxo de água e a energia de depósito expressa em estruturas de sedimentos de cavernas (Gillieson, 1986). 22
- Figura 2-4 A - Fácies sedimentares classificadas com base no tamanho das partículas e grau de selecionamento, segundo Bosch e White (2007). B - Esquema de fácies sedimentares adaptado de Bosch e White (2007) em zonas vadasas com labirintos tributários adaptado de Farrant e Smart (2011). 24
- Figura 2-5 - Quadro comparativo com principais tipos de datações em caverna. Adaptado de Bosák (2002) e Noller et al. (2000). 27
- Figura 2-6 A - Localização do Brasil na América do Sul. B- Cavernas mapeadas no Brasil e localização dos trabalhos com sedimentos clásticos em cavernas com uma perspectiva paleoambiental. 31
- Figura 3-1 Localização da área de estudo no Cráton São Francisco. B- Mapa geológico. Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Sistema de coordenada, UTM. Zona, 23S. SIRGAS 2000. C - Contexto geomorfológico (GASPAR; CAMPOS, 2007) adaptado por UAGODA et al. (2019) demonstrando como o processo de regressão da serra Geral disponibiliza sedimentos depositados na forma de colúvios e como o rio Corrente estabelece o nível base locais(Vermelho e Extrema) controlando os níveis de deposição no interior das cavernas..... 43
- Figura 3-2 Caracterização do carste local no entorno da Gruna Tarimba. A – Mapa hipsométrico. B- Imagem de alta resolução contendo os depósitos sedimentares no qual as tonalidades esbranquiçadas representam os sedimentos inconsolidados do Grupo Urucuaia no topo das encostas. C – Paisagem local com morros testemunhos no fundo. D – Morro testemunho (inselberg). E – Entrada principal da Gruna Tarimbal. F – Solos com avançado processo de degradação nas adjacências da caverna. G – Dolina de colapso em uma das

entradas. Fotos: Dandara Caldeira, Renan Smith Penido Louzada e José Gustavo da Silva Nunes.....	46
Figura 3-3 A - Mapa da Gruna Tarimba. B - Localização dos depósitos sedimentares estudados: C - Perfil 1, D - Perfil 2 e E - Perfil 3. F- Perfil longitudinal da entrada até o Perfil 1..	48
Figura 3-4 Sistematização das coletas nos perfis demonstrando o nível de coleta para cada metodologia. A localização dos Perfis 1,2 e 3 na Gruna Tarimba pode ser vista na Figura 3-3.....	49
Figura 3-5 Resultado do Índice de Circularidade em comparação com a média obtida.....	54
Figura 3-6 Organização dos principais resultados obtidos na Coluna A do Perfil 1. A localização das colunas respeitam a disposição da Figura 3-4.....	55
Figura 3-7 Organização dos principais resultados obtidos na Coluna B do Perfil 1. A localização das colunas respeitam a disposição da Figura 3-4.....	56
Figura 3-8 Organização dos principais resultados obtidos nos Perfis 2 e 3.....	57
Figura 3-9 Espacialização das fácies nos perfis: A - Perfil 1, B - Vista perpendicular das fácies localizadas na base do Perfil 1, C - Perfil 2 e D - Perfil 3. Fotos das fácies encontradas na Gruna Tarimba nos perfis 1,2 e 3 (E, F, G, H, I, J, K e L).....	60
Figura 3-10 Resultado da Análise dos Principais Componentes para os óxidos. O percentual do componente de cada variância está no canto direito.	63
Figura 3-11 Evolução da deposição sedimentar no Perfil 1	66
Figura 3-12 Seção esquemática para os eventos deposicionais ocorridos no Perfil 2 e 3.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Comparação das classificações para sedimentos em caverna.....	19
Tabela 3-1 Análise de Fácies sedimentares.....	58
Tabela 3-2 Resultados da datação de LOE das amostras	62
Tabela 3-3 Datação de ¹⁴ C	62
Tabela 3-4 Resultado da mineralogia de argilas	64
Tabela 3-5 Resultado da análise granulométrica do Perfil 1 (%).....	73
Tabela 3-6 Resultado da análise granulométrica do Perfil 2 e Perfil 3 (%).....	76
Tabela 3-7 Resultado do Índice de Circularidade	78
Tabela 3-8 Resultado das análises químicas dos óxidos (%).....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

APANRV - Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho

CANIE – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas

^{14}C – Carbono 14

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

LAGEQ – Laboratório de Geoquímica e Água

LALLS – *Low Angle Laser Light Scattering*

LEGaL - Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência

LOE – Luminescência Opticamente Estimulada

UnB- Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

Cavernas são aberturas subterrâneas que podem funcionar como “armadilhas” naturais para sedimentos clásticos, gerando depósitos secundários que contém registros hidrogeológicos e paleoclimáticos (FORD; WILLIAMS, 2007; WHITE, 2007). Esses sedimentos podem fornecer dados paleoecológicos (CHAZAN et al., 2012; GHINASSI et al., 2008; VAN DER GEER; DERMITZAKIS, 2013), ambientais (AULER, 1999; MCDERMOTT, 2004) e decorrentes da ocupação humana (FEATHERS et al., 2010; FONTUGNE, 2013; MARTINI et al., 2018). Além disso, são interessantes para o estudo da paisagem por serem marcadores geomórficos superficiais e subterrâneos, ligados frequentemente à posição do rio, documentando taxas de erosão e possibilitando a reconstrução das formas do relevo da ordem de milhões de anos (GILLIESON, 1996; STOCK et al., 2005).

Comumente o estudo de sedimentos em cavernas concentra-se nos sedimentos químicos utilizando espeleotemas para compreensão das mudanças climáticas atuais (AULER; SMART, 2001; MCDERMOTT, 2004; NOVELLO et al., 2017; WHITE, 2007). Contudo, nas últimas décadas trabalhos com sedimentos clásticos foram ampliados, em virtude do desenvolvimento de técnicas geocronológicas acrescidos da percepção de sua notória contribuição para estudos ambientais. A complexidade das feições torna o estudo desafiador, dada à natureza complicada e limitante da acumulação sedimentar em ambientes cavernícolas, necessitando de uma descrição e classificação apropriadas (FORD; WILLIAMS, 2007; GILLIESON, 1996; OSBORNE, 1986). Todavia, constituem importante fonte de pesquisa, sendo utilizada para determinar ambientes deposicionais, gêneses dos sedimentos, deposição por longos períodos, relação dos sedimentos para o desenvolvimento de cavernas ou paisagens e investigações paleontológicas (SPRINGER, 2005).

Sedimentos clásticos formam-se a partir de fragmentos de rochas decorrentes do intemperismo físico e químico (GILLIESON, 1996; NICHOLS, 2009). Processos como precipitação química, entrada e remoção de sedimentos nas cavernas estão intimamente relacionados com as condições paleoclimáticas/ hidrológicas do passado gerando sequências sedimentares (AULER et al. 2009). Logo, depósitos sedimentares em caverna são interessantes devido à proteção contra as ações externas, preservação dos registros relacionados à gênese de deposição durante um maior tempo, dados de longo prazo como erosão da paisagem e respostas à variações climáticas (SPRINGER, 2005).

A cronologia de depósitos sedimentares geralmente é obtida utilizando técnicas de datação paleomagnéticas, radiométricas, isótopos cosmogênicos e demais métodos relacionados (SPRINGER, 2005). Para além de fornecer uma cronologia para sedimentos clásticos, fauna e flora, as datações em cavernas são importantes para inferir taxas de evolução do relevo, a partir de sequências sedimentares. Isso é possível devido à preservação das evidências de desenvolvimento da paisagem no passado que foram suprimidas dos processos superficiais (GILLIESON, 1996). Contudo, os resultados obtidos devem ser usados de forma cautelosa, uma vez que a idade revelada limita-se a depósitos mais jovens que a própria caverna (STOCK et al., 2005). Além disso, os registros cársticos podem tornar-se irreconhecíveis em consequência das reativações de processos que misturam materiais de diferentes idades (BOSÁK, 2002) e o material datado pode ter sido armazenado em algum ambiente nas adjacências das cavernas e mais recentemente depositado (OSBORNE, 2005).

Apesar de notórios trabalhos nessa temática, no Brasil o estudo de sedimentos clásticos em caverna ainda possui uma bibliografia científica restrita mas com uso de diversos métodos geocronológicos como Carbono 14 (NOVELLO et al., 2019; PILÓ et al., 2005; UTIDA, 2016; UTIDA et al., 2014), núclídeos cosmogênicos Be/Al (LAUREANO et al., 2016), termoluminescência e luminescência opticamente estimulada (FEATHERS et al., 2010; KINOSHITA et al., 2014; MICHAB et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2014; ROOSEVELT et al., 1996; UTIDA, 2016), paleomagnetismo (AULER et al., 2002; JAQUETO et al., 2016), além de tratamento estratigráfico com análise faciológica (HADDAD-MARTIM et al., 2017; HUBBE et al., 2011a). Em contrapartida as pesquisas em cavernas são comumente direcionadas para tratamento de registros paleontológicos, compreensão de uma fauna pré-histórica ou ainda para estudo dos sedimentos químicos como espeleotemas, em virtude de sua vasta contribuição para estudos paleoclimáticos (AULER et al., 2009; AULER; SMART, 2001; BERTAUX et al., 2002; FONTUGNE, 2013; HUBBE et al., 2011b, 2011a; HUBBE; AULER, 2012; NOVELLO et al., 2017; RODRIGUES; AVILLA, 2014; SALLES et al., 2016; WANG et al., 2004).

No nordeste goiano foi criada a Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho (APANRV) para proteger o patrimônio cárstico que possui aproximadamente 150 cavernas desenvolvidas na Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí, apresentando uma grande diversidade espeleológica ainda pouco estudada (ICMBIO/CECAV, 2017; MOTTA, 2003). Atividades antrópicas com potencial impacto ambiental foram identificadas dentro da APA como a captação de água para abastecimento público no interior das cavernas, mineração em

áreas cársticas, severa degradação dos solos, sedimentos nas áreas de recarga e acelerada colmatção de dutos (ICMBIO/CECAV, 2017). A região caracteriza-se por um carste coberto com notória presença dos sedimentos clásticos no interior de cavernas. Nesse cenário destaca-se a Gruna Tarimba, uma das cavernas mais extensas do Brasil com mais de 14000 metros mapeados, possuidora de uma biota endêmica com espécies como o peixe *Ituglanis boticário*, ameaçado de extinção. O estudo dessa caverna ampliará tanto o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica e paleoambiental da região, quanto auxiliará na compreensão dos vetores de pressão antrópica.

Desse modo, pesquisas são necessárias em razão da falta de conhecimento acerca dos problemas decorrentes do uso e ocupação em áreas cársticas e os possíveis impactos ao patrimônio espeleológico, atrelados a escassez de trabalhos sobre a região e temática, frente a dimensão do território brasileiro e a produção científica mundial. O estudo dos sedimentos clásticos no interior da caverna contribuirá para o conhecimento das dinâmicas de hidrologia superficial e de erosão e permitirá comparação com a produção de sedimentos atuais das áreas degradadas a montante das cavernas, visto à necessidade de proteção desses sistemas e estabelecimento de um plano de manejo para tais áreas. Como hipótese tem-se que colunas estratigráficas clásticas presentes nas cavernas podem guardar registros das mudanças nos ambientes erosivos das áreas fontes, auxiliando no entendimento dos processos superficiais desse carste coberto. O presente trabalho integra o projeto “Susceptibilidade, Hidrologia e Geomorfologia Cárstica Aplicadas à Conservação do Patrimônio Espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho” (Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica- TCCE nº 01/2018/ICMBIO) que visa fornecer aparato científico para proteção e preservação da área além fornecer subsídio a um futuro plano de gestão da APANRV.

Essa dissertação de mestrado é organizada em artigos científicos com objetivo de facilitar a divulgação da produção, sendo dividida em quatro capítulos, com referências bibliográficas próprias. O Capítulo 1-Introdução apresenta aspectos gerais sobre o tema bem como da área de estudo, objetivos e uma explanação geral acerca dos materiais e métodos aplicados na pesquisa desde o levantamento até a escolha das cavernas. Um detalhamento da metodologia está presente no Capítulo – 3.

O Capítulo 2-Embasamento Teórico/ Metodológico é resultado da revisão bibliográfica a respeito da evolução do sistema cárstico, técnicas geocronológicas, reconhecimento e análise de depósitos sedimentares em ambiente carvenícolas e identificação dos trabalhos realizados no Brasil. Tal trabalho gerou o artigo “DINÂMICA DOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS CAVERNÍCOLAS: POTENCIALIDADE PARA ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS NO BRASIL”, publicado na Revista Espaço e Geografia/Junho 2020.

O Capítulo 3-Resultados constitui o artigo “REGISTRO PALEOAMBIENTAL A PARTIR DE SEDIMENTOS CLÁSTICOS EM CAVERNAS NO BRASIL CENTRAL: GRUNA TARIMBA/GO” que tem como foco a compreensão da deposição sedimentar no interior da Gruna Tarimba. Assim, reúne informações mais detalhadas sobre contexto geológico/geomorfológico da área, características da Gruna Tarimba e a metodologia adotada. Ademais, são fornecidos os resultados da pesquisa, discussão e considerações finais. Tal artigo será submetido a uma revista indexada após a defesa da dissertação e ajustes propostos pela banca.

O Capítulo 4-Considerações Finais consiste em uma avaliação geral da dissertação contemplando uma análise dos objetivos e hipóteses propostos.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho compreende 176 mil hectares localizados a nordeste do estado de Goiás na divisa com a Bahia, próximo aos municípios de Damianópolis, Posse, Buritinópolis e Mambá (Figura 1-1). Na área, situada na borda oeste do Cráton São Francisco, afloram rochas carbonáticas e siliciclásticas do Grupo Bambuí (Formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade) que são sobrepostas pelo Grupo Urucuia (arenitos) e Areado, além de depósitos aluvio-coluvionares e coberturas detrítico lateríticas (CAMPOS; DARDENNE, 1997; DARDENNE, 1978), Figura 1-1. Inserida em uma província cárstica a região abriga cavernas que se desenvolvem prioritariamente nas zonas de transição entre a Formação Lagoa do Jacaré e os depósitos coluvio-aluvionares que são expostas em razão da exumação do relevo enterrado pelo Grupo Urucuia (BRASIL MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA SECRETARIA-GERAL, 1982).

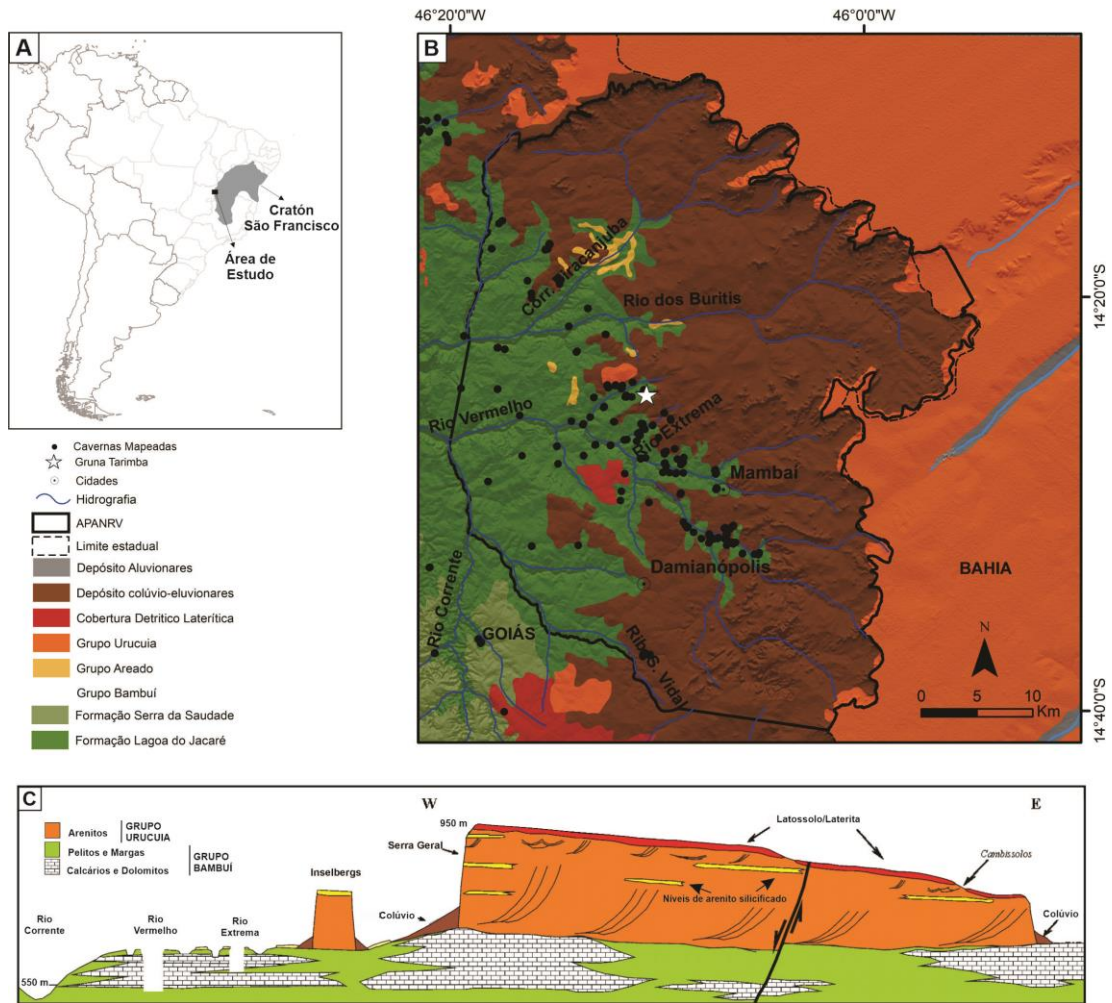


Figura 1-1: A- Localização da área de estudo no Cratón São Francisco. B- Mapa geológico. Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Sistema de coordenada, UTM. Zona, 23S. SIRGAS 2000. C- Contexto geomorfológico (GASPAR; CAMPOS, 2007) modificado por Uagoda et al.(2019) demonstrando como o processo de regressão da serra Geral disponibiliza sedimentos depositados na forma de colúvios e como o rio Corrente estabelece o nível base locais (Vermelho e Extrema) controlando os níveis de deposição no interior das cavernas..

A configuração geomorfológica é caracterizada por uma paisagem de cuesta denominada serra Geral de Goiás, gerada principalmente pela erosão regressiva (CHEREM; VARAJÃO, 2014), Figura 1-1. Sobressaindo na paisagem com um relevo tabuliforme, a serra possui direção norte-sul com cerca de 400 km de extensão. Nesse cenário a porção superior (Chapadão Central) remanescente da superfície Sulamericana perfaz os arenitos do Grupo Urucua, a porção inferior (Vão do Paranã) corresponde aos resquícios da Superfície Velhas instalada sobre rochas do Grupo Bambuí e nas porções intermediárias são observados depósitos colúvio-eluvionares gerados pelo desmonte dos arenitos (CHEREM; VARAJÃO, 2014). Na área ainda são observados morros testemunhos (*inselbergs*) formados na regressão da escarpa que se destacam em meio à paisagem.

Os processos erosivos oriundos do recuo do Chapadão Central produzem sedimentos que ficam disponíveis em encostas e vertentes para o transporte até o sistema cárstico localizados em áreas topograficamente mais baixas. Tal dinâmica favorece um sistema cárstico entulhado nos quais dois tipos de cavernas se destacam (HUSSAIN; UAGODA, No prelo):

- as cavernas próximas a zona de transição, entre terrenos cársticos e talus (depósitos aluvio-coluvionares oriundos do Grupo Urucuia), com ocorrência de cavernas vadasas e meândricas preenchidas com sedimentos e sinais de paragênese;
- e cavernas próximas aos canyons que são freáticas quase sem sedimentos.

A serra Geral constitui um divisor águas de duas importantes bacias hidrográficas brasileiras, São Francisco (leste) e Tocantins-Araguaia (oeste), sendo que a área de estudo pertence a esta última. Localmente os canais drenam para a Bacia Hidrográfica do Rio Correntes no qual pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

O clima é tropical com característica sazonal, apresentando um período seco (abril a setembro) e outro chuvoso (outubro a março) com índice pluviométrico de aproximadamente 1260mm/ano. A temperatura média anual é de 24°C e a vegetação é típica de cerrado. Os principais tipos de solo são cambissolo, chernossolo, latossolo, organossolo e neossolo litólico e quartzarênico (HUSSAIN et al., 2020).

1.2 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo principal compreender a dinâmica da deposição sedimentar no interior da Gruna Tarimba a partir de registros em sedimentos clásticos, correlacionando os diferentes níveis deposicionais com as diferenças de áreas fontes e de energia de transporte.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para conclusão do objetivo principal é necessário estabelecer objetivos secundários, sendo eles:

- Elaborar seções estratigráficas detalhadas de sedimentos clásticos na Gruna Tarimba;

- Propor um modelo cronológico das seções estratigráficas;
- Estudar as diferentes etapas erosivas que constituíram os depósitos e sua geometria;
- Correlacionar os diferentes níveis deposicionais com modificações nas condições paleohidrológicas nas áreas de recarga.
- Subsidiar dados para incrementar o modelo do processo evolutivo hidrogeomorfológico da área.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento dessa pesquisa baseou-se em uma abordagem de diversas metodologias aplicadas aos sedimentos clásticos uma vez que longos períodos de sedimentação estão relacionados a múltiplos eventos de entrada de sedimentos e erosão, evitando-se assim interpretações equivocadas (HADDAD-MARTIM et al., 2017). Portanto, realizou-se caracterização sedimentológica, compreendendo análise física (granulometria), química (ICP-OES) e mineralógica (Difratometria de Raio-X), análise faciológica juntamente com análises geocronológicas através de Carbono 14 (^{14}C) e Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). A pesquisa envolveu trabalhos em laboratório precedidos de visitas a campo com foco na identificação, estudos físicos/químicos e geocronológicos dos depósitos sedimentares (Figura 1-2). Todas as atividades foram permitidas e regulamentadas através da Autorização para Atividades com Finalidade Científica SISBIO nº63045-1.

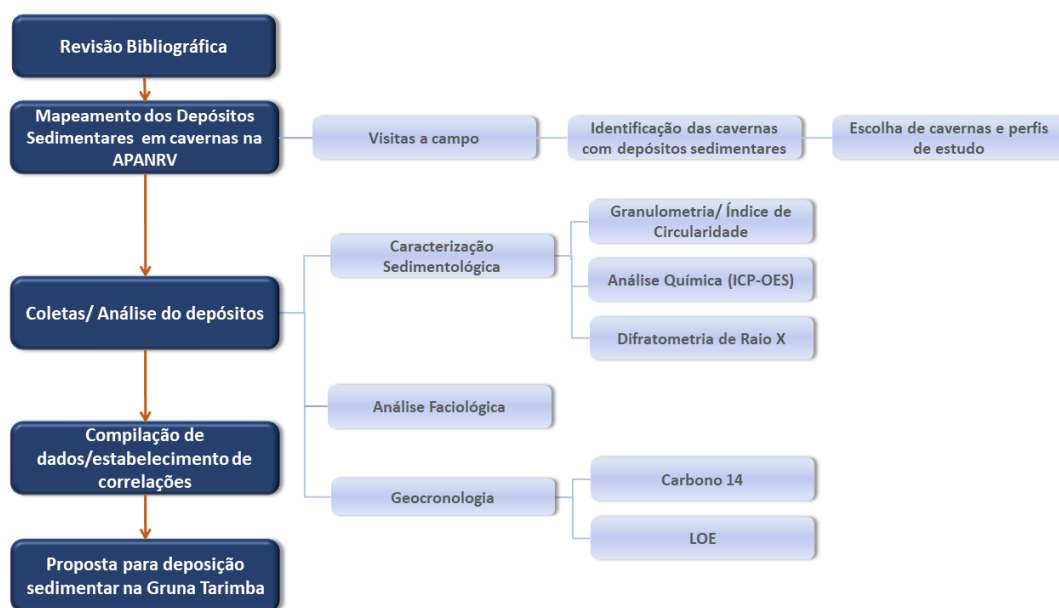


Figura 1-2 Fluxograma da pesquisa

1.3.1 Mapeamento de cavernas com sedimentos clásticos

A identificação de cavernas com depósitos sedimentares foi realizada considerando aspectos como espessura, textura, cor, contatos, acesso, espeleotemas, estruturas sedimentares e posição do perfil perante o fluxo de água atual da caverna. No total, onze cavernas foram identificadas (Areião, Árvore, Rio das Pedras, Dolores, Extrema, Itaguaçu, Nova Esperança, Penhasco, Queda d' Água, Revolucionários e Grana Tarimba): cinco com fluxo d'água ativo e processos dinâmicos de deposição/erosão e seis com canais fluviocársticos rebaixados e condutos colmatados por depósitos (Figura 1-3). Destas a Grana Tarimba (sexta maior caverna do Brasil) foi escolhida como objeto de estudo em função da espessura dos pacotes sedimentares preservados, facilidade de acesso e locomoção no interior da caverna, posicionamento geográfico, importância espeleológica além de complementar os diversos estudos realizados nas proximidades. Três depósitos sedimentares de importância expressiva foram escolhidos para descrição e amostragem com auxílio de ferramentas manuais como pá, enxada e cavadeira.



Figura 1-3 Cavernas com sedimentos clásticos na APANRV: A – Areião, B – Árvore, C – Rio das Pedras, D – Dolores, E – Extrema, F – Itaguaçu, G - Nova Esperança, H – Penhasco, I - Queda d' Água e J – Revolucionários

1.3.2 Caracterização Sedimentológica

A caracterização sedimentológica envolve a aplicação de diversos tipos de análise, entretanto para estudar os sedimentos clásticos no interior da caverna optou-se pelo estudo dos aspectos físicos, químicos e análises faciológica, devido à natureza do transporte. A descrição e classificação apropriada dos sedimentos em cavernas é uma etapa crucial e fundamental para a reconstrução adequada da gênese e evolução dos depósitos, evitando suposições inadequadas (FARRAND, 2001; GOLDBERG; SHERWOOD, 2006; HADDAD-MARTIM et al., 2017; WHITE, 2007).

Assim sendo, coletas para análise granulométrica foram realizadas a cada 10 centímetros totalizando 111 amostras. Nos sedimentos menores que 1mm a matéria orgânica foi eliminada depois foram dispersos química e fisicamente em seguida analisados no Granulômetro Betterzise ST no Laboratório de Geoquímica e Água (LAGEQ) da Universidade de Brasília (UnB). Os sedimentos maiores que 2 mm foram pesados e os valores incorporados aos obtidos na etapa anterior de forma a obter porcentagem de argila, silte, areia e cascalho. Vinte três amostras foram selecionadas e enviadas ao Laboratório ACIL & Weber (São Paulo, Brasil) para o cálculo do Índice de Circularidade (I_c) que consiste em analisar a semelhança de cada partícula com um círculo perfeito.

Vinte e duas amostras após digestão ácida (HF, HCL, HNO₃ e H₂O₂) foram selecionadas para análise dos principais dos óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, Mn₂O₄ e P₂O₅) obtidos por ICP-OES (AGILENT 5100) no LAGEQ/UnB. As análises qualitativas por difração de Raio-X da fração total foram feitas no Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade de Brasília (UnB). As dozes amostras foram maceradas e dispostas em lâminas de vidro sendo posteriormente analisadas no difratômetro RIGAKU, modelo ULTIMA IV com radiação de $CuK\alpha$ a uma velocidade de varredura de 2θ por minuto em um intervalo de varredura de 2 a 65°. Para interpretação de difratograma e a identificação de minerais usou-se o software Jade XRD 9.0 Windows.

1.3.3 Análise de Fácies

O estudo de fácies sedimentares constitui uma importante ferramenta para se estabelecer a cronologia dos eventos deposicionais possibilitando uma reconstrução ambiental uma vez que as mudanças são resultados de alteração climáticas e tectônicas em níveis regionais que,

portanto, influenciam na produção, transporte e deposição de sedimentos (SPRINGER, 2005). A delimitação das fácies permite entender o ambiente de sedimentação concentrando na origem dos sedimentos e juntamente com os métodos geocronológicos corrobora para o entendimento da evolução da paisagem (HUBBE et al., 2011a). Nesse sentido as análises faciológicas foram realizadas com base nas características litológicas e sedimentológicas a partir do conceito de unidades sedimentares definidos por Anderton (1985) e classificação para cavernas proposta por White (2007). Observou-se aspectos como coloração, conteúdoossilífero, granulometria, presença de estruturas sedimentares dentre outros. Em outro momento buscou-se associar as fácies de forma a estabelecer intervalos de deposição sedimentar.

1.3.4 Geocronologia

A cronologia de depósitos sedimentares pode estabelecer uma sequência cronológica que geralmente é obtida utilizando métodos de datação como paleomagnetismo, isótopos radiométricos, cosmogênicos e demais técnicas relacionadas (SPRINGER, 2005). Dessa forma escolheu-se como métodos a datação por Carbono 14 (^{14}C) e a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE).

1.3.4.1 Carbono 14

O método de datação por Carbono 14 é provavelmente o mais conhecido, com diversas aplicações (NICHOLS, 2009) podendo detectar com precisão materiais em até 50000 anos conseguindo em alguns casos chegar a 70000 anos (TARBUCK et al., 2005). O isótopo radioativo de Carbono 14 é produzido durante o bombardeamento cósmico de ^{14}N na atmosfera. Os organismos vivos incorporam continuamente ^{14}C até sua morte, que em seguida passa a decair radioativamente a uma taxa de 5730 ± 40 anos (FORD; WILLIAMS, 2007). Na Gruta Tarimba, escolheu-se uma amostra rica em matéria orgânica que foi enviada ao Beta Analytic- Testing Laboratory, Miami/Estados Unidos da América, e datada utilizando a técnica de Accelerator Mass Spectrometry (AMS – Espectrometria de Massa com Acelerador).

1.3.4.2 Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)

A escolha do método de luminescência opticamente estimulada (LOE) partiu da necessidade em usar uma técnica complementar ao radiocarbono devido a suas limitações como a falta de matéria orgânica e a ineficiência de registros com mais de 40000 anos (SOARES;

TATUMI; RICCOMINI, 2010). Este método utiliza grãos de quartzo e feldspato para o cálculo de intervalo de tempo que varia entre 100 anos AP até 1Ma (milhão de ano) a depender da saturação do material analisado (AITKEN, 1998).

De acordo com Rhodes (2011) o princípio baseia-se no fato que o sedimento ao ser enterrado acumula gradualmente carga conforme expostos à radiação ambiental (conhecida como Dose Equivalente, De, dada em Gy). Como o sinal LOE é fotossensível quando expostos à luz do sol este sinal dos sedimentos é fotoesvaziado e não há acúmulo da dose de radiação. A mensuração da quantidade de radiação fornecida ao ambiente é obtida pela Taxa Dose (dada em Gy anos⁻¹) no qual são medidas as concentrações de ²³⁸U, ²³²Th e ⁴⁰K e radiação cósmica. Assim, pela razão entre a Dose Equivalente e a Taxa de Dose, calcula-se a idade (Equação 1-1) desde o último evento de exposição à radiação atmosférica (FORMAN; PIERSON; LEPPER, 2000).

$$\frac{\text{Dose Equivalente (Gy)}}{\text{Taxa de Dose (Gy anos-1)}}$$

Equação 1-1

Doze amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGaL) do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), sob cooperação científica com o coordenador André Sawagushi. As medições foram realizadas em leitores Risø TL/OSL DA-20 equipados com fonte de radiação beta (⁹⁰Sr/⁹⁰Y) com taxas de dose de 0.077 Gy/s e 0.133 Gy/s. Doses equivalentes foram obtidas através do protocolo SAR (*Single-Aliquot Regenerative-Dose*) desenvolvido por Murray e Wintle (2000), em alíquotas únicas em multigrãos de quartzo. Tal método consiste em várias medidas de luminescência em grãos individuais de uma única amostra, o que reduz o erro e aumenta a credibilidade do dado, além de identificar quando o sinal da luminescência foi zerado por completo em todos os minerais (SALLUN et al., 2007).

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITKEN, M. J. An Introduction to Optical Dating. New York: Oxford University Press, 1998.

ANDERTON, R. Clastic facies models and facies analysis. Geological Society, London, Special Publications, v. 18, n. 1, p. 31–47, 1985.

AULER, A. S. Karst Evolution and Palaeoclimate of Eastern. p. 281, 1999.

- AULER, A. S. et al. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology*, v. 106, n. 1–2, p. 142–153, 2009.
- AULER, A. S. . et al. Fluvial incision rates derived from magnetotratigraphy.pdf. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 46, p. 391–403, 2002.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. Late quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. *Quaternary Research*, v. 55, n. 2, p. 159–167, 2001.
- BERTAUX, J. et al. Paleoclimatic record of speleothems in a tropical region: Study of laminated sequences from a Holocene stalagmite in Central-West Brazil. *Quaternary International*, v. 89, p. 3–16, 2002.
- BOSÁK, P. Karst processes from the beginning to the end: How can they be dated? *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, v. 1, p. 1–24, 2002.
- BRASIL MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA SECRETARIA-GERAL. Projeto RADAM. Folha SD.23 Brasília: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: [s.n.].
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia E Sedimentação Da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 3, p. 269–282, 1997.
- CHAZAN, M. et al. The Oldowan horizon in Wonderwerk Cave (South Africa): Archaeological, geological, paleontological and paleoclimatic evidence. *Journal of Human Evolution*, v. 63, n. 6, p. 859–866, 2012.
- CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C. O PAPEL DA LITO-ESTRUTURA DO CARSTE NA MORFODINÂMICA CENOZÓICA DA SERRA GERAL DE GOIÁS (GO/TO/BA): APROXIMAÇÕES INICIAIS. *Geonorte*, v. 10, p. 180–184, 2014.
- DARDENNE, M. A. XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Geologia do Grupo Bambuí no Vale do Rio Paranã (Goiás). *Anais...Recife*: 1978
- FARRAND, W. R. Sediments and Stratigraphy in Rockshelters and Caves: A Personal Perspective on Principles and Pragmatics. *Geoarchaeology - An International Journal*, v. 16, n. 5, p. 537–557, 2001.
- FEATHERS, J. et al. How old is Luzia? luminescence dating and stratigraphic integrity at lapa Vermelha, Lagoa Santa, Brazil. *Geoarchaeology*, v. 25, n. 4, p. 395–436, 2010.
- FONTUGNE, M. New Radiocarbon Ages of Luzia Woman, Lapa Vermelha IV Site, Lagoa Santa, Minas Gerais, Brazil. *Radiocarbon*, v. 55, n. 3–4, p. 1187–1190, 2013.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley: Chichester, 2007.
- FORMAN, S. L.; PIERSON, J.; LEPPER, K. Luminescence Geochronology. In: *Quaternary Geochronology: Methods and Applications AGU*. 1. ed. Washington, DC: American Geophysical Union, 2000. p. 157–176.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. S4, p. 216–226, 2007.

GHINASSI, M. et al. The Late Pleistocene clastic deposits in the Romito Cave, southern Italy: a proxy record of environmental changes and human presence. *Journal of Quaternary Science*, v. 24, p. 383–398, 2008.

GILLIESON, D. *Caves: Processes, Development and Management*. 1o ed. Massachusetts: Blackwell, 1996.

GOLDBERG, P.; SHERWOOD, S. C. Deciphering human prehistory through the geoarcheological study of cave sediments. *Evolutionary Anthropology*, v. 15, n. 1, p. 20–36, 2006.

HADDAD-MARTIM, P. M. et al. Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: The example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Catena*, v. 157, p. 372–387, 2017.

HUBBE, A. et al. Identification and importance of critical depositional gaps in pitfall cave environments: The fossiliferous deposit of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 312, n. 1–2, p. 66–78, 2011a.

HUBBE, A. et al. CHRONOLOGICAL DISTRIBUTION OF BRAZILIAN GLYPTODON SP. REMAINS: A DIRECT 14C DATE FOR A SPECIMEN FROM IPORANGA, SÃO PAULO, BRAZIL. *Radiocarbon*, v. 53, n. 1, p. 13–19, 2011b.

HUBBE, A.; AULER, A. S. A large Cervidae Holocene accumulation in Eastern Brazil : an example of extreme taphonomical control in a cave environment. *International Journal of Speleology*, v. 41, n. July, p. 297–305, 2012.

HUSSAIN, Y. et al. The potential use of geophysical methods to identify cavities, sinkholes and pathways for water infiltration: a case study from Mambaí, Brazil. 2020.

HUSSAIN, Y.; UAGODA, R. An introduction and GIS-based relief compartment mapping of fluvio-karst landscape in central Brazilian highlands. No Prelo, [s.d.].

ICMBIO/CECAV. RELATÓRIO DE VISTORIA TÉCNICA EM CAVERNAS E SUAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO Brasília ICMBio/CECAV, , 2017.

JAQUETO, P. et al. Linking speleothem and soil magnetism in the Pau d’Alho. p. 7024–7039, 2016.

KINOSHITA, A. et al. Dating human occupation at Toca do Serrote das Moendas, São Raimundo Nonato, Piauí-Brazil by electron spin resonance and optically stimulated luminescence. *Journal of Human Evolution*, v. 77, p. 187–195, 2014.

LAUREANO, F. V. et al. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, v. 273, n. April 2018, p. 63–77, 2016.

- MARTINI, I. et al. Cave clastic sediments as a tool for refining the study of human occupation of prehistoric sites: insights from the cave site of La Cala (Cilento, southern Italy). *Journal of Quaternary Science*, v. 33, n. 5, p. 586–596, 2018.
- MCDERMOTT, F. Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: A review. *Quaternary Science Reviews*, v. 23, n. 7–8, p. 901–918, 2004.
- MICHAB, M. et al. Luminescence dates for the paleoindian site of Pedra Pintada, Brazil. *Quaternary Science Reviews*, v. 17, n. 11, p. 1041–1046, 1998.
- MOTTA, J. A. O. (ORG). Projeto cavernas de Mambá: caracterização do ecossistema cárstico localizado no município de Mambá e entorno. Brasília, 2003.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, v. 32, p. 57–73, 2000.
- NICHOLS, G. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2o ed. Oxford: Blackwell, 2009.
- NOVELLO, V. F. et al. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. *Scientific Reports*, v. 7, n. March, p. 1–8, 2017.
- NOVELLO, V. F. et al. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 524, p. 1–11, 2019.
- OLIVEIRA, P. V. et al. The dasypodidae (mammalia, xenarthra) from the urso fóssil cave (quaternary), parque nacional de ubajara, state of ceará, Brazil: Paleocological and taxonomic aspects. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 147–158, 2014.
- OSBORNE, R. A. Dating ancient caves and related palaeokarst. *Acta Carsologica*, v. 34, n. 1, p. 51–72, 2005.
- OSBORNE, R. A. L. Sedimentation in caves- a review. *Publications of the Geological Society of Australia*, v. 2, p. 189–217, 1986.
- PILÓ, L. B. et al. Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic Late Pleistocene/Early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. *Geoarchaeology*, v. 20, n. 8, p. 751–764, 2005.
- RHODES, E. J. Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 39, n. 1, p. 461–488, 2011.
- RODRIGUES, S.; AVILLA, L. S. Late Pleistocene carnivores (Carnivora : Mammalia) from a cave sedimentary deposit in northern Brazil. v. 86, p. 1641–1655, 2014.
- ROOSEVELT, A. C. et al. Paleoindian Cave Dwellers in the Amazon : The Peopling of the Americas. *Science*, v. 272, p. 373–384, 1996.
- SALLES, L. O. et al. A new record of a Scelidotheriine ground sloth (Xenarthra, Mylodontidae) from Central Brazil: Quaternary cave stratigraphy, taxonomy and stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 461, p. 253–260, 2016.

- SALLUN, A. E. M. et al. Datação absoluta de depósitos quaternários brasileiros por luminescência. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 402–413, 2007.
- SOARES, E. A. A.; TATUMI, S. H.; RICCOMINI, C. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 82, n. 3, p. 691–699, 2010.
- SPRINGER, G. S. Clastic Sediments in Caves. In: CULVER, DAVID C; WHITE, W. B. (Ed.). *Encyclopedia of Caves*. 1° ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. p. 102–108.
- STOCK, G. M. et al. Comparison of U-Th, paleomagnetism, and cosmogenic burial methods for dating caves: Implications for landscape evolution studies. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 236, n. 1–2, p. 388–403, 2005.
- TARBUCK, E. J. et al. *Ciencias de la tierra una introducción a la geología física*. 8° ed. Madrid: Pearson Educación, 2005.
- UAGODA, R. et al. Regional Conference of Geomorphology. Geomorphic units mapping of fluviokarst landscapes in central Brazilian Higland. *Anais...Athens*: 2019
- UTIDA, G. et al. Abrupt climatic events in northeast brazil detected in bat guano and speleothems records over the last 2 , 000 years, 2014.
- UTIDA, G. Variações Paleoambientais e Paleoclimáticas durante o Holoceno no Rio Grande do Norte a partir do estudo de registros geoquímicos de sedimentos de lagos e cavernas. p. 184, 2016.
- VAN DER GEER, A. A. E.; DERMITZAKIS, M. D. Caves And Fossils: Palaeontology In Greek Caves And Fissures. In: MAVRIDIS F., J. J. T. (Ed.). *Stable Places and Changing Perceptions: Cave Archaeology in Greece*. Oxford: Archaeopress, 2013. p. 83–98.
- WANG, X. et al. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, v. 432, n. 7018, p. 740–743, 2004.
- WHITE, W. B. Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, n. 1, p. 76–93, 2007.

2 ARCABOUÇO TEÓRICO/METODOLÓGICO

Espaço & Geografia, Vol.22, Nº 1 (2019), 153:189
ISSN: 1516-9375

DINÂMICA DOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS CAVERNÍCOLAS: POTENCIALIDADE PARA ESTUDO PALEOAMBIENTAIS NO BRASIL

DYNAMICS OF CLASTIC SEDIMENTS IN CAVES: POTENTIALITY FOR PALEO-ENVIRONMENTAL STUDY IN BRAZIL

**Dandara Maria Vitalina Da Silva Caldeira¹, Rogério Uagoda²
& Adivane Moraes Nogueira²**

¹Universidade de Brasília/UnB
Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicadas, Laboratório de Geografia
Física, ICC Norte, Mód. 23, Campus Darcy Ribeiro,
CEP: 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil Email:
dandara.caldeira2014@gmail.com

²Universidade de Brasília/UnB
Departamento de Geografia, Laboratório de Geografia Física, ICC Norte, Mód. 23,
Campus Darcy Ribeiro, CEP: 70910-900,
Brasília, Distrito Federal, Brasil
Email: rogeriouagoda@unb.br, adinogueira2010@hotmail.com

Recebido 29 de Abril de 2020, aceito 06 de Junho de 2020

Resumo: Registros paleoambientais são importantes para entender a evolução da paisagem, resultando na melhor compreensão dos processos atuais. Protegidos do cenário evolucionar superficial, os ambientes cavernícolas abrigam ótimos registros cuja dinâmica sedimentar, por vezes, é análoga à superfície. Nesse cenário, os sedimentos clásticos constituem uma boa fonte de estudo ainda pouco explorada no Brasil. Desse modo, este artigo apresenta uma revisão bibliográfica da dinâmica sedimentar em ambientes cavernícolas, discutindo aspectos como definição, classificação, processos de sedimentação, diagênese e fácies, juntamente com os principais métodos utilizados para o estudo de registros paleoambientais (Carbono 14, luminescência, análises químicas e físicas.). A potencialidade do emprego desse objeto de estudo no Brasil comprova-se por meio de buscas a artigos recentes disponíveis no Portal Periódicos CAPES, base Web of Science. Ainda incipiente frente à quantidade de cavernas mapeadas, os resultados demonstram um aumento tímido, porém significativo das pesquisas. A boa resposta à utilização dos vários proxies que abrange intervalos de até milhões de anos constituem

alternativa para estudos paleoambientais brasileiros dada a dificuldade de encontrar tais registros em ambientes superficiais nos trópicos húmidos.

Palavra-Chave: Cavernas, paleoambientes, fácies, geocronologia.

Abstract: Paleoenvironmental records are important for understanding the current processes of landscape evolution. The cave environment are protected from the superficial evolution having excellent sedimentary records, sometimes analogous to the surface. In this way, clastic sediments are a good source of paleoenvironmental study, being almost unexplored in Brazil. This paper presents a review of sediment records in cave environments, discussing aspects such as alteration, classification, sedimentation processes, diagonal and facies, with the methods used for paleoenvironmental records (Carbon 14, luminescence, statistics and chemical techniques). The potential of this goal in Brazil was showed by the search for recent articles available on the CAPES portal, based on Web of Science. The topic is still incipient in view of the number of caves mapped. Results show a timid, but significant increase in research in the last decade. The good response to the use of the proxies covering intervals up to million years is an alternative for Brazilian paleoenvironmental studies given the difficulty of finding such dynamics in a tropical surface environment.

Keywords: Cave, paleoenvironment, facies, geochronology.

2.1 INTRODUÇÃO

Cavernas atuam como repositório de diversos tipos de sedimentos, gerando depósitos secundários que contêm registros hidrogeológicos, paleoclimatológicos e paleoambientais, principalmente do Quaternário (Bosch e White, 2007; Ford e Williams, 2007; Laureano, 2014, 1998; Martini, 2011; White, 2007). Ademais, são importantes registros paleoecológicos (Chazan *et al.*, 2012; Ghinassi *et al.*, 2008; Van der Geer e Dermitzakis, 2013), fornecem informações sobre a presença humana (Feathers *et al.*, 2010; Fontugne, 2013; Martini *et al.*, 2018) e atuam como marcadores geomórficos e ambientais.

Os sedimentos no interior das cavernas estão relacionados com o material presente na superfície que foram transportados por agentes não seletivos (Haddad-Martim *et al.*, 2017). Processos como precipitação química, entrada e remoção de sedimentos estão intimamente relacionados com as condições paleoclimáticas/hidrológicas do passado gerando complexos sedimentares interessantes para a compreensão do paleoambiente (Auler *et al.*, 2009). Além disso, são importante fontes de pesquisa, sendo utilizados para determinar ambientes deposicionais, gênese dos sedimentos, grau de desenvolvimento de cavernas ou paisagens e investigações paleontológicas (Springer, 2005). No entanto, constituem feições complexas com um estudo desafiador devido à natureza complicada da acumulação sedimentar, capaz de induzir erros quanto à sua interpretação (Ford e Williams, 2007; Gillieson, 1996; Hubbe *et al.*, 2011). Nesse sentido, uma abordagem integrada que emprega diferentes metodologias (análise *multi proxy*) auxilia na redução de eventuais lacunas deixadas pelos métodos

ampliando a compreensão sobre os eventos formadores dos depósitos. Nesta perspectiva, este trabalho tem como propósito a realização de uma revisão bibliográfica da dinâmica dos sedimentos clásticos no interior de cavernas e principais métodos aplicados para estudos paleoambientais. Em um segundo momento buscou-se verificar o uso deles em pesquisas brasileiras com fins de compreensão de paleoambientes nos últimos 30 anos.

A metodologia empregada consiste na verificação do arcabouço teórico contemplando os principais autores e obras clássicas acerca do tema. Para o levantamento dos estudos no Brasil utilizou-se a base Web of Science no Portal Periódicos Capes, com buscas de palavras chave como: sedimento clástico – clastic sediment, caverna - cave, Brasil - Brazil, América do Sul - South America, datação - dating, paleoambiental - paleoenvironmental. Desse modo, foram excluídos da análise, por exemplo, os trabalhos com finalidades arqueológicas/ paleontológicas.

2.2 SEDIMENTOS CLÁSTICOS CAVERNÍCOLAS

2.2.1 Definição

Sedimentos clásticos são compostos por fragmentos erodidos das rochas preexistentes, que são transportados e depositados nas cavernas por correntes de água, perda de massa, vento, ação de ondas e gelo (Gillieson, 1996; Springer, 2005). Para White (2007), correspondem aos sedimentos movidos mecanicamente, enquanto os químicos são formados no local por precipitação. Laureano (1998) estabelece como os detritos são transportados ao longo de condutos cársticos, incluindo os depósitos químicos (carbonatos, sulfatos e nitratos) e orgânicos (guano, fragmento de madeira, ossos) que são retrabalhados por ação gravitacional ou por processos fluviais.

Entre os sedimentos clásticos, dois materiais são comumente encontrados (Sasowsky, 2007): sedimentos de colapso oriundos de paredes e teto rochosos da caverna, de tamanhos variados e formato angular encontrados nas interseções das passagens da caverna e condutos próximos à superfície e; sedimentos aluvionares transportados geralmente por um fluxo d'água, com tamanhos variados, presença de estruturas sedimentares e imbricações de seixo que refletem o material de origem.

2.2.2 Classificação

A classificação dos sedimentos no interior de cavernas apresenta vários critérios a depender do autor, sendo adotado um consenso nos trabalhos das últimas décadas quanto à proveniência/origem dos sedimentos. Quatro critérios de classificação são analisados a partir de três bibliografias internacionais e uma nacional, com base na recorrência nos trabalhos (Tabela 2-1). Classificar o sedimento no interior da caverna é importante para entender as relações entre a sucessão dos fluxos e a dinâmica de deposição sedimentar para além de auxiliar nos possíveis *proxies* para estudo.

No que tange aos sedimentos clásticos, Gillieson (1996) define-os basicamente em alogênicos (origem fora da caverna) e autigênicos (origem dentro da caverna). White (2007) e Ford and Williams

(2007) partem do mesmo princípio, mas realizam uma discussão mais detalhada acerca de tais sedimentos e as subclasses a que estariam correlacionados. Dessa forma, definem que os sedimentos alóctones são formados no exterior da caverna principalmente por ação do intemperismo superficial e subsuperficial, transportados com uma composição variada de acordo com o tipo de rocha disponível na bacia (Bosch e White, 2007; Ford e Williams, 2007; White, 2007). Para estes sedimentos, Ford and Williams (2007) e White (2007) utilizam essencialmente as mesmas subdivisões, englobando as principais fontes dos sedimentos clásticos como sendo de origem fluvial, lacustre, glacial, vulcânico dentre outros. Sedimentos autóctones seriam formados no interior da caverna compreendendo os originários de colapso, fluviais, intemperismo ou guano.

Tabela 2-1: Comparação das classificações para sedimentos em caverna

Gillieson (1996)	Origem	Clástico	Orgânico	Químico	Gelo
		1 Alogênico 2 Autigênico	1 Detritos Alogênicos 2 Depósitos Autigênicos	1 Alogênico 2 Autigênico	1 Cavidade Autigênica de Gotejamento 2 Condensação de parede 3 Piscinas de Caverna
Laureano (1998)	Mecanismo de Transporte	<i>Sedimentos Clásticos</i>			
		Fluvial		Gravitacional	
	Origem	Tração, saltação e suspensão (acresção paralela)	Abatimentos (queda livre)	Fluxo de detritos (corrida de lama)	
Morfologia e Textura	Origem	Alóctone com contribuição autóctone	Autóctone	Alóctone com contribuição autóctone	
		Bancos e leitos fluvia em canais ativo;bancos e terraços em canais abandonados; ampla variação textural: argila e seixo	Cones e pilhas irregulares, de tamanho variado, compostos por brechas de colapso, de teto ou parede. Grânulos a matações	Cones, bancos e pilhas de sedimentos, muitas vezes preenchendo galeria. Diamictitos, brechas matriz e clastossuportadas	
White (2007)	Proveniência	Sedimentos Clásticos		Sedimentos Químicos	
		A Sedimentos Alóctones 1 Entrada de talus 2 Infiltração a Solos de lavagem b Detritos Gravitacionais 3 Sedimentos transportados por fluxo a Orgânicos de lavagem b Sedimentos aluviais c Glacial de lavagem d Vulcânico de lavagem B Sedimentos Autóctones 1 Detritos de intemperismo 2 Colapso 3 Guano	A Travertinos 1 Flowstone 2 Dripstone B Evaporitos 1 Crosta 2 Bulk Deposits C Fostafatos D Resistatos E Gelo		
Ford & Williams (2007)	Origem	<i>Sedimentos Clásticos</i>		<i>Orgânicos</i>	<i>Precipitados e Evaporitos</i>
		A Sedimentos Alóctones 1 Fluvial 2 Infiltrado 3 Lacustre 4 Marinho 5 Eólico 6 Glacial e injeção glaciouluvia 7 Dejetos, colúvios e lama 8 Vulcânicos B Sedimentos Autóctones 1 Colapso 2 Fluvial 3 Intemperismo 4 Eólico	Sedimentos Alóctones 1 Água, vento, etc 2 Fauna exterior	1 Gelo 2 Calcita 3 Outros carbonatos e carbonatos hidratados 4 Sulfatos e sulfatos hidratados 5 Halletos 6 Nitrato e Fosfato 7 Sílica e Silicatos 8 Manganês e óxidos de ferro hidratado 9 Minério associado e diversos minerais	

Laureano (1998) questiona o fato de os detritos poderem ser remobilizados e misturados no interior das cavernas, principalmente devido a processos fluviais, o que diminuiria a confiabilidade da proveniência, enfraquecendo a classificação de origem. Em trabalho posterior, o autor adverte que em algum momento durante a deposição sedimentar poderá ocorrer contribuições autóctones e alóctones,

tornando o critério de proveniência um parâmetro insuficiente para classificação (Laureano e Karmann, 2013). Deste modo, apresenta uma classificação baseada no processo de sedimentação nos condutos, destacando os mecanismos de transporte e deposição, dividindo os sedimentos em duas classes: fluviais e gravitacionais, relacionando o mecanismo de transporte e a origem.

2.2.3 Transporte

Os sistemas subterrâneos são análogos aos superficiais. A água é o principal mecanismo de transporte e conduz os sedimentos autóctones e alóctones por fluxos através de condutos. Apesar de similares aos superficiais, os fluxos subterrâneos apresentam duas diferenças (Sasowsky, 2007) que podem implicar em altas velocidades e fluxo freático ascendente: (1) a largura do canal em cavernas é limitada pela forma dos condutos que pode promover um rápido alagamento; e (2) possuem fluxos confinados em vez de abertos com vários distributários. Importante observar que os sedimentos clásticos em muitos casos se movem devido a vários pulsos episódicos e não a um fluxo contínuo (Herman *et al.*, 2012). Tal característica favorece o armazenamento de sedimentos que podem ser removidos por grandes inundações durante fluxo de tempestades (Bosch e White, 2007).

Gillieson (1996) descreve algumas cavernas comumente como planícies de inundação que se comportam como *canyons* com vales encaixados. Ainda assim, a morfologia dos canais implica na ocorrência de dois principais eventos: (1) oscilação no nível d' água resultando em uma maior variação da textura dos sedimentos por unidade de comprimento do canal, comparada com a superfície; (2) remoção total ou parcial de sedimentos anteriormente depositados devido aos fluxos de água que podem acarretar no retrabalhamento destes sedimentos a depender da textura e geometria da passagem local. Para este último item, Ghilardi *et al.* (2011) reafirmam que sedimentos em cavernas são constantemente retrabalhados por inundações que destroem o empilhamento estratigráfico misturando-os aos sedimentos fósseis, geralmente relacionados aos períodos de maiores chuvas com aumento na drenagem superficial.

Os sedimentos podem ser transportados de cinco maneiras em um fluxo tubular a depender das suas características litológicas (Newitt *et al.*, 1955 apud Ford and Williams, 2007): (1) grãos rolantes que produzem ondulações em camadas estacionárias, (2) saltação de grãos individuais acima do leito, (3) camada deslizante envolvendo primeiramente a parte superior da carga com aumento da velocidade, (4) suspensão heterogênea e (5) suspensão homogênea em velocidades mais altas. Pelo menos os quatro primeiros acontecem em cavernas freáticas ou inundadas (Ford e Williams, 2007).

Bosch e White (2007) apresentam um modelo de fluxo global para os sedimentos através de bacias hidrográficas subterrâneas (Figura 2-1) que contém várias origens de entrada e uma única saída (a descarga para fluxo de superfície). Farrant e Smart (2011) definem parâmetros similares para a entrada de sedimentos clásticos em cavernas: (1) através de correntes em sumidouros, (2) colapso de

sumidouros, (3) fissuras no leito rochoso e drenos de poços, (4) por injeção glacial e (5) através de inundações de rios.



Figura 2-1- Fluxo global de sedimentos em bacia subterrânea (Bosch e White, 2007).

A velocidade do fluxo hídrico necessária para mover uma partícula pode ser estimada através do histograma de Hjulstrom (Ford e Williams, 2007; Gillieson, 1996; Springer, 2005), Figura 2-2. Dentre os materiais finos (silte, argila e areia fina), a areia fina é o tamanho de partícula mais fácil de ser transportados por suspensão. Assim, areias são erodidas e transportadas por fluxos d'água, com maior facilidade o que corrobora para explicar a natureza dos sedimentos presentes em cavernas, dominadas por cascalhos e lamas (Gillieson, 1996). Ford e Williams (2007) asseguram que a movimentação dos sedimentos se inicia quando a tensão de cisalhamento excede o valor crítico observado. Também nota-se que a velocidade necessária para iniciar a erosão é maior do que para manter o transporte, devido à força hidráulica necessária para retirar a partícula das camadas coesivas de sedimentos do que para mantê-la em saltação ou suspensão (Gillieson, 1996).

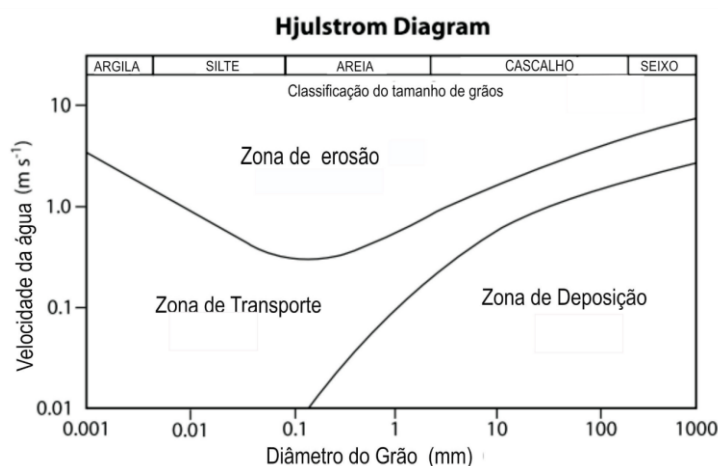


Figura 2-2- Histograma de Hjulstrom demonstrando a relação entre o tamanho das partículas e a velocidade necessária para erosão, transporte e deposição. (Ford e Williams, 2007; Gillieson, 1996; Springer, 2005).

2.2.4 Processos De Sedimentação

As taxas de deposição e a natureza dos sedimentos possuem controles climáticos que condicionam os processos de intemperismo e consequentemente a quantidade de sedimentos fornecidos. Assim,

qualquer mudança climática acarreta automaticamente a alteração do fluxo sedimentar com aumento/diminuição da quantidade de material disponível (Farrant e Smart, 2011). As variações nas taxas de deposição podem ser extremas, uma vez que no interior da caverna o movimento dos sedimentos pode ser obstruído a jusante causando retrabalho e deposição (Ford e Williams, 2007).

Depósitos sedimentares em caverna são complexos com estudo desafiador, uma vez que as sucessões sedimentares podem não respeitar a lei de sobreposição causando reversões estratigráficas. Osborne (1986) distingue cinco ambientes principais de sedimentação: (i) vadoso superior, ambiente de entrada; (ii) vadoso superior, ambiente interior; (iii) ambiente vadoso menor; (iv) ambiente freático dinâmico; e (v) ambiente não freático.

Os sedimentos acumulados são distinguidos por serem imaturos, mal classificados, granulometria diversa, alto teor de matéria orgânica, cor escura e níveis com cimentação de carbonato (Ghilardi *et al.*, 2011). Comumente, a deposição acontece por gravidade (queda) ou transporte aquoso, no entanto a diferenciação de tais processos se torna ineficaz quando, por exemplo, correntes de turbidez movimentam sedimentos em áreas íngremes ou devido à injeção de lama nas passagens de cavernas tropicais por movimento de massas (Gillieson, 1996, 1986).

A acumulação nas passagens das cavernas ocorre quando as forças motrizes são insuficientes para mover o sedimento originário de depósitos nas margens dos canais ou em espessos pacotes sob os leitos dos rios (Springer, 2005). À medida que o nível de base é rebaixado, condutos são abandonados resultando em passagens antigas mais secas e com maior elevação, com depósitos sedimentares que preservam o episódio final de deposição (Bosch e White, 2007).

A partir das deposições, estruturas sedimentares são formadas (Figura 2-3), correlacionadas às tendências da energia deposicional e a natureza dos fluxos de água (Gillieson, 1996). Tais estruturas são semelhantes àqueles presentes em depósitos fluviais de superfícies, sendo recorrentes estratificações cruzadas, laminações paralelas e onduladas, marcas de onda, imbricamento de seixos, estruturas de corte e preenchimento (Laureano e Karmann, 2013).

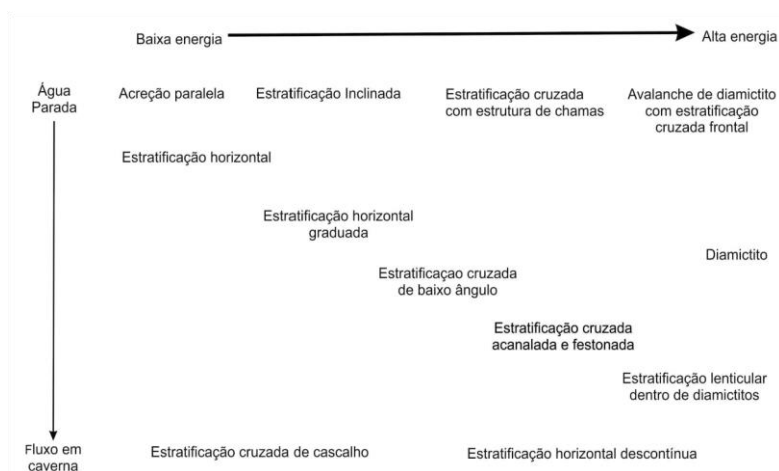


Figura 2-3- Relações entre o tipo de fluxo de água e a energia de depósito expressa em estruturas de sedimentos de cavernas (Gillieson, 1986).

2.2.5 Diagênese

Processos diagenéticos modificam a textura e estrutura dos sedimentos após sua deposição, com alterações físicas, químicas e biológicas envolvendo processos como compactação, cimentação, dissolução e recristalização (Bridge e Demico, 2008). Poucos trabalhos que sintetizam essa temática são encontrados na literatura em ambientes cavernícolas dada a dificuldade em observar e mensurar tais processos, além de sua natureza variada.

No interior das cavernas a dinâmica geralmente ocorre em condições estáveis de temperatura e pressão com variação no lençol freático e taxas altas de dissolução de carbonato de cálcio, que estão presentes na cimentação da maioria dos sedimentos clásticos das cavernas (Osborne, 2001, 1984). Sabe-se que a natureza e a quantidade de diagênese são mais significativas nos calcários e incluem processos físicos como secagem, encolhimento de paredes, deformação, bioturbação etc (Ford e Williams, 2007). As condições ambientais caracterizadas pela falta de luz, altas taxas de umidade e uma temperatura quase constante, reduz a quantidade de alteração química que pode ocorrer nos sedimentos clásticos (Gillieson, 1996).

Pesquisas usam minerais autigênicos dentro dos sedimentos para reconstruir antigas condições químicas paleoambientais com finalidade arqueológica (Karkanis *et al.*, 2000). Técnicas como micromorfologia dos solos e análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), por exemplo, foram usadas no depósito arqueológico da Caverna de Esquilieu, Espanha, com objetivo de avaliar alterações/transformações diagenéticas (Mallol *et al.*, 2010).

2.2.6 Fácies Sedimentares

O conceito de fácies possui diferentes aplicações na sedimentologia, mas costuma se caracterizar pelo agrupamento de conjuntos de rocha com características similares, como granulometria, geometria e estrutura, distinguindo-as das demais (Anderton, 1985). Esse conceito também pode ser aplicado aos sedimentos em caverna, em que tais características auxiliam na compreensão do ambiente de deposição e nas correlações estratigráficas.

A organização das fácies depende da dinâmica interna dos condutos das cavernas e refletem a maneira pela qual o sedimento foi organizado e depositado (White, 2007), podendo ser definidas como: litofácies (litologia), depofácies (relativas ao ambiente deposicional), fácies texturais, dentre outras. No entanto, os modelos de fácies precisam ser usados com cautela, pois nem todos podem ser empregados nas cavernas, dada a dinâmica específica do ambiente cárstico.

O conjunto de fácies frequentemente adotado nos trabalhos corresponde ao de Bosch e White (2007), que as organizam com base no mecanismo de transporte, diferenças no tamanho de partículas e grau de seleção. Cinco fácies sedimentológicas são descritas: fácies de canal (*Channel Fácies*), talvegue (*Thalweg Fácies*), águas paradas (*Slackwater Fácies*), diamictito (*Diamicton Fácies*) e pantanosa (*Backswamp Fácies*) (Figura 2-4).

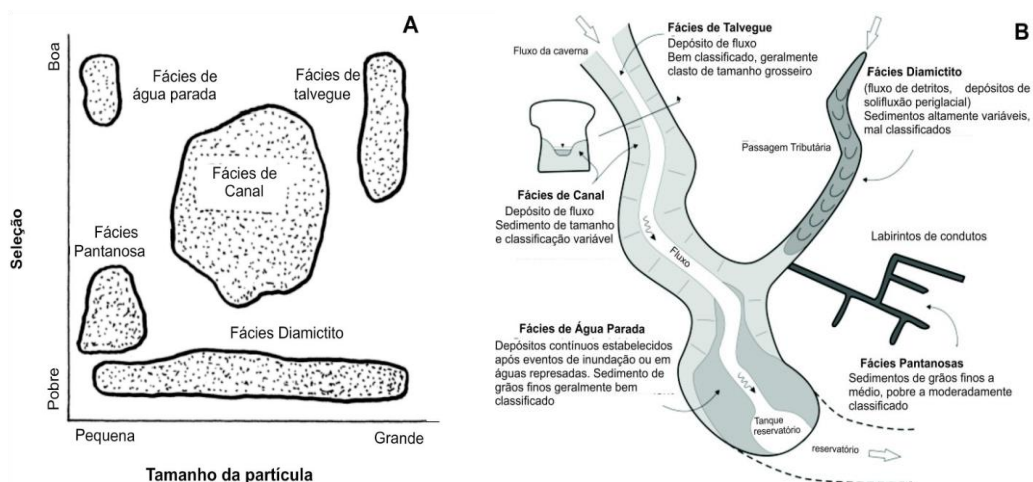


Figura 2-4 A - *Fácies sedimentares classificadas com base no tamanho das partículas e grau de seleção, segundo Bosch e White (2007).* B - *Esquema de fácies sedimentares adaptado de Bosch e White (2007) em zonas vadasas com labirintos tributários adaptado de Farrant e Smart (2011).*

As fácies de canal (*Channel Facies*) representam grande parte dos sedimentos clásticos encontrados nas cavernas, com materiais geralmente bem classificados dentro de um leito, mas com mudanças abruptas ao longo da seção estratigráfica (Bosch e White, 2007). Tais fácies são geralmente observadas onde as correntes mais recentes cortam os sedimentos mais antigos, mostrando uma estratigrafia distinta, que raramente é contínua ao longo da caverna (White, 2007). Os sedimentos de canal são transportados no conduto pelas correntes e posteriormente depositados onde o fluxo diminui, sendo sua litologia dependente do material de origem disponível (Herman *et al.*, 2012).

As fácies de talvegue (*Thalweg Facies*) são definidas pelos sedimentos grossos como seixos e matacões às margens dos córregos no interior das cavernas. Para estabelecer esta configuração é necessário que existam condições de fluxo intenso para mover os clastos maiores e fluxos moderados para extrair partículas menores como areia e silte, restando apenas os primeiros (Herman *et al.*, 2012). Segundo White (2007), as fácies de águas paradas (*Slackwater Facies*) são formadas por sedimentos suspensos de granulação fina como silte e argila que frequentemente são depositados até o topo das passagens. São desenvolvidas a partir de altos fluxos que colocam vários tipos de materiais em suspensão, no qual ocorre inicialmente a deposição de sedimentos mais grossos, em seguida as águas de inundação recuam lentamente e as partículas mais finas depositam (Herman *et al.*, 2012). Springer e Kite (1997) comprovam que tais fácies correspondem a sedimentos deixados nas cavernas rasas durante processos de inundações catastróficas.

As fácies diamictito (*Diamicton Facies*), primeiramente descritas por Gillieson (1986), são massas sedimentares caóticas com partículas de vários tamanhos, desde argila a pedregulhos. São interpretadas como fluxo de detritos de alta energia, capaz de mover e arrastar a massa de sedimentos como carga suspensa e depositá-la sem realizar qualquer tipo de seleção (Bosch e White, 2007). Geralmente são associadas a eventos de derretimento glacial ou inundações catastróficas (Herman *et al.*, 2012). Por fim,

as “fácies pantanosas” (*Backswamp Facies*) cujo nome faz referência ao comportamento hidráulico semelhante aos pântanos, constituem-se especialmente de resíduos do intemperismo de rochas do embasamento e infiltração do material de solos sobrejacentes com pouco ou inexistente transporte lateral (Bosch e White, 2007). São formadas por percolação lenta de água, na qual as velocidades não atingiram os valores necessários para o transporte de sedimentos clásticos (Herman *et al.*, 2012).

Outras associações de fácies são encontradas na literatura e utilizam de características próprias para distinção (por exemplo, Campaña *et al.*, 2017, Haddad-Martim *et al.*, 2017, Laureano, 1998; Martini, 2011). Ford e William (2007) se baseiam na localização dos sedimentos na entrada ou no interior da caverna, presença de fluxo d’água ativo ou inativo resultando em comportamento diferente dos sedimentos à medida que se distancia da entrada da caverna. No trabalho de Springer e Kite (1997) em *Cheat River Canyon* em *West Virgínia*, sedimentos de caverna são divididos em zonas vadosa, freática e residual. As duas primeiras zonas foram subdivididas em quatro fácies cada, sendo elas: zona vadosa representada pelas fácies diamictito, areia laminada, ritmito de silte e argila e margas argilo arenosa; zona freática correspondendo à fácies de gravidade, travertino, *overbank* e fluxo de caverna. Laureano e Karmann (2013) agruparam as fácies, tendo como principal parâmetro o controle do nível d’água sobre processos sedimentares, organizadas em: fácies na zona vadosa (com predomínio de processos gravitacionais, eólico, glaciais e movimento de massa), zona de oscilação do nível d’água (com transporte de sedimento em suspensão e cargas de fundo, contemplando as quatro fácies descrita por Bosch e White (2007), de canal, talvegue, águas paradas e “pantanosas”) e zona freática (sedimentos depositados em ambientes constantemente inundados).

2.3 ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS

Sedimentos clásticos em cavernas constituem bons alvos para estudos paleoambientais, no entanto, requerem uma abordagem *multiproxy* para evitar conclusões equivocadas, devido à sua dinâmica na qual longos períodos de sedimentação estão relacionados a múltiplos eventos de entrada de sedimentos e erosão (Haddad-Martim *et al.*, 2017). Osborne (1986) afirma que, para uma interpretação confiável dos depósitos de cavernas, é necessária uma compreensão de toda a história deposicional, além de uma descrição detalhada das pequenas alterações das fácies laterais, inconformidades e inversões estratigráficas.

A descrição e classificação apropriada dos sedimentos em cavernas é uma etapa crucial e fundamental para a reconstrução adequada da gênese e evolução dos depósitos, evitando suposições inadequadas (Farrand, 2001; Goldberg e Sherwood, 2006; Haddad-Martim *et al.*, 2017; White, 2007). Os resultados obtidos poderão fornecer informações sobre a história do transporte e ambiente de deposição (proporção entre tamanho e textura dos sedimentos), bem como refletir os processos pós deposicionais (mudança no tamanho do grão) (Hubbe *et al.*, 2011; Nichols, 2009).

As mudanças de fácies são resultadas de alterações climáticas e tectônicas em nível regional que influenciam na produção, transporte e deposição de sedimentos (Springer, 2005). O interesse em depósitos de cavernas como arquivos paleoclimáticos surge devido a métodos bem desenvolvidos e confiáveis para atribuir datas aos depósitos (White, 2007). A sequência estratigráfica dos depósitos sedimentares pode estabelecer uma correlação cronológica que geralmente é obtida utilizando métodos de datação como paleomagnetismo, isótopos radiométricos, cosmogênicos e demais técnicas relacionadas (Springer, 2005).

Para além de fornecer uma cronologia para sedimentos clásticos e sua fauna e flora, as datações em cavernas são importantes para inferir taxas de evolução da paisagem, a partir de sequências de passagens e depósitos sedimentares (Gillieson, 1996). Isso é possível devido à preservação das evidências de desenvolvimento da paisagem no passado que foram suprimidas das áreas emersas por processos superficiais. No entanto, os resultados obtidos devem ser usados de forma cautelosa, uma vez que a idade revelada se limita a depósitos mais jovens que a própria caverna (Stock *et al.*, 2005). Bosák (2002) também alerta para o fato do registro cárstico tornar-se irreconhecível com reativações de processos que misturam materiais de diferentes idades.

2.3.1 Métodos De Datação

Atualmente várias técnicas de datação são conhecidas, possuidoras de vantagens e limitações a depender da idade e material utilizado. Os principais métodos aplicados em caverna, de acordo com White (2007), são: Carbono 14 (^{14}C), paleomagnetismo, isótopos cosmogênicos e séries de urânio. Este último aplica-se a sedimentos químicos como espeleotemas, mas são comumente utilizados em conjunto com sedimentos clásticos, motivo este de sua abordagem neste trabalho. Bosák (2002), em uma revisão para aplicação de datações em ambientes cársticos, inclui outros métodos como termoluminescência (TL), luminescência opticamente estimulada (LOE), traço de fissão dentre outros.

Segundo Noller *et al.* (2000), os métodos de datações podem ser divididos entre sideral (determinam as datas do calendário ou contam os eventos anuais), químico e biológico (medem os resultados de processos químicos ou biológicos dependentes do tempo), correlação (que estabelecem equivalência de idade usando propriedades independentes do tempo), geomórfico (medem os resultados cumulativos de processos complexos, inter-relacionados, físicos, químicos e biológicos na paisagem), isotópico (medem as alterações na composição isotópica devido ao decaimento e/ou crescimento radioativo) e radiogênico (que medem os efeitos cumulativos do decaimento radioativo, como dano de cristal e elétron) - *Figura 2-5*.

		TÉCNICA	IDADE	MATERIAL ADEQUADO
TIPO DE MÉTODO	ISOTÓPICO	Radiocarbono (Carbono 14)	0.3-30 (55) mil anos	Matéria orgânica, turfa, húmus, ossos, tecidos, conchas de carbonato, corais, travertinos, espeleotemas, solos, águas subterrâneas, gelo
		Série de Urânio 238U/206Pb 235U/207Pb 232Th/208Pb	< 0.1 - > 100 Ma	Minerais U e Th em rochas ígneas e metamórficas (ex. Zircão e monazita), U em opala, calcita de paleocarste
		Isótopos Cosmogênicos 26Al/10Be	0,1 - 10 Ma	Gelo, sedimentos marinhos e lacustres, corais, matéria orgânica, nódulos de manganês
	RADIOGÊNICO	Termoluminescência (TL)	< 500 mil anos	Objetos arqueológicos, quartzo e feldspatos, ferramentas de pedra, conchas, dentes de ossos, amostras poliminerálicas de grãos finos, lava (plagioclásio), tectitos, vidro vulcânico, loess, travertino e espeleotemas, conchas de calcita fóssil
		Luminescência Opticamente Estimulada (OSL)	1-700 mil anos	Eólicos, fluviais, sedimentos glaciais, quartzo, zircão
		Ressonância de Spin Eletrônico (ESR)	25-50 ka to > 1 Ma (?100 Ma)	Fósseis, espeleotemas, travertino, caliche e veios preenchidos, sedimentos pelágicos, cerâmicas, quartzo, feldspatos, silicatos, vidro, apatita etc.,
CORRELAÇÃO	Paleomagnetismo	10 ⁵ -10 ⁶ mil anos	Sedimentos clásticos finos contidos em seqüências sedimentar contínua	
	Estratigrafia	-	Seqüências sedimentares	

Figura 2-5 - Quadro comparativo com principais tipos de datações em caverna. Adaptado de Bosák (2002) e Noller et al. (2000).

O método de datação por Carbono 14 é provavelmente o mais conhecido, tendo aplicações diversas (Nichols, 2009). O isótopo radioativo de carbono 14 é produzido durante o bombardeamento cósmico de ¹⁴N na atmosfera. Os organismos vivos incorporam continuamente ¹⁴C até sua morte, que em seguida passa a decair radioativamente a uma taxa de aproximadamente 5730±40 anos. Apesar de baixa, as taxas conseguem detectar com precisão materiais em até 50000 anos, podendo em alguns casos chegar a 70000 anos (Tarbuck *et al.*, 2005). São comumente utilizados para datação de matéria orgânica, fragmentos de carvão, guano (fezes de morcego), ossos, dentre outros

Datação das séries de urânio é o principal método usado em espeleotemas, com meias vidas longas na faixa de milhões de anos conseguindo marcar o fechamento do sistema geoquímico, anteriormente perturbado pelo fracionamento químico (Corrêa *et al.*, 2016). As idades dos espeleotemas são empregadas para datar episódios de sedimentação clástica e erosão nas fácies no interior da caverna, uma vez que marcam o momento de incorporação de urânio nos depósitos minerais autigênicos (Ford e Williams, 2007; Ku, 2000). A estimativa da medição é baseada no urânio (²³⁸U e ²³⁵U) e tório (²³²Th) e seus respectivos núclídeos filhos, cujos membros finais são chumbo estáveis (Bosák, 2002; Ku, 2000). O isótopo de urânio ²³⁸U cujo decaimento alcança o ²⁰⁶Pb, tem dois isótopos intermediários com longas meia vidas ²³⁴U (meia vida 248.000 anos) e ²³⁰Th (meia vida 75.200 anos). O cálculo da idade é realizado pela medida da relação ²³⁴U/ ²³⁸U e ²³⁰Th/ ²³⁴U, partindo da premissa que não existe concentrações de tório.

Núclídeos cosmogênicos possuem idades calculadas a partir do acúmulo de determinados núclídeos em materiais expostos a radiação cósmica (Zreda e Phillips, 2000). Os principais isótopos radioativos são o ¹⁴C, ³⁶Cl, ¹⁰Be e ²⁶Al, sendo estes dois últimos mais importantes no estudo cárstico pois são criados

na proporção fixa de 1:6 em quartzo, abundante em seixos e areais no interior de cavernas (Ford e Williams, 2007). As taxas de acumulação são proporcionais à intensidade dos raios cósmicos e as concentrações de núclídeos no material. Desse modo, as quantidades de isótopos cosmogênicos presentes podem relacionar-se ao período que o material foi exposto (Zreda e Phillips, 2000). Essa é uma das técnicas mais recentes e promissoras para sedimentos em caverna, abrangendo uma escala de tempo de aproximadamente 5 milhões de anos que compreende a maioria dos sistemas cársticos (White, 2007).

Analisando o método radiogênico, três principais técnicas podem ser destacadas: termoluminescência (TL), luminescência opticamente estimulada (LOE) e ressonância de spin eletrônico (ESR). Ambas partem do princípio de que materiais sedimentares expostos a uma radiação ionizante a partir do decaimento radiativo liberam elétrons que ficam presos nos defeitos (“armadilhas”) dos cristais (Ford e Williams, 2007; Forman *et al.*, 2000). O sedimento exposto à luz solar provoca a liberação de energia armazenada (“branqueamento”) e a acumulação de luminescência apenas inicia quando é enterrado (Nichols, 2009). Na TL as armadilhas contendo os elétrons são esvaziadas por aquecimento, para a LOE utiliza-se um feixe a laser e na ESR o número de defeitos é medido a partir do sinal paramagnético da amostra (Gillieson, 1996). Este método utiliza grãos de quartzo e feldspato para o cálculo de intervalo de tempo que varia entre 100 anos até 1 milhão de anos (Ma), a depender da saturação do material analisado (Aitken, 1998). As idades de luminescência fornecem para o sedimento uma medida do tempo desde o último evento de exposição ao sol ou aquecimento (Forman *et al.*, 2000).

O paleomagnetismo é um método de correlação baseado nas variações na declinação polar, intensidade e campo magnético da Terra (Bosák, 2002). Esse campo reverte, em intervalos regulares, o polo norte e polo sul magnético entre 10^5 - 10^6 anos e estabelece uma unidade de tempo principal, os *chrons* (Ford e Williams, 2007). Os materiais geológicos, como rochas e sedimentos, em condições apropriadas podem registrar e preservar a direção do campo magnético da Terra (Verosub, 2000). Sedimentos clásticos finos possuem pequenas quantidades de minerais magnéticos, e durante a deposição ou cristalização são orientados com o campo magnético da Terra, de acordo com o evento exposto (Bosák, 2002; White, 2007). Para determinar uma idade de unidade geológica, os registros devem ser correlacionados com um padrão geral conhecido ou um período aproximado sendo que reversões paleomagnéticas fornecem marcadores de tempo (Verosub, 2000; White, 2007). No entanto, a aplicação deste método geralmente necessita de uma sequência sedimentar contínua, muitas vezes interrompida em cavernas ou com alterações pós deposicionais (Ford e Williams, 2007). As melhores amostras são obtidas a partir da fácies de águas subterrâneas, onde os grãos de sedimentos assentam em águas calmas (White, 2007).

A estratigrafia fundamenta-se na lei de superposição, onde em condições tectônicas normais as camadas sobrejacentes são mais jovens que as subjacentes (Bosák, 2002). No entanto, em ambiente cársticos, os registros sedimentares podem ser danificados pelos processos sedimentares como

redeposição, queda, intrusão de fluxo, escavação, dentre outros (Bosák, 2002; Ford e Williams, 2007). Conforme define Nichols (2009), as técnicas litoestratigráficas informam a idade relativa das unidades mostrando quais são mais jovens ou mais antigas com base nas características litológicas, não fornecendo, portanto, uma estrutura temporal. Bosák (2002) acrescenta, ainda, a importância do uso de fósseis para uma correlação bioestratigráfica, que se baseia na subdivisão vertical do tempo geológico de acordo com a fauna e flora fósseis.

2.3.2 Outros Métodos

Outros métodos podem ser empregados para enriquecer os estudos paleoambientais em cavernas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que fornece informações sobre a composição ou a estrutura do sedimento (Dedavid *et al.*, 2007). Em ambientes cavernícolas tal método pode auxiliar a identificar a natureza do agente consolidante e feições autigênicas nos pacotes argilosos, como no trabalho de Laureano (1998). Para obter composições mineralógicas, a Difração de Raio X auxilia na identificação de minerais e argilo-minerais (Foos *et al.*, 2000; Martini, 2011). Já análises químicas como a Fluorescência de Raio X fornece avaliação quantitativa dos elementos na forma de óxidos e são usualmente empregadas nas pesquisas para caracterizar a proveniência dos sedimentos (ex: Darrénougué *et al.*, 2009; Frierdich e Catalano, 2012; Haddad-Martim *et al.*, 2017). Por fim, as análises físicas dos sedimentos como análise granulométrica e a micromorfologia do grão auxiliam na divisão de fácies e compreensão do ambiente de sedimentação (Haddad-Martim *et al.*, 2017; Hubbe *et al.*, 2011; Martini, 2011).

Fitólitos podem ser definidos como partículas ou depósito de sílica hidratada, formados durante o crescimento (polimerização) das plantas que são liberadas após sua morte (Luz *et al.*, 2015; Shillito, 2013). São bons indicadores ambientais e ótima ferramenta para compreender ambientes passados, variabilidade climática e atividades antrópicas (Madella *et al.*, 2013; Osterrieth *et al.*, 2009). O trabalho de Wang *et al.* (2003) exemplifica a utilização do método ao realizar uma correlação dos fitólitos com características climáticas na China. Para estabelecer essas associações são consideradas as vias fotossintéticas e padrões distribuição no território que são correlacionados ao clima.

O objeto de estudo da palinologia são os palinomofos (poléns e esporos de plantas) que, através da reconstrução da vegetação, auxiliam nos estudos paleoclimáticos (Suguio, 2010). São amplamente utilizados em ambientes cavernícolas, mas suas interpretações requerem prudência, como adverte Hunt e Fiacconi (2018) em uma revisão dos fatores que afetam a tafonomia do polén, interferindo na confiabilidade dos registros palinológicos dos sedimentos no interior de caverna.

Complementarmente, para se estudar a extensão vertical e a disposição geométrica dos sedimentos pode-se utilizar técnicas de geofísica rasa, das quais se destaca o uso do GPR (*Ground Penetration Radar*- Radar de penetração no solo). O método fornece visualização detalhada das fácies e preenchimentos de canais (Noller *et al.*, 2000). Em cavernas são aplicados no estudo da geometria e

volumetria de canais, direção dos fluxos, diferenças laterais de fácies, espessura das camadas, dentre outros como nos trabalhos recentes de Teja Čeru *et al.* (2018a) e T. Čeru *et al.* (2018b).

2.4 ESTUDOS BRASILEIROS E SUAS POTENCIALIDADES

A pesquisa na Plataforma Capes retornou diversos trabalhos nos quais os sedimentos foram empregados para marcar a contemporaneidade da deposição com aspectos arqueológico/paleontológico (Auler *et al.*, 2006; Faure *et al.*, 1999; Fontugne, 2013; Kinoshita *et al.*, 2014; Michab *et al.*, 1998; Oliveira *et al.*, 2014; Peyre *et al.*, 1998; Piló *et al.*, 2005; Roosevelt *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 2003). Para esses trabalhos são empregadas técnicas como datação de Carbono 14, luminescência opticamente estimulada e termoluminescência. A quantidade expressiva de trabalhos demonstra a ampla utilização dos sedimentos clásticos em cavernas mesmo que com outras finalidades.

O resultado para pesquisa em território brasileiro pode ser observado na *Figura 2-6*. Em um primeiro momento é notória a disparidade entre o número de cavernas já mapeadas e a quantidade de trabalhos que utilizam os sedimentos clásticos cavernícolas em uma perspectiva paleoambiental. Mesmo partindo da premissa que nem toda caverna possuirá depósitos sedimentares, esperava-se um quantitativo maior de estudos, conclusão sustentada, por exemplo, pelos estudos de Auler *et al.* (2009), que postula ser comum encontrar sedimentos antigos nas cavernas do leste brasileiro. Mesmo sendo poucos, os dados possuem alto valor científico devido às dificuldades impostas a esse tipo de estudo, frente a necessidade de obtenção de licenças perante órgãos competentes, materiais e profissionais adequados para o interior de caverna e instrumentos inerentes ao próprio ambiente cársticos.

Apesar desse cenário, o resultado também demonstra uma maior atenção aos sedimentos clásticos na última década comparada à inexistência de trabalhos anteriores. Isso pode ser atrelado à existência de novas abordagens metodológicas, como análises *multiproxy* que conferem maior possibilidade de correlação dos dados entre si e com outras pesquisas. A quantidade baixa de trabalhos permite a caracterização das pesquisas realizadas bem como abordar a metodologia e os resultados a fim de demonstrar as possibilidades de aplicação e estabelecer o contexto atual, realizada a seguir.

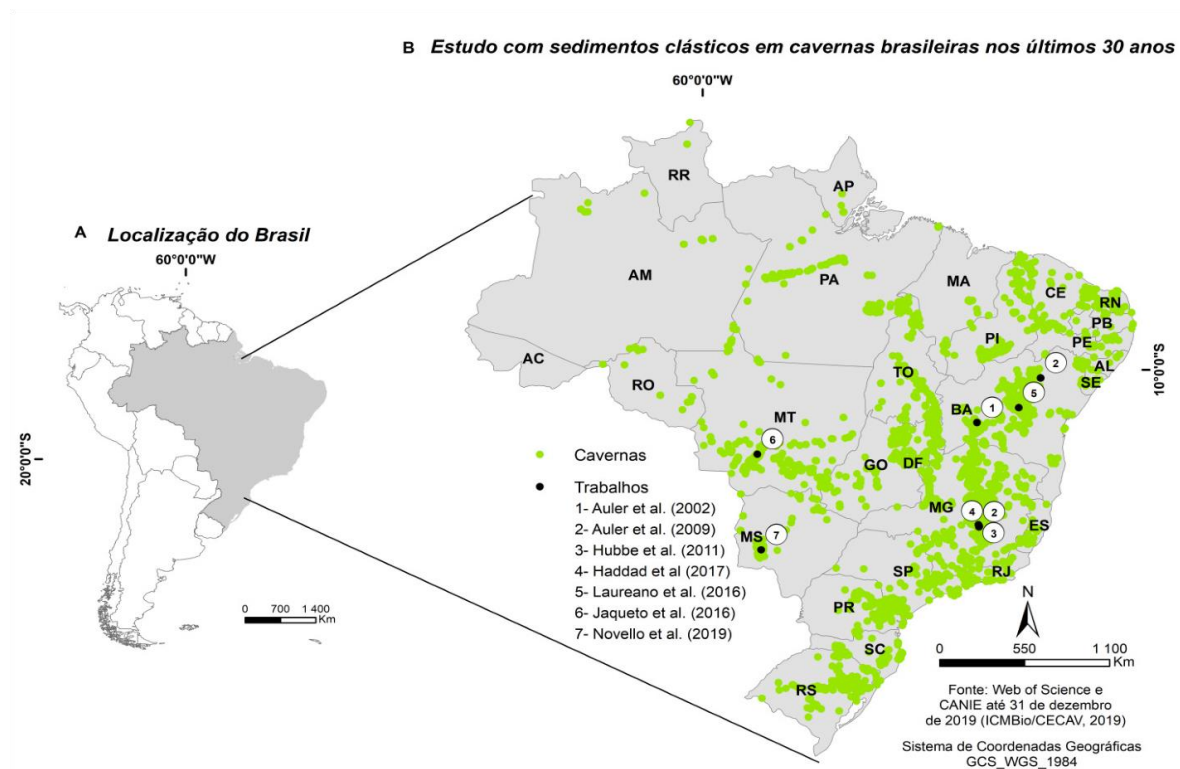


Figura 2-6 A - Localização do Brasil na América do Sul. B- Cavernas mapeadas no Brasil e localização dos trabalhos com sedimentos clásticos em cavernas com uma perspectiva paleoambiental.

O primeiro trabalho a se destacar realizou-se na Gruta do Padre/BA. Os sedimentos foram utilizados em análises paleomagnéticas, primeira aplicação no leste do Brasil, cujo objetivo era calcular a taxa de incisão fluvial no Cráton São Francisco (Auler *et al.*, 2002). Como advertem os autores, a avaliação quantitativa nessas áreas pode ser essencialmente problemática, uma vez que são tectonicamente estáveis com ausência de marcadores temporais. Os sedimentos depositados em passagens superiores antigas abandonadas podem registrar o rebaixamento do nível de base. Os resultados obtidos foram satisfatórios com idades variando entre 0,99 – 1,95Ma contemplando o *chrons* Brunhes ao Matuyama e seus respectivos *subchrons*. Os dados permitiram uma determinação das taxas de incisão fluvial de 25-34 m Ma⁻¹ para o Cráton São Francisco e estão de acordo com demais dados calculados por outros métodos. Esse trabalho demonstra como os sedimentos em caverna são fontes potenciais de estudo para evolução da paisagem, em áreas onde as características superficiais não são muito favoráveis.

Ainda em áreas cratônicas do leste brasileiro, no entanto em cavernas localizadas nas regiões semi-áridas de Campo Formoso e sub-úmida de Lagoa Santa/MG, Auler *et al.* (2009) realiza um estudo com finalidade de compreender a ligação entre os mecanismo de entrada de sedimentos, mudanças paleoambientais e a evolução da paisagem cárstica. Amostras sedimentares são coletadas de 15 cavernas e analisadas por fluorescência de raio X além da descrição sedimentar. A cronologia das camadas superiores e inferiores com precipitação química, quando possível, é obtida por meio do método de datação por série de urânio. A pesquisa oferece uma explicação detalhada sobre o carste nessas áreas

bem como sobre os processos de deposição e erosão sedimentar em cavernas. Além disso são comparados dados paleoclimáticos utilizando de espeleotemas e variação de $\delta^{18}\text{O}$. Ademais é discutida a natureza cíclica de mudanças climáticas que implicara na precipitação química e erosão ou entrada de sedimentos clásticos na caverna. Por fim, conclui-se que na área de Campo Formoso os períodos mais úmidos que os atuais são responsáveis pela precipitação de espeleotemas e o processo de aporte sedimentar ativo está condicionada ao clima semi-árido uma vez que a vegetação escassa permite a erosão de sedimentos e o preenchimento de cavernas. Já em Lagoa Santa o processo atual de transporte do sedimento para dentro das cavernas está atrelado a condições climáticas intermediárias ou em transição no qual a precipitação favorece o escoamento nas encostas e conseqüentemente a inserção do sedimento na caverna.

Embora o trabalho iniciado por Hubbe *et al.* (2011) na Caverna Cuvieri em Lagoa Santa/MG tenha objetivo inicial de contextualizar restos paleontológicos em depósitos fossilíferos apresenta uma ótima abordagem deposicional para os sedimentos clásticos. Chama atenção a identificação das fácies sedimentares que abarca os sedimentos de caverna, oriundos do epicarste e solos e sedimentos de dolina. De forma contínua Haddad-Martim *et al.* (2017) a partir das fácies anteriormente denominadas procura compreender a dinâmica da evolução destas com paisagens próximas. A abordagem *multiproxy* detalhada inclui descrição dos sedimentos, análises granulométricas, composição química, conteúdo paleontológico, ^{14}C (ossos e dentes) e datação de ^{230}Th . No total, 12 fácies (11 fácies de sedimentos clásticos e uma química) foram identificadas por uma combinação de cor da matriz, grau de cimentação e características sedimentológicas. Os resultados permitiram entender a complexa evolução da sedimentação ocorrida ao longo dos últimos 300 mil anos em que aberturas da caverna permitiram a entrada de animais e sedimentos.

Utilizando nuclídeos cosmogênicos que é uma abordagem inédita para a datação de sedimentos clásticos cavernícolas nos estudos brasileiros, a pesquisa na chapada Diamantina (Laureano *et al.*, 2016) realizou-se no sistema de cavernas Lapa Doce e Torrinha, tendo como objetivo fornecer informações geocronológica e caracterizar os registros sedimentares da região. Amostras foram coletadas em seis trincheiras e depois utilizadas técnicas de petrografia e granulometria dos sedimentos, descrição de fácies, datação de urânio (*flowstone*) e datação a partir de quartzo cosmogênico. Cabe ressaltar que um estudo de fácies foi anteriormente realizado e apresentou resultados interessantes como a associação dos sedimentos com a evolução do relevo externo no qual os eventos de sedimentação subterrânea foram associados ao entalhamento de uma superfície de erosão e ao sistema de evolução das cavernas (Laureano, 1998). As idades resultantes de nuclídeos cosmogênicos forneceram resultados animadores, na ordem de 2 milhões de anos. As datações das séries de urânio demonstraram um aumento do nível de base com sucessivos eventos de variação do lençol freático entre 115-12 mil anos atrás, indicando um clima úmido.

No estudo de Jaqueto *et al.* (2016), realizado no Centro Oeste brasileiro, os sedimentos clásticos cavernícolas foram utilizados em conjunto com solos externos para comparação com o sinal magnético de uma estalagmite da Caverna Pau d'Alho/MT (Figura 2-6). Os dados magnéticos obtidos são comparados aos isótopos de carbono e oxigênio em diferentes escalas de tempo sugerindo um controle climático para entrada de minerais magnéticos na caverna. Dessa forma conclui-se que a concentração de tais minerais está condicionada a erosão do solo e cobertura vegetal. Portanto, períodos de seca resultariam em solos menos estáveis e maior aporte mineralógico em contrapartida a períodos chuvosos que se associam a uma vegetação mais densa capaz de reter tais minerais e diminuir o fluxo detrítico para o interior da caverna. Desse modo o estudo estabelece um novo emprego dos sedimentos para apoiar e validar técnicas magnéticas ambientais com a finalidade de reconstrução paleoclimática.

Pesquisa mais recente, o trabalho desenvolvido na Caverna do Jaraguá/ MS utiliza-se de uma abordagem *multiproxies* a fim de realizar estudos paleoclimáticos e paleoambientais ocorridas entre o Último Máximo Glacial (UMG) e o Holoceno na América do Sul e Central (Novello *et al.*, 2019). A metodologia aplicada aos sedimentos clásticos consiste em uma combinação de GPR, fluorescência de raio X, isótopos de matéria orgânica e teor de carbono além de cronologia de matéria orgânica por meio de ^{14}C . Os dados do perfil sedimentar são analisados em conjuntos com informações de estalagmite bem como do solo adjacente. Como resultado obtém-se implicações para a mudança no ambiente na transição do UMG e do Holoceno fornecendo três possíveis causas: variabilidade hidrológica, mudanças de temperatura e mudanças de CO_2 atmosférico. Destaca-se o resultado concordante dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de estalagmite e do perfil sedimentar para um tipo de vegetação (dominada por C_4) do UMG ser diferente daquelas no Holoceno (dominada por C_3). O interessante da pesquisa consiste na correlação de dados usualmente obtidos em sedimentos químicos (estalagmite) e sua associação a sedimentos clásticos em um estudo que envolve também análise de paleovegetação.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sedimentos clásticos no interior de caverna são importante fonte de estudos paleoambientais que podem fornecer resultados da ordem das centenas até os milhões de anos. A condição presente nos ambientes cavernícolas permite a preservação das condições de deposição, diferente dos ambientes superficiais que estão sujeitos a ações intempéricas e erosivas de forma mais incisiva. A dinâmica sedimentar presente nas cavernas implica em uma análise mais criteriosa considerando diversos métodos analíticos. Conforme observado na revisão bibliográfica, existe uma variedade de métodos cronológicos e outros não cronológicos que utilizados de forma conjunta permitem obter bons resultados, como observado em trabalhos brasileiros.

Mesmo que o número de trabalhos seja pequeno frente ao potencial investigativo e a quantidade de cavernas mapeadas, as pesquisas realizadas demonstram um caráter promissor quanto aos estudos

paleoambientais e paleoclimáticos no Brasil. Para além de um marcador de contemporaneidade arqueológica ou paleontológica, os sedimentos clásticos fornecem várias oportunidades de aplicação constituindo ótima ferramenta de estudos. Diante do panorama de degradação ambiental crescente no território nacional ressalta-se a necessidade de mais estudos para compreensão dos ambientes cársticos, garantindo melhor gestão e proteção dessas áreas.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITKEN, M.J. (1998) *An Introduction to Optical Dating*. New York: Oxford University Press. 267p.

ANDERTON, R. (1985) *Clastic facies models and facies analysis*. Geological Society, London, Special Publications, v.18, p.31–47.

AULER, A.S.; SMART, P.; TARLING, D.H.; FARRANT, A.R. (2002) Fluvial incision rates derived from magnetotratigraphy.pdf. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v.46, p.391–40.

AULER, A.S.; PILÓ, L.B.; SMART, P.L.; WANG, X.; HOFFMANN, D.; RICHARDS, D.A.; EDWARDS, R.L.; NEVES, W.A.; CHENG, H. (2006) U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.240, p.508–522.

AULER, A.S.; SMART, P.L.; WANG, X.; PILÓ, L.B.; EDWARDS, R.L.; CHENG, H. (2009) Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology*, v.106, p.142–153.

BOSÁK, P. (2002) Karst processes from the beginning to the end: How can they be dated? *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, v.1, p.1–24.

BOSCH, R.F.; WHITE, W.B.(2007) Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. *Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate*, p.1–22.

BRIDGE, J.S.; DEMICO, R. V. (2008) *Earth surface processes, landforms and sediment deposits*. New York: United States of America by Cambridge University Press, p835.

CAMPAÑA, I.; BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; ORTEGA, A.I.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M.; CARBONELL, E. (2017) Pleistocene sedimentary facies of the Gran Dolina archaeo-paleoanthropological site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International*, v.433, p.68–84.

ČERU, T.; DOLENEC, M.; GOSAR, A. (2018a) Investigating karst cave sediments of unroofed caves with GPR, XRF and XRD. In: *17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR, GPR*, Rapperswil, Switzerland. Anais. Rapperswil, Switzerland. ISBN 978-1-5386-5777-5.

ČERU, T.; DOLENEC, M.; GOSAR, A. (2018b) Application of ground penetrating radar supported by mineralogical-geochemical methods for mapping unroofed cave sediments. *Remote Sensing*, v.10, p.1–25.

CHAZAN, M.; AVERY, D.M.; BAMFORD, M.K.; BERNA, F.; BRINK, J.;

FERNANDEZ-JALVO, Y.; GOLDBERG, P.; HOLT, S.; MATMON, A.; PORAT, N.; RON,

- H.; ROSSOUW, L.; SCOTT, L.; HORWITZ, L.K. (2012) The Oldowan horizon in Wonderwerk Cave (South Africa): Archaeological, geological, paleontological and paleoclimatic evidence. *Journal of Human Evolution*, v.63, p.859–866.
- CORRÊA, A.C.B.; TAVARES, B. DE A.C.; MONTEIRO, K. DE A.; FONSÊCA, D.N. (2016) The Application of Geochronometric Techniques in Geomorphology : a methodological updating. *Espaço Aberto*, v.6, p.45–74.
- DARRÉNOUGUÉ, N.; DECKKER, P. DE; FITZSIMMONS, K.E.; NORMAN, M.D.; REED, L.; KAARS, S. VAN DER; FALLON, S. (2009) A late Pleistocene record of aeolian sedimentation in Blanche Cave, Naracoorte, South Australia. *Quaternary Science Reviews*, v.28, p.2600–2615.
- DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, G. (2007) MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - Aplicações e preparação de amostras - Materiais Poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 60p.
- FARRAND, W.R. (2001) Sediments and Stratigraphy in Rockshelters and Caves: A Personal Perspective on Principles and Pragmatics. *Geoarchaeology - An International Journal*, v.16, p.537–557.
- FARRANT, A.R.; SMART, P.L. (2011) Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. *Geomorphology*, v.134, p.79–93.
- FAURE, M.; GUÉRIN, C.; PARENTI, F. (1999) Découverte d'une mégafaune holocène do Serrote do Artur (aire archéologique de Sao Raimundo Nonato, Piauí, Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, p.443–448.
- FEATHERS, J.; KIPNIS, R.; PILÓ, L.; ARROYO-KALIN, M.; COBLENTZ, D. (2010) How old is Luzia? luminescence dating and stratigraphic integrity at lapa Vermelha, Lagoa Santa, Brazil. *Geoarchaeology*, v.25, p.395–436.
- FONTUGNE, M. (2013) New Radiocarbon Ages of Luzia Woman, Lapa Vermelha IV Site, Lagoa Santa, Minas Gerais, Brazil. *Radiocarbon*, v.55, p.1187–1190.
- FOOS, A.M.; SASOWSKY, I.D.; LAROCK, E.J.; KAMBESIS, P.N. (2000) Detrital origin of a sedimentary fill, Lechuguilla Cave, Guadalupe Mountains, New Mexico. *Clays and Clay Minerals*, v.48, p.693–698.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley: Chichester p.562
- FORMAN, S.L.; PIERSON, J.; LEPPER, K. (2000) Luminescence Geochronology. In: *Quaternary Geochronology: Methods and Applications AGU*. 1.ed. American Geophysical Union, Washington, D: p.157–176.
- FRIEDRICH, A.J.; CATALANO, J.G. (2012) Distribution and speciation of trace elements in iron and manganese oxide cave deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.91, p.240–253.
- GEER, A.A.E. VAN DER; DERMITZAKIS, M.D. (2013) Caves And Fossils: Palaeontology In Greek Caves And Fissures. In: MAVRIDIS F., J.J.T. (Ed.). *Stable Places and Changing Perceptions: Cave Archaeology in Greece*. Oxford: Archaeopress, p.83–98.
- GHILARDI, A.M.; FERNANDES, M.A.; BICHUETTE, M.E. (2011) Megafauna from the Late Pleistocene-Holocene deposits of the Upper Ribeira karst area, southeast Brazil. *Quaternary International*, v.245, p.369–378, 2011.

- GHINASSI, M.; COLONESE, A.C.; GIUSEPPE, Z. DI; GOVONI, L.; VETRO, D. LO; MALAVASI, G.; MARTINI, F.; RICCIARDI, S.; BENEDETTO, S. (2008) The Late Pleistocene clastic deposits in the Romito Cave, southern Italy: a proxy record of environmental changes and human presence. *Journal of Quaternary Science*, v.24, p.383–398.
- GILLIESON, D. (1986) Cave sedimentation in the new Guinea highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.11, p.533–543.
- GILLIESON, D. (1996) *Caves: Processes, Development and Management*. 1o ed. Massachusetts: Blackwell, 324p..
- GOLDBERG, P.; SHERWOOD, S.C. (2006) Deciphering human prehistory through the geoarcheological study of cave sediments. *Evolutionary Anthropology*, v.15, p.20–36.
- HADDAD-MARTIM, P.M.; HUBBE, A.; GIANNINI, P.C.F.; AULER, A.S.; PILÓ, L.B.; HUBBE, M.; MAYER, E.; WANG, X.; CHENG, H.; EDWARDS, R.L.; NEVES, W.A. (2017) Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: The example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Catena*, v.157, p.372–387.
- HERMAN, E.K.; TORAN, L.; WHITE, W.B. (2012) Clastic sediment transport and storage in fluvial karst aquifers: An essential component of karst hydrogeology. *Carbonates and Evaporites*, v.27, p.211–241.
- HUBBE, A.; HADDAD-MARTIM, P.M.; HUBBE, M.; MAYER, E.L.; STRAUSS, A.; AULER, A.S.; PILÓ, L.B.; NEVES, W.A. (2011) Identification and importance of critical depositional gaps in pitfall cave environments: The fossiliferous deposit of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.312, p.66–78.
- HUNT, C.O.; FIACCONI, M. (2018) Pollen taphonomy of cave sediments: What does the pollen record in caves tell us about external environments and how do we assess its reliability? *Quaternary International*, v.485, p.68–75.
- ICMBIO/CECAV; (2019). Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas In : <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/potencialidade-deocorrencia-de-cavernas.html>>.
- JAQUETO, P.; TRINDADE, R.I.F.; HARTMANN, G.A.; NOVELLO, V.F.; CRUZ, F.W.; KARMANN, I.; STRAUSS, B.E.; FEINBERG, J.M. (2016) Linking speleothem and soil magnetism in the Pau d'Alho cave (central South America). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v.121, p.7024–7039.
- KARKANAS, P.; BAR-YOSEF, O.; GOLDBERG, P.; WEINER, S. (2000) Diagenesis in prehistoric caves: The use of minerals that form in situ to assess the completeness of the archaeological record. *Journal of Archaeological Science*, v.27, p.915–929.
- KINOSHITA, A.; SKINNER, A.R.; GUIDON, N.; IGNACIO, E.; FELICE, G.D.; BUCO, C. DE A.; TATUMI, S.; YEE, M.; FIGUEIREDO, A.M.G.; BAFFA O. (2014) Dating human occupation at Toca do Serrote das Moendas, São Raimundo Nonato, Piauí/Brazil by electron spin resonance and optically stimulated luminescence. *Journal of Human Evolution*, v.77, p.187–195.
- KU, T.-L. (2000) Uranium-series methods. In: *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*. 1.ed. Washington, DC: American Geophysical Union. p.101–114.
- LAUREANO, F. V.; KARMANN, I.; GRANGER, D.E.; AULER, A.S.; ALMEIDA, R.P.; CRUZ, F.W.; STRÍCKS, N.M.; NOVELLO, V.F. (2016) Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution.

Geomorphology, v.273, p.63–77.

LAUREANO, F.V. (1998) O registro sedimentar clástico associado aos sistemas de cavernas Lapa Doce e Torrinha, município de Iraquara, Chapada Diamantina (BA). 113p. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo.

LAUREANO, F.V. (2014) Idades de Soterramento 26al/10 Be em grão de quartzo e o assoreamento de sistema de Cavernas Na Região Iraquara (Ba): 2 Milhões de anos de registro sedimentar Quaternário. 86p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

LAUREANO, F.V.; KARMANN, I. (2013) Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e sua contribuição em estudos geomorfológicos: uma revisão. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.14, p.23–33.

LUZ, L.D.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E.E. DE. (2015) Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil. Terrae Didática, v.11, p.52–64.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C.; OSTERRIETH, M.(2013) Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary Research. Quaternary International, v.287, p.1–2.

MALLOL, C.; CABANES, D.; BAENA, J. (2010) Microstratigraphy and diagenesis at the upper Pleistocene site of Esquilleu Cave (Cantabria, Spain). Quaternary International, v.214, p.70–81.

MARTINI, I. (2011) Cave clastic sediments and implications for speleogenesis: New insights from the Mugnano Cave (Montagnola Senese, Northern Apennines, Italy). Geomorphology, v.134, p.452–460.

MARTINI, I.; RONCHITELLI, A.; ARRIGHI, S.; CAPECCHI, G.; RICCI, S.; SCARAMUCCI, S.; SPAGNOLO, V.; GAMBASSINI, P.; MORONI, A. (2018) Cave clastic sediments as a tool for refining the study of human occupation of prehistoric sites: insights from the cave site of La Cala (Cilento, southern Italy). Journal of Quaternary Science, v.33, p.586–596.

MICHAB, M.; FEATHERS, J.K.; JORON, J.L.; MERCIER, N.; SELO, M.; VALLADAS, H.; VALLADAS, G.; REYSS, J.L.; ROOSEVELT, A.C. (1998) Luminescence dates for the paleoindian site of Pedra Pintada, Brazil. Quaternary Science Reviews, v.17, p.1041–1046.

NEWITT, D.; RICHARDSON, J.; ABOUTT, M.; TURTLE, R.. (1955) Hydraulic conveying of solids in horizontal pipes. Transactions Institute of Chemical Engineers, v.33, p.93–110.

NICHOLS, G. (2009) Sedimentology and Stratigraph. 2o ed. Oxford: Blackwell, 432p.

NOLLER, J.S.; SOWERS, J.M.; COLMAN, S.M.; PIERCE, K.L. (2000) Introduction to Quaternary geochronology. In: Quaternary Geochronology: Methods and Applications. 1.ed. Washington, DC: American Geophysical Union, p.1–10.

NOVELLO, V.F.; CRUZ, F.W.; MCGLUE, M.M.; WONG, C.I.; WARD, B.M.; VUILLE, M.; SANTOS, R.A.; JAQUETO, P.; PESSENDA, L.C.R.; ATORRE, T.; RIBEIRO, L.M.A.L.; KARMANN, I.; BARRETO, E.S.; CHENG, H.; EDWARDS, R.L.; PAULA, M.S.; SCHOLZ, D. (2019) Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. Earth and Planetary Science Letters, v.524, p.1–11.

OLIVEIRA, P. V.; RIBEIRO, A.M.; OLIVEIRA, É. V.; VIANA, M.S.S. (2014) The dasypodidae (mammalia, xenarthra) from the urso fóssil cave (quaternary), parque nacional de

ubajara, state of ceará, Brazil: Paleoecological and taxonomic aspects. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, v.86, p.147–158.

OSBORNE, R.A.L.(1984) Lateral facies changes, unconformities and stratigraphic reversals: their significance for cave sediment stratigraphy. *Cave Science*, v.11, p.175–184.

OSBORNE, R.A.L. (1986) Sedimentation in caves- a review. *Publications of the Geological Society of Australia*, v.2, p.189–217.

OSBORNE, R.A.L.(2001) Petrography of Lithified Cave Sediments. In: 13TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY; 4TH SPELEOLOGICAL CONGRESS OF LATIN AMÉRICA AND CARIBBEAN; 26TH BRAZILIAN CONGRESS OF SPELEOLOGY 2001, Brasilia. *Anais. Brasilia*.

OSTERRIETH, M.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; FERNANDA ALVAREZ, M. (2009) Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. *Quaternary International*, v.193, p.70–79.

PEYRE, E.; GUÉRIN, C.; GUIDON, N.; COPPENS, Y. (1998) Des restes humains pléistocènes dans la grotte du Garrincho, Piauí, Brésil. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes*, v.327, p.335–360.

PILÓ, L.B.; AULER, A.S.; NEVES, W.A.; WANG, X.; CHENG, H.; EDWARDS, R.L.(2005) Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic Late Pleistocene/Early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. *Ge archaeology*, v.20, p.751–764.

ROOSEVELT, A.C.; COSTA, M.L.; MACHADO, C.L.; MICHAB, M.; MERCIER, N.; VALLADAS, H.; FEATHERS, J.; BARNETT, W.; SILVEIRA, M.I.; HENDERSON, A.; SLIVA, J.; CHERNOFF, B.; REESE, D.S.; HOLMAN, J.A.; TOTH, N.; SCHICK, K.(1996) Paleoindian Cave Dwellers in the Amazon : The Peopling of the Americas. *Science*, v.272, p.373–384 .

SANTOS, G.M.; BIRD, M.I.; PARENTI, F.; FIFIELD, L.K.; GUIDON, N.; HAUSLADEN, P.A. (2003) A revised chronology of the lowest occupation layer of Pedra Furada Rock Shelter, Piauí, Brazil: The Pleistocene peopling of the Americas. *Quaternary Science Reviews*, v.22, p.2303–2310.

SASOWSKY, I.D. (2007) Clastic sediments in caves - Imperfect recorders of processes in karst. *Acta Carsologica*, v.36, p.143–149.

SHILLITO, L.M. (2013) Grains of truth or transparent blindfolds? A review of current debates in archaeological phytolith analysis. *Vegetation History and Archaeobotany*, v.22, p.71–82.

SPRINGER, G.S. (2005) Clastic Sediments in Caves. In: CULVER, DAVID C; WHITE, W.B. (Ed.). *Encyclopedia of Caves*. 1° ed. San Diego: Elsevier Academic Press . p.102–108.

SPRINGER, G.S.; KITE, J.S. (1997) River-derived slackwater sediments in caves along Cheat River, West Virginia. *Geomorphology*, v.18, p.91–100, 1997.

STOCK, G.M.; GRANGER, D.E.; SASOWSKY, I.D.; ANDERSON, R.S.; FINKEL, R.C. (2005) Comparison of U-Th, paleomagnetism, and cosmogenic burial methods for dating caves: Implications for landscape evolution studies. *Earth and Planetary Science Letters*, v.236, p.388–403.

SUGUIO, K. (2010) *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais*. São Paulo: Oficina de Texto, 408p.

TARBUCK, E.J.; LUTGENS, F.K.; TASA, D.; AMR TRADUCCIONES CIENTÍFICAS; J, T.E.; LUTGENS, F.K. (2005) Ciencias de la tierra una introducción a la geología física. 8^o ed. Madrid: Pearson Educación, 736p.

VEROSUB, K.L. (2000) Paleomagnetic Dating. In: Introduction to Quaternary Geochronology. 1o ed. Washington, DC: American Geophysical Union p.339–356.

WANG, W.; JINLING, L.; XIADON, Z. (2003) Climate indexes of phytoliths from Homo erectus? cave deposits in Nanjing. Chinese Science Bulletin, v.48, p.2005–2006.

WHITE, W.B. (2007) Cave sediments and paleoclimate. Journal of Cave and Karst Studies, v.69, p.76–93.

ZREDA, M.G.; PHILLIPS, F.M. (2000) Cosmogenic Nuclide Buildup in Surface Materials. In: Introduction to Quaternary Geochronology. 1.ed. Washington, DC: American Geophysical Union, p.61–76.

3 RESULTADO/DISCUSSÃO

REGISTRO PALEOAMBIENTAL A PARTIR DE SEDIMENTOS CLÁSTICOS EM CAVERNAS NO BRASIL CENTRAL: GRUNA TARIMBA/GO

Dandara Maria Vitalina Da Silva Caldeira, Rogério Uagoda, Adivane Moraes Nogueira, Jeremie Garnier, André de Oliveira Sawakuchi

Resumo: Este trabalho fornece uma análise dos sedimentos clásticos na Gruna Tarimba apresentando importantes dados para o contexto sedimentar na região central do Brasil. Os três perfis sedimentares estudados abrigam extensas deposições que refletem um intenso aporte sedimentar ocorrido desde o Pleistoceno Médio até o Pleistoceno Superior. Foram utilizadas técnicas para caracterização sedimentológica (granulometria e índice de circularidade), composição mineralógica (Difração de Raio-X), impressão química (ICP-OES) e cronologia (Luminescência Opticamente Estimulada e Carbono 14). Oito fácies sedimentares foram identificadas sendo uma de origem autóctone (Guano) e sete de origem alóctone que correspondem ao fluxo de detritos (Diamictito) e fluvial (Canal, Decantação e Inundação) abrigando uma diversidade no tamanho dos sedimentos, desde argilas até cascalhos. Os resultados obtidos indicam várias fases de sedimentação ocorridos nos últimos 200 mil anos demonstrando o caráter dinâmico dos eventos associado a possíveis mudanças na paisagem circundante com diversas fontes de proveniências para os sedimentos depositados.

Palavras-chave: Caverna, Paleoambiente, Sedimentação

Abstract: This work provides an analysis of the clastic sediments in Gruna Tarimba presenting important data for the sedimentary context in central Brazil. The three sedimentary profiles studied have extensive depositions that reflect an intense sedimentary contribution that occurred from the Middle Pleistocene to the Upper Pleistocene. Techniques were used for sedimentological characterization (granulometry and circularity index), mineralogical composition (X-Ray Diffraction), chemical printing (ICP-OES), and chronology (Optically Stimulated Luminescence and Carbon 14). Eight sedimentary facies were identified, one of autochthonous origin (Guano) and seven of allochthonous origin that corresponds to the flow of detritus (Diamictito) and fluvial (Channel, Decantation, and Flood) comprising a diversity of material, from cuttings to clays. The results obtained indicate several phases of sedimentation that occurred in the last 200 thousand years, demonstrating the dynamic character of the events resulting from possible changes in the surrounding landscape and suggesting several sources of provenance for the deposited sediments.

Keywords: Cave, Paleoenvironment, Sedimentation

3.1 INTRODUÇÃO

Cavernas são sistemas ambientais frágeis que contém ótimos registros paleoambientais. Os sedimentos clásticos presentes no ambiente cavernícola, diferente dos expostos em superfície, são protegidos do sistema dinâmico da evolução da paisagem que a produz, fornecendo registros de até milhares de anos (BALLESTEROS et al., 2019; GILLIESON, 1996; MCADAMS et al., 2019). Com um processo de sedimentação análogo ao superficial, a deposição é dinâmica e complexa o que muitas vezes dificulta a interpretação, em razão da sua natureza peculiar (GILLIESON, 1996; WHITE, 2007). Os dados provenientes destes ambientes devem ser sustentados por diferentes metodologias a fim de encobrir prováveis lacunas existentes. Além disso, ao tentar compreender estes sistemas precisa-se de um conhecimento amplo e diverso embasado em estudos geomorfológicos, sedimentológicos, paleoecológicos e geocronológicos detalhados dos registros externos (WOODWARD; GOLDBERG, 2001).

Em uma definição usual, os sedimentos clásticos são aqueles formados a partir da fragmentação de rochas decorrentes de processos de intemperismo físico e químicos que sofrem transformações em razão da seleção durante o transporte e alteração química (GILLIESON, 1996). Geralmente os sedimentos clásticos de origem externa derivam das rochas adjacentes e seu mecanismo de entrada depende de fatores externos como o clima, geomorfologia e tectônica, representando dessa forma o cenário do ambiente circundante (FARRANT; SMART, 2011; PLOTNICK; KENIG; SCOTT, 2015). Assim, os materiais depositados e os padrões de deposição refletem a escala dos processos terrestres provocadas por forças motrizes regionais transmitidas pelo clima e pela tectônica (ARRIOLABENGOA et al., 2015; SPRINGER, 2005).

Como advertem alguns autores, o estudo dos sedimentos clásticos em cavernas é desafiador uma vez que mesmo com processos de deposição similares aos superficiais a dinâmica na caverna pode acarretar configurações complexas de sedimentação (FORD; WILLIAMS, 2007; GILLIESON, 1996; OSBORNE, 1986). A lei de deposição sedimentar, por exemplo, comumente é violada de forma a existir a possibilidade de encontrar sedimentos mais antigos sobrepostos aos mais jovens (SPRINGER, 2005). Ademais a deposição não ocorre de forma homogênea nos condutos gerando lacunas temporais e descontinuidade nos registros, reforçando a necessidade de reunir os pequenos registros para obter um cenário mais abrangente sujeito a constantes refinamentos a partir da evolução das técnicas de análises (GILLIESON, 1996; PLOTNICK; KENIG; SCOTT, 2015). Desse modo, estabelecer correlações cronológicas precisas é fundamental para desvendar as conexões entre eventos subterrâneos e superficiais (OSBORNE, 2005; WHITE, 2007).

Nesse contexto, o Brasil destaca-se por apresentar uma quantidade expressiva de cavernas com mais de 20 mil cavidades mapeadas vinculadas a um crescente potencial para aumento (ICMBIO/CECAV,

2020). Tema crescente nas últimas décadas, os sedimentos clásticos têm se consolidado como objeto de estudo em uma perspectiva paleoambiental visto que já existe uma extensa demanda para análises paleontológicas e ou arqueológicas (AULER et al., 2006; FAURE; GUÉRIN; PARENTI, 1999; FONTUGNE, 2013; KINOSHITA et al., 2014; MICHAB et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2014; PEYRE et al., 1998; PILÓ et al., 2005; ROOSEVELT et al., 1996; SANTOS et al., 2003). Dentre os trabalhos brasileiros (AULER et al., 2009, 2002; HADDAD-MARTIM et al., 2017; HUBBE et al., 2011a; JAQUETO et al., 2016; LAUREANO et al., 2016; NOVELLO et al., 2019) poucos foram realizados na região central do país e até o momento não há nenhum na borda oeste do Cráton São Francisco (CALDEIRA; UAGODA; NOGUEIRA, 2019).

O estado de Goiás o 5º maior em quantidade de cavernas mapeadas do Brasil, abrigando um cenário promissor para estudo com aproximadamente 1001 cavidades, dentre elas a Gruna Tarimba. Localizada na Área de Proteção Ambiental Nascente do Rio Vermelho (APARNRV), na região central do Brasil (Figura 3-1), a Tarimba é a sexta maior caverna em projeção horizontal do território nacional com cerca de 14 km mapeados, ainda pouco estudados. Detentora de uma fauna endêmica atualmente é ameaçada por atividades antrópicas com potencial de impacto ambiental, como captação de água para abastecimento público no interior das cavernas, mineração em áreas cársticas, severa degradação dos solos, sedimentos nas áreas de recarga e acelerada colmatação de dutos (ICMBIO/CECAV, 2017).

Este trabalho tem como objetivo estabelecer a dinâmica deposicional dos sedimentos clásticos no interior da Gruna Tarimba associando a dinâmica da evolução da paisagem superficial circundante. Para além, busca fornecer os primeiros dados geoquímicos e geocronológicos a partir de sedimentos clásticos na região que poderão servir de base para futuras pesquisas a serem desenvolvidas na área.

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO/GEOMORFOLÓGICO

A área de estudo está localizada borda oeste do Cráton São Francisco e corresponde aos sedimentos da Bacia São Francisco. O embasamento é composto por uma sucessão de rochas carbonáticas e siliciclásticas do Grupo Bambuí de idade Neoproterozóica, que abriga uma das principais províncias cársticas do Brasil, sendo recoberto por sedimentos da Bacia Sanfranciscana representada pelas Coberturas Fanerozóicas (Grupo Areado, Grupo Urucuia e Formação Chapadão), (CAMPOS; DARDENNE, 1997), Figura 3-1.

O Grupo Bambuí com extensa ocorrência na área, está associado a deposição dos sedimentos sobre uma plataforma epicontinental estável a partir de megaciclos transgressivos-regressivos em bacia com um gradiente muito fraco de fundo e águas rasas (ARAUJO; MORETON, 2008; DARDENNE, 1981; DARDENNE; MAGALHAES; SOARES, 1978). Na área, a espessura total da estratigrafia completa é 1700 metros (CRUZ, 2012) abrigando seis formações litoestratigráficas, proposto por Dardenne et al.

(1978), descritas da base para o topo como: Jequitai, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. Localmente destaca-se a Formação Lagoa do Jacaré caracterizada por alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, cinza escuro, fétidos, cristalinos, lenticulares com siltitos e margas. Constitui a litologia predominante da região e onde se desenvolvem as cavernas da área incluindo a Gruna Tarimba.

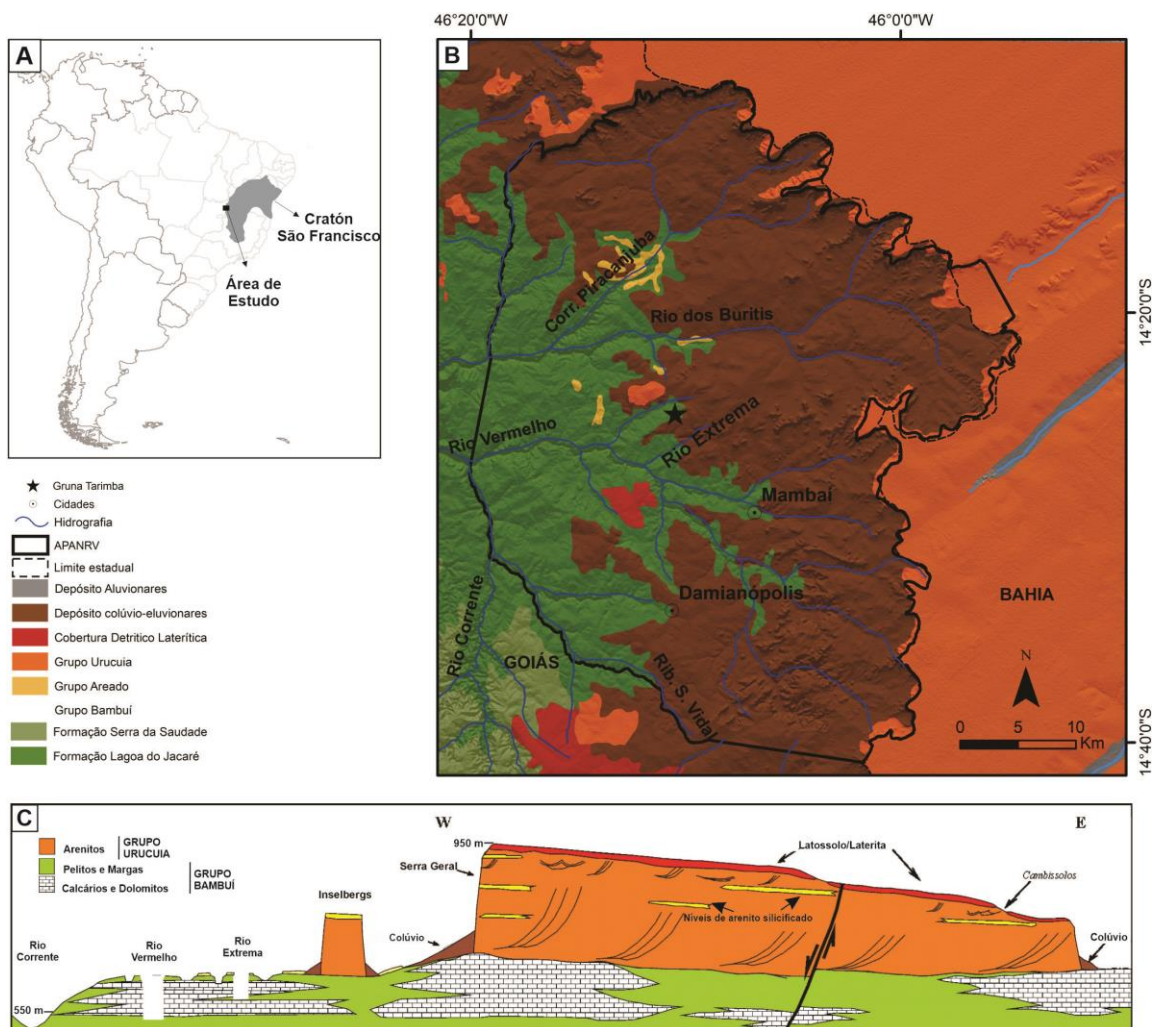


Figura 3-1 Localização da área de estudo no Cratón São Francisco. B- Mapa geológico. Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Sistema de coordenada, UTM. Zona, 23S. SIRGAS 2000. C - Contexto geomorfológico (GASPAR; CAMPOS, 2007) adaptado por UAGODA et al. (2019) demonstrando como o processo de regressão da serra Geral disponibiliza sedimentos depositados na forma de colúvios e como o rio Corrente estabelece o nível base locais (Vermelho e Extrema) controlando os níveis de deposição no interior das cavernas

O Grupo Areado com ocorrência limitada à porção norte corresponde a sedimentos do Eocretáceo marcado por variações laterais em razão aos diversos ambientes deposicionais (CAMPOS; DARDENNE, 1997). Subdivide-se, do topo para base, nas formações: Abaeté, de origem fluvial, representada pelos conglomerados e arenitos depositados em leques aluviais e canais fluviais entrelaçados (ARAUJO; MORETON, 2008); Quiricó, de origem lacustre, composta por sedimentos pelíticos com folhelhos e siltitos de várias cores na base com intercalação de arenitos da porção mediana para o topo; e Três Barras, representando a atuação simultânea de sistemas fluviais, fluvio – deltáicos e

desérticos composta por arenitos médios, brancos, esverdeados ou rosados. Na região foram encontrados conglomerados e arenitos fluviais, maciços, por vezes estratificados com espessura de até 5m preservadas em paleodepressões do embasamento (SIQUEIRA, 2017).

O Grupo Urucuia de idade cretácea constitui-se basicamente por arenitos em um sistema de deposição eólico fluvial e ocorre na porção leste da área, prioritariamente no estado da Bahia e em alguns morros testemunhos reliquiais (*inselbergs*). Caracteriza-se por arenitos quartzosos, avermelhados e brancos, de granulação fina a média, com grãos arredondados, bem selecionados e com rara ocorrência de matriz argilosa (IGLESIAS; UHLEIN, 2009). São identificadas duas formações (CAMPOS; DARDENNE, 1997): Posse, unidade basal, caracteriza-se por um arranjo de fácies que permite associar a um sistema eólico de campos de dunas e um fluvial entrelaçado psamítico; e, Serra das Araras composta por arenitos, argilitos, e conglomerados que representam a sedimentação fluvial desenvolvida em planícies, apresentando grande variação do regime e carga de fluxo. Localmente os arenitos rosados a avermelhados, finos a médio, desenvolvem na forma de morros testemunhos isolados (CRUZ, 2012).

A Formação Chapadão, que ocorre de forma expressiva na região, corresponde as coberturas cenozóicas, detríticas lateríticas, predominantemente arenosas inconsolidadas, resultantes de intensos processos erosivos que recobrem todos os demais grupos (CAMPOS; DARDENNE, 1997; IGLESIAS; UHLEIN, 2009). São definidas como: aluvionares, resultante do retrabalhamento fluvial recente de diferentes materiais detríticos inconsolidados correspondendo na região por areias brancas, amareladas, com grãos angulosos a arredondados, leitos conglomeráticos, argilas e raras concreções calcárias; coluvionares, oriunda da regressão do relevo constituídas por areias vermelhas ou esbranquiçada com uma fração argilosa de até 30%, representada por caolinitas expansíveis; e eluvionares, correspondentes às areias inconsolidadas desenvolvidas a partir dos arenitos das diferentes unidades fanerozóicas distribuídas nas chapadas. Os depósitos gerados a partir da decomposição dos calcários e pelitos do Grupo Bambuí constituem-se principalmente por argilas avermelhadas geralmente associadas a áreas de intensa carstificação (IGLESIAS; UHLEIN, 2009).

A configuração geomorfológica se caracteriza por uma paisagem de cuesta denominada Serra Geral de Goiás, gerada principalmente pela erosão regressiva (CHEREM; VARAJÃO, 2014), Figura 3-1. Sobressaindo na paisagem com um relevo tabuliforme, a serra possui direção norte-sul com cerca de 400 km de extensão e constitui um divisor águas de duas importantes bacias hidrográficas brasileiras, São Francisco (leste) e Tocantins-Araguaia (oeste). Nesse cenário a porção superior (Chapadão Central) remanescente da superfície Sulamericana perfaz os arenitos do Grupo Urucuia, a porção inferior (Vão do Paranã) corresponde a resquício da superfície Velhas instalada sobre rochas do Grupo Bambuí e nas porções intermediárias são observados depósitos colúvio-eluvionares gerados pelo desmonte dos arenitos (CHEREM; VARAJÃO, 2014). Na área ainda são observados morros testemunhos que se destacam em meio a paisagem (Figura 3-2).

Os processos erosivos originários do recuo do Chapadão Central retiram os sedimentos e os depositam em encostas/vertentes que posteriormente são transportados para o sistema cárstico subterrâneo localizados em áreas topograficamente mais baixas. Tal dinâmica favorece um sistema cárstico entulhado de sedimentos clásticos no qual dois tipos de cavernas se destacam : aquelas próximas a zona de transição entre terrenos cársticos e talus (depósitos aluvio-coluvionares oriundos do Grupo Urucuia) com ocorrência de cavernas vadasas e meândricas preenchidas com sedimentos e sinais de paragênese; e aquelas cavernas próximas aos *canyons* que são freáticas quase sem sedimentos (HUSSAIN; UAGODA, No Prelo).

A evolução do carste correlaciona-se com a dinâmica dos rios locais como Vermelho, Buritis, Piracanjuba e Prata que desenvolvem através do alargamento de fraturas e falhas pelo processo de dissolução formando *canyons*, pontes cársticas , sumidouros e ressurgências ravinadas com formas de topo aguçados, densidade de drenagem forte e declividades de 20 a 45% (IBGE, 1995). O sistema de recarga advém do aquífero Urucuia que tem alimenta os rios das regiões carbonáticas, localmente representada pelo Rio Vermelho e Buritis. Na superfície são encontradas feições típicas do carste como dolinas colmatadas, de sufusão e colapso (FERREIRA; UAGODA, 2019) além vales secos, vale abandonados , sumidouros, ressurgências e lapiás onde rochas carbonáticas são expostas (MOTTA, 2003).

O clima é tropical com característica sazonal, apresentando um período seco (abril a setembro) e outro chuvoso (outubro a março) com índice pluviométrico de aproximadamente 1260mm/ano. A temperatura média anual é de 24°C e a vegetação é típica de cerrado. Na região, trabalho recente) (NUNES; UAGODA, No Prelo) pontua que os principais tipos de solos correspondem ao Neossolos Quartzarênicos (43,1%) associado a planícies, constituídos basicamente por areia (>90%) com uma composição mineralógica contendo quartzo e caulinita; Chernossolos (19,3%) em posição de meia encosta característicos das áreas carbonatadas apresentam textura argilosa dura que quando seca forma bloco-subagunlares; e Latossolos (13,3%) presente nas chapadas, dispõem de textura franco argilo-arenosa cuja identificação deu-se por meio de argilas de baixa atividade (principalmente caulinita) e presença de óxidos (hematita e goetita). Esses tipos de solos apontam para processos intempéricos em condições úmidas e quentes no qual a erosão atuante é responsável por sua remoção dos sedimentos

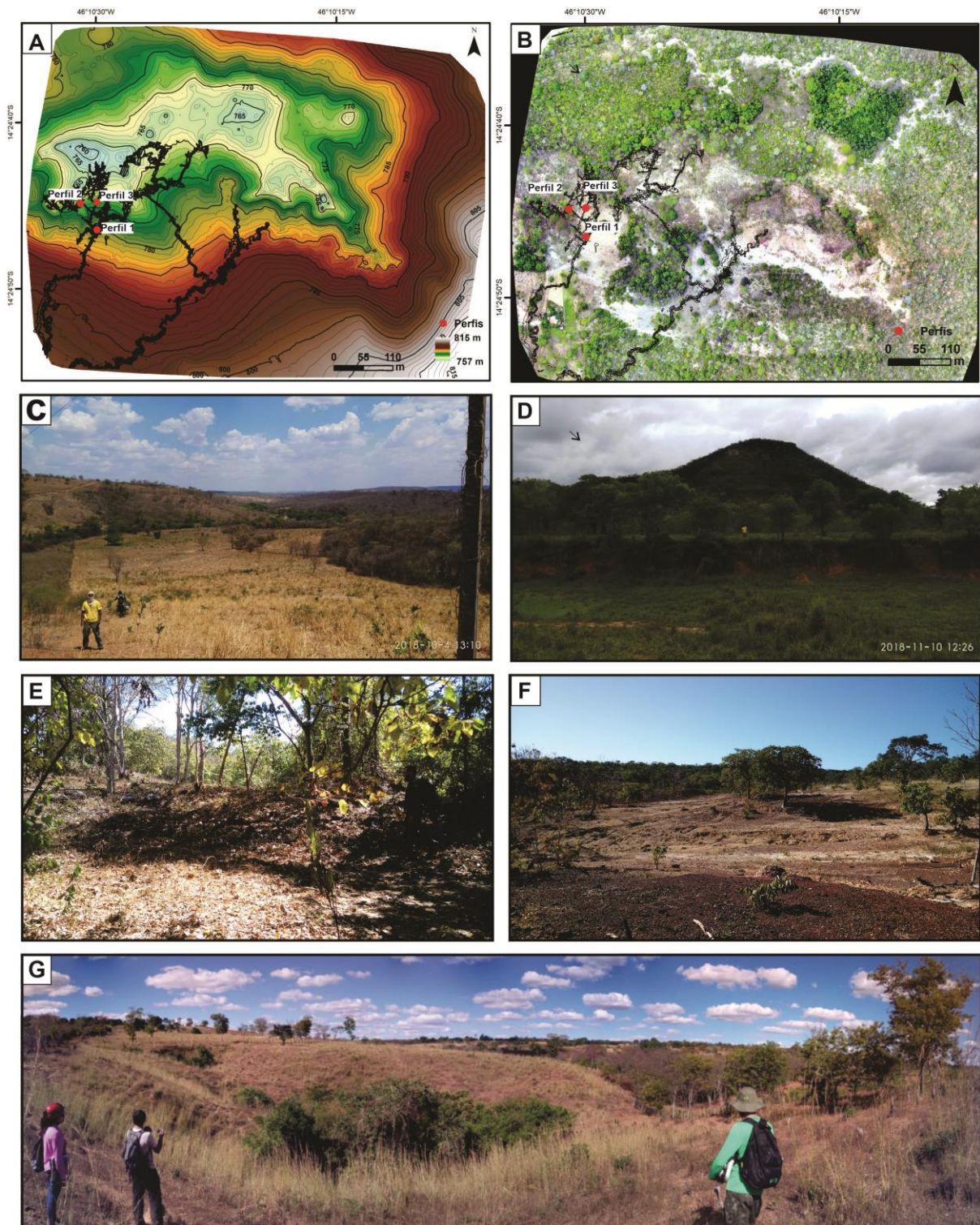


Figura 3-2 Caracterização do carste local no entorno da Gruna Tarimba. A – Mapa hipsométrico. B – Imagem de alta resolução contendo os depósitos sedimentares no qual as tonalidades esbranquiçadas representam os sedimentos inconsolidados do Grupo Urucuaia no topo das encostas. C – Paisagem local com morros testemunhos no fundo. D – Morro testemunho (inselberg). E – Entrada principal da Gruna Tarimbal. F – Solos com avançado processo de degradação nas adjacências da caverna. G – Dolina de colapso em uma das entradas. Fotos: Dandara Caldeira, Renan Smith Penido Louzada e José Gustavo da Silva Nunes

3.3 GRUNA TARIMBA

A Gruna Tarimba é uma importante caverna no cenário nacional em virtude da sua extensão e também pela ocorrência espécies endêmicas como o peixe *Ituglanis Boticário* (RIZZATO; BICHUETTE, 2014) Figura 3-3. Classificada como uma caverna vadosa, dendrítica com tendência a retilinearidade dos condutos e padrões anastomosados nas entradas, atribuídos a existência de vários coletores e concentração sedimentares que causam o entulhamento das passagens (MOTTA, 2003). Apresenta desenvolvimento diversificado exibindo trechos com vários desníveis nos quais a amplitude vertical média é de 17 metros na parte mais alta e diminui drasticamente para 2 metros em alguns trechos abrigoando inúmeras galerias fósseis (MOTTA, 2003). Atualmente não recebe visitaçao devido aos dutos estreitos e profundos que inviabilizam o turismo principalmente em períodos chuvosos.

Desenvolve-se no limite entre o Grupo Bambuí e depósitos aluvio coluvionares (Formação Chapadão) caracterizado por um modelo de carste encoberto (Figura 3-1). Situa-se em uma depressão periférica de uma cuesta em regime de regressão das vertentes, resultando na exposição de calcários em superfícies que muitas vezes estão cobertas por um solo provavelmente oriundo da decomposição do arenito (HUSSAIN; UAGODA, No Prelo; SBE et al., 2014). A entrada principal (14°24'42.84"S e 46°10'29.63"O) localiza-se em uma grande dolina indicando captura de drenagem para o interior da caverna que por vezes sofrem com atividades antrópicas representadas tipicamente pelas práticas agropecuárias tendo como resultados solos com sinais de processos erosivos intensos (Figura 3-2). Localmente são observados sedimentos inconsolidados do Grupo Urucuaia no topo da encosta, neossolo litólico na média encosta e chernossolos e calcário da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí na porções mais baixas (HUSSAIN et al., 2020), Figura 3-2. Os diferentes tipos de solo e rocha e suas características como porosidade e permeabilidade estão conectados aos padrões de escoamento superficial e recarga do aquífero (HUSSAIN et al., 2020) sendo condicionantes para a retirada e transporte dos sedimentos para o interior da caverna.

A deposição dos sedimentos em níveis superiores foi controlada pela mudança do gradiente hidráulico do Rio Vermelho, possível bacia de drenagem, que conseqüentemente refletiu no seu tributário, Rio Extrema que corresponde ao nível de base local (Figura 3-1). Nas áreas profundas observa-se um fluxo d'água perene de baixa vazão que durante os períodos chuvosos recebe grande volume d'água. As interconexões subterrâneas, ainda desconhecidas, estão em fase de mapeamento, mas sabe-se de uma aparente conexão entre a Gruna da Tarimba e o sumidouro no Rio Extrema.

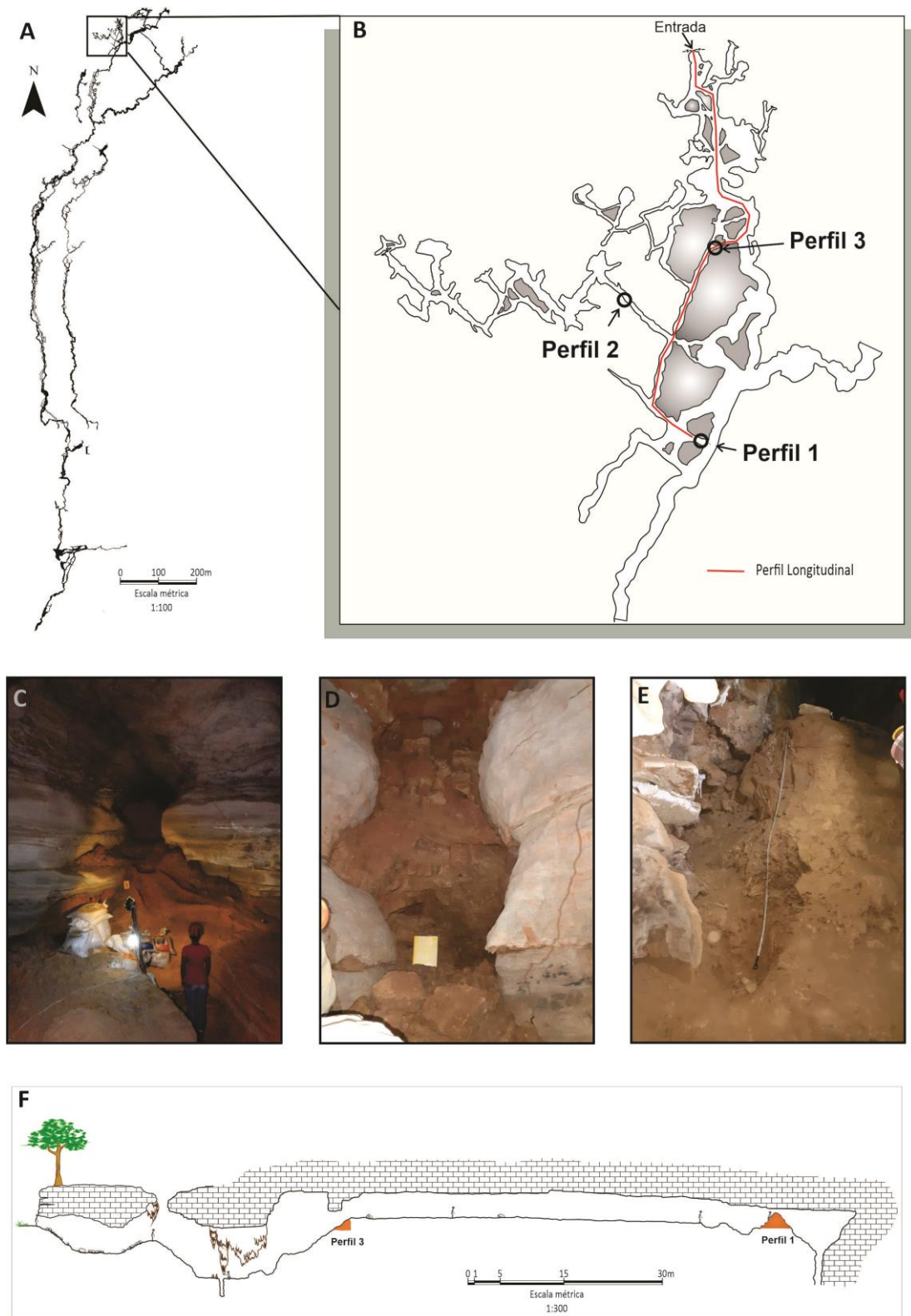


Figura 3-3 A - Mapa da Gruna Tarimba. B - Localização dos depósitos sedimentares estudados: C - Perfil 1, D - Perfil 2 e E - Perfil 3. F- Perfil longitudinal da entrada até o Perfil 1.

Observa-se grande riqueza, em quantidade e variedade de espeleotemas com salões bem ornamentados. Dentro da caverna caminha-se por um piso horizontalizado composto por sedimentos compactado com

continuidade lateral confirmada através dos perfis estudados neste artigo. O teto da caverna é retilíneo com evidência de deposição sedimentar nas laterais e paleopisos no chão, indicando mais de uma fase de sedimentação/erosão.

A escolha da Gruna Tarimba para estudo dá-se devido: 1) a importância hidrosedimentológica; 2) aos diversos outros estudos realizados contemporâneos a este para subsidiar a gestão da APANRV; 3) a facilidade de acessos aos depósitos sedimentares próximos à entrada principal da caverna.

3.4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo compreende na escolha de um depósito principal (Perfil 1) e outros dois (Perfil 2 e 3) de forma a subsidiar a interpretação faciológica (Figura 3-3). Os três perfis contemplam registros sedimentares extensos preservados ao contrário dos demais encontrados na entrada da caverna motivos estes serem escolhidos para estudo. Ademais, as passagens para o interior da caverna tornam-se dificultosas e perigosas dada a configuração estreita e a presença de grandes desníveis não sendo observados num primeiro momento pacotes sedimentares. O desenvolvimento dessa pesquisa consiste na descrição e amostragens com base na acessibilidade, espessura, configuração da deposição e o posicionamento nas galerias da caverna. A abordagem utilizada consiste em várias metodologias combinando dessa forma análises granulométricas, índice de circularidade, análise de fácies, geoquímica (IPC-OES), raio-X e geocronologia (luminescência opticamente estimulada e Carbono 14), Figura 3-4.

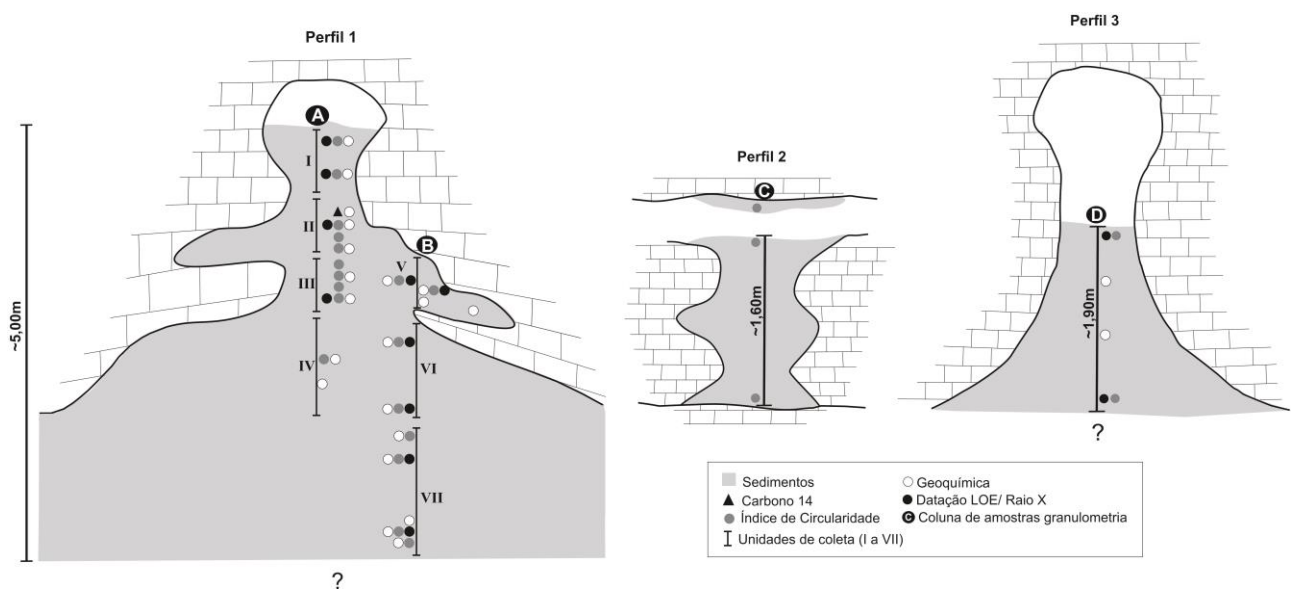


Figura 3-4 Sistematização das coletas nos perfis demonstrando o nível de coleta para cada metodologia. A localização dos Perfis 1,2 e 3 na Gruna Tarimba pode ser vista na Figura 3-3.

O Perfil 1 (P-1), principal depósito estudado, localiza-se na porção mais distal da entrada da caverna, com cerca de 5,0 metros de espessura apresentando uma configuração de deposição distinta dos demais perfis em que sedimentos argilosos com presença de cascalhos estão em contato com sedimentos arenosos que se depositaram na forma análoga a um leque aluvial. Devido às características específicas como a presença de sedimentos inconsolidados bem como da arquitetura deposicional optou-se pela amostragem em duas seções, central e lateral (colunas A e B, respectivamente), Figura 3-4. Tal situação implicou no estudo em vários níveis (Unidades I a VII) intercalados pela interrupção da coleta na sequência sedimentar.

O Perfil 2 (P-2) está posicionado na porção intermediária entre a entrada da caverna e o duto mais distal (P-1) em um conduto adjacente ao principal com aproximadamente 1,60 m de espessura no qual sedimentos argilo-arenosos distribuem-se em faixas com evidências de preenchimento até o teto. O Perfil 3 (P-3), cerca de 1,90 metros de espessura, situa-se mais próximo da entrada da Gruna Tarimba estando em um nível inferior aos demais constitui uma escada que dá acesso aos demais depósitos em que sedimentos argilo-arenosos distribuem-se em faixas decimétricas tendo no topo um piso calcítico horizontalizado que serve de acesso aos demais perfis.

3.4.1 Análise Granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica e Água – LAGEQ na Universidade de Brasília a partir de amostras coletadas em intervalos de 10 cm (n=111 amostras sendo: 73 em P-1, 18 em P-2 e 20 em P-3), Figura 3-4. As amostras foram secas ao ar, desagregadas e passadas na peneira de 2mm e 1mm, tendo sido pesadas as frações maiores. Aos sedimentos menores que 1 mm se procedeu com a eliminação da matéria orgânica com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) seguido do dispersante químico (Pirofosfato de Sódio - $Na_4P_2O_7$) e físico (30 minutos em ultrassom 50W). As frações restantes foram analisadas com o Granulômetro Betterzise ST através do método por LALLS – *Low Angle Laser Light Scattering*, que se baseia no fato do ângulo de difração ser inversamente proporcional à dimensão da partícula.

Amostras selecionadas (n=23 sendo 18 em P-1, 3 em P-2 e 2 em P-3) passaram por análise automatizada da forma do grão pelo equipamento Bettersize S3 Plus no Laboratório ACIL & Weber (São Paulo, Brasil) conforme procedimento interno (Figura 3-4). Inicialmente foram inseridos os dados e medido o valor do branco. Em seguida as amostras foram adicionadas diretamente na cuba analítica com agitação de 1600 rpp e ultrassom (50W), posteriormente acrescentado as câmeras (0,5x e 10x) para maior faixa analítica, e realizada a análise. Os dados foram analisados utilizando o sistema modelo com software de tratamento de dados e cálculos da granulometria próprio do equipamento (Bettersize Laser Particle Size Analysis System V8.0) e usando como referência as normas *ISO standards 13320-1(1999)* e *9276-*

I(1998). O principal parâmetro a ser obtido consiste no Índice de Circularidade (Ic) que indica a semelhança da partícula com um círculo perfeito, auferido pela fórmula (Equação 3-1):

$$Ic = \frac{4\pi \times \text{Área}}{\text{Perímetro}^2}$$

Equação 3-1

3.4.2 Análise de Fácies

As análises faciológicas foram realizadas com base nas características litológicas e sedimentológicas a partir do conceito de unidades sedimentares definidos por Anderton (1985) e classificação para cavernas proposta por White (2007). Observou-se principalmente aspectos como quantidade de carbonato, tamanho e classificação do grão e presença de estruturas sedimentares. A fim de determinar correlações entre os ambientes sedimentares estabeleceu-se a associação de fácies que consiste em um agrupamento de fácies espacial e geneticamente relacionadas (MARTINI, 2011). A delimitação das fácies permite entender o ambiente de sedimentação concentrando na origem dos sedimentos e juntamente com os métodos geocronológicos corrobora o entendimento da evolução da paisagem (HUBBE et al., 2011a).

3.4.3 Datação

Doze amostras foram coletadas das unidades arenosas para datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), sendo 10 em P-1 e 2 em P-3 (Figura 3-4). As amostras foram coletadas com luzes apagadas por meio de canos de PVC que foram dispostos horizontalmente sendo os sedimentos da borda do tubo descartados para garantir a não contaminação.

Para separação dos grãos de quartzo adotou-se os procedimentos descritos por Aitken (1998) que consiste: no peneiramento para separar a fração de 180µm a 250µm e 63 µm a 180µm; ataque com Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) para eliminação de matéria orgânica; ataque com solução de Ácido Clorídrico (HCl) 10% para eliminação de carbonatos; separação de minerais pesados em solução de LMT (*Lithium Metatungstate*) com densidade de 2.85 g/cm³; separação de feldspato em solução de LMT com densidade de 2.62 g/cm³; ataque com Ácido Fluorídrico (HF) 38% por 40 minutos para eliminação de feldspato remanescentes e da camada externa de grãos de quartzo; e por fim teste com estimulação por luz infravermelha (IR) para verificação de eventual contaminação por feldspato.

As medidas de luminescência foram realizadas em leitor Risø TL/OSL DA-20 do Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGaL) do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP). Os leitores possuem LEDs azuis (pico de emissão em 470 nm), LEDs infravermelhos (pico de emissão em 870 nm) para estimulação e fonte de irradiação beta (⁹⁰Sr /⁹⁰Y) com taxa dose de 0,12 ± 0,0038 Gy/s. A dose equivalente (De) foi estimada utilizando o protocolo de dose regenerativa de alíquota única (SAR) de Murray & Wintle (2000) após modificações necessárias.

As taxas dose de radiação foram estimadas a partir das concentrações de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , determinadas por espectrometria gama de alta resolução em detector HGPe (*high purity germanium detector*) em blindagem *ultralow background* (resolução de energia de 2 keV e eficiência relativa de 60%) após um período mínimo de 28 dias de embalar a amostra para alcançar o equilíbrio de radionuclídeos originais. As concentrações de radionuclídeos foram convertidas em taxas de dose por meio de fatores de conversão (GUÉRIN; MERCIER; ADAMIEC, 2011). As contribuições da radiação cósmica para taxa de dose foram calculadas através de dados de longitude, latitude, altitude e profundidade de coleta das amostras segundo modelo proposto por Prescott e Stephan (1982). A saturação da água foi determinada por meio da razão entre a massa úmida e seca.

Uma amostra de matéria orgânica em P-1 foi datada por Espectrometria de Massa Acelerada (AMS ^{14}C) no *Beta Analytic- Testing Laboratory* (Miami, Flórida, Estados Unidos da América) conforme padrões internos (Figura 3-4). Para calibração das idades utilizou-se o programa BetaCal3.21: HPD e método SHCAL13. A "idade convencional de radiocarbono" foi calculada usando a meia-vida de Libby (5568 anos) e os resultados foram creditados pela ISO / IEC-17025: 2005. As idades convencionais de radiocarbono foram corrigidas para efeitos de fracionamento total e, quando aplicável, a calibração foi realizada usando bancos de dados de calibração de 2013.

3.4.4 Análise Geoquímica e Mineralógica

As análises dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 e Perda ao Fogo) foi realizada em vinte e duas amostras (Figura 3-4) no Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), modelo Agilent 5100 no Laboratório de Geoquímica e Água (LAGEQ) da Universidade de Brasília (Brasil). As amostras foram maceradas com auxílio do moinho de ágata em seguida digeridas por fusão de borato de lítio e realizada a análise quantitativa dos dez principais óxidos (%) e elementos abundantes (ppm). Para compilação dos dados utilizou-se da técnica de Análise do Principais Componentes (PCA) que se baseia na relação entre as variáveis originais utilizando o software PAST.

As análises mineralógicas qualitativas em amostra total foram realizadas por difração de raio x no Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade de Brasília (Brasil). As doze amostras (Figura 3-4) foram maceradas com auxílio de moinho de ágata e compactadas em um porta amostras de vidro próprio do difratômetro com o auxílio de uma lâmina de vidro simples. Em seguida são inseridas no *slot* de porta amostras do difratômetro RIGAKU, modelo ULTIMA IV, equipado com tubo de cobre e filtro de níquel sob 35kV e corrente de 15mA a uma velocidade de varredura de 2θ por minuto em um intervalo de varredura de 2° a 60° , velocidade de $5^\circ/\text{min}$ e passo de $0,05^\circ$. Após varredura o difratograma foi analisado e a identificação dos minerais realizada com o auxílio do programa Jade XRD 9.0

(*Materials Data*), base Windows, com banco de dados ICDD pdf-2 e pdf-4 (*Powder Diffraction File – PDF para PC – ICDD*).

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica apontou para sedimentos essencialmente arenosos e inconsolidados com predomínio de areia fina (Material Suplementar). Tais sedimentos possuem fases contínuas e por vezes extensas de areia que são intercaladas com sedimentos mais finos, principalmente siltosos, indicando uma mudança nas condições hidráulicas da deposição e/ou variação na fonte.

No Perfil 1 a parte superior as unidades I, VI e VII convergem para situações similares com deposição de sedimentos essencialmente arenosos em camadas horizontais (Figura 3-6 e Figura 3-7). Aquém desse padrão, as porções Inferior Central (Unidade IV) e superior na lateral do perfil (Unidade V), destacam-se pelos sedimentos silto-agiliosos e presença de cascalhos. Ademais as unidades II e III exibem uma deposição irregular com configuração adversa às demais marcada por níveis arenosos com expressiva quantidade de cascalho.

Da base até o centro do Perfil 2 observam-se maiores teores de areia com diminuição desta para sedimentos siltosos (Figura 3-8). O topo, diferente das demais sequencias sedimentares, apresenta predomínio de argila e silte e valores nulos de areia indicando um fluxo extremamente lento. Amostra retirada do teto revela características similares aos extratos inferiores podendo indicar a retomada de um fluxo mais intenso que preencheu o conduto.

Dados granulométricos do Perfil 3 revelaram uma diminuição gradual na quantidade de silte em contrapartida a um aumento gradual de areia, tendência observada da base até o meio do perfil (~1,0 m de profundidade), Figura 3-8. Deste ponto até o topo, os níveis tornam-se essencialmente arenosos com apenas uma inversão de valores (~1,4 m). Tal dinâmica pode atestar para uma diminuição progressiva do fluxo e um posterior aumento considerável que culmina com hiato temporal com a deposição do paleopiso no topo.

Os dados do índice de circularidade são homogêneos em ambos os perfis com nenhum padrão aparentemente dominante (Material Suplementar). Os valores com média de 0,829 aproximam-se de um círculo perfeito, em torno de 1 (um), contando com poucos níveis da ordem de 0,7, ambos no Perfil 1 (Figura 3-5 a Figura 3-8). Tais características podem ser atribuídas ao transporte sedimentar hídrico no qual ocorre suavização das bordas dos grãos bem como aos processos abrasivos (CAMPAÑA et al., 2016). No entanto, o alto grau de arredondamento, por exemplo, também é observado em sedimentos do Grupo Urucuaia (IGLESIAS; UHLEIN, 2009) indica que tais características são originárias da área fonte e não necessariamente de processos no interior da caverna.

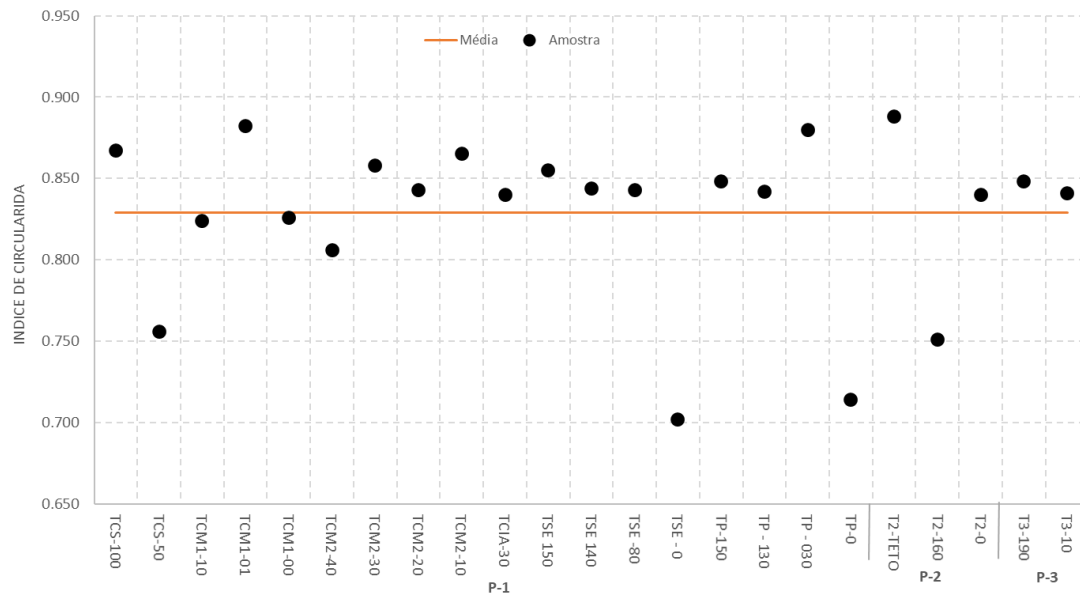


Figura 3-5 Resultado do Índice de Circularidade em comparação com a média obtida.

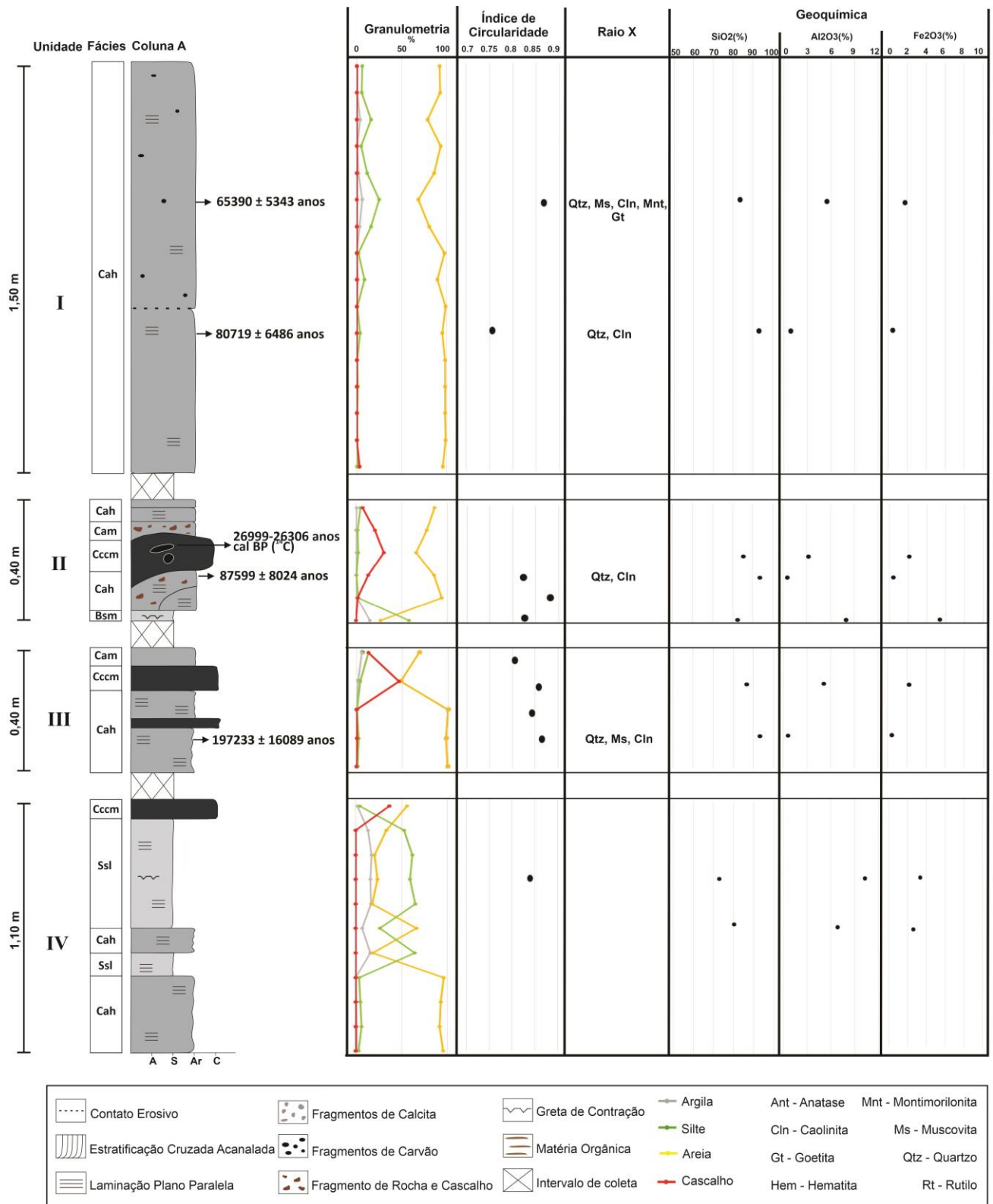


Figura 3-6 Organização dos principais resultados obtidos na Coluna A do Perfil 1. A localização das colunas respeitam a disposição da Figura 3-4.

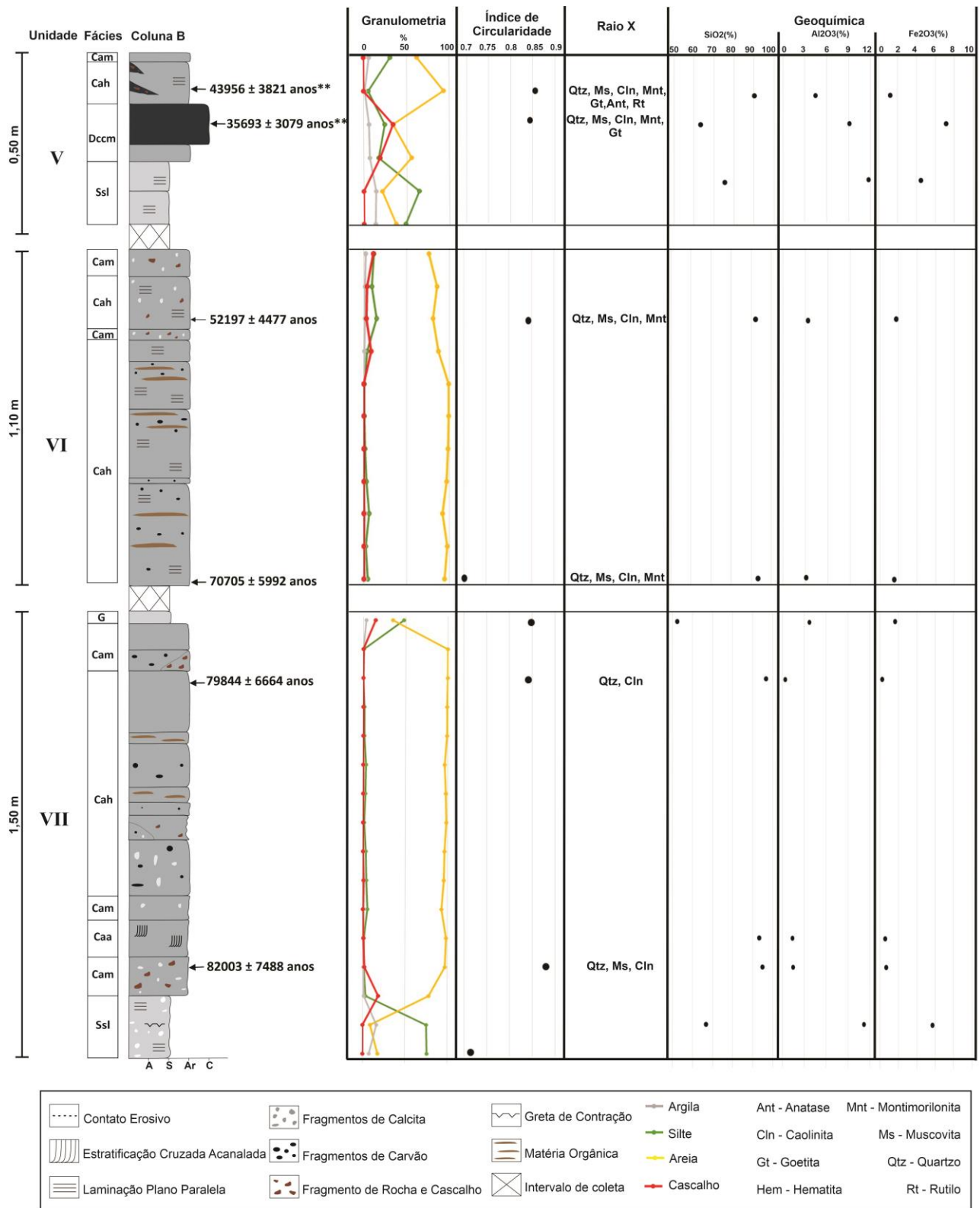


Figura 3-7 Organização dos principais resultados obtidos na Coluna B do Perfil 1. A localização das colunas respectam a disposição da Figura 3-4.

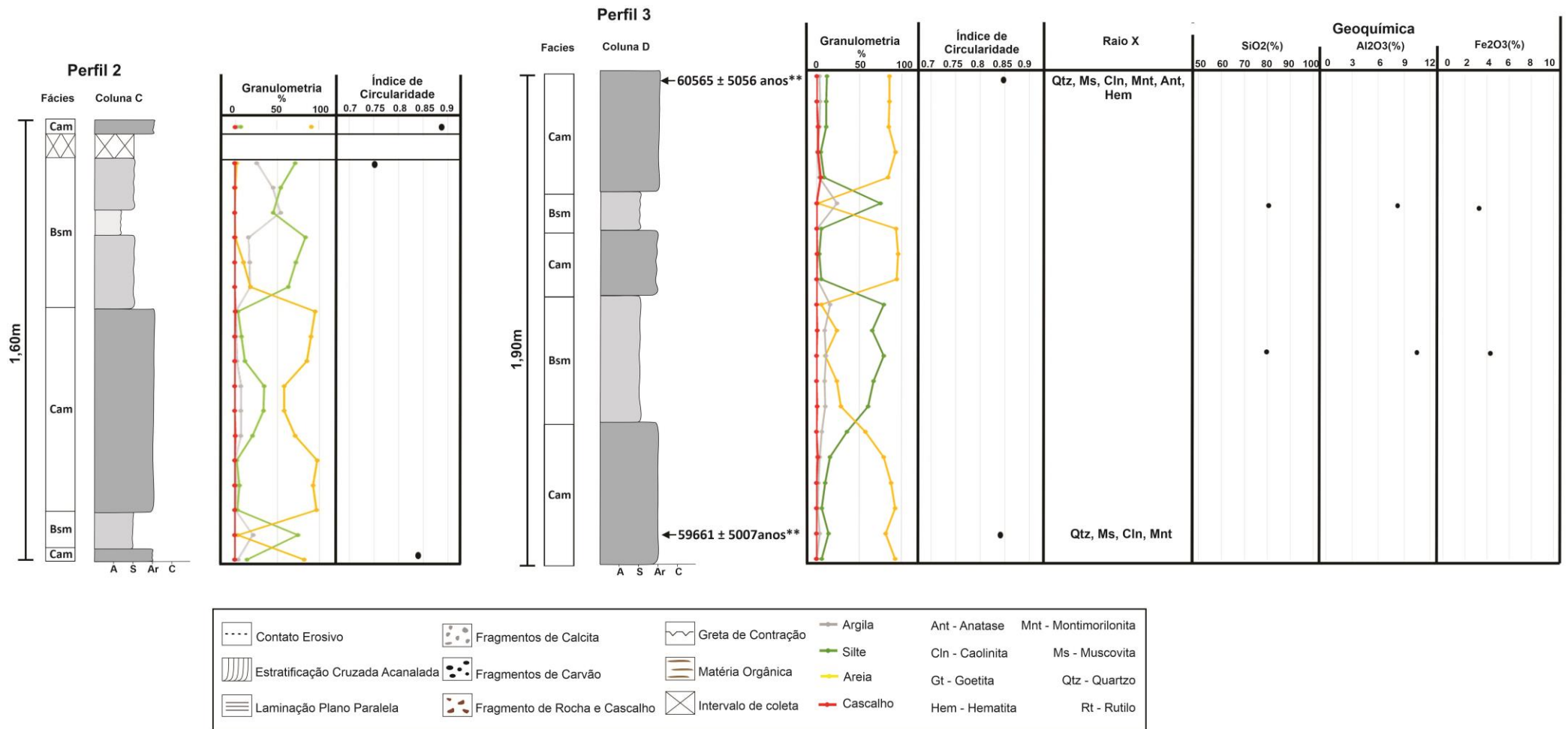


Figura 3-8 Organização dos principais resultados obtidos nos Perfis 2 e 3.

3.5.1.1 Descrição das Fácies

Na Gruna Tarimba os depósitos sedimentares foram agrupados oito fácies distintas de origem autóctones e alóctones (Tabela 3-1 e Figura 3-9). Únicos sedimentos de origem autóctone, a fácies *Guano - G* (ou acumulação fosfática) correspondente ao material fecal de animais que é composta por sedimentos geralmente da cor preta com porções esbranquiçadas no topo da seção. Na granulometria predominam sedimentos finos como silte e argila, podendo conter até 35% de areia e 15 % de cascalho.

Tabela 3-1 Análise de Fácies sedimentares

Classificação do Sedimento	Tipo de Fluxo	Fácies	Código	Descrição	Estrutura		
Autóctone	-	Guano	G	Guano	Maciça		
Alóctone	Fluxo de Detritos	Diamictito	Dccm	Cascalho maciço clasto suportado	Maciça		
			Caa	Areia fina a grossa podendo conter cascalho	Estratificação Acanalada	Cruzada	
			Cah	Areia fina a grossa podendo conter cascalho	Laminação horizontal		
			Canal	Cam	Areia fina a grossa podendo conter cascalho	Maciça	
	Fluxo Fluvial			Cccm	Cascalho maciço matriz suportado	Maciça	
				Bsm	Silte, argila, areia	Maciça, gretas de contração	
				Ssl	Silte, argila, areia	Laminação fina com camadas de areia fina; gretas de contração	

A partir da classificação de White (2007) os sedimentos alóctones foram separados em dois fluxos principais e associados em quatro fácies (Diamictito, Canal, Decantação e Inundação). Os fluxos de detritos possuem alta densidade e viscosidade com um fluxo provavelmente laminar (NICHOLS, 2009). Representando este fluxo tem-se a fácies de Diamictito que resulta de circunstâncias especiais principalmente tempestades extremas intensas e passagens de cavernas de gradiente elevado constituindo em uma mistura caótica e mal classificada de sedimentos de diversos tamanhos com pouca

ou nenhuma estrutura (WHITE, 2007). Na Gruna Tarimba ocorrem exclusivamente no Perfil 1 instalada nas laterais e também numa configuração de acreção lateral e interdigitada a fácies de canal (Figura 3-9, J). A única fácies identificada é definida como *Cascalho maciço clasto suportado* – Dccm e apresenta em torno de 20-35% de cascalho centimétricos com diferentes graus de esfericidade. A matriz arenosiltosa é composta de 34-55 % de areia, 15-25% de silte e menos de 10% de argila. Os sedimentos são pobremente classificados com ausência de estruturas sedimentares.

O fluxo fluvial corresponde a um dos processos sedimentares mais relevantes que ocorrem no interior da caverna englobando as fácies de Canal, Decantação e Inundação que juntas correspondem a um intervalo abrangente de granulometria, desde argilas a cascalho. Identificou-se o fluxo em razão da ausência de fraturas e fissuras nas adjacências bem como a existência de um curso d'água ativo à cerca de 8 metros de profundidades de onde se encontra o depósito além de estruturas sedimentares típicas.

Nesse cenário a fácies de Canal é a principal ocorrência na Gruna Tarimba sendo identificada em todos os perfis, por vezes cortando sucessões sedimentares (Figura 3-9). São camadas com espessuras similares, diferentes tonalidades, contatos bem definidos, e sedimentos pobre a moderadamente selecionados, podendo conter ainda níveis com matéria orgânica além de fragmentos de carvão e calcita. Pode ser agrupada em dois grupos distintos: fácies de canal arenosa e fácies de canal com cascalho. A maior parte das fácies arenosas possuem acima de 60 % de areia muito fina a grossa com valores médios de acima de 90%. As demais unidades granulométricas são encontradas em menores proporções podendo atingir valores máximos em níveis isolados de até 20% de cascalho, 35% de silte e 7% de argila. A classificação dessas fácies deu-se basicamente por meio da diferenciação entre as estruturas sedimentares presentes compreendendo desde a ausência destas a estratificação cruzada acanalada.

A fácies de canal com cascalho definida como *Cascalho maciço matriz suportado*- Cccm é similar a fácies Dccm devido a quantidade elevada de cascalho 30 – 46%. No entanto, se diferencia pela matriz com valores entre 45-65% de areia e baixa quantidade de silte/argila (<5%). Outro fato que a difere é que seus sedimentos são moderadamente selecionados ao contrário daquela originária por fluxo de detritos e sempre ocorrem associada as fácies de canal arenosas. Por vezes apresenta baixa coesão (friável) sendo característica a inexistência de estrutura sedimentar (Figura 3-9).

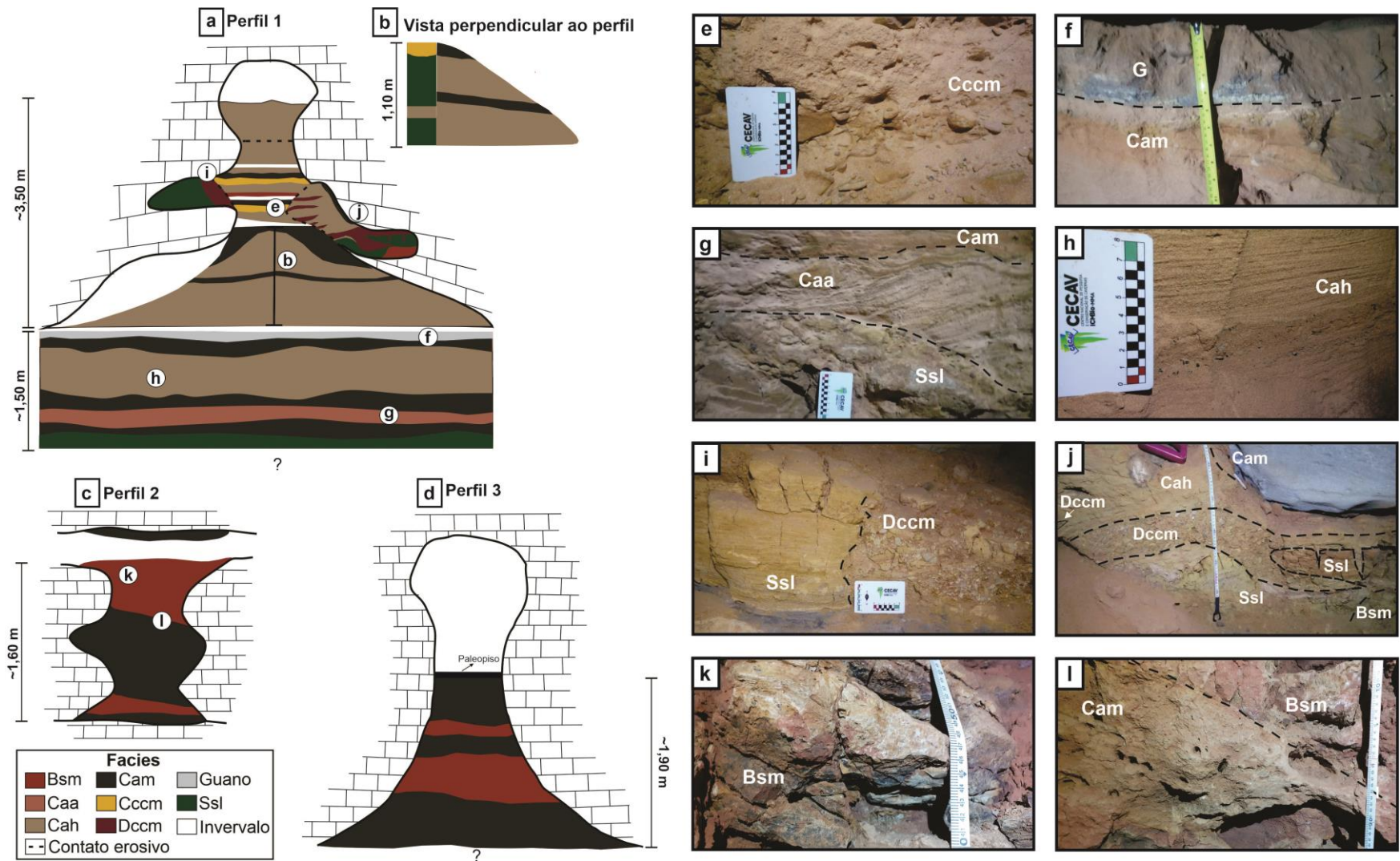


Figura 3-9 Espacialização das fácies nos perfis: A - Perfil 1, B - Vista perpendicular das fácies localizadas na base do Perfil 1, C - Perfil 2 e D - Perfil 3. Fotos das fácies encontradas na Gruna Tarimba nos perfis 1, 2 e 3 (E, F, G, H, I, J, K e L).

A fácies Decantação (Backswamp) é interpretada como sedimentos em suspensão transportados para a caverna e depositados por decantação (CAMPAÑA et al., 2017). Corresponde a fácies Bsm com alto teor de silte (muito fino a fino) podendo chegar a mais de 80% e acima de 50% de argila. Cascalhos são quase inexistentes, assumindo valores abaixo de 1%. Encontra-se menos de 30% de areia, porém a média gira em torno de 10% com poucos níveis acima de 20%. São sedimentos de coloração amarelo ocre, castanho e vermelho frequentemente cobertos por uma capa de alteração de cor preta. Organizam-se por vezes na forma de blocos prismáticos maciços com gretas de contração em algumas porções. Ocorrem de forma predominante em P-2 e P-3 comumente associados à fácies de canal numa deposição alternada (Figura 3-8 e Figura 3-9, k e l).

A fácies do tipo Inundação (Slackwater) é formada a partir da deposição dos sedimentos suspensos oriundos de inundação ou fluxo pulsado que possuem tempo para estabilizar formando assim camadas (FORD; WILLIAMS, 2007; WHITE, 2007). Corresponde a fácies Ssl que se assemelha a Bsm mas difere principalmente por possuir laminações milimétricas. Por vezes apresentam gretas de contração além da menor quantidade de argila (máximo de 30%) e teores mais altos de areia com média de 20% mas que podem chegar até 37%. Compartilham dos valores elevados de silte (45-75%) e da baixa incidência de cascalho. Localizada somente em P-1, associada a fácies Diamictito ou com fácies de Canal como na porção Inferior Central (Unidade IV), Figura 3-6 e Figura 3-9.

3.5.2 Datação

Os resultados geocronológicos são apresentados nas Tabela 3-2 e Tabela 3-3. Em P-1 as idades obtidas permitem agrupá-las em um intervalo de 50 a 90 ka (Unidades I, II, VI e VII), Figura 3-6 e Figura 3-7. Na porção superior duas datações destoam das demais: a primeira de 197 ka (Unidade III) obtida por LOE que está na base desta sucessão deve ser analisada com cautela associada a outros proxys e observações uma vez que é comum no ambiente cavernícola o branqueamento incompleto dos grãos de quartzo que pode gerar uma superestimação das idades (CONSTANTIN et al., 2014; JACOBS et al., 2011; RHODES, 2011). No entanto a adoção do protocolo SAR ajuda a superar limitações fornecidas pelo zeramento incompleto em ambientes como cavernas (RHODES, 2011) observada, por exemplo, através de valores baixos de dispersão. Diante de todas as datações realizadas por LOE ao longo dos perfis bem como a característica das camadas optou-se por integrar essa idade para explicar o histórico deposicional no interior da caverna.

A segunda idade, Unidade II, obtida por datação de ^{14}C (26999 - 26306 anos cal BP), também destoa da sequência cronológica obtida por LOE (valores acima de 50 ka). Uma das interpretações para a baixa idade obtida pelo método, pode ser atribuída a absorção de novos ^{14}C do HCO_3 nas águas subterrâneas que passaram por eles, resultando em uma idade muito mais jovem (FORD; WILLIAMS, 2007) ou ainda que a água contendo ácido húmicos tenha infiltrado nos sedimentos anteriormente depositados

(DARRÉNOUGUÉ et al., 2009). A outra explicação possível, porém menos provável seria que a deposição desse nível orgânico indique o período de deposição do pacote sedimentar não necessariamente coincidente com a entrada dos sedimentos na caverna (idades de LOE). No entanto como comentado anteriormente as idades de luminescência corroboram para resultados fidedignos tornando, portanto, esta última explicação menos plausível.

Quatro amostras apresentaram saturação do sinal de LOE, duas em P-3 e P-1 (Unidade V). A saturação da dose ocorre quando todas as armadilhas foram preenchidas e a exposição prolongada à radiação resulta em nenhuma captura adicional de carga (RHODES, 2011). Dessa forma, apenas idades mínimas foram calculadas indicando que os sedimentos foram expostos a luz a pelo menos 35 mil anos em P-1 e 60 mil anos em P-3.

Tabela 3-2 Resultados da datação de LOE das amostras

Unid	Fácies	Cód. Lab	Cód. Amostra	Prof. (m)	Nº alíquotas	Dispersão (%)	Saturação por água (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K%	Taxa de Dose Total (Gy/Ka)	Dose equivalente (Gy)	Idade (anos)	
I	Cah	L1228	TCS-100	6.4	23/24	10.7	0.012	0.668±0.042	3.292±0.173	0.145 ± 0.011	0.610±0.047	39.9 ± 1	65390 ± 5343	
	Cah	L1227	TCS-50	6.9	23/24	17.7	0.002	0.428±0.024	0.857±0.059	0.024 ± 0.004	0.260±0.018	21.0 ± 0.8	80719 ± 6486	
II	Cah	L1225	TCM1-10	7.8	24/24	22.1	0.020	0.575±0.036	1.821±0.115	0.210 ± 0.012	0.539±0.042	47.2 ± 2.2	87599 ± 8024	
Perfil 1 III	Cah	L1226	TCM2-10	8.15	23/24	18.9	0.003	0.321±0.020	0.695±0.053	0.015 ± 0.003	0.207±0.015	40.8 ± 1.7	197233 ± 16089	
	V	Dccm	L1223	TSE-140	6.44	6/6	-	0.055	1.283±0.056	11.263±0.387	1.691 ± 0.072	2.740±0.228	97.8 ± 2.2	35693 ± 3079*
		Cah	L1224	TSE-150	6.22	6/6	-	0.026	0.930±0.042	7.344±0.265	1.080 ± 0.046	1.872±0.159	82.3 ± 1.6	43956 ± 3821*
VI	Cah	L1221	TSE-0	7.29	24/24	18	0.017	0.500±0.027	1.551±0.088	0.160 ± 0.009	0.457±0.035	32.3 ± 1.2	70705 ± 5992	
	Cah	L1222	TSE-80	6.69	22/24	10.9	0.018	1.626±0.072	2.741±0.158	0.242 ± 0.015	0.889±0.071	46.4 ± 1.4	52197 ± 4477	
VII	Cam	L1220	TP-30	7.2	24/24	26.2	0.011	0.268±0.020	1.200±0.072	0.124 ± 0.007	0.344±0.026	28.2 ± 1.5	82003 ± 7488	
	Cah	L1219	TP-130	6.2	22/24	18.3	0.003	0.295±0.021	0.573±0.052	0.006 ± 0.004	0.194±0.014	15.5 ± 0.7	79844 ± 6664	
Perfil 3	-	Cam	L1360	T3-190	6	17/34	-	0.01	0.910±0.042	5.426±0.207	0.695±0.030	1.400±0.116	84.8 ± 0.9	60565 ± 5056*
	-	Cam	L1361	T3-10	7.8	10/10	-	0.03	1.277±0.053	7.321±0.256	0.923 ± 0.040	1.805±0.150	107.7±1.44	59661 ± 5007*

*Idades Mínimas

Tabela 3-3 Datação de ¹⁴C

Unidade	Código Laboratório	Código Amostra	Profundidade (m)	Método	Material	Idade (anos ¹⁴ C BP)	Idade Calibrada (anos cal BP)	
Perfil 1	II	Beta - 510831	TCM1-20	7.7	AMS	Sedimento orgânico	22390 ± 70	26999 - 26306

3.5.3 Análise Química e Mineralógica

Os resultados das análises químicas (Material Suplementar) podem ser visualizados nas Figura 3-6 a Figura 3-8 para os principais dados. A PCA referente aos óxidos apresentou 78,86 % de variância que corresponde a 56,92% do primeiro componente (PC1) e 26,94% da segunda componente (PC2), Figura 3-10. Os valores positivos da PC1 (Al_2O_3 , TiO_2 , FeO_3 , MgO , K_2O , argila e silte) são atribuídos à fácies Ssl e Bsm incluindo a fácies Dccm apesar de possuir valores elevados de cascalho apresenta altos teores de argila e silte. Os valores positivos da PC2 estão relacionados unicamente a fácies G que pode ter valores associados a fezes de animais (P_2O_5) e processos de dissolução e precipitação em superfície (CaO). Por fim, os valores negativos de PC1 e PC2 compostos por SiO_2 e areia delimitam muito bem as fácies de Canal (Cah, Cam, Caa e Cccm).

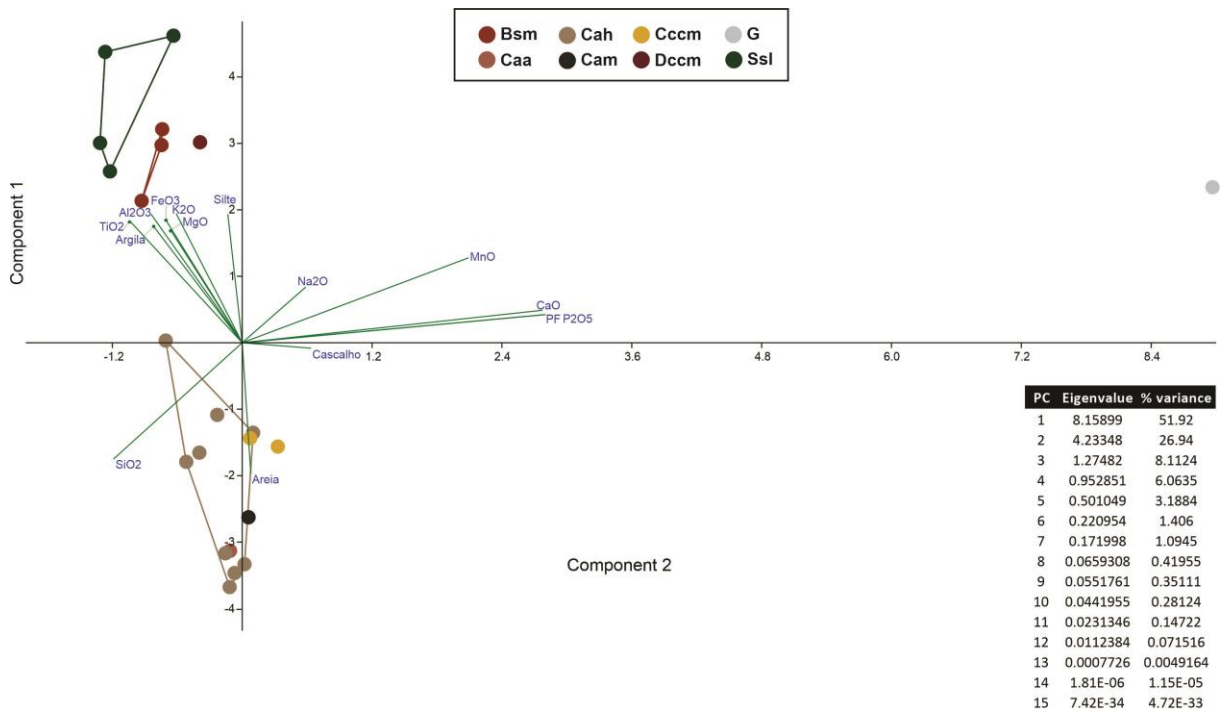


Figura 3-10 Resultado da Análise dos Principais Componentes para os óxidos. O percentual do componente de cada variância está no canto direito.

A análise mineralógica qualitativa é apresentada na Tabela 3-4 demonstrando uma composição similar entre as fácies que correlacionam-se aos dados químicos. De forma geral existe um predomínio de quartzo e caolinita presente em todas as fácies analisadas assim como muscovita e montimorilonita, estas últimas de forma descontínua ao longo dos perfis. Com baixa recorrência têm-se óxidos e hidróxidos de ferro como hematita (Perfil 3) e goetita (Perfil 1 – Unidade I e V), associados ao topo das

sequências sedimentares. Minerais como anatase e rutilo são observados em apenas um nível de P-1 e P-3 (Figura 3-6 a Figura 3-8).

Tabela 3-4 Resultado da mineralogia de argilas

	Unidade	Fácies	Amostra	Quartzo	Muscovita	Caolinita	Montimorilonita	Goetita	Rutilo	Anatase	Hematita
	I	Cah	TCS-100	X	X	X	X	X			
		Cah	TCS-50	X		X					
	II	Cah	TCM1-10	X		X					
	III	Cah	TCM2-10	X	X	X					
Perfil 1	V	Cah	TSE-150	X	X	X	X	X	X	X	
		Dccm	TSE-140	X	X	X	X	X			
	VI	Cah	TSE-80	X	X	X	X				
		Cah	TSE-0	X	X	X	X				
	VII	Cah	TP-130	X		X					
		Cam	TP-30	X	X	X					
Perfil 3	-	Cam	T3-190	X	X	X	X			X	X
	-	Cam	T3-10	X	X	X	X				

3.6 DISCUSSÃO

3.6.1 Ambiente Superficial e entrada de sedimentos na caverna

As deposições sedimentares no interior da caverna estão relacionadas a dinâmica ambiental superficial no qual os sedimentos depositados são oriundos do Grupo Urucua e Bambuí (Figura 3-1 e Figura 3-2). As composições mineralógicas e granulométricas demonstram similaridade com os solos mapeados na região e a assinatura geoquímica na Gruna Tarimba, aponta para existência de três grupos distintos de sedimentos a) silte com alto teores de P_2O_5 no interior da caverna; b) essencialmente arenosos e ricos em SiO_2 ; e c) finos (argila e silte) contendo alto percentual dos demais óxidos (Al_2O_3 , TiO_2 , FeO_3 , MgO , K_2O). Tais variações na sequência estratigráfica podem indicar a existência de diferentes processos sedimentares e de áreas de origem durante o preenchimento do endocarste (ARRIOLABENGOA et al., 2015). Portanto, os sedimentos que compõem as diversas fácies seriam advindos de áreas próximas à caverna que foram expostos à processos de remoção, transporte e deposição pelo menos ao longo dos últimos 200 mil anos.

A inexistência de registros paleoclimáticos na região dificulta em um primeiro momento possíveis apontamentos para condições de entrada e deposição sedimentar cavernícola. Um prognóstico pode ser

assumido com base nos estudos de áreas adjacentes no qual a entrada de sedimentos para o interior das cavernas estaria condicionada a chuvas esporádicas em condição de clima mais seco uma vez que a ausência de vegetação densa diminuiria a retenção dos sedimentos (AULER et al., 2009). De certo, essa dinâmica não é restritiva sendo os sedimentos gerados permanentemente na bacia pela dinâmica fluvial (HERMAN; TORAN; WHITE, 2012; LAUREANO, 2014). No entanto, apesar de inicialmente permitir associar os ciclos de sedimentação na Gruna Tarimba a períodos mais secos necessita-se de um estudo paleoclimático detalhado a fim de compreender a dinâmica da paisagem superficial da área.

Os registros sedimentares mais antigos, indicam uma deposição descontínua ocorrida do Pleistoceno Médio até o Pleistoceno Superior compreendendo um intervalo de 145 mil anos. Os dutos superiores cheios de sedimentos areno-argilosos de espessura métrica foram abandonados devido ao reestabelecimento do nível de base regional gerando a configuração atual (SBE et al., 2014). A evolução da deposição sedimentar na Gruna Tarimba baseou-se na análise de fácies, caracterização dos sedimentos (física, química e mineralógica) e informações cronológicas. A organização dos dados permitiu estabelecer grandes eventos deposicionais com idades conhecidas demonstrando um caráter dinâmico para a área durante o Quaternário resultante de processos geomorfológicos e geológicos.

3.6.2 Fases de Deposição Sedimentar

As três fases com intervalos cronológicos estabelecidos localizam-se no Perfil-1(P-1) que apresenta sucessivos eventos deposicionais (Figura 3-11). A Fase 1 compreende possivelmente os sedimentos mais antigos do Perfil 1 com idade anterior a 197 ka uma vez que amostras datadas por LOE forneceram idades mínimas entre 35-45 ka (Unidade V). Entretanto a presença da arquitetura deposicional e de contatos erosivos corroboram para deposições mais senis. Desconhece-se o limite inferior e superior da fase, aquele por não ter alcançado a rocha durante a escavação e este por não ter resquício de acumulação no teto do conduto. Desse modo ao menos três eventos podem ser identificados nessa fase (Figura 3-11 - a/b/c): o primeiro (Fase 1a) representado pelas fácies SSL (Unidades IV e V) indicam fluxo d'água de baixa energia com oscilações característica de fácies de inundação seguida por um período de remoção e exposição subárea marcada pelas gretas de contração (Fase 1b), Figura 3-6 e Figura 3-7. Posteriormente houve um evento extremo (Fase 1c) com aumento das condições hidráulicas, capaz de depositar cascalhos e sedimentos finos (Fácies Dccm) em uma mistura caótica que possivelmente não cessou de forma imediata uma vez que são observadas interdigitações desses com as Fácies Cah (Figura 3-9, J).

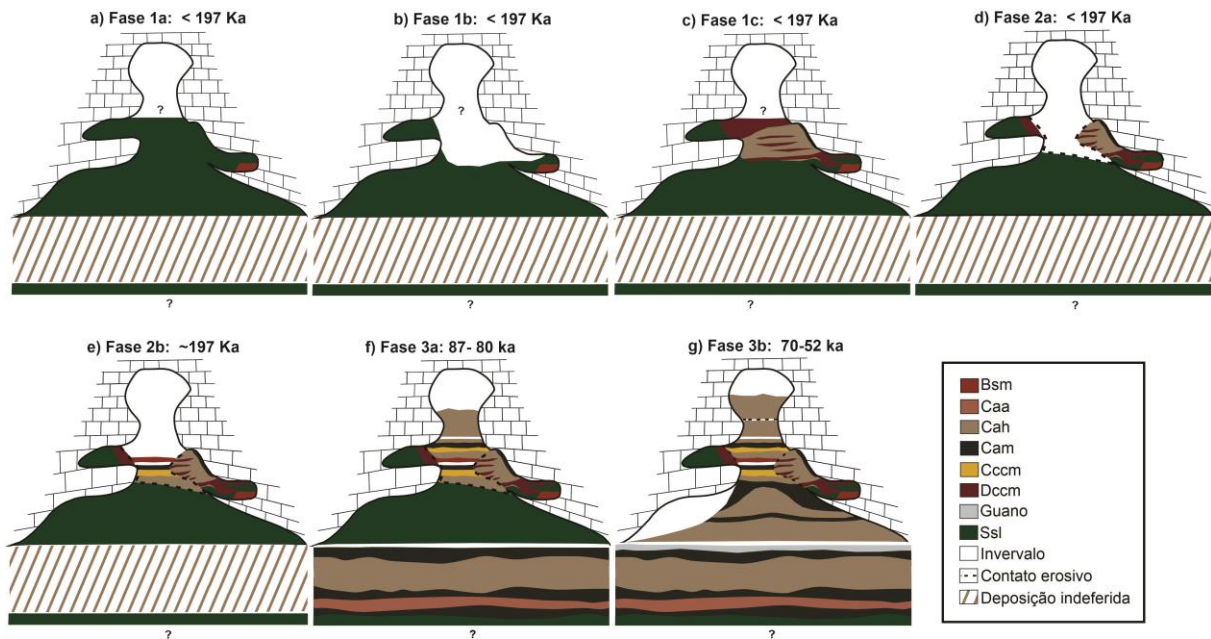


Figura 3-11 Evolução da deposição sedimentar no Perfil 1

A Fase 2 corresponde a Unidade III (Figura 3-6) inicia-se após um evento erosivo no qual se desconhece a idade que retirou parte dos sedimentos da Fase 1 na região central do perfil deixando material reliquiar sobrejacente nas laterais (Figura 3-9-i e Figura 3-11-d). A falta de datação na base torna incerta o início desse evento, porém, sabe-se que por volta de 197 ka um fluxo de alta energia depositou as fácies arenosas que inclui camadas com laminações plano paralelas inclinadas em ângulo compatível da erosão também observado em outros estratos sobrepostos. No topo da fase observam-se sedimentos mais grossos como cascalhos (Fácies Cccm) indicando aumento na energia fluxo que diminui gradativamente, fácies arenosa intermediária, até atingir níveis mais lentos marcado pela deposição de sedimentos finos no topo. A presença de gretas de contração no cume dessa sequência (Fácies Bsm) pode indicar um hiato temporal capaz de fornecer uma exposição subárea dos sedimentos. Dados de geoquímica, mineralogia e do índice de circularidade assemelham-se aos sedimentos da Fase 3 corroborando para fontes próximas apesar o intervalo temporal de mais de cem mil anos.

A Fase 3 ocorre durante o Pleistoceno Superior correspondendo ao intervalo de 87 a 52 ka (Unidades I,II, VI, VII, Figura 3-6 e Figura 3-7) marcado por fluxos sucessivos decorrentes da oscilação da coluna d'água no qual os sedimentos recentes são transportados pela passagem superior do perfil, acima da fácies Bsm (término da Fase 2). Essa dinâmica gera uma arquitetura deposicional com espriamento dos sedimentos na base do perfil que sobrepõem as camadas das Fases 1 e 2 e permite encontrar seqüências cronocorrelatas na base e topo do perfil (Figura 3-11 – f/g). Observa-se essa correlação na geoquímica, mineralogia e granulometria a partir da superfície de erosão que permite identificar uma Fase 3a que abrange um intervalo entre 87-80 ka (Unidade II e base de I, e Unidade VII) e Fase 3b entre 70-52 ka

(Topo da Unidade I e Unidade VI). Ambas as fases possuem sedimentos arenosos em que ocorre variações entre as fácies de Canal cuja presença de estruturas sedimentares refletem a mudança do comportamento hidráulico que a depender da intensidade pode apresentar até níveis com cascalho (Fácies Cccm), Figura 3-6. Nota-se no topo das sucessões uma discreta alteração na granulometria com diminuição do percentual de areia e aumento dos sedimentos mais finos entre 65-52 mil anos que indica decréscimo na intensidade do fluxo. Por fim, a fácies Guano depositou-se sobre o piso de acesso ao perfil a partir da estabilização das condições hidráulicas.

Os Perfis 2 e 3 utilizados em caráter complementar apresentam arquitetura deposicional semelhantes porem não identificadas em P-1. Tal cenário pode indicar que esses sedimentos não foram alcançados em P-1 ou que foram removidos durante períodos de fluxo mais intenso. As datações realizadas em P-3 pouco auxiliam neste aspecto dada a saturação do sedimento implicando no cálculo de idades mínimas ($59,66 \pm 5$ ka e $60,56 \pm 5$ ka) necessitando de análises futuras para esclarecimento. Embora haja ausência de dados geocronológicos, a associação entre as fácies permite inferir que os perfis 2 e 3 são contemporâneos em que ao menos três fases podem ser inferidas (Figura 3-12): Fase A – resultante de fluxos hidráulicos alternados correspondente ao preenchimento dos condutos por fácies de decantação e de canal; Fase B – remoção dos sedimentos preservando as sequências estudadas e material nas paredes da caverna expondo os perfis utilizados no estudo; e Fase C formação do paleopiso em P-3 após a estabilização da sedimentação o que demonstra a existência de um período relativamente úmido.

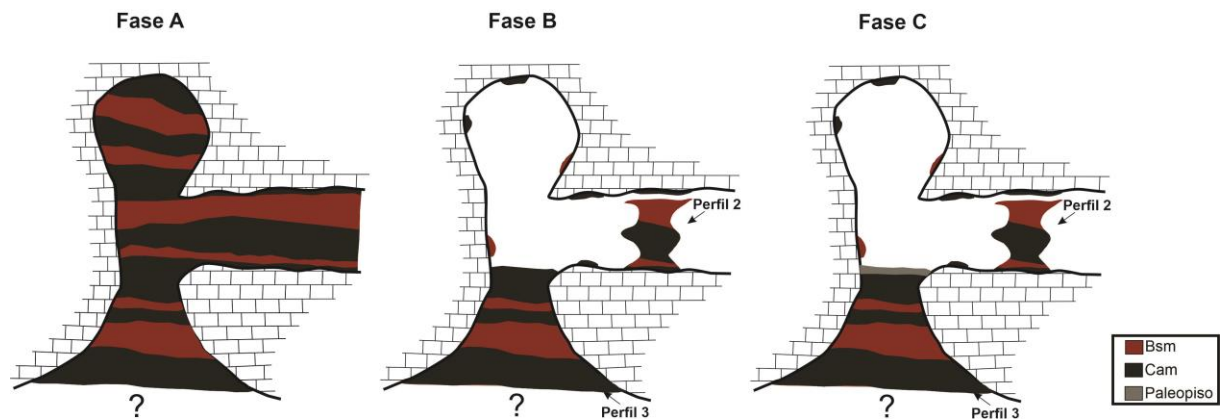


Figura 3-12 Seção esquemática para os eventos deposicionais ocorridos no Perfil 2 e 3

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deposição dos sedimentos clásticos em cavernas associa-se à dinâmica do ambiente circundante. No caso da Gruna Tarimba os processos geomorfológicos atuantes no recuo do relevo tornam disponível os sedimentos dos Grupos Urucuia (arenosos) e Bambuí (silto-argilosos) que são transportados e depositados no interior da caverna. O estabelecimento de novo níveis de base por rios regionais é

responsável pelo abandono de galerias entulhada por sedimentos nos níveis mais superiores permitindo estabelecer três grandes fases de deposição sedimentar no Perfil 1 e duas nos Perfis 2 e 3. Nos últimos 200 mil anos a arquitetura deposicional bem como as características dos sedimentos permitiram correlação com a energia do fluxo hidráulico resultando na identificação de oito fácies que constituem as feições atualmente são encontradas na caverna.

A quantidade expressiva de metodologias utilizadas proporciona uma disponibilidade de informações importantes para o desenvolvimento de futuros estudos com uma perspectiva paleoambiental na área. De certo, sabe-se que a divisão das fácies principalmente a partir de dados granulométricos e uma boa descrição estratigráfica contribuem de maneira significativa no entendimento da história deposicional. O estabelecimento da sequência geocronológica principalmente pelo método de luminescência opticamente estimulada traz alguns desafios como a obtenção de idades mínimas, sendo recomendável adoção de outros métodos como nuclídeos cosmogênicos para cobrir um range maior de idades e fornecer dados de comparação. Contudo tal técnica não deve ser desprezada pois fornece resultados satisfatórios em sequências perfeitamente datáveis. Nessa perspectiva, datações de paleopisos bem como de espeleotemas poderiam trazer novas elucidacões e enriquecer a discussão dos eventos climáticos da área em trabalho futuro.

3.8 FINANCIAMENTO

O presente trabalho integra o projeto “Susceptibilidade e Hidro-geomorfologia Cárstica da APA Nascente do Rio Vermelho/GO” vinculado a Universidade de Brasília (UnB) em parceria com o CECAV/ICMBIO, processo n.02667.000110/2017-10 que financiou e viabilizou a pesquisa

3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITKEN, M. J. *An Introduction to Optical Dating*. New York: Oxford University Press, 1998.
- ANDERTON, R. *Clastic facies models and facies analysis*. Geological Society, London, Special Publications, v. 18, n. 1, p. 31–47, 1985.
- ARAUJO, V. A. DE; MORETON, L. C. Unidades Litoestratigráficas. In: *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. CPRM/SIC- ed. Goiânia: [s.n.]. p. 43–113.
- ARRIOLABENGOA, M. et al. Provenance study of endokarst fi ne sediments through mineralogical and geochemical data (Lezetxiki II cave , northern Iberia). *Quaternary International journal*, v. 364, p. 231–243, 2015.
- AULER, A. S. et al. U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 240, n. 3–4, p. 508–522, 2006.
- AULER, A. S. et al. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology*, v. 106, n. 1–2, p. 142–153, 2009.

- AULER, A. S. . et al. Fluvial incision rates derived from magnetotratigraphy.pdf. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 46, p. 391–403, 2002.
- BALLESTEROS, D. et al. Quaternary regional evolution based on karst cave geomorphology in Picos de Europa (Atlantic Margin of the Iberian Peninsula). *Geomorphology*, v. 336, p. 133–151, 2019.
- CALDEIRA, D.; UAGODA, R.; NOGUEIRA, A. M. Dinâmica dos sedimentos clásticos cavernícolas : Potencialidade para estudo paleoambientais. *Espaço & Geografia*, v. 22, p. 153–189, 2019.
- CAMPAÑA, I. et al. Assessing automated image analysis of sand grain shape to identify sedimentary facies, Gran Dolina archaeological site (Burgos, Spain). *Sedimentary Geology*, v. 346, p. 72–83, 2016.
- CAMPAÑA, I. et al. Pleistocene sedimentary facies of the Gran Dolina archaeo-paleoanthropological site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International*, v. 433, p. 68–84, 2017.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia E Sedimentação Da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 3, p. 269–282, 1997.
- CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C. O PAPEL DA LITO-ESTRUTURA DO CARSTE NA MORFODINÂMICA CENOZÓICA DA SERRA GERAL DE GOIÁS (GO/TO/BA): APROXIMAÇÕES INICIAIS. *Geonorte*, v. 10, p. 180–184, 2014.
- CONSTANTIN, S. et al. Reconstructing the evolution of cave systems as a key to understanding the taphonomy of fossil accumulations: The case of Urşilor Cave (Western Carpathians, Romania). *Quaternary International*, v. 339–340, p. 25–40, 2014.
- CRUZ, A. B. DA. Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Alvorada do Norte, Goiás. [s.l.] Universidade de Brasília, 2012.
- DARDENNE, M. A. Anais do Simpósio sobre o Cratón do São Francisco e suas faixas marginais. Os Grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. *Anais...Salvador*: 1981
- DARDENNE, M. A.; MAGALHAES, L. F.; SOARES, L. A. XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Geologia do Grupo Bambuí no Vale do Rio Paranã (Goiás). *Anais...Recife*: 1978
- DARRÉNOUGUÉ, N. et al. A late Pleistocene record of aeolian sedimentation in Blanche Cave, Naracoorte, South Australia. *Quaternary Science Reviews*, v. 28, n. 25–26, p. 2600–2615, 2009.
- FARRANT, A. R.; SMART, P. L. Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. *Geomorphology*, v. 134, n. 1–2, p. 79–93, 2011.
- FAURE, M.; GUÉRIN, C.; PARENTI, F. Découverte d 'une mégafaune holocène do Serrote do Artur (aire archéologique de Sao Raimundo Nonato, Piauí, Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, n. 329, p. 443–448, 1999.
- FERREIRA, C. F.; UAGODA, R. E. S. O uso de veículo aéreo não tripulado - VANT para construção de modelos digitais de terreno – MDT e identificação de dolinas na área da gruna da Tarimba-GO. ANAIS do 35o Congresso Brasileiro de Espeleologia. *Anais...Bonito/ MS*: 2019
- FONTUGNE, M. New Radiocarbon Ages of Luzia Woman, Lapa Vermelha IV Site, Lagoa Santa, Minas Gerais, Brazil. *Radiocarbon*, v. 55, n. 3–4, p. 1187–1190, 2013.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley: Chichester, 2007.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuaia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. S4, p. 216–226, 2007.
- GILLIESON, D. *Caves: Processes, Development and Management*. 1o ed. Massachusetts: Blackwell, 1996.

- GUÉRIN, G.; MERCIER, N.; ADAMIEC, G. Dose-rate conversion factors: Update Dose-rate conversion factors: update. n. May 2014, 2011.
- HADDAD-MARTIM, P. M. et al. Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: The example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Catena*, v. 157, p. 372–387, 2017.
- HERMAN, E. K.; TORAN, L.; WHITE, W. B. Clastic sediment transport and storage in fluviokarst aquifers: An essential component of karst hydrogeology. *Carbonates and Evaporites*, v. 27, n. 3–4, p. 211–241, 2012.
- HUBBE, A. et al. Identification and importance of critical depositional gaps in pitfall cave environments: The fossiliferous deposit of Cuvieri Cave, eastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 312, n. 1–2, p. 66–78, 2011.
- HUSSAIN, Y. et al. The potential use of geophysical methods to identify cavities, sinkholes and pathways for water infiltration: a case study from Mambá, Brazil. 2020.
- HUSSAIN, Y. J; UAGODA, R. An introduction and GIS-based relief compartment mapping of fluvio-karst landscape in central Brazilian highlands Yawar. No Prelo, [s.d.].
- IBGE. Zoneamento Geoambiental e Agroecológico - Goiás/região nordeste. IBGE, Divi ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ICMBIO/CECAV. RELATÓRIO DE VISTORIA TÉCNICA EM CAVERNAS E SUAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO Brasília ICMBio/CECAV, , 2017.
- ICMBIO/CECAV. Relatório Estatístico - Cavidades por UF. Brasília: [s.n.].
- IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 2, p. 256–266, 2009.
- JACOBS, Z. et al. Single-grain OSL dating at La Grotte des Contrebandiers (“Smugglers” Cave’), Morocco: Improved age constraints for the Middle Paleolithic levels. *Journal of Archaeological Science*, v. 38, n. 12, p. 3631–3643, 2011.
- JAQUETO, P. et al. Linking speleothem and soil magnetism in the Pau d’Alho. p. 7024–7039, 2016.
- KINOSHITA, A. et al. Dating human occupation at Toca do Serrote das Moendas, São Raimundo Nonato, Piauí-Brazil by electron spin resonance and optically stimulated luminescence. *Journal of Human Evolution*, v. 77, p. 187–195, 2014.
- LAUREANO, F. V. Idades de Soterramento $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ em grão de quartzo e o assoreamento de sistema de Cavernas Na Região Iraquara (Ba): 2 Milhões de anos de registro sedimentar Quaternário. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014.
- LAUREANO, F. V. et al. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, v. 273, n. April 2018, p. 63–77, 2016.
- MARTINI, I. Cave clastic sediments and implications for speleogenesis: New insights from the Mugnano Cave (Montagnola Senese, Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, v. 134, n. 3–4, p. 452–460, 2011.
- MCADAMS, C. et al. The Pleistocene geoarchaeology and geochronology of Con Moong Cave, North Vietnam: Site formation processes and hominin activity in the humid tropics. *Geoarchaeology*, n. April, 2019.
- MICHAB, M. et al. Luminescence dates for the paleoindian site of Pedra Pintada, Brazil. *Quaternary Science Reviews*, v. 17, n. 11, p. 1041–1046, 1998.

- MOTTA, J. A. O. (ORG). Projeto cavernas de Mambá: caracterização do ecossistema cárstico localizado no município de Mambá e entorno. Brasília: 2003.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, v. 32, n. 1, p. 57–73, fev. 2000.
- NICHOLS, G. *Sedimentology and Stratigraph*. 2o ed. Oxford: Blackwell, 2009.
- NOVELLO, V. F. et al. Vegetation and environmental changes in tropical South America from the last glacial to the Holocene documented by multiple cave sediment proxies. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 524, p. 1–11, 2019.
- NUNES, J. G. DA S.; UAGODA, R. Mapeamento de solos em área cárstica, através do estudo da catena com auxílio de geotecnologias e descrições em campo: Um estudo de caso na APA Nascentes do Rio vermelho, Mambá – GO. No Prelo, [s.d.].
- OLIVEIRA, P. V. et al. The dasypodidae (mammalia, xenarthra) from the urso fóssil cave (quaternary), parque nacional de ubajara, state of ceará, Brazil: Paleocological and taxonomic aspects. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 147–158, 2014.
- OSBORNE, R. A. Dating ancient caves and related palaeokarst. *Acta Carsologica*, v. 34, n. 1, p. 51–72, 2005.
- OSBORNE, R. A. L. Sedimentation in caves- a review. *Publications of the Geological Society of Australia*, v. 2, p. 189–217, 1986.
- PEYRE, E. et al. Des restes humains pléistocènes dans la grotte du Garrincho, Piauí, Brésil. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes*, v. 327, p. 335–360, 1998.
- PILÓ, L. B. et al. Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic Late Pleistocene/Early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. *Geoarchaeology*, v. 20, n. 8, p. 751–764, 2005.
- PLOTNICK, R. E.; KENIG, F.; SCOTT, A. C. Using the voids to fill the gaps: Caves, time, and stratigraphy. *Geological Society Special Publication*, v. 404, n. 1, p. 233–250, 2015.
- PRESCOTT, J. R.; STEPHAN, L. G. No TitleThe contribution of cosmic radiation to the environmental dose for thermoluminescence dating. *PACT*, v. 6, p. 17–25, 1982.
- RHODES, E. J. Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 39, n. 1, p. 461–488, 2011.
- RIZZATO, P. P.; BICHUETTE, M. E. Ituglanis boticario, a new troglomorphic catfish (Teleostei: Siluriformes: Trichomycteridae) from Mambá karst area, central Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, v. 31, n. 6, p. 577–598, 2014.
- ROOSEVELT, A. C. et al. Paleoindian Cave Dwellers in the Amazon : The Peopling of the Americas. *Science*, v. 272, p. 373–384, 1996.
- SANTOS, G. M. et al. A revised chronology of the lowest occupation layer of Pedra Furada Rock Shelter, Piauí, Brazil: The Pleistocene peopling of the Americas. *Quaternary Science Reviews*, v. 22, n. 21–22, p. 2303–2310, 2003.
- SBE et al. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DO SISTEMA CÁRSTICO DA GRUNA DA TARIMBA – MAMBAÍ, GO Campinas, 2014.
- SIQUEIRA, D. D'. Mapeamento Geológico do Parque Natural Municipal do Pequi - Mambá/GO. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

SPRINGER, G. S. Clastic Sediments in Caves. In: CULVER, DAVID C; WHITE, W. B. (Ed.). . Encyclopedia of Caves. 1° ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. p. 102–108.

UAGODA, R. et al. Regional Conference of Geomorphology. Geomorphic units mapping of fluviokarst landscapes in central Brazilian Higland. Anais...Athens: 2019

WHITE, W. B. Cave sediments and paleoclimate. Journal of Cave and Karst Studies, v. 69, n. 1, p. 76–93, 2007.

WOODWARD, J. C.; GOLDBERG, P. The Sedimentary Records in Mediterranean Rockshelters and Caves: Archives of Environmental Change. Geoarchaeology - An International Journal, v. 16, n. 4, p. 327–354, 2001.

3.10 MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 3-5 Resultado da análise granulométrica do Perfil 1 (%)

Amostras	Argila <0,004	Silte M Fino 0,004-0,008	Silte Fino 0,008-0,016	Silte Médio 0,016-0,031	Silte Grosso 0,031-0,062	Areia M Fina 0,06-0,125	Areia Fina 0,125-0,25	Areia Média 0,25-0,5	Areia Grossa 0,5-1,0	Areia M Grossa 1,0-2,0	Cascalho >2,0
mm											
TCS-150	1.14	0.57	1.00	1.30	3.32	30.34	48.67	12.24	1.42	0.00	0.00
TCS-140	0.90	0.44	0.84	1.27	3.39	33.72	50.36	9.08	0.00	0.00	0.00
TCS-130	4.19	1.87	2.57	3.44	8.34	37.38	36.70	4.90	0.00	0.08	0.52
TCS-120	1.00	0.46	0.90	1.15	2.65	29.65	50.29	12.36	1.54	0.00	0.00
TCS-110	2.24	1.03	1.54	2.22	6.71	37.96	41.87	6.26	0.00	0.19	0.00
TCS-100	6.10	3.25	4.37	5.64	12.12	39.21	27.77	1.54	0.00	0.00	0.00
TCS-90	3.59	1.95	2.53	3.31	8.03	39.69	35.29	4.32	1.29	0.00	0.00
TCS-80	0.00	0.00	0.24	0.55	1.09	19.44	52.41	24.87	1.40	0.00	0.00
TCS-70	1.21	1.18	1.41	1.81	4.56	36.51	45.91	7.41	0.00	0.00	0.00
TCS-60	0.00	0.00	0.04	0.39	0.68	9.62	45.32	38.81	5.14	0.00	0.00
TCS-50	0.48	0.42	0.72	0.98	2.06	13.15	43.58	34.22	4.39	0.00	0.00
TCS-40	0.00	0.00	0.08	0.24	0.62	7.20	43.53	41.84	5.85	0.08	0.57
TCS-30	0.05	0.08	0.19	0.41	0.71	8.25	44.77	40.15	5.39	0.00	0.00
TCS-20	0.01	0.00	0.19	0.27	0.62	7.18	43.44	41.92	5.87	0.10	0.41
TCS-10	0.00	0.00	0.02	0.26	0.51	7.92	44.36	40.98	5.64	0.31	0.00
TCS-0	0.00	0.00	0.02	0.31	0.65	7.55	42.68	39.87	5.51	0.23	3.19
TCM1-40	1.03	0.61	0.94	1.16	2.41	14.01	39.86	28.85	3.49	0.00	7.62
TCM1-30	0.03	0.17	0.33	0.53	1.13	10.63	36.87	26.20	3.03	0.42	20.66
TCM1-20	0.57	0.66	0.80	0.71	0.62	5.36	30.41	26.43	3.39	0.15	30.90
TCM1-10	0.00	0.00	0.02	0.22	0.41	6.48	39.21	35.29	4.64	0.00	13.73

TCM1-01	1.32	0.54	0.82	0.69	0.71	7.53	42.94	37.70	4.86	0.62	2.28
TCM1-00	15.37	13.84	19.01	15.63	9.20	12.26	12.12	2.57	0.00	0.00	0.00
TCM2-40	5.73	3.74	4.06	3.17	1.84	5.68	22.19	27.25	12.11	1.09	13.15
TCM2-30	1.43	1.01	1.03	0.94	0.91	4.65	21.63	18.50	2.39	1.17	46.34
TCM2-20	0.00	0.00	0.00	0.03	0.24	5.94	44.33	43.43	5.92	0.10	0.00
TCM2-10	0.13	0.50	0.38	0.52	0.68	11.23	48.11	34.43	3.85	0.00	0.16
TCM2-0	0.00	0.03	0.14	0.24	0.43	10.27	49.47	35.57	3.85	0.00	0.00
TCIA-60	1.87	1.13	1.33	1.16	1.32	7.32	22.65	19.39	2.69	4.06	37.07
TCIA-50	13.74	14.46	17.79	13.36	7.29	13.58	15.05	4.73	0.00	0.00	0.00
TCIA-40	17.58	16.63	20.77	15.78	8.58	11.09	8.29	1.28	0.00	0.00	0.00
TCIA-30	16.38	17.11	20.43	14.67	7.37	12.24	10.39	1.41	0.00	0.00	0.00
TCIA-20	16.70	18.34	24.50	16.23	6.16	8.05	8.40	1.62	0.00	0.00	0.00
TCIA-10	7.22	7.53	8.85	6.61	3.49	19.05	35.45	10.57	1.23	0.00	0.00
TCIA-0	16.52	16.66	22.19	17.13	8.78	8.95	7.91	1.43	0.00	0.43	0.00
TCI-30	0.08	0.28	0.65	1.02	1.93	26.61	54.52	12.79	2.00	0.12	0.00
TCI-20	1.12	0.93	1.31	1.59	1.75	18.86	54.43	19.46	0.11	0.00	0.44
TCI-10	1.68	1.51	1.78	1.82	1.49	12.62	51.65	26.27	1.18	0.00	0.00
TCI-0	1.19	0.72	0.94	0.88	0.90	16.01	56.50	22.56	0.13	0.00	0.17
TP-150	3.24	7.07	9.47	12.75	18.38	17.03	12.37	0.98	0.00	4.50	14.19
TP-140	0.00	0.00	0.03	0.13	0.33	14.20	59.62	24.97	0.72	0.00	0.00
TP-130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.09	56.11	29.34	1.46	0.00	0.00
TP-120	0.00	0.03	0.08	0.30	0.63	12.30	52.46	32.09	2.11	0.00	0.00
TP-110	0.00	0.00	0.07	0.25	0.46	14.17	60.26	24.23	0.56	0.00	0.00
TP-100	0.01	0.28	0.51	0.70	1.78	23.96	55.19	16.24	1.33	0.00	0.00
TP-90	0.01	0.25	0.35	0.57	1.30	21.29	56.64	19.48	0.11	0.00	0.00
TP-80	0.00	0.14	0.27	0.40	0.53	12.47	52.39	31.72	2.08	0.00	0.00
TP-70	0.63	0.77	0.83	0.68	0.56	9.53	47.79	35.28	3.93	0.00	0.00
TP-60	0.84	0.99	1.10	0.87	0.64	10.14	48.98	33.67	2.49	0.14	0.15
TP-50	1.35	1.63	1.67	1.24	0.89	13.40	50.82	27.45	1.55	0.00	0.00

TP-40	0.03	0.34	0.24	0.25	0.25	9.66	49.70	35.62	3.82	0.00	0.09
TP-30	0.05	0.29	0.33	0.35	0.22	6.34	45.31	40.45	5.09	0.00	1.57
TP-20	0.74	0.88	1.05	0.84	0.65	5.53	35.69	31.72	4.04	0.73	18.14
TP-10	16.25	19.52	21.45	20.62	13.88	6.60	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00
TP-0	6.89	17.61	26.01	22.69	9.41	3.60	12.26	1.53	0.00	0.00	0.00
TSE-160	6.42	8.70	10.61	8.14	3.65	14.94	34.77	12.62	0.15	0.00	0.00
TSE-150	1.38	1.48	1.85	1.47	0.66	11.04	47.91	31.80	2.41	0.00	0.00
TSE-140	6.43	6.59	7.94	6.41	3.70	5.76	8.92	5.39	0.21	14.05	34.59
TSE-130	7.05	5.38	5.40	4.41	2.63	11.57	25.82	9.53	0.12	8.59	19.52
TSE-120	14.40	16.54	22.92	17.08	7.79	9.80	9.82	1.65	0.00	0.00	0.00
TSE-110	13.89	12.75	15.73	12.45	7.61	15.44	17.24	4.89	0.00	0.00	0.00
TSE-100	1.93	1.62	2.10	2.67	5.06	25.24	38.54	11.32	0.06	0.53	10.93
TSE-90	1.64	2.12	2.34	2.51	2.12	16.16	43.89	23.64	1.56	0.49	3.52
TSE-80	1.75	3.27	3.48	4.13	3.90	19.52	42.23	16.75	0.70	1.38	2.88
TSE-70	0.39	0.30	0.64	0.94	2.00	22.55	48.19	16.02	0.09	0.00	8.88
TSE-60	0.00	0.06	0.20	0.38	0.28	9.47	48.66	36.71	4.24	0.00	0.00
TSE-50	0.00	0.00	0.03	0.26	0.59	11.77	50.44	34.28	2.63	0.00	0.00
TSE-40	0.00	0.00	0.19	0.51	1.06	22.81	57.20	18.13	0.10	0.00	0.00
TSE-30	0.06	0.15	0.45	0.80	1.97	26.19	54.55	13.92	1.91	0.00	0.00
TSE-20	1.49	1.33	1.66	1.75	1.50	13.49	53.07	24.81	0.90	0.00	0.00
TSE-10	0.62	0.43	0.58	0.54	0.53	15.17	60.81	21.23	0.09	0.00	0.00
TSE-0	1.50	0.96	1.20	1.08	1.09	16.99	55.82	21.24	0.12	0.00	0.00
TSEE-20	32.55	22.99	22.34	13.51	6.78	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabela 3-6 Resultado da análise granulométrica do Perfil 2 e Perfil 3 (%)

Amostra	Argila <0,004	Silte M Fino 0,004-0,008	Silte Fino 0,008-0,016	Silte Médio 0,016-0,031	Silte Grosso 0,031-0,062	Areia M Fina 0,06-0,125	Areia Fina 0,125-0,25	Areia Média 0,25-0,5	Areia Grossa 0,5-1,0	Areia M Grossa 1,0-2,0	Granulo >2,0
mm											
T2-0	3.53	4.07	4.67	2.81	2.78	14.20	52.91	14.70	0.30	0.00	0.00
T2-10	21.60	25.30	26.17	13.69	9.24	2.81	0.36	0.00	0.00	0.70	0.00
T2-20	0.58	0.75	0.86	0.58	0.91	8.56	51.81	30.17	5.78	0.00	0.00
T2-30	1.95	1.31	1.41	0.84	1.51	9.09	47.98	29.37	6.09	0.43	0.00
T2-40	0.38	0.46	0.57	0.35	1.04	14.33	61.55	20.02	1.30	0.00	0.00
T2-50	7.21	5.09	6.17	4.17	5.59	11.91	40.71	16.80	1.88	0.00	0.42
T2-60	7.13	13.48	14.03	4.88	1.88	7.40	34.15	14.56	2.36	0.12	0.00
T2-70	7.33	9.81	12.24	5.99	6.51	15.16	34.20	8.45	0.26	0.00	0.00
T2-80	2.38	2.63	3.64	2.75	3.02	8.11	45.32	26.92	5.23	0.00	0.00
T2-90	1.73	1.99	2.48	1.72	1.73	5.13	45.50	32.45	7.00	0.28	0.00
T2-100	0.80	1.04	1.21	0.74	0.92	6.58	52.30	30.64	5.49	0.00	0.29
T2-110	18.09	24.85	22.12	9.01	7.61	9.08	8.67	0.52	0.00	0.00	0.00
T2-120	17.37	26.34	26.21	11.37	8.28	6.17	3.52	0.09	0.00	0.58	0.00
T2-130	16.15	32.84	34.11	12.91	3.71	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2-140	54.18	31.53	12.72	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2-150	45.07	28.61	18.50	5.43	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00
T2-160	26.13	27.41	22.69	10.75	10.81	1.34	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00
T2-TETO	2.55	1.19	1.30	0.94	3.04	8.02	47.19	30.21	5.56	0.00	0.00
T3-0	0.64	1.38	1.95	1.42	1.73	11.48	54.61	24.03	2.76	0.00	0.00
T3-10	3.61	4.23	5.11	2.81	2.45	9.00	45.86	22.84	2.98	0.89	0.19
T3-20	1.19	1.49	1.92	1.26	1.73	10.50	53.24	25.47	3.20	0.00	0.00
T3-30	2.32	2.80	3.45	1.95	2.05	11.47	51.14	22.25	2.57	0.00	0.00

T3-40	3.67	3.40	4.62	3.17	4.48	12.92	45.39	18.43	2.05	0.33	1.51
T3-50	6.63	7.93	11.99	7.47	8.33	22.48	31.91	2.99	0.00	0.21	0.00
T3-60	10.20	12.64	17.84	14.69	15.39	11.01	13.89	2.72	0.10	1.00	0.48
T3-70	9.21	14.28	21.96	15.72	14.87	11.53	7.53	0.26	0.00	4.60	0.00
T3-80	10.65	16.75	26.39	20.05	15.72	7.73	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00
T3-90	9.23	14.03	19.87	14.81	16.92	14.54	9.19	0.44	0.00	0.00	0.93
T3-100	15.61	22.51	28.52	16.73	10.94	4.48	0.84	0.00	0.00	0.31	0.00
T3-110	0.80	1.08	1.47	0.97	1.73	15.74	59.47	17.68	0.87	0.20	0.00
T3-120	0.06	0.59	0.88	0.67	1.26	13.28	58.64	21.84	1.95	0.30	0.54
T3-130	1.03	1.37	1.87	1.18	1.36	12.39	55.72	21.70	2.10	1.27	0.00
T3-140	23.66	27.19	30.18	12.38	5.27	0.22	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00
T3-150	2.97	2.64	2.87	1.44	1.93	11.23	46.51	19.63	2.23	4.16	4.36
T3-160	0.75	1.01	1.27	0.77	1.48	12.38	53.59	22.66	2.55	1.78	1.77
T3-170	2.98	2.98	3.46	1.74	2.70	17.10	53.19	14.07	0.29	0.35	1.13
T3-180	3.80	3.33	3.37	1.54	2.41	15.53	53.29	15.43	0.49	0.79	0.00
T3-190	2.75	2.85	3.36	1.98	3.63	16.92	49.95	13.15	0.27	5.14	0.00

Tabela 3-7 Resultado do Índice de Circularidade

Perfil	Unidade	Corresponde Granulometria	Qtde. grãos	Máximo	Mínimo	Índice de Circularidade
Perfil 1	I	TCS-100	3064	0.971	0.164	0.867
		TCS-50	5729	0.958	0.120	0.756
	II	TCM1-10	5963	0.971	0.150	0.824
		TCM1-01	1897	0.971	0.232	0.882
		TCM1-00	1568	0.971	0.210	0.826
	III	TCM2-40	1006	0.952	0.183	0.806
		TCM2-30	1437	0.847	0.152	0.858
		TCM2-20	3930	0.950	0.199	0.843
		TCM2-10	2502	0.955	0.148	0.865
	IV	TCIA-30	630	0.960	0.172	0.840
	V	TSE 150	1173	0.947	0.181	0.855
		TSE 140	1290	0.958	0.147	0.844
		TSE -80	1036	0.947	0.238	0.843
		TSE - 0	4634	0.971	0.129	0.702
	VII	TP-150	1063	0.955	0.280	0.848
TP - 130		5670	0.967	0.199	0.842	
TP - 030		743	0.971	0.231	0.880	
TP-0		562	0.947	0.208	0.714	
Perfil 2	-	T2-TETO	560	0.962	0.263	0.888
	-	T2-160	372	0.947	0.207	0.751
	-	T2-0	580	0.955	0.209	0.840
Perfil 3	-	T3-190	1148	0.955	0.177	0.848
	-	T3-10	1284	0.962	0.191	0.841

Tabela 3-8 Resultado das análises químicas dos óxidos (%)

	Nível	Fácies	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PF
Perfil 1	I	Cah	TCS-100	83.5	5.5	1.8	0.393	0.009	0.110	0.173	0.107	0.555	0.065	3.05
		Cah	TCS-50	93.3	0.9	0.5	0.181	0.005	0.092	0.033	0.109	0.323	0.005	0.71
	II	Cccm	TCM1 20	85.27	3.23	2.10	0.18	0.02	0.15	0.25	0.24	0.86	0.04	4.54
		Cah	TCM1-10	93.5	0.6	0.4	0.112	0.004	0.110	0.031	0.104	0.290	0.001	4.20
	III	Bsm	TCM1 00	82.53	7.97	5.37	0.54	0.02	0.43	0.79	0.15	1.49	0.13	2.78
		Cccm	TCM2 30	86.75	5.13	2.22	0.21	0.01	0.17	0.17	0.22	0.80	0.05	2.78
	IV	Cah	TCM2-10	93.2	0.6	0.4	0.094	0.004	0.129	0.028	0.099	0.250	0.009	5.10
		Ssl	TC1A 30	72.92	10.30	3.36	0.62	0.01	0.49	0.77	0.21	2.08	0.06	4.84
	V	Cah	TC1A 10	80.38	6.86	2.61	0.40	0.01	0.37	0.45	0.17	1.53	0.05	4.03
		Cah	TSE-150	90.29	4.47	1.22	0.26	0.00	0.23	0.33	0.17	1.29	0.02	4.29
		Dccm	TSE-140	63.3	9.1	7.1	0.541	0.024	0.734	1.273	0.183	2.441	0.318	11.86
		Ssl	TSE 120	75.44	11.73	4.45	0.59	0.01	0.73	0.95	0.23	2.26	0.09	9.32
	VI	Ssl	TSEE20	66.60	13.15	4.98	0.56	0.02	0.89	1.03	0.19	2.35	0.26	10.04
		Cah	TSE-80	92.3	3.4	1.7	0.249	0.015	0.672	0.767	0.219	0.740	0.674	4.45
	VII	Cah	TSE-0	93.5	3.2	1.6	0.220	0.014	0.256	1.265	0.433	1.109	0.043	4.27
		G	TP 150	52.50	3.74	1.67	0.18	0.07	16.88	0.32	0.35	1.13	10.76	12.18
Cah		TP-130	96.6	0.4	0.3	0.074	0.003	0.103	0.020	0.098	0.276	0.016	0.57	
Caa		TP 40	93.23	1.41	0.59	0.08	0.00	0.12	0.06	0.18	0.63	0.04	1.01	
Cam		TP-30	94.9	1.5	0.7	0.116	0.006	0.159	0.136	0.391	0.835	0.015	1.06	
Ssl		TP 10	66.77	11.20	5.72	0.51	0.04	0.70	1.85	0.28	2.32	0.19	10.2	
Perfil 3	Bsm	T3 140	80.57	8.25	3.30	0.43	0.02	0.12	0.84	0.53	1.80	0.06	4.54	
	Bsm	T3 80	79.67	10.48	4.29	0.59	0.03	0.25	0.94	0.36	1.98	0.09	4.75	

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS - GERAL

Sedimentos clásticos em caverna são uma importante fonte de conhecimento paleoambiental. A utilização em pesquisas de cunho paleontológico/arqueológico pode ser acrescida de estudos para compreensão do paleoclima, paleovegetação ou até mesmo de condições paleohidrológicas dentre outras. Como os processos sedimentológicos no interior da caverna são em muitos casos similares aos superficiais (por exemplo: deposição, transporte, processos de sedimentação) em um primeiro momento pode se pensar em uma facilidade em trabalhar. Contudo precisa-se somar a estas situações condições inerentes ao ambiente subterrâneo como intensidade de fluxo devido aos condutos estreitos, destruição de sequências sedimentares, inversões estratigráficas o que torna um estudo complexo.

O levantamento dos estudos realizados no Brasil nos últimos 30 anos não totaliza uma dezena de trabalhos, demonstrando um nicho a ser explorado. Os estudos reunidos apresentam um cenário promissor numa perspectiva paleoambiental em função das diferentes metodologias (análise de fácies, paleomagnetismo, Carbono 14, nuclídeos cosmogênicos, raio x) e resultados interessantes da ordem de milhões de anos. A lacuna de trabalhos na região central do país converge com a inexistência de pesquisas na Área de Proteção Nascente do Rio Vermelho (APANRV) que possui mais de 150 cavernas mapeadas com processos antrópicos bem atuantes nas áreas cársticas. Trabalhos de campo realizados na região da APANRV identificaram diversas cavernas com sequências sedimentares próprias para estudo demonstrando ser favorável ao desenvolvimento deste tipo de pesquisa na área.

A Gruna Tarimba, sexta maior caverna em extensão do Brasil, escolhida para estudo possui um histórico de deposição sedimentar de pelo menos 200 mil anos na região da APANRV. A utilização de diferentes metodologias (análise granulométrica, índice de circularidade, composição química e mineralógica, Carbono 14 e Luminescência Opticamente Estimulada) permitiu estabelecer um modelo cronológico para os estágios de sedimentação no qual os sedimentos oriundos de processos geomorfológicos externos atuantes na bacia hidrográfica foram transportados sob condições paleohidrológicas para o interior da caverna a depender do tamanho sendo depositados nas sequências sedimentares clásticas. Dessa forma, são encontradas fácies com predomínio de sedimentos finos como silte e argila (Bsm e Ssl), arenosas (Fácies de Canal-Cam, Cah, Ccm e Caa) e aquela com presença de cascalho (Fácies Diamictito – Dccm) demonstrando a diferença de energia do fluxo d'água também observada

pelas estruturas sedimentares encontradas. Apesar de não ser possível estabelecer conexões entre todos os perfis estudados a associação de fácies foi crucial para compreensão da deposição sedimentar nos locais em que a datação de LOE não foi satisfatória.

Os sedimentos depositados no interior da Gruna Tarimba constituem do material do ambiente circundante representados principalmente por aqueles originários do Grupo Urucuia e Bambuí. Reforçando essa tese têm-se os dados da mineralogia que apresentaram semelhança com solos da região e composição química distinta entre sedimentos arenosos e silto argilosos que indicam fontes diferentes. Tal dinâmica era esperada uma vez que os processos geomorfológicos atuantes estão intimamente ligados a configuração de relevo cárstico encoberto na região.

A metodologia aplicada abarcou o objetivo proposto além de fornecer importantes dados para o contexto geomorfológicos da área. As informações obtidas nessa pesquisa constituem os primeiros sobre a temática na região e poderão subsidiar o Plano de Manejo da APANRV no que se refere ao reforço para proteção da Gruna Tarimba que guarda registros paleoambientais importantes no cenário regional. Atrelada aos outros trabalhos desenvolvidos na região tais informações poderão ser utilizadas para incrementar o modelo hidrogeomorfológico no que tange, por exemplo, ao controle do nível de base do Rio Vermelho bem como cálculo das taxas de incisão do rio. Apesar do prognóstico favorável alguns pontos necessitam de maiores estudos como a obtenção de datações absolutas, infelizmente não obtidas pelo método de LOE, que podem trazer novas informações para o contexto deposicional. Para além, torna-se interessante um estudo paleoclimático da região a fim de estabelecer futuras relações para as condições externas atuantes para a entrada do sedimento na caverna.