UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA GRUTA MORENA – CORDISBURGO / MG

Guilherme Passos Ribas

MONOGRAFIA nº 414

Ouro Preto, Setembro de 2021

CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA GRUTA MORENA, CORDISBURGO-MG

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.ª Dr.ª Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.ª Dr.ª Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Me. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 414

CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOES SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA GRUTA MORENA, CORDISBURGO - MG

Guilherme Passos Ribas

Orientador

Prof. Dr. Isaac Rudnitzki

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2020/2.

OURO PRETO

2021

Universidade Federal de Ouro Preto – http://www.ufop.br
Escola de Minas - http://www.em.ufop.br
Departamento de Geologia - http://www.degeo.ufop.br/
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Guilherme Passos Ribas

Catalogação elaborada pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

R482c Ribas, Guilherme Passos
Caracterização dos depósitos sedimentares quaternários da Gruta Morena – Cordisburgo / MG [manuscrito] / Guilherme Passos Ribas. - 2021.
65 f.; il. color.; tab.; mapas. (Monografia n. 414)

Orientador: Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki.

Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica.

1. Sedimentologia. 2. Espeleologia. 3. Cavernas. I. Rudnitzki, Isaac Daniel. II. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. III. Título.

CDU: 551.44(815.1)

http://www.sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA GRUTA MORENA, CORDISBURGO - MG

AUTOR: Guilherme Passos Ribas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Isaac Rudnitzki

Aprovado em: 05 de outubro de 2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Prof. Dr. Isaac Rudnitzki _____ DEGEO/UFOP

Prof. Dra. Adivane Terezinha Costa_____ DEGEO/UFOP

Msc. Rafael Oliveira Silva_____ PPG-ECRN/UFOP

Ouro Preto, 05/10/2021

Agradecimentos

Agradeço à minha família pelo suporte e incentivo em minha formação pessoal e acadêmica. Por todo o apoio incondicional sempre oferecido ao longo de minha formação.

À Sociedade Excursionista e Espeleológica dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto, meus agradecimentos e eterna gratidão por ter sido o berço da construção do conhecimento expresso no presente trabalho. Em especial Prof. Dr. Isaac Rudnitzki, e aos membros que participaram diretamente e indiretamente das atividades de campo e tratamento de dados das excursões à Gruta Morena, Gabriel Lourenço, Paulo Eduardo Lima, Syro Lacerda, Rafael Oliveira, Ícaro Souza.

Por fim, agradeço ao Departamento de Geologia, à Escola de Minas, e à Universidade Federal de Ouro Preto pela estrutura e ensino de qualidade ao longo de minha formação.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1
1.1 APRESENTAÇÃO 1
1.2 LOCALIZAÇÃO 1
1.3 OBJETIVOS 2
1.4 JUSTIFICATIVA 2
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS 3
1.5.1 Revisão bibliográfica 3
1.5.2 Mapeamento espeleológico dos depósitos sedimentares 3
1.5.3 Análise de fácies e elemento arquitetural 4
1.5.4 Integração dos dados 4
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL 5
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO 5
2.1.1 O Cráton São Francisco 5
2.1.2 O Grupo Bambuí 6
2.2 GEOLOGIA LOCAL 8
3 REVISÃO DE CONCEITOS 9
3.1 DEPÓSITOS SEDIMENTARES EM AMBIENTES ENDOCÁRSTICOS 9
3.1.1 Tipos de Depósitos 10
3.1.2 Zonas hídricas de Cavidades 10
3.1.3 Proveniência Dos Sedimentos 10
3.1.4 Fácies sedimentares no ambiente endocárstico 11
3.1.5 Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares Endocársticos 14
3.2 PARAGÊNESE 15
4 A GRUTA MORENA E O CARSTE DE CORDISBURGO 17
4.1 O CARSTE DE CORDISBURGO 17
4.2 A GRUTA MORENA 18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 21
5.1 Ponto 1 – Conduto do Tobogã 23
5.2 Ponto 2 27
5.3 Ponto 3 – Salão dos blocos abatidos 30
5.4 Ponto 4 – Drenagem da Entrada Principal 33
5.5 Ponto 5 – Sumidouro 35
5.6 SIGNIFICADO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES 36
6 CONCLUSÕES 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização da área de estudo, com destaque para o município de Cordisburgo e seus municípios limítrofes. 2

Figura 1.1 – Contexto geológico da área de estudo em relação ao Cráton São Francisco e suas faixas móveis adjacentes. A área de estudo está assinalada pelo retângulo vermelho 6

Figura 2.2 – Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí, com destaque para a Formação Lagoa do Jacaré, unidade na qual está inserida a Gruta Morena. 7

Figura 2.3 – Mapa Geológico da área de estudo, com as principais unidades aflorantes na região. A Gruta Morena encontra-se assinalada pela estrela vermelha no mapa 8

Figura 3.1 – Deposição e retrabalhamento de sedimentos em condutos cársticos. Sedimentos de maior granulometria tendem a permanecer depositados por maior tempo, enquanto sedimentos..... 9

Figura 3.2 – Sedimentos clásticos em um sistema endocárstico. As cores representam diferentes tipos de preenchimento dos condutos: A – material pedogenizado ou proveniente da superfície;. 11

Figura 3.3 – Representação esquemática das fácies sedimentares segundo sua granulometria e grau de seleção. 12

Figura 3.4 – Exemplo extremo de formação da fácies de talvegue na Butler Cave – Virginia/USA. 13

Figura 3.5 - Exemplo de deposição da fácies de canal, Butler Cave – Virginia/USA..... 13

Figura 3.6 – Representação esquemática da distribuição de fácies sedimentares em condutos subterrâneos. 14

Figura 3.7 - A) Feições paragenéticas na Gruta Morena. Pequenos canais anastomosados e um canal maior de morfologia meandrante no teto do conduto. **B)** Canais anastomosados na caverna 15

Figura 3.8 – No tempo t=1, o conduto inicialmente em condição freática, passa para uma condição vadosa no período t=2, onde a dissolução ocorre principalmente na calha da. 16

Figura 4.1 - Vista aérea da região da Gruta Morena. A entrada principal indicada na imagem pela seta vermelha. Ao fundo, na porção à direita da imagem, o *polje* central onde está inserida a. 17

Figura 4.2 – Mapa de localização da Gruta Morena no Município de Cordisburgo, com destaque para a bacia hidrográfica do Córrego Cantagalo. 18

Figura 4.3 – Aspectos gerais das principais entradas da Gruta Morena. **A)** Saída do Ney; **B)** Sumidouro superficial do Córrego Cantagalo; **C)** Entrada principal da Gruta Morena;... 19

Figura 5.1 - Mapa da Gruta Morena com a representação dos principais depósitos sedimentares mapeados durante as etapas de campo 22

Figura 5.2 - **A)** Mapa com a localização do ponto de levantamento estratigráfico (Perfil A – A'); **B)** Saída do Ney; **C)** Conduto do Tobogã. 23

Figura 5.3 - Principal depósito sedimentar do conduto do tobogã, constituído por conglomerados de fácies de canal, sobrepostos por depósitos químicos na forma de travertinos. 24

Figura 5.4 – **A)** Corte transversal no conduto do tobogã. **B)** Perfil estratigráfico levantado no conduto do tobogã, no ponto representado no corte A –A'; **C)** Perfil estratigráfico levantado. 25

Figura 5.5 – Depósito sedimentar no conduto do tobogã, com sucessões de fácies de canal sobrepostas por depósitos químico na forma de travertinos. A fácies Ch2 coexiste lateralmente com 26

Figura 5.6 - **A)** Detalhe do banco de sedimentos onde foi levantado o perfil da Figura 5.5, A; **B)** Detalhe do local onde foi levantado o perfil da Figura 5.5, B, mostrando a intercalação da 26

Figura 5.7 - Depósitos químicos à montante do ponto 1, no conduto do Tobogã. 26

Figura 5.9 - **A)** Localização do Ponto 2, à jusante do ponto 1; **B)** Corte transversal (B – B') no conduto do ponto 2. 27

Figura 5.10 – **A)** Localização do ponto 2, onde foi levantado o perfil estratigráfico, com destaque para a feição paragenética no teto da galeria. **B)** Perfil estratigráfico mostrando a 28

Figura 5.11 - **A)** Foto do local onde foi feito o levantamento estratigráfico. **B)** Curso atual da drenagem, erodindo a base da Fácies CH1. **C)** Detalhe da Fácies CH1. **D)** Detalhe da Fácies CH2. .. 29

Figura 5.12 - **A)** Mapa de localização do Ponto 3, com indicação do corte transversal confeccionado no conduto. **B)** Foto do Salão dos Blocos Abatidos..... 30

Figura 5.13 – Disposição geral do depósito de sedimentos no salão. **A)** Perfil estratigráfico do depósito sedimentar. **B)** Corte transversal do Salão dos Blocos Abatidos com representação dó depósito sedimentar. 31

Figura 5.14 – Sucessão de sedimentos de fácies de canal, intercalados com sedimentos de fácies *Slackwater*. 32

Figura 5.15 – Disposição geral do depósito de sedimentos sobre saliência no salão dos blocos abatidos. 32

Figura 5.16 - **A)** Mapa de localização do Ponto 5, com indicação do corte transversal D – D'; **B)** Banco de sedimentos onde foi realizado o perfil estratigráfico (ii)..... 33

Figura 5.17 - **A)** Corte transversal do Conduto com a representação do depósito sedimentar. **B)** Perfil estratigráfico (i); **C)** Perfil estratigráfico (ii); **D)** Perfil Estratigráfico (iii). 34

Figura 5.18 - **A)** Detalhe da fácies de canal, com imbricamento expressivo dos clastos. **B)** Detalhe da fácies slackwater, com laminação plano-paralela..... 35

Figura 5.19 - Sumidouro principal da Gruta Morena. 36

Resumo

Cavernas são feições erosivas comumente presentes em terrenos cársticos, onde predominam rochas solúveis, como os calcáreos. As cavidades são locais propícios à deposição de sedimentos e também a preserva-los de processos intempéricos que atuam com mais intensidade na superfície. Através do mapeamento das ocorrências depósitos sedimentares na Gruta Morena, e sua caracterização, o presente trabalho visa compreender a dinâmica de sedimentação neste sistema confinado, bem como seu reflexo na evolução da gênese de seus condutos subterrâneos. Foram realizados levantamentos estratigráficos nos principais depósitos sedimentarem observados, além de cortes transversais nos condutos a fim de representar a disposição dos depósitos neste ambiente confinado. As sucessões de sedimentos, associadas à formação de feições paragenéticas, evidenciam a ocorrência de variações no nível freático, em grandes eventos de inundação, responsáveis pelo transporte de sedimentos e gênese dos condutos associada à sedimentação.

Palavras chave: Espeleologia, Sedimentologia, Gruta Morena, Espeleogênese.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Cavernas são feições erosivas comumente presentes em terrenos cársticos, onde predominam rochas solúveis, como os calcáreos. Os mesmos processos erosivos que as esculpem tentem a destruí-las ao longo do tempo. Por outro lado, as cavidades são locais propícios à deposição de sedimentos e também a preserva-los de processos intempéricos que atuam com mais intensidade na superfície (Laureano & Karmann, 2013).

Sedimentos clásticos são aqueles injetados nos condutos subterrâneos por processos mecânicos, e podem ter diferentes fontes e processos de deposição, sendo argilas e siltes as classes mais abundantes, porém também é comum a presença de seixos e cascalhos transportados como carga de fundo de fluxos subterrâneos (Herman, 2012).

Depósitos sedimentares endocársticos são objetos de investigação arqueológica e paleontológica a séculos, devido a seu potencial de preservação destes materiais. Porém só recentemente estes depósitos vêm sendo estudados do ponto de vista hidrogeológico e gemorfológico. Atualmente a sedimentação nos condutos é também considerada elemento indissociável dos modelos de gênese e evolução das próprias cavidades (Laureano & Karmann, 2013).

No Brasil existe uma ampla distribuição de terrenos cársticos, porem os estudos destes ambientes ainda é reservado a poucas universidades e grupos de espeleologia, o que é evidenciado pelo reduzido número de trabalhos publicados em língua portuguesa sobre o tema.

O presente trabalho de conclusão de curso visa mapear e caracterizar os depósitos sedimentares clásticos da Gruta Morena, em Cordisburgo-MG, com base em análises de fácies e análise arquitetural dos depósitos. O objetivo do trabalho é determinar os processos responsáveis pela formação destes registros singulares, bem como relacioná-los com processos de desenvolvimento dos condutos da cavidade, através de suas relações com outras feições endocársticas.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo é localizada na porção central de Minas Gerais, no município de Cordisburgo, a aproximadamente 110 Km a noroeste da capital mineira (Figura 1.1).

O acesso ao município, a partir de Belo Horizonte, é feito pela BR-040 e MG-231, de onde uma estrada de terra leva até a trilha de acesso à cavidade.

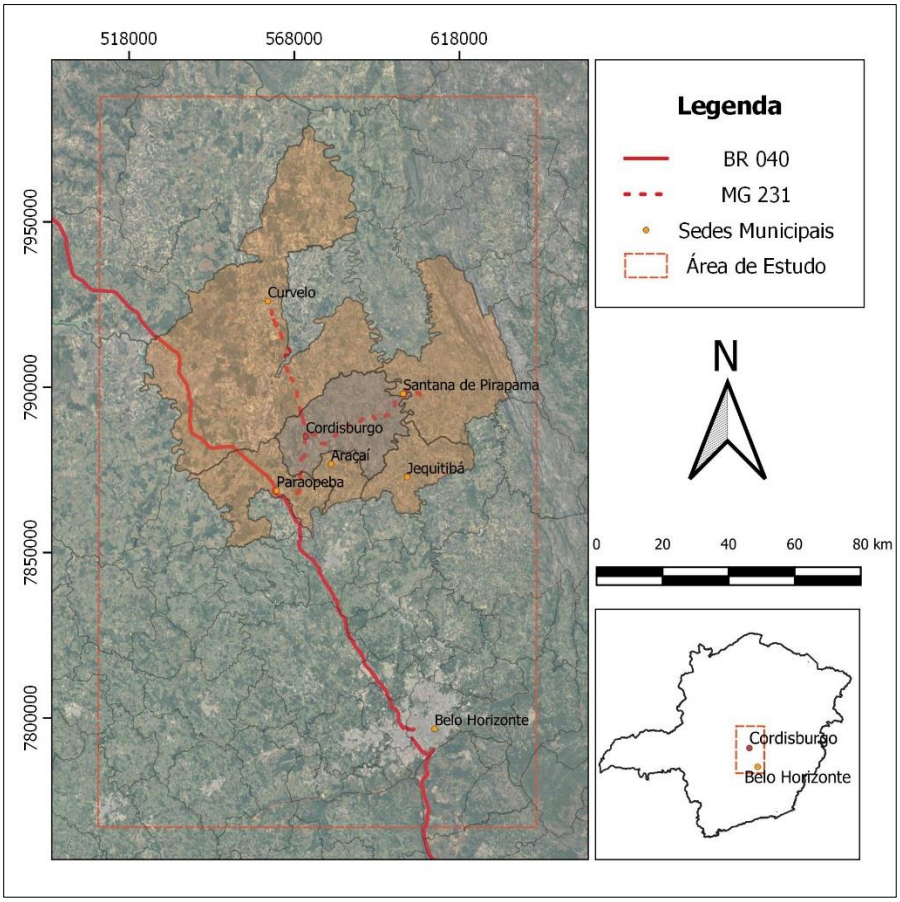


Figura1.1 – Localização da área de estudo, com destaque para o município de Cordisburgo e seus municípios limítrofes.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a caracterizar os depósitos sedimentares clásticos da Gruta Morena, a fim de se compreender a dinâmica de sedimentação neste sistema confinado, bem como seu reflexo na evolução da gênese de seus condutos subterrâneos. Os objetivos específicos são:

• Localizar e mapear os principais depósitos de sedimentos no interior da Gruta.

• Realizar a análise de fácies sedimentar para determinar aspectos texturais e composicionais dos sedimentos.

• Definir a relação entre as diferentes fácies sedimentares e a dinâmica de sedimentação.

• Estabelecer relações entre a deposição de sedimentos e suas influências na gênese dos condutos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo Travassos (2010), estima-se que 5% a 7% do território nacional seja coberto por carbonatos, tendo expressivas regiões cársticas a eles associados. O Brasil apresenta atualmente 7909

cavidades cadastradas no CNC (Cadastro Nacional de Cavernas), gerido pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (acesso em 08/08/2021), contudo estudos voltados à caracterização de depósitos sedimentares nestes ambientes ainda é pouco expressiva.

O carste de Cordisburgo ainda é pouco explorado quando comparado ao de regiões próximas como é o caso do carste de Lagoa Santa e Sete lagoas, amplamente investigado por trabalhos anteriores.

Este estudo tem como objetivo acrescentar conhecimentos à sociedade brasileira, bem como revelar a importância dos ambientes cársticos, ainda pouco explorados. O estabelecimento das relações estratigráficas destes depósitos pode auxiliar na compreensão das variações climáticas do quaternário, bem como revelar o comportamento hidrodinâmico do lençol freático na área de estudo.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Revisão bibliográfica

Para a realização deste trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os diversos temas abordados. Como principal referência relacionada ao carste de Cordisburgo foi utilizado o trabalho de Travassos (2010), que caracteriza a região de acordo com suas feições cársticas mais relevantes. Os trabalhos utilizados para descrição da Gruta Morena foram principalmente os de Cruz & Pereira Filho (2003) e Sales (2011).

Os trabalhos de Alkimin *et al.* (2017) e Alkmim & Martins Neto (2012) foram as principais referências utilizadas para a descrição do arcabouço geológico da área de estudo. A revisão de conceitos referente à formação de cavernas em maciços carbonáticos e depósitos sedimentares foi feita com base no livro de Ford & Williams (2007).

Como síntese da aplicação do método de análise de fácies e elementos arquiteturais, utilizados nesta pesquisa, foi utilizado o trabalho de Castro (2001). A descrição das fácies sedimentares e sua interpretação, foi feita seguindo, principalmente, o trabalho de Bosch & White (2004). Os métodos e padronizações utilizadas por ambos os trabalhos foram adaptados à presente pesquisa, como orientado pelos próprios autores destes trabalhos.

1.5.2 Mapeamento espeleológico dos depósitos sedimentares

O mapa da Gruta Morena, confeccionado pelo Observatório Espeleológico, foi utilizado como base cartográfica para a localização dos depósitos. O mapa foi modificado a fim de se pontuar os principais depósitos, os perfis estratigráficos levantados, além de identificar possíveis áreas fonte de sedimentos. Também foi utilizado o mapa produzido pela Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE), para a exploração da cavidade e para suplementar as análises realizadas na caverna.

Os mapas originais utilizados no presente trabalho encontram-se em Anexo.

1.5.3 Análise de fácies e elemento arquitetural

O método de análise de fácies busca individualizar e descrever os diferentes pacotes sedimentares, procurando caracteriza-los de acordo com sua composição, granulometria, grau de seleção e estruturas sedimentares. Buscou-se então compreender os mecanismos de transporte e a hidrologia do fluxo subterrâneo responsável pela formação dos depósitos, através das características de cada fácies e suas associações. Para cada levantamento foram confeccionados perfis estratigráficos em escala adequada à representação dos depósitos.

O método de análise arquitetural utilizado, visa a identificação de superfícies de descontinuidades presentes nos depósitos, que reflitam alterações locais e auxiliem na compreensão do processo de deposição dos sedimentos. O método também inclui a identificação de elementos arquiteturais e macroformas, como barras conglomeráticas e barras em pontal, que possam conter informações sobre o desenvolvimento dos depósitos.

1.5.4 Integração dos dados

Por fim, os dados da análise de fácies, sua localização e associação com outros elementos como feições paragenéticas amplamente distribuídas na cavidade, foram integradas em ilustrações e interpretações afim de se obter informações sobre a formação dos depósitos e sua influência no desenvolvimento da cavidade.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A região de estudo localiza-se a sul do Cráton São Francisco, local onde afloram rochas neoproterozóicas do Supergrupo São Francisco. Sucessões de pelitos e carbonatos do Grupo Bambuí, além de coberturas quaternárias, são as unidades predominantes na região.

2.1.1 O Cráton São Francisco

O Cráton São Francisco compreende uma porção da plataforma sul-americana, não envolvida nos processos orogênicos relacionados à amalgamação do supercontinente Gondwana, no neoproterozóico, conhecidas como Evento Brasiliano. O Cráton é margeado por faixas de dobramentos brasilianas, com vergência para seu interior. A leste é limitado pela Faixa Brasília, a oeste e sul pela Faixa Brasília e a norte pelas Faixas Rio Preto e Sergipana (Alkmim & Martins Neto, 2012) (Figura 2.1).

Segundo Alkmim *et. al*. (2017), o embasamento do Cráton consiste principalmente de rochas mais antigas que 1.8 (Ga). As assembleias de rochas arquenas, consistem principalmente de gnaisses-TTGs, granitoides e greenstone belts. Além destas, plútons paleoproterozóicos e sucessões de rochas supracrustais representam as principais unidades do embasamento do Cráton.

A Bacia do São Francisco compreende a cobertura de parte substancial do Cráton homônimo, e possui atributos de uma bacia intracratônica, que abriga ciclos de preenchimento mais jovens que 1.8 Ga. (Alkmim *et. al*., 2017). Além destas, coberturas fanerozóicos também cobrem grande parte da porção central e norte do Cráton (Alkmim & Martins Neto, 2012)

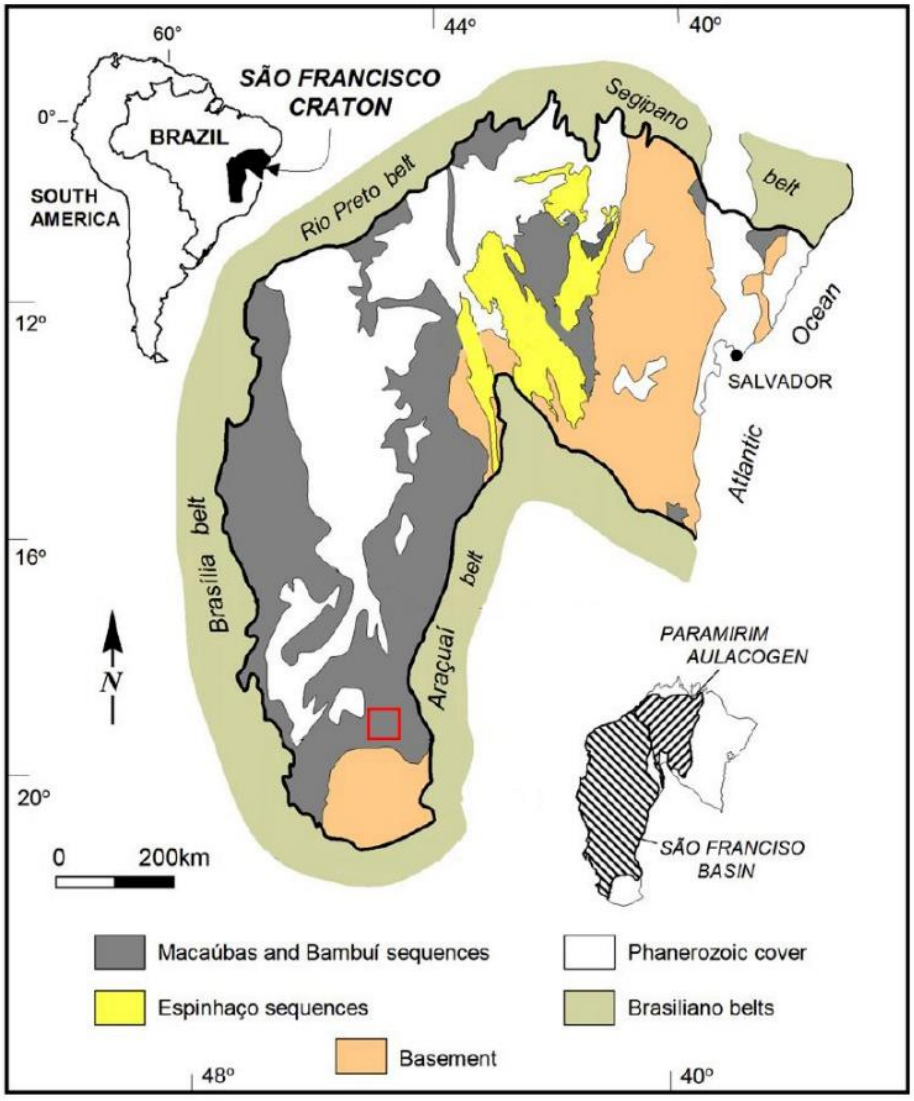


Figura 2.1 – Contexto geológico da área de estudo em relação ao Cráton São Francisco e suas faixas móveis adjacentes. A área de estudo está assinalada pelo retângulo vermelho (Modificado de Alkmim *et. al*., 2017).

2.1.2 O Grupo Bambuí

A principal cobertura do Cráton São Francisco, é representada por depósitos carbonáticos e siliciclásticos da Megassequência Bambuí (Grupo Bambuí, Grupo Vazante e correlatos). Estas unidades afloram também nas faixas móveis adjacentes ao Cráton, onde apresentam-se deformadas, e evidenciam sua deposição concomitante à orogenia brasiliana (Alkmim & Martins Neto, 2012).

Alkmim & Martins Neto (2012) sugerem que a deposição dos sedimentos ocorreu em uma bacia de tipo *foreland*, associada aos cavalgamentos durante a orogênese Brasiliana (800 Ma a 600 Ma) na Faixa Brasília, limite oeste do Cráton São Francisco. Os depósitos possuem forma de uma cunha, com maiores espessuras próximas à faixa Brasília, e menos expressivas próximas à Faixa Araçuaí, no limite leste de Cráton.

A deposição dos sedimentos na bacia do São Francisco ocorreu em três ciclo transgressivos-regressivos, em *shallowing-upward*, onde ocorrem na base pelitos e calciluditos marinhos profundos, sobrepostos por calcarenitos, calcilutitos, calcarenitos oolíticos marinhos rasos, além de arenitos e siltitos. O primeiro megaciclo ocorreu com a deposição dos diamictitos da Formação Carrancas, na porção Leste da bacia, enquanto a oeste depositam-se argilitos, margas e ritimitos marinhos profundos do Grupo Vazante. O topo do primeiro ciclo é representado por calcarenitos e calcilititos da formação Sete Lagoas, existentes na maior parte da bacia (Alkmim & Martins Neto, 2012).

O segundo megaciclo é marcado pelas ardósias e folhehos da formação Serra de Santa Helena, que passam no topo para calcarenitos oolíticos e oncolíticos de águas rasas da formação Lagoa de Jacaré (Alkmim & Martins Neto, 2012), principal unidade aflorante da região de estudo.

O último ciclo inicia com a deposição de pelitos da Formação Serra da Saudade, e o fechamento ocorre com a deposição de arcóseos, arenitos e conglomerados da formação Três Marias. Este último ciclo diferencia-se dos demais pela inexistência de calcáreos no topo da sequência (Alkmim & Martins Neto, 2012). A figura 2.2 apresenta a coluna estratigráfica do Grupo Bambuí:

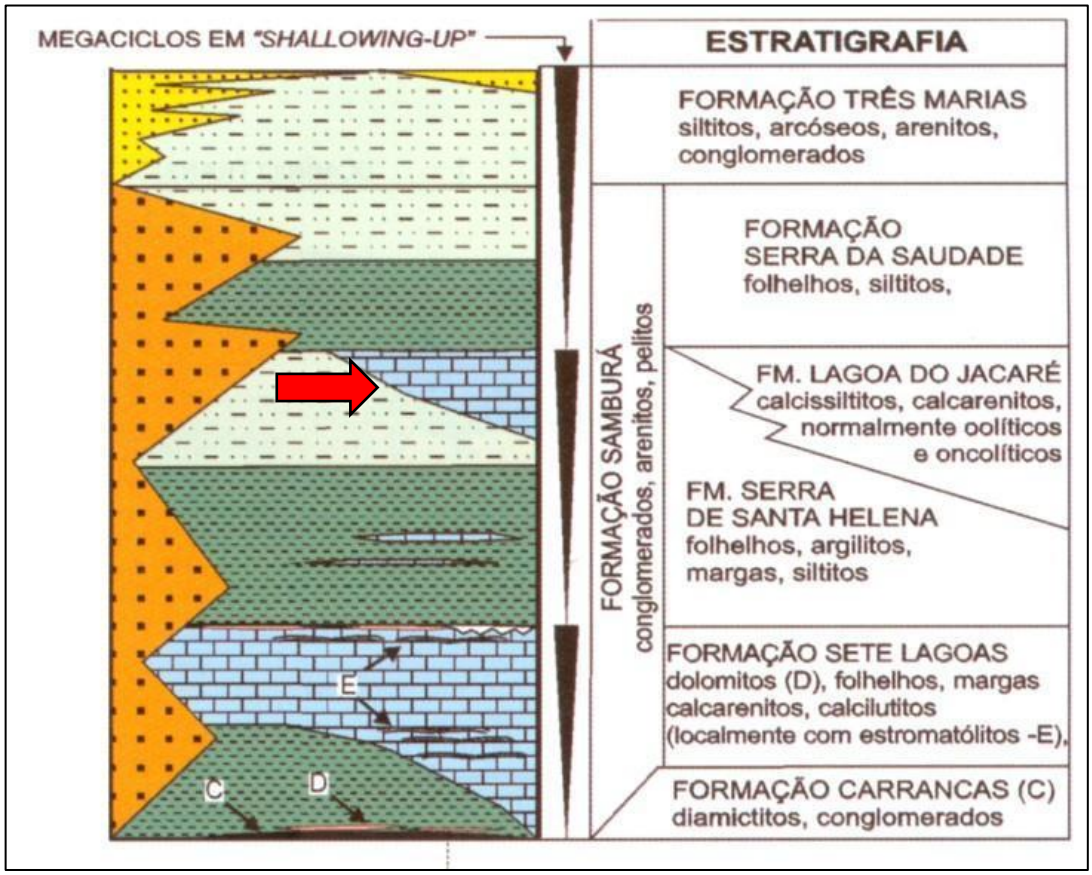


Figura 2.2 – Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí, com destaque para a Formação Lagoa do Jacaré, unidade na qual está inserida a Gruta Morena. (Modificado de Alkmim & Martins Neto, 2012).

2.2 GEOLOGIA LOCAL

A Gruta Morena está inserida em calcáreos da Formação Lagoa do Jacaré, que afloram em uma extensão de aproximadamente 10 Km no sentido Norte-Sul, em região conhecida como Serra do Maquiné. A oeste da área, afloram rochas da formação Serra da Saudade, e intercalados aos calcáreos ocorrem pelitos da formação Serra de Santa Helena, onde está inserida a malha urbana da cidade de Cordisburgo.

Na região de estudo a formação Lagoa do Jacaré é representada principalmente por rochas pelito-carbonáticas proterozoicas. São comuns as ardósias, os calcários, os filitos, folhelhos e metassiltitos depositados sobre rochas do embasamento composto por granitos e gnaisses. O mapa da figura 2.3 apresenta as principais unidades aflorantes da região de estudo.

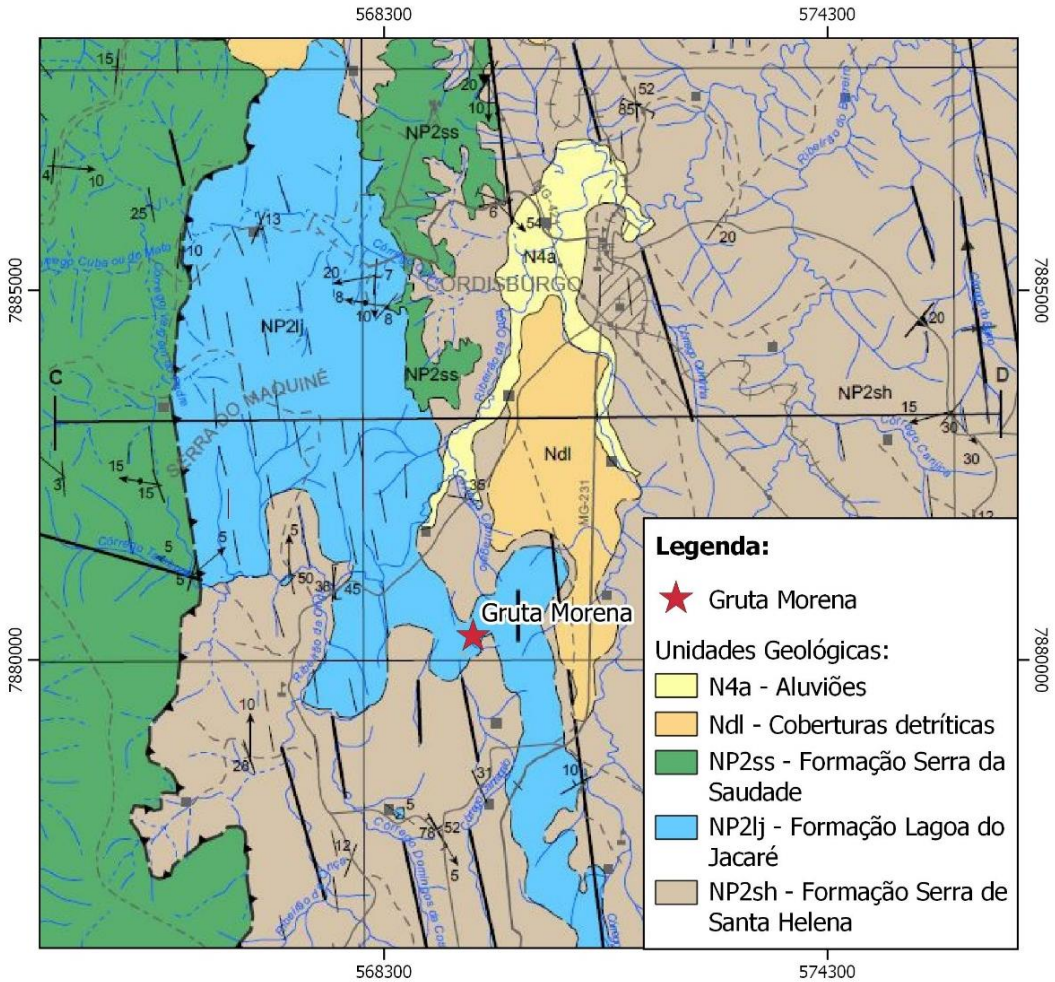


Figura 2.3 – Mapa Geológico da área de estudo, com as principais unidades aflorantes na região. A Gruta Morena encontra-se assinalada pela estrela vermelha no mapa (Modificado de Tuller, 2009).

CAPÍTULO 3

REVISÃO DE CONCEITOS

3.1 DEPÓSITOS SEDIMENTARES EM AMBIENTES ENDOCÁRSTICOS

Sistemas fluviais em ambientes endocársticos são caracterizados pela captura de drenagens superficiais por depressões no relevo, como dolinas e vales cegos. Essas drenagens então passam a formar fluxos subterrâneos e podem reaparecer em surgências, retomando seu curso superficial (Ford & Williams, 2013).

O transporte de sedimentos é parte indissociável deste sistema, onde os condutos subterrâneos atuam como câmaras propícias à deposição, mistura e retrabalhamento destes materiais (Herman *et al*. 2012). A maior parte do transporte de sedimentos é episódica, relacionada a eventos de tempestade, condições onde condutos podem ser completamente inundados por água. Partículas maiores são transportadas somente quando a velocidade do fluxo excede os limites necessários para move-las, dessa forma podem permanecer depositados enquanto outro evento de maior intensidade não for suficiente para transporta-los como carga de fundo novamente (Figura 3.1). Por outro lado, sedimentos finos podem permanecer em suspensão por mais tempo, podendo ser remobilizados por pequenas variações no nível freático local (Herman *et al*. 2012).

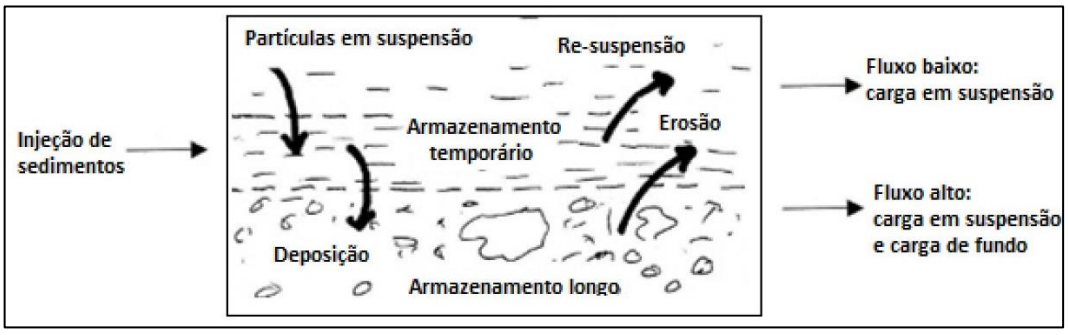


Figura 3.1 – Deposição e retrabalhamento de sedimentos em condutos cársticos. Sedimentos de maior granulometria tendem a permanecer depositados por maior tempo, enquanto sedimentos finos são remobilizados por pequenas variações no nível freático (Modificado de Herman *et al*., 2012).

Segundo Sasowsky (2007), cavernas podem persistir no relevo por até 10 milhões de anos, sendo seus sedimentos retratos do pleistoceno e parte do Neógeno. Uma diversidade de métodos geocronológicos vem sendo utilizados para se obter idades absolutas em sedimentos de cavernas, e estes estudos vêm proporcionando contribuições em diversas áreas como a determinação de taxas de incisão fluvial e desnudação de relevos (Laureano *et al*., 2016), condições ambientais vigentes no passado (Auler *et al.,* 2014) e no âmbito da evolução de condutos (Farrant, 2011).

Em relação à escala de tempo dos depósitos sedimentares encontrados em cavernas, tempestades individuais podem gerar depósitos que ser preservam por décadas nas cavidades. Já em escalas de tempo maiores ($10^4 – 10^5$ anos), depósitos sedimentares podem ser formados em resposta a variações climáticas como monções e períodos glaciais.

3.1.1 Tipos de Depósitos

Depósitos sedimentares endocársticos são divididos em dois grandes grupos, os depósitos químicos e os depósitos clásticos. Depósitos químicos são aqueles precipitados no interior das cavidades por ação de águas enriquecidas em carbonato de cálcio, através do gotejamento, exsudação ou fluxo lento de água (Ford & Williams, 2013).

Depósitos clásticos, por sua vez, são aqueles formados pelo transporte mecânico de sedimentos através dos condutos. Estes podem ser divididos em dois grupos, de acordo com sua fonte. Sedimentos alogênicos são aqueles provenientes da superfície, injetados nos condutos por fluxos superficiais, enquanto sedimentos autogênicos são aqueles provenientes do intemperismo da própria rocha encaixante (Herman *et al*. 2012).

3.1.2 Zonas hídricas de Cavidades

Cavernas apresentam 3 zonas distinguíveis pelo regime hídrico e nível freático vigentes, são elas a zona vadosa, zona de oscilação do nível d'água e a zona freática. A zona vadosa fica acima do nível freático, onde o fluxo das drenagens é essencialmente proveniente de recargas superficiais, e os condutos não se apresentam preenchidos por água. Neste ambiente predominam os processos gravitacionais de deposição de sedimentos. Na zona de oscilação do nível d'água, os condutos passam de uma condição vadosa para uma condição freática com o aumento do nível do lençol freático. Neste ambiente o sedimento é transportado tanto como carga de fundo como em suspensão. O ambiente freático, constantemente inundado por água, apresenta menos descrições in situ dos seus mecanismos de transporte, devido à complexidade da atividade de mergulho para tal estudo. Sendo assim os mecanismos de transporte neste ambiente são estudados principalmente por simulações e experimentos conduzidos em tubo.

3.1.3 Proveniência Dos Sedimentos

Sedimentos injetados por fluxos superficiais, através da captura de drenagens, comumente são o maior componente em sistemas fluviais cársticos. Estes sedimentos são depositados, e então remobilizados em sucessivos eventos de inundação, e sua composição reflete a variedade de litologias presentes na bacia de captação da drenagem (Herman *et al.* 2012).

Segundo Laureano (2013), a entrada de sedimentos na cavidade se dá de 6 diferentes maneiras: (i) por fraturas ampliadas do epicarste; (ii) por abatimento de dolinas; (iii) via sumidouros (bacias hidrográficas superficiais); (iv) abatimento interno de tetos e paredes; (v) transportados por bacias subterrâneas; (vi) retro-inundação por drenagens adjacente (Figura 3.2).

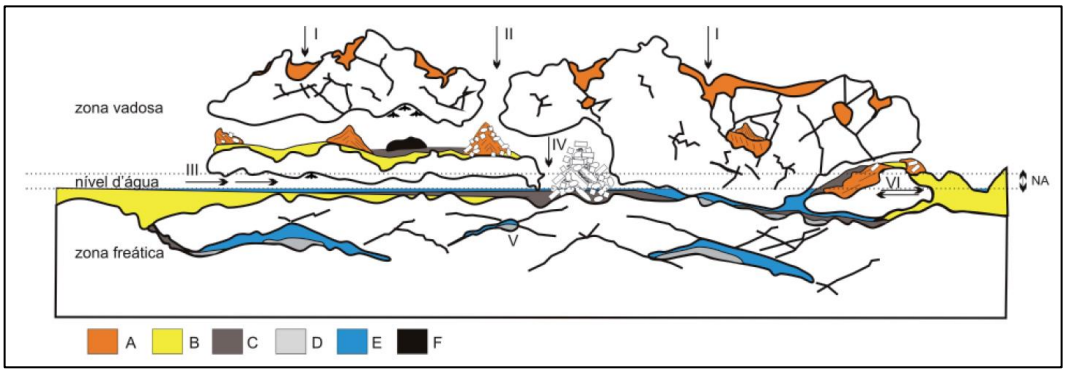


Figura 3.2 – Sedimentos clásticos em um sistema endocárstico. As cores representam diferentes tipos de preenchimento dos condutos: A – material pedogenizado ou proveniente da superfície; B – alúvio; C – lamas lacustres ou epifreáticas; D – resíduo insolúvel; E – água; F – guano ou outros depósitos orgânicos. As setas indicam as principais fontes na injeção de sedimentos: I – Fraturas ampliadas no epicárste; II – abismos; III – sumidouros (bacia hidrográfica superficial); IV – abatimentos internos; V – rede de galerias freáticas (bacia subterrânea); VI – reto-inundação. (Modificado de Laureano, 2013)

3.1.4 Fácies sedimentares no ambiente endocárstico

Bosch & White (2004) apresentam o modelo de fácies mais realístico para sedimentos depositados em aquíferos cársticos no domínio continental. Baseados nos mecanismos de transportes vigentes em sistemas de condutos, os autores propõem cinco litofácies, fundamentados em sua granulometria e grau de seleção (Figura 3.3). São as fácies de canal, talvegue, águas estagnadas (slackwater), pântanos (back-swamp) e fluxo de detritos (diamicton).

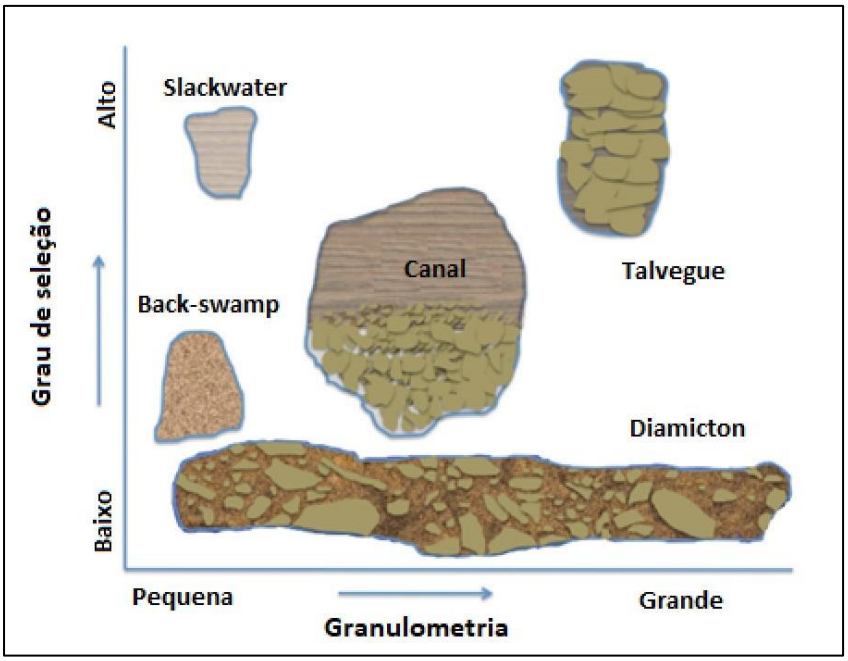


Figura 3.3 – Representação esquemática das fácies sedimentares segundo sua granulometria e grau de seleção (Modificado de Bosch & White, 2004).

Na zona vadosa de cavidades, predominam processos gravitacionais de erosão da rocha e formação de blocos. O fenômeno de abatimento de tetos e paredes de galerias subterrâneas podem formar acumulações de lascas ou grandes pilhas contendo blocos de rocha. Segundo Ford & Williams (2013), os processos geológicos que podem favorecer o abatimento de galerias, podem ser a remoção do suporte hidrostático ou rochoso, ou ainda a expansão de gelo ou minerais nas fraturas da rocha. Estes depósitos são caracterizados pelo baixo grau de seleção e por serem pobremente estratificados. Gillieson (1986) foi o primeiro a utilizar o termo diamictons para descrever brechas matriz suportadas transportadas para o interior de cavernas na Nova Guiné. Bosch & White (2004), adotaram a denominação genérica de fácies diamicton para agrupar depósitos gravitacionais mal selecionados encontrados nas cavidades.

Na zona de oscilação nível freático, são encontradas 4 das 5 fácies sedimentares descritas por Bosch & White (2004), sendo as fácies de canal e de talvegue relacionadas ao ambiente fluvial, e a fácies de águas estagnadas relacionadas ao ambiente lacustre ou epifreático. Fácies de canal são caracterizadas por uma ampla variação textural podendo ser subdividida em subfácies descritivas. Também são comuns feições erosivas e variações bruscas ao longo da estratigrafia, além de imbricamento dos clastos. Segundo Herman *et al*. (2012), estes depósitos são formados durante eventos hidrológicos ordinários de alta intensidade, onde os sedimentos são depositados e então somente são removidos se atingidas novamente as condições hídricas necessárias para o transporte dos sedimentos. Depósitos de fácies de talvegue são constituídos por sedimentos grossos, bem selecionados, por vezes embutidos em discordância com depósitos de fácies de canal. Estes depósitos são comumente derivados

da erosão da fácies de canal, encontrados nas calhas das drenagens, onde os sedimentos finos são levados pela ação da drenagem no conduto, gerando depósitos de maior granulometria e melhor selecionados (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Exemplo extremo de formação da fácies de talvegue na Butler Cave – Virginia/USA (Bosch & White, 2004).

Ambas as fácies de canal e de talvegue são trativos, transportados como carga de fundo de fluxos hídricos, enquanto as fácies de águas estagnadas são relacionadas ao ambiente lacustre ou epifreático. Neste ambiente, siltes e argilas são transportados como carga em suspensão pelos condutos. Usualmente os depósitos de água estagnadas aparecem no topo do registro sedimentar de depósitos endocársticos, na forma de lamas laminadas sobrepondo as fácies de canal e/ou talvegue (Figura 3.5), registrando o final de um grande ciclo hidrológico de maior intensidade, e rebaixamento do nível freático local (Bosch & White, 2004).

Figura 3.5 - Exemplo de deposição da fácies de canal, Butler Cave – Virginia/USA (Bosch & White, 2004)

Bosch & White (2004), utilizam o termo fácies de pântano (back-swamp facies) para descrever depósitos comumente observados em cavernas labirínticas, com pouco transporte lateral de sedimentos. Neste ambiente, os sedimentos são injetados nos condutos principalmente por fraturas no epicarste, e são imediatamente depositados. Estes diferem-se das fácies de águas estagnadas pela presença de

sedimentos de variadas granulometrias, pois componentes insolúveis das rochas sobrejacentes à cavidade podem fornecer clastos com tamanhos bem superior a areias.

A Figura 3.6 apresenta uma distribuição espacial esquemática das diferentes fácies sedimentares em um sistema endocárstico.

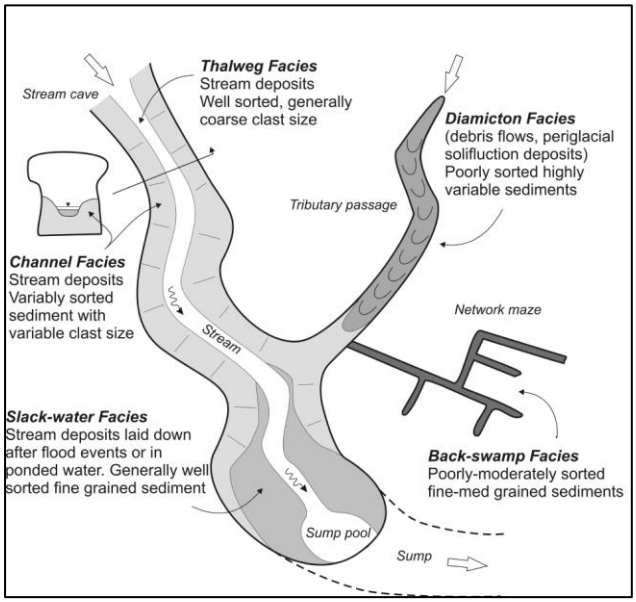


Figura 3.6 – Representação esquemática da distribuição de fácies sedimentares em condutos subterrâneos (Farrant & Smart, 2011).

3.1.5 Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares Endocársticos

Em termos estratigráficos, é importante lembrar que o ambiente cavernícola é marcado pela constante presença da erosão e pela operação de uma variedade de mecanismos deposicionais que podem levar a ocorrência de discordâncias, variações laterais de fácies e, por vezes, a um quadro de estratigrafia reversa, onde camadas mais antigas repousam sobre camadas mais jovens (Osborne, 1998). Sedimentos detríticos recobertos por capas estalagmíticas são usualmente removidos, e o vazio então é preenchido por outro pulso de detritos. Esta complexidade faz com que muitas vezes a extrapolação de uma descrição estratigráfica para outras porções da cavidade ou até mesmo em um mesmo conduto, não sejam possíveis de serem feitas de maneira direta.

Condutos com diferentes fontes de sedimentos, e drenagens com áreas de recarga superficiais diferentes podem apresentar variadas características tanto na composição dos clastos, e evolução dos condutos. Dessa forma deve-se ter em mente que depósitos com sucessões estratigráficas semelhantes, em locais diferentes em uma mesma cavidade, podem ser formados em tempos distintos, não sendo diretamente relacionados.

3.2 PARAGÊNESE

No contexto espeleogenético, a paragênese é o processo pelo qual, a acumulação de sedimentos em determinado conduto, em uma condição freática, força a dissolução em uma determinada porção do perímetro do conduto, geralmente para cima, gerando formas que incluem canais nos tetos das galerias, podendo ser meandrantes, canais menores anastomosados, e pendentes (Figura 3.7). Neste contexto, a deposição de sedimentos e o processo de dissolução, são simultâneos. Em um ambiente vadoso, a acumulação de sedimentos pode causar incisões laterais nos condutos, gerando feições conhecidas como entalhes aluvionares (Farrant, 2011).

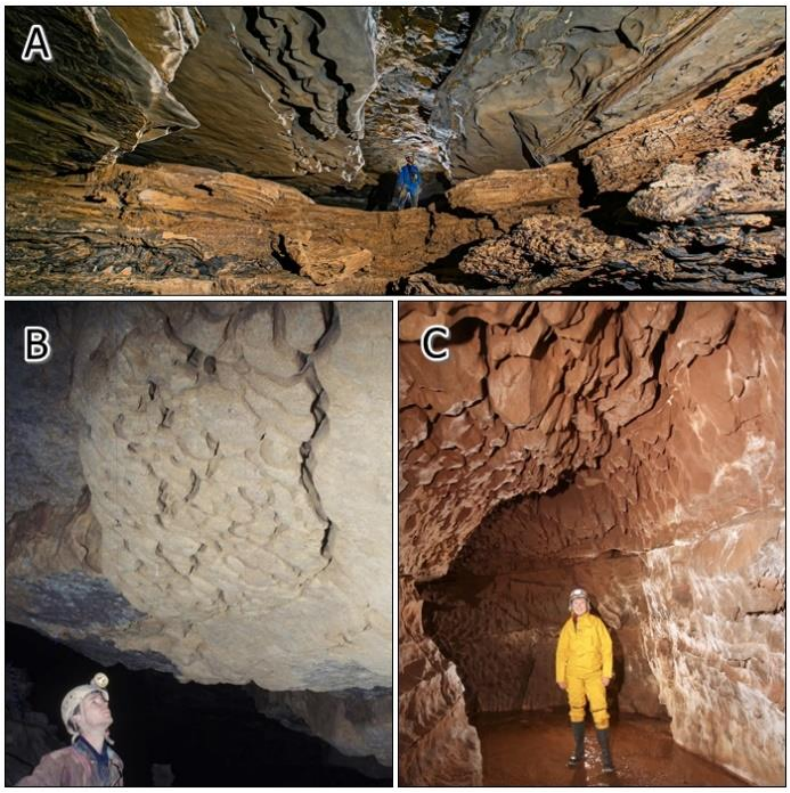


Figura 3.7 - **A)** Feições paragenéticas na Gruta Morena. Pequenos canais anastomosados e um canal maior de morfologia meandrante no teto do conduto. **B)** Canais anastomosados na caverna Orgof Draenen, South Wales. (Farrant, 2011) **C)** Pendentes na caverna Ogof Ffynnon, South Wales. (Farrant,2011)

O reconhecimento de fases paragenéticas no desenvolvimento de uma cavidade, se faz importante em estudos espeleológicos, uma vez que a deposição de sedimentos pode fornecer importantes informações paleoclimáticas. O acumulo de sedimentos em um determinado conduto, pode ser determinante no predomínio de uma condição freática ou vadosa, em resposta às variações no nível freático. A Figura 3.8 exemplifica a gênese de um conduto em resposta à variação do nível freático e a acumulação de sedimentos.

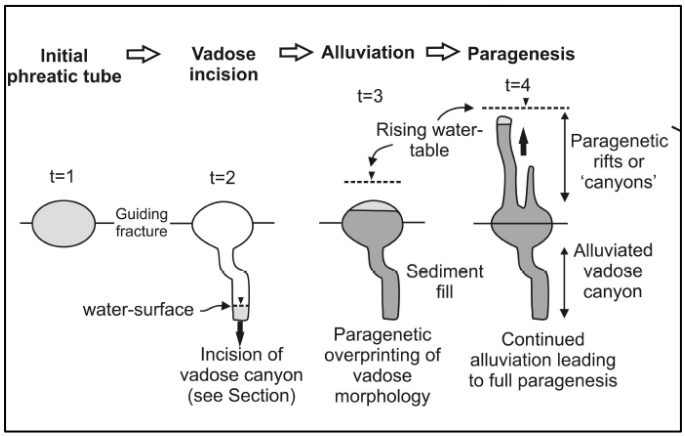


Figura 3.8 – No tempo t=1, o conduto inicialmente em condição freática, passa para uma condição vadosa no período t=2, onde a dissolução ocorre principalmente na calha da drenagem, formando um cânion vadoso. Com a progressiva acumulação de sedimentos do tempo =3 a t=4, o conduto passa a uma condição freática, e a dissolução preferencial no teto do conduto gera feições paragenéticas.

CAPÍTULO 4

A GRUTA MORENA E O CARSTE DE CORDISBURGO

4.1 O CARSTE DE CORDISBURGO

O carste de Cordisburgo está inserido na Bacia do Ribeirão da Onça, Sub-Bacia do Rio das Velhas, considerado o nível de base regional. Um dos principais tributários do Ribeirão da Onça é o Córrego Cantagalo, mais importante drenagem presente na Gruta Morena.

Conforme o Mapa Exploratório de Fenômenos Cársticos de Região de Cordisburgo elaborado por Travassos (2000), encontrado em anexo, na região observa-se uma rede de drenagens bem desenvolvida, onde há a presença de cursos d'agua perenes e intermitentes. À Noroeste da área encontra-se uma planície, em uma feição geomorfológica conhecida como *polje*, formada pelo contínuo abatimento subterrâneo de galerias, formado dolinas que evoluem para os *poljes*. Nesta feição são encontradas as principais lagoas da região. Já no *polje* central, encontra-se a malha urbana de Cordisburgo. Este é limitado por expressivos maciços calcáreos, na forma de afloramentos de até 30m de altura, apresentando acamamento plano paralelo (Travassos, 2000).

Na região encontram-se cavernas com grande relevância científica e cultural, como a Gruta do Maquiné, Gruta do Santo Amaro, e a Gruta Morena. As principais cavidades da região estão localizadas a sul da cidade de Cordisburgo. A figura 4.1 ilustra a localização da entrada da Gruta Morena, e ao fundo o *polje* central onde está inserida a malha urbana de Cordisburgo (Travassos, 2000).

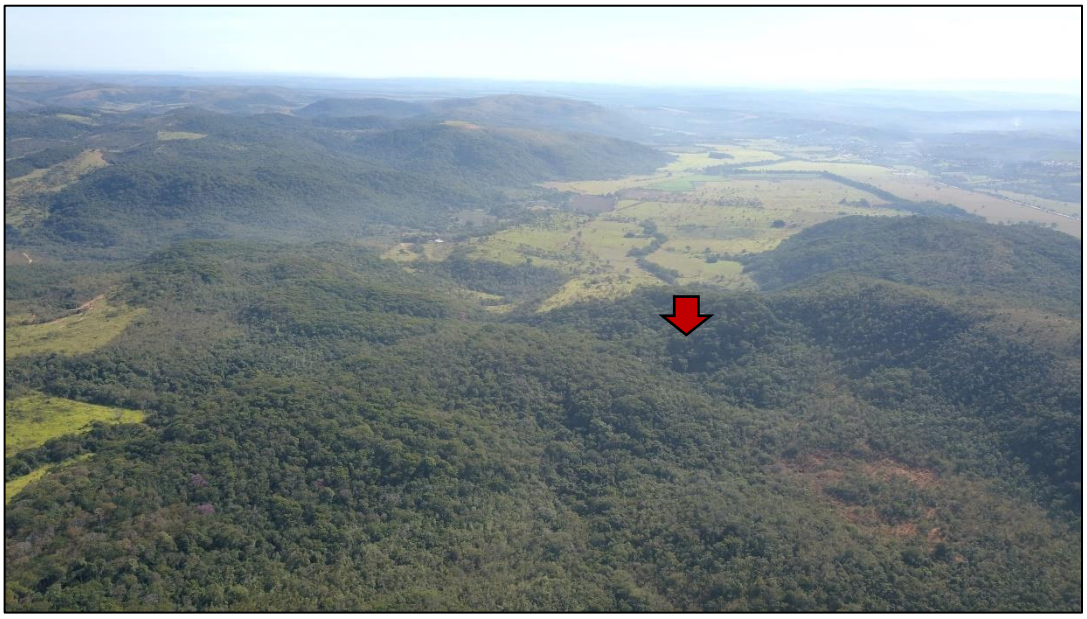


Figura 4.1 - Vista aérea da região da Gruta Morena. A entrada principal indicada na imagem pela seta vermelha. Ao fundo, na porção à direita da imagem, o *polje* central onde está inserida a malha urbana de Cordisburgo.

4.2 A GRUTA MORENA

Segundo Travassos (2000), a Gruta Morena é a maior cavidade nos arredores da cidade de Cordisburgo. Possui 4865 metros de desenvolvimento horizontal, segundo mapeamento realizado pelo Observatório Espeleológico (em Anexo). A Gruta possui sete entradas que dão acesso a seus salões interiores e condutos formados pelos rios que correm na cavidade.

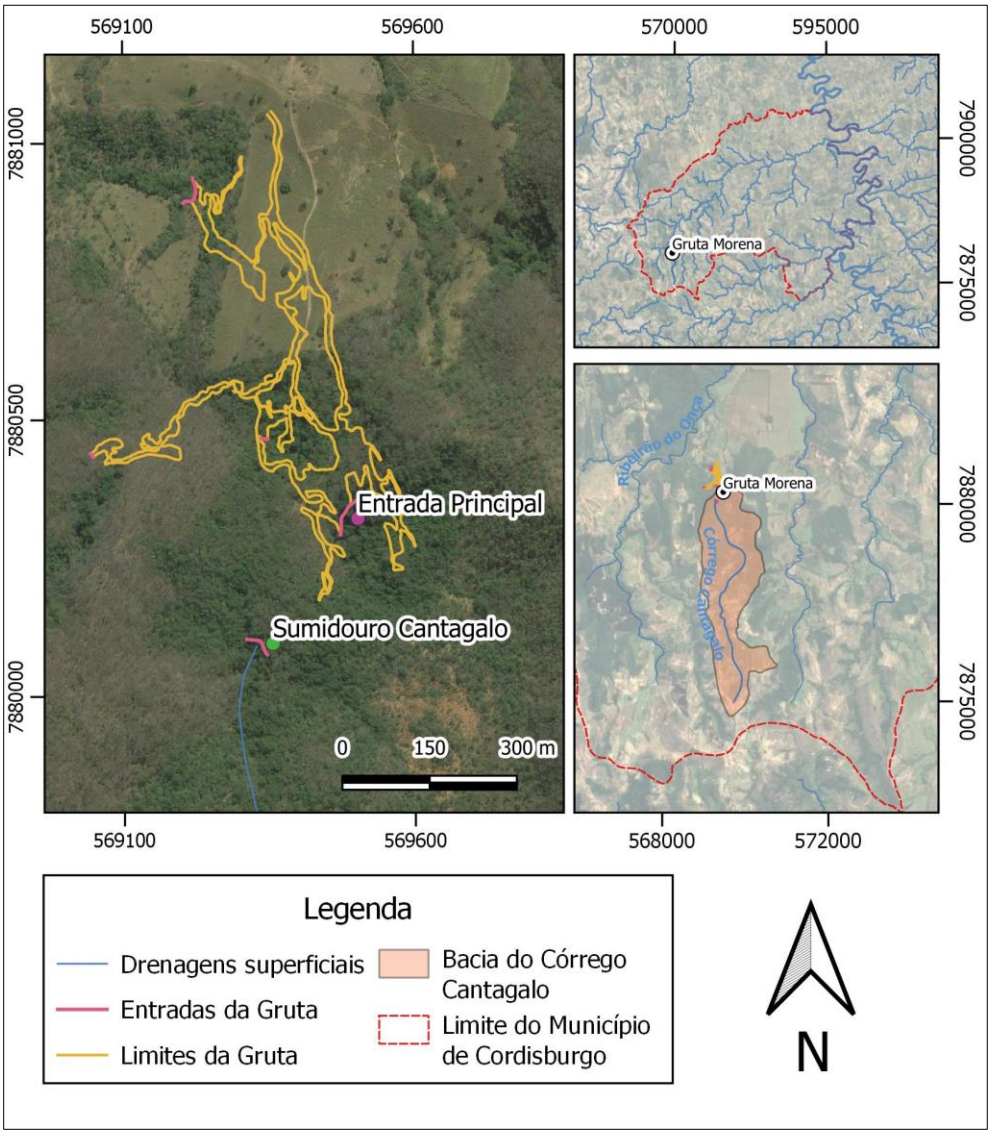


Figura 4.2 – Mapa de localização da Gruta Morena no Município de Cordisburgo, com destaque para a bacia hidrográfica do Córrego Cantagalo.

A principal drenagem superficial que adentra à cavidade por meio de um sumidouro, é o Córrego Cantagalo, por onde também são injetadas as maiores quantidades de sedimentos na Gruta. Também adentra à cavidade, em seu conduto mais a oeste, uma drenagem secundária, por onde também são injetadas grandes quantidades de sedimentos, na entrada conhecida como Saída do Ney. Na Entrada principal da cavidade, onde encontra-se um dos maiores salões da Gruta, também há a captura de uma

drenagem superficial, onde é formado um grande depósito de fácies diamicton. As drenagens que adentram à cavidade se encontram em seu interior para formar um fluxo único que flui na direção do sumidouro da Gruta. A Figura 4.2 apresenta as entradas principais entradas da cavidade, por onde são capturadas as maiores drenagens superficiais., além do sumidouro da cavidade.

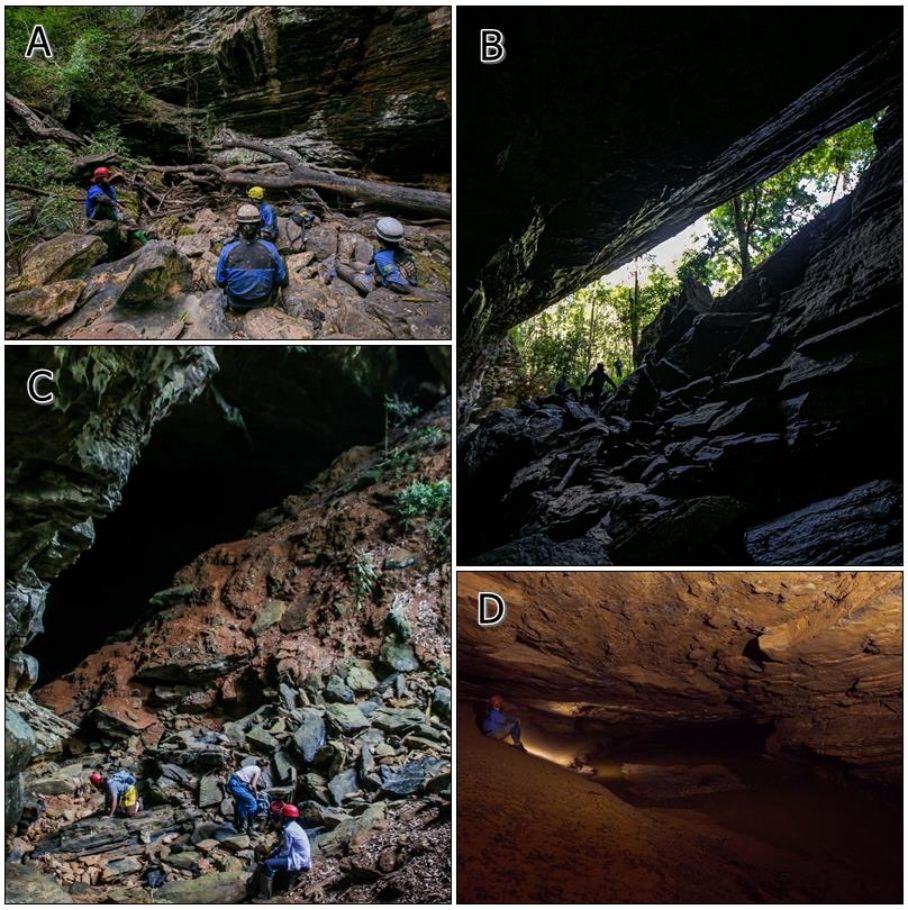


Figura 4.3 – Aspectos gerais das principais entradas da Gruta Morena. **A)** Saída do Ney; **B)** Sumidouro superficial do Córrego Cantagalo; **C)** Entrada principal da Gruta Morena; **D)** Sumidouro para onde fluem as drenagens da Gruta Morena

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante as etapas de campo, foram mapeados e descritos os principais depósitos sedimentares preservados no interior da Gruta Morena. Os depósitos foram individualizados em 4 fácies sedimentares, segundo os trabalhos de Bosch & White (2004), que incluem: Fácies *Slackwater*, Fácies de Canal, Fácies de Talvegue, e Fácies *Diamicton* (Tabela 1).

Fácies	Nomenclatura	Descrição	Interpretação
Slackwater	Sw	Argilitos e siltitos laminados a maciços, de coloração ocre.	Sedimentos finos depositados em condição de fluxo muito lento ou águas estagnadas. Ocorrem na maioria na vezes sobrepostos a sedimentos de fácies de canal.
Canal	Ch	Conglomerados, moderadamente selecionados, de grânulos a matacões, bem arredondados e de baixa esfericidades com formas prolatas. Apresentam gradações inversas e normais, e imbricamento dos clastos.	Sedimentos transportados como carga de fundo em regime de fluxo turbulento. Depositam-se com a diminuição do aporte hídrico na forma de conglomerados.
Talvegue	Tw	Sedimentos grossos, bem selecionados, encontrados principalmente nas calhas das drenagens da gruta.	Depósitos formados pelo retrabalhamento dos sedimentos da fácies de canal, através da sua erosão pelo curso d'agua atual no conduto. Os sedimentos são "peneirados" pelo constante fluxo de água, selecionando os sedimentos mais grossos e transportando os sedimentos finos.
Diamicton	Dm	Sedimentos mal selecionados, caoticamente depositados, encontrados nas entradas e grandes salões da gruta. Ocorrem principalmente na forma de cones e pilhas de blocos e matacões.	Depósitos gravitacionais formados a partir de grandes movimentos de massa nas entradas da Gruta, na forma de depósitos de talus no maciço, e pelo abatimento dos tetos e paredes dos condutos onde se encontram.

Tabela 1 - Fácies sedimentares observadas nos depósitos da Gruta Morena.

Na Figura 5.1 é representado o mapa da Gruta Morena, com os principais depósitos sedimentares endocársticos mapeados em seu interior (o mapa em tamanho original encontra-se em anexo).

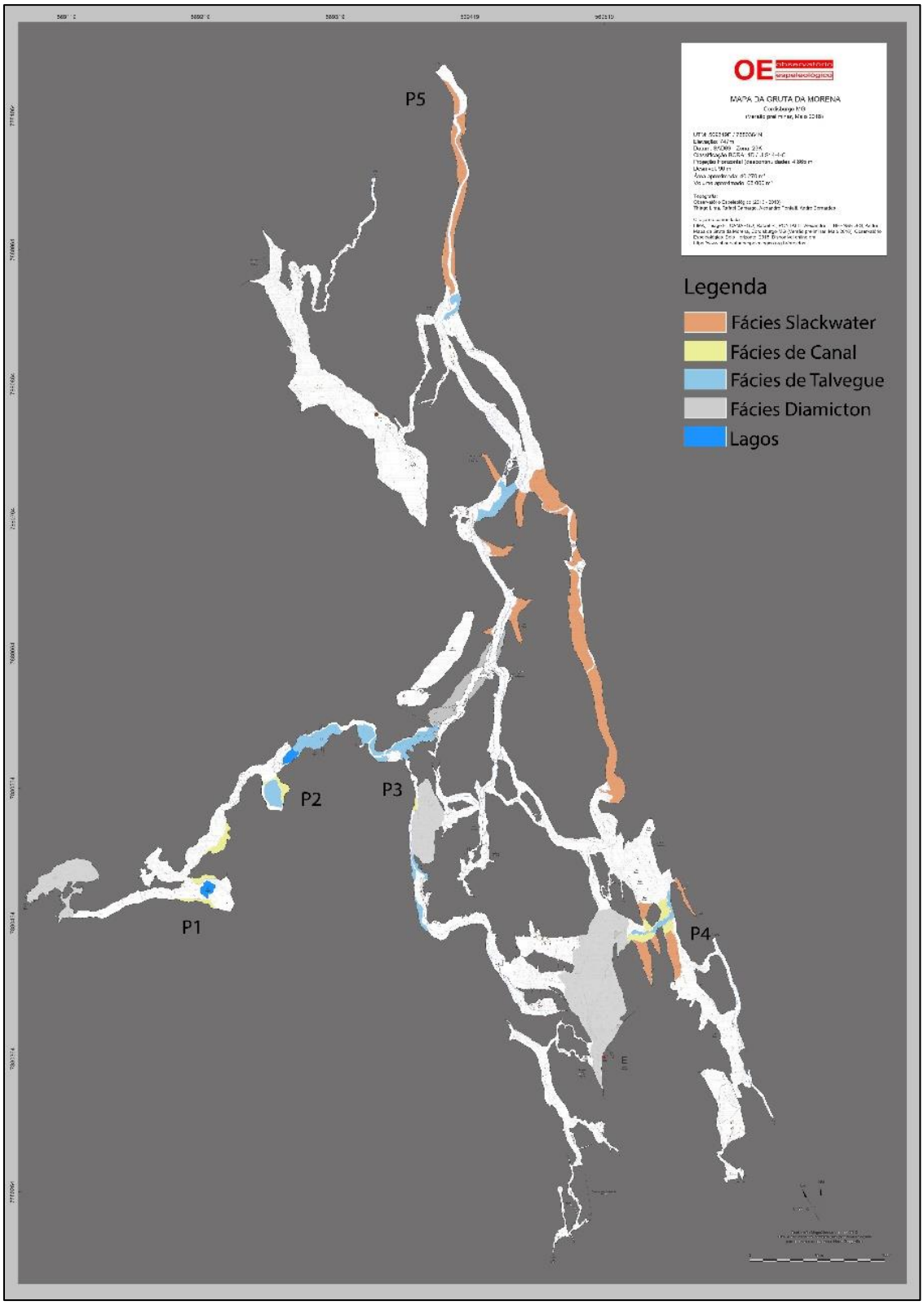


Figura 5.1 - Mapa da Gruta Morena com a representação dos principais depósitos sedimentares mapeados durante as etapas de campo (Modificado de Lima, *et al*., 2018)

Também foram escolhidos 5 pontos específicos da cavidade para serem confeccionados perfis estratigráficos associados aos cortes dos condutos, a fim de representar distribuição vertical e espacial dos depósitos sedimentares endocársticos. A análise faciológica e de distribuição espacial destes depósitos permitiu explorar os possíveis processo hidrodinâmicos responsáveis pela formação de cada um.

Os dados e discussão de cada ponto específico detalhado encontra-se a seguir.

5.1 Ponto 1 – Conduto do Tobogã

O Ponto 1 localiza-se em um dos principais condutos da cavidade, conhecido como conduto do tobogã (Figura 5.2). Este encontra-se próximo a uma das entradas da Gruta, chamada saída do Ney, onde uma drenagem superficial adentra à cavidade na forma de um sumidouro, e funciona como o principal ponto de entrada de sedimentos que são transportados até o Conduto do Tobogã. A figura abaixo mostra a Saída do Ney, onde existe um grande aporte de sedimentos e material vegetal, que é continuamente transportado para dentro da cavidade.

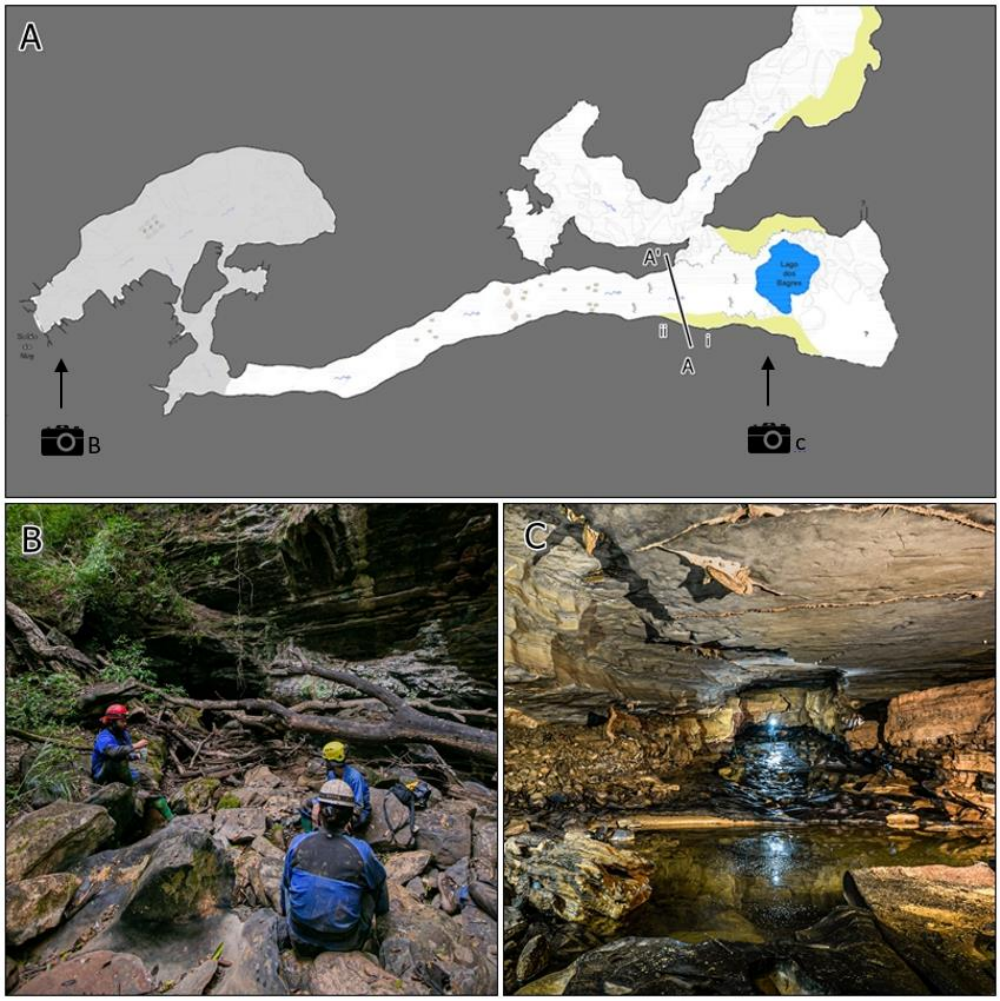


Figura 5.2 - A) Mapa com a localização do ponto de levantamento estratigráfico (Perfil A – A'); **B)** Saída do Ney; **C)** Conduto do Tobogã.

Os blocos de tamanhos métricos depositados na entrada da gruta formam depósitos de fácies diamicton, com distribuição caótica e estratificações, com maior ocorrência na “entrada do Ney”. Estes depósitos são resultados do transporte por drenagens externas que adentram a caverna, bem como eventos de batimento do teto da gruta (Figura 4.3, B).

O conduto do Tobogã é caracterizado por um conduto levemente sinuoso e baixo gradiente de inclinação, associado a uma drenagem ativa, submissa a eventos de enxurradas (tromba d’água). Nos primeiros metros do conduto, foram observados os depósitos sedimentares de conglomerados e arenitos seixosos estratificados, alocados em reentrâncias laterais e basais do conduto ou como barras cascalhosas (Figura 5.3). Estes depósitos grossos apresentam arcabouço fechado com gradação interna normal a inversa, além de porções com seixos arredondados imbricados (Figura 5.7, B). Estes foram definidos como depósitos de fácies de Canal (CF). Intercalados aos depósitos de fácies de canal foram observados argilitos laminados, da fácies *Slackwater*.

No salão principal do conduto do Tobogã (Figura 5.2C e 5.3) foi levantado o perfil I (Figura 5.4 B), enquanto que o perfil II foi levantado a montante do conduto (Figura 5.4 C). Nesta sucessão foram identificadas fácies de canal com pequenas variações (Ch1, Ch2 e Ch3) associadas a depósitos químicos de travertinos e fácies de *Slackwater* (Sw).

Figura 5.3 - Principal depósito sedimentar do conduto do tobogã, constituído por conglomerados de fácies de canal, sobrepostos por depósitos químicos na forma de travertinos.

A base do perfil é definida pelos depósitos conglomeráticos de fácies de canal **Ch1**, que consistem em conglomerados de grânulos a matacões, com clastos de calcário e quartzo, bem arredondados e de baixa esfericidades com formas prolatas. O arcabouço é fechado, com seleção moderada associado a gradação inversa e clastos imbricados. Também pode apresentar subordinada contribuição de matriz siltosa e porções cimentadas por espeleotemas (Figura 5.6, A).

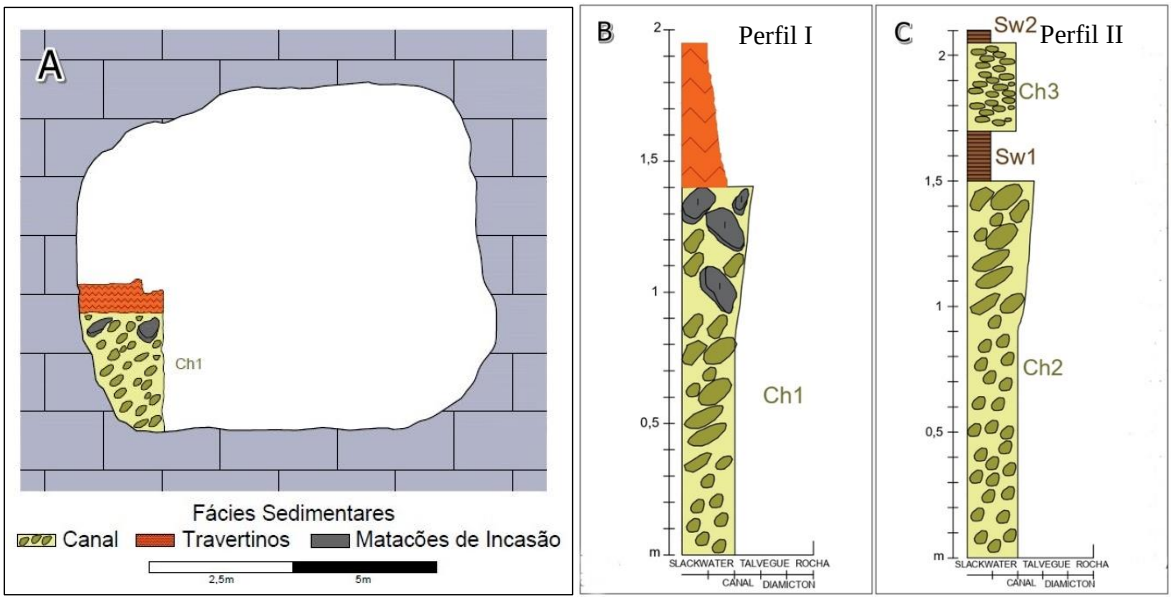


Figura 5.4 – **A)** Corte transversal no conduto do tobogã. **B)** Perfil estratigráfico levantado no conduto do tobogã, no ponto representado no corte A –A'; **C)** Perfil estratigráfico levantado poucos metros à montante do ponto A.

No perfil I (Figura 5.4, A) são observados, no topo da sucessão da fácies de canal, matacões em discordância com os clastos do depósito, provavelmente produto da incasão do teto da galeria. Estes parecem terrem sidos depositados juntamente à fácies de canal, porém não possuem a mesma origem sedimentar.

A Fácies **Ch2** possui as mesmas características da fácies Ch1, porém se diferencia pela distribuição espacial, ocorrendo lateralmente associados a depósitos químicos de travertinos. As fácies Ch2 ocorrem na forma de lentes preenchendo depressões entre travertinos, e suas "piscinas" internas de contenção de água. Nestas fácies o arcabouço é maciço com ausência de gradações granulométricas. Associados a estes depósitos ocorrem lentes de argilito/siltito laminados de coloração ocre, que podem apresentar fragmento de detritos orgânicos como galhos e folhas. Estas lentes pontuais são definidas como facies de *slackwater*.

A Fácies **Ch3** é composta por conglomerados granulares e seixosos, com ausência de matacões. Também, coexiste lateralmente com travertinos preenchendo feições de depressão, com menos expressão lateral. Esta também é recoberta por depósitos de argilitos maciços a laminados referentes a Fácies **Sw.** No topo destes argilitos ocorrem marcas onduladas assimétricas e gretas de contração.

A porção superior dos depósitos preservados, tanto a sucessão das fácies Ch e fácies Sw, são recobertos por uma espessa camada de **travertinos** de tamanho métricos (Figura 5.3).

A Figura 5.6 abaixo, ilustra a disposição dos depósitos no conduto do tobogã.

Figura 5.5 – Depósito sedimentar no conduto do tobogã, com sucessões de fácies de canal sobrepostas por depósitos químico na forma de travertinos. A fácies Ch2 coexiste lateralmente com os travertinos, por vezes preenchendo as "piscinas" formadas por estes espeleotemas.

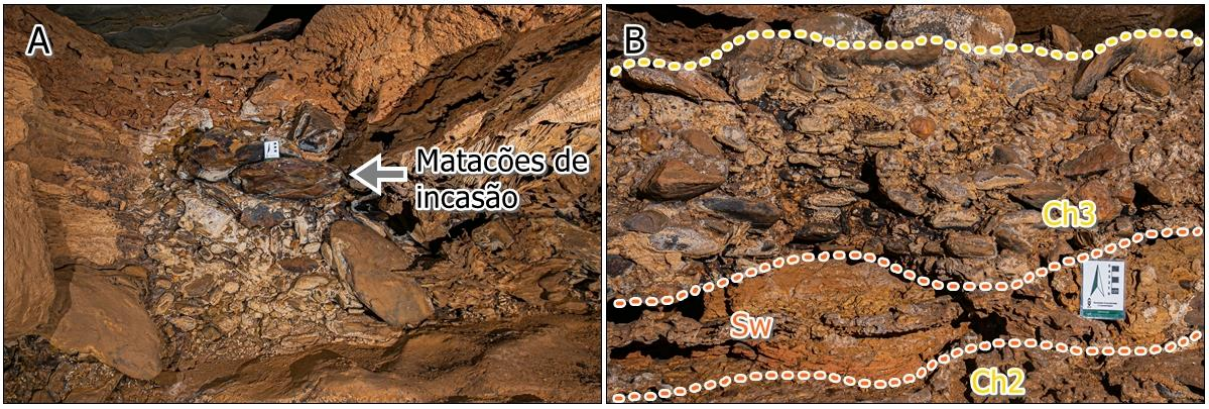


Figura 5.6 - A) Detalhe do banco de sedimentos onde foi levantado o perfil da Figura 5.5, A; **B)** Detalhe do local onde foi levantado o perfil da Figura 5.5, B, mostrando a intercalação da fácies Slackwater com a fácies de canal.

Aproximadamente a 25 metros, a montante dos depósitos descritos acima, os sedimentos encontram-se erodidos em sua base pelo fluxo atual da drenagem no conduto, de forma que ficam preservados travertinos na parte superior do conduto, e abaixo destes, travertinos de idade mais jovem são formados pela atual drenagem no conduto do tobogã (Figura 5.7).

Figura 5.7 - Depósitos químicos à montante do ponto 1, no conduto do Tobogã.

5.2 Ponto 2

O ponto 2 localiza-se à jusante da drenagem que passa pelo Ponto 1 (Figura 5.9, A) e é composto por depósitos de sucessão similar aos descritos no primeiro ponto.

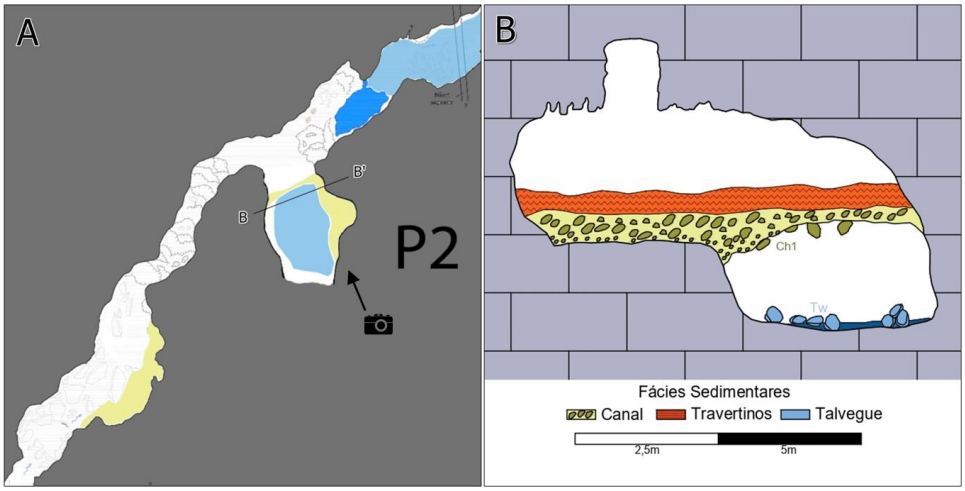


Figura 5.8 - A) Localização do Ponto 2, à jusante do ponto 1; **B)** Corte transversal (B – B') no conduto do ponto 2.

Neste local, são encontrados espessos depósitos de conglomerados da Fácies de Canal (**Ch**), também recobertos por travertinos. Os depósitos de fácies **Ch** preenchem o conduto de uma lateral à outra, na forma de uma camada de aproximadamente 1 metro de espessura. Em uma das laterais do conduto, estes sedimentos são erodidos em sua base, formando uma "ponte" de conglomerados, onde abaixo corre a drenagem atual no conduto. O curso atual da drenagem é caracterizado pela presença de depósitos de talvegue (**Tw**) em seu canal (Figura 5.9, B).

A Figura 5.10 abaixo, mostra o local onde foi levantado o perfil estratigráfico dos depósitos sedimentares, além do perfil estratigráfico com a sucessão observada neste ponto.

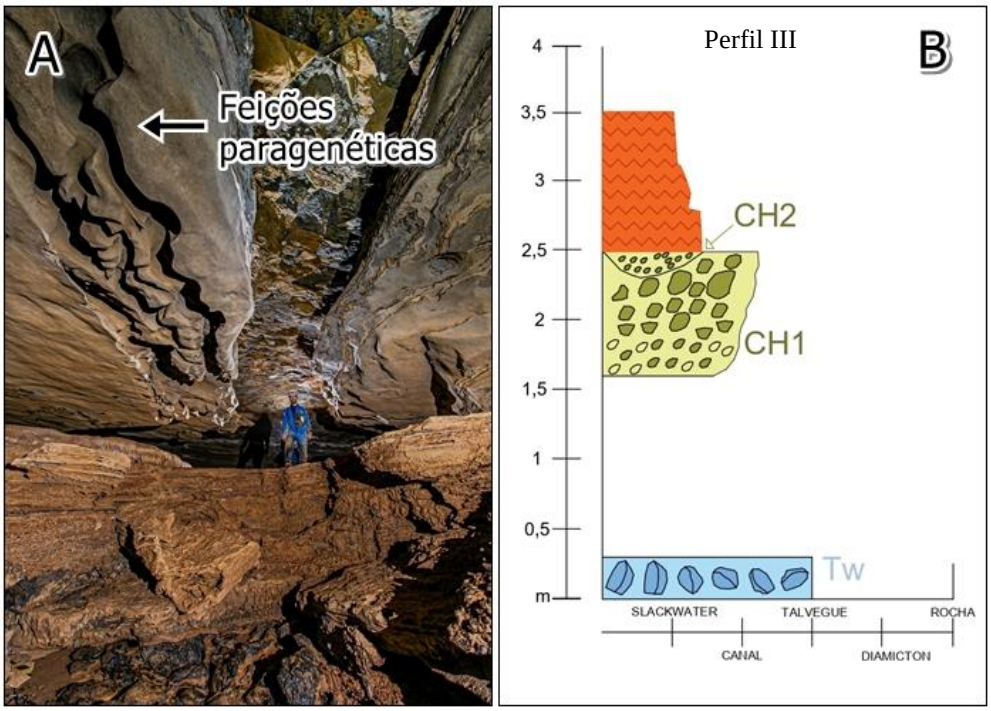


Figura 5.9 – **A)** Conduto onde foi descrito o ponto 2 e seu perfil estratigráfico, com destaque para a feição paragenética no teto da galeria. **B)** Perfil estratigráfico mostrando a sucessão sedimentar observada neste ponto.

Nos depósitos de fácies de Canal (**Ch**) foram observadas duas variações Ch1 e Ch2. A Fácies Ch1, consiste em conglomerados formados por grânulos seixos e matacões, arredondados, de esfericidade baixa. Os clastos, de composição predominantemente calcárea, são bem imbricados e têm seleção moderada. Em algumas porções do afloramento observa-se uma gradação inversa dos sedimentos. O arcabouço é fechado, de matriz siltosa, cimentado por depósitos químicos carbonáticos (Figura 5.11, A). Enquanto que a Fácies **Ch2** é composta por grânulos e seixos bem arredondados, de forma predominantemente prolata e bem imbricados, arcabouço fechado, com pouca matriz siltosa (Figura 5.11, C). Esta fácies ocorre preenchendo cunhas erosivas na porção superior da Fácies Ch1.

No curso da drenagem ativa do conduto encontram-se sedimentos da Fácies **Tw**, compostos por matacões sub-arredondados e mal selecionados. Em algumas porções de menor intensidade de fluxo a granulometria dos sedimentos é menor, por vezes depositando grânulos e seixos. Os clastos são fragmentos de rocha de calcáreo, retrabalhados dos matacões de encasão ou fragmento dos depósitos de Ch 1 (Figura 5.11, B).

Neste ponto não foram observados depósitos de sedimentos finos relacionados a facies Sw. Os depósitos de canal são recobertos por depósitos químicos na forma de travertinos, em uma camada irregular de aproximadamente 1 metro (Figura 5.11, D).

Neste ponto também foram observadas feições paragenéticas no teto do conduto (Figura 5.10 A), que se caracterizam por sulcos no teto com que afunilam para cima. Estas feições sugerem estágios de condição freática, onde o conduto encontra-se completamente preenchido por água, e o piso é coberto

por um leito de sedimentos ou maciço, que inibe o processo de erosão basal. Dessa forma a pressão exercida pela água é concentrada no teto do conduto e forma estas feições de morfologia sinuosa conhecidas como *espelogens.*

Figura 5.10 - A) Foto do local onde foi feito o levantamento estratigráfico. **B)** Curso atual da drenagem, erodindo a base da Fácies CH1. **C)** Detalhe da Fácies CH1 com arcabouço orientado destacado por clastos prolatos na horizontal de fragmento de calcário. **D)** Detalhe da Fácies CH2 formado por grânulos e seixos com arcabouço orientados e gradação inversa, note a base escavada na forma uma cunha erosiva.

5.3 Ponto 3 – Salão dos blocos abatidos

O Ponto 3 localiza-se no conduto mais volumoso da Gruta Morena, conhecido como Salão dos Blocos Abatidos. O conduto atinge até 20 metros de altura no ponto mais alto e é parcialmente preenchido por depósitos de blocos decamétricos, produto do processo de abatimento do teto e laterais do conduto. A Figura 5.12 abaixo, apresenta o local onde foi realizando o levantamento no ponto 3.

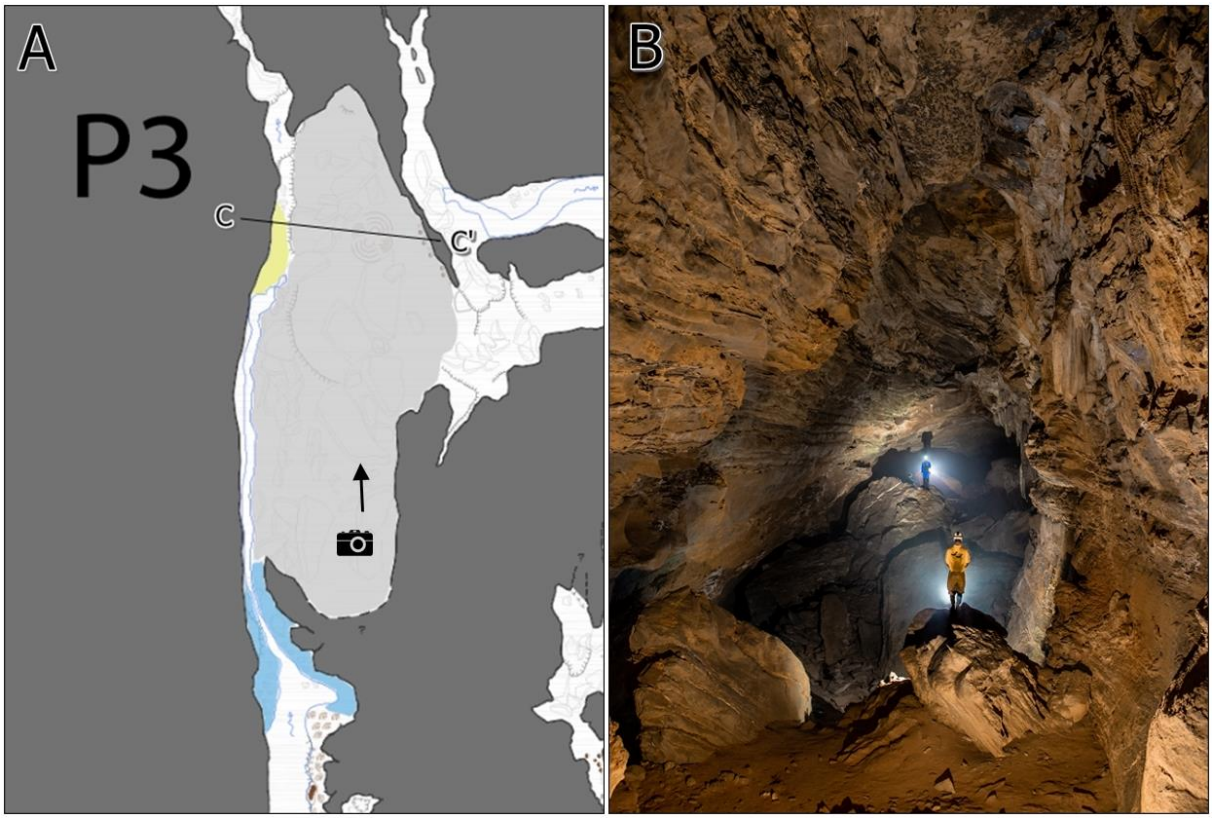


Figura 5.11 - **A)** Mapa de localização do Ponto 3, com indicação do corte transversal confeccionado no conduto. **B)** Foto do Salão dos Blocos Abatidos.

Neste conduto corre a principal drenagem da Gruta, proveniente do sumidouro do córrego Cantagalo, principal drenagem superficial que contribui com um grande aporte de sedimentos à cavidade. Os depósitos sedimentares observados neste ponto, encontram-se preservados em uma das laterais do conduto, sobre uma saliência na parede da cavidade (Figura 5.13). Este é composto por uma sucessão de sedimentos de Fácies de Canal (Ch) intercalados por depósitos finos de Fácies *Slackwater* (Sw).

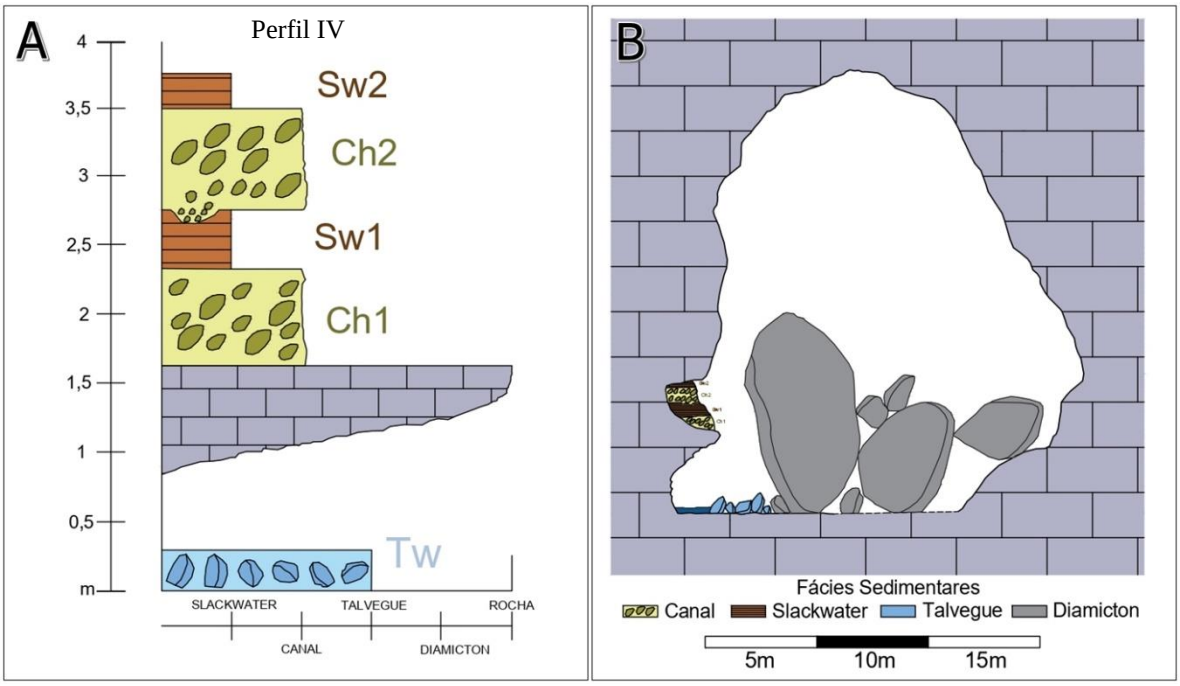


Figura 5.12 – Disposição geral do depósito de sedimentos no salão. **A)** Perfil estratigráfico do depósito sedimentar. **B)** Corte transversal do Salão dos Blocos Abatidos com representação do depósito sedimentar encaixado em uma reentrância superior.

A fácies **Ch** consistem em conglomerados definidos por grânulos, seixos e matacões bem arredondados. O arcabouço apresenta uma seleção moderada, clastos orientados e gradações inversas localizadas. O arcabouço é fechado, com matriz siltosa e se encontra muito bem cimentado por depósitos químicos (Figura 5.14). Na porção superior do perfil clastos de matacões são ausentes. Feições erosivas com escavação e preenchimento são observados no contato basal com depósitos de silte e argila da fácies Sw (Figura 5.12, A).

Os depósitos de fácies Slackwater (Sw) consistem em dois níveis centimétricos intercalados com os conglomerados da facies Ch (Figura 5.12). Esta fácies é composta por argilito com laminação plano paralela de coloração ocre.

O afloramento é recoberto por um material preto, precipitado sobre o depósito, que dificulta a observação da composição dos clastos (Figura 5.14).

Figura 5.13 – Sucessão de sedimentos de fácies de canal, intercalados com sedimentos de fácies *Slackwater*.

Figura 5.14 – Disposição geral do depósito de sedimentos sobre saliência no salão dos blocos abatidos.

5.4 Ponto 4 – Drenagem da Entrada Principal

O ponto 4 está localizado em um salão próximo à entrada principal da Gruta, onde são observados depósitos sedimentares estratificados. Estes também são compostos por sedimentos de Fácies de Canal (Ch) e Fácies *Slackwater* (Sw), na forma de barras conglomeráticas. Na calha da drenagem que corre no conduto, são observados sedimentos de Fácies de Talvegue (Tw).

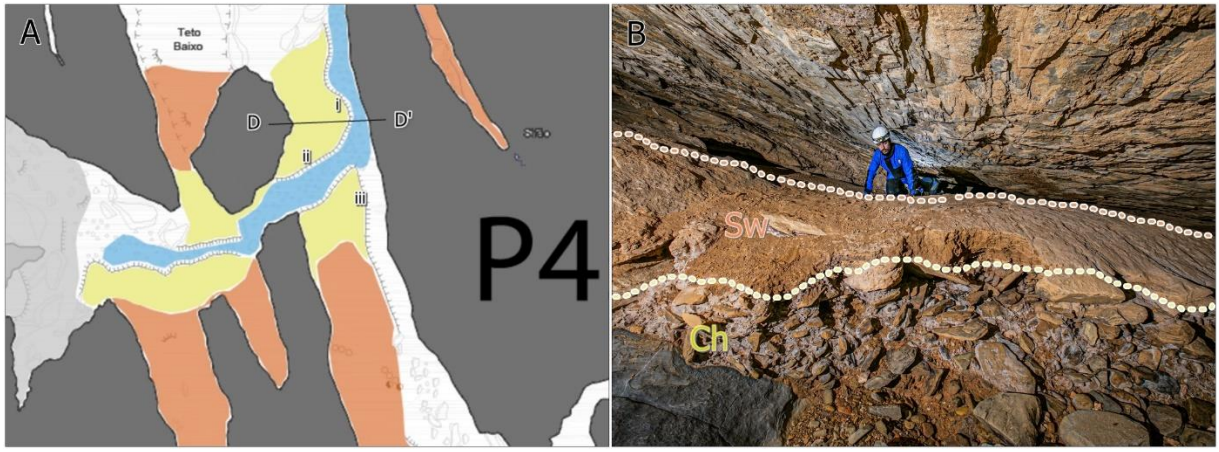


Figura 5.15 - A) Mapa de localização do Ponto 5, com indicação do corte transversal D – D'; **B)** Banco de sedimentos onde foi realizado o perfil estratigráfico (ii).

Neste conduto corre a drenagem que adentra pela entrada principal da Gruta, passando por entre blocos dos depósitos de Fácies *Diamicton* (Dm) de seu salão de entrada. No local onde foram levantados os perfis estratigráficos a drenagem apresentava fluxo baixo de água, por vezes desaparecendo por sumidouros e ressurgindo em outros pontos.

Foram realizados 3 perfis estratigráficos nas barras conglomerática deste conduto (indicado na Figura 5.16, A (i, ii e iii), apresentados na Figura 5.17 abaixo, juntamente com o corte transversal confeccionado neste ponto.

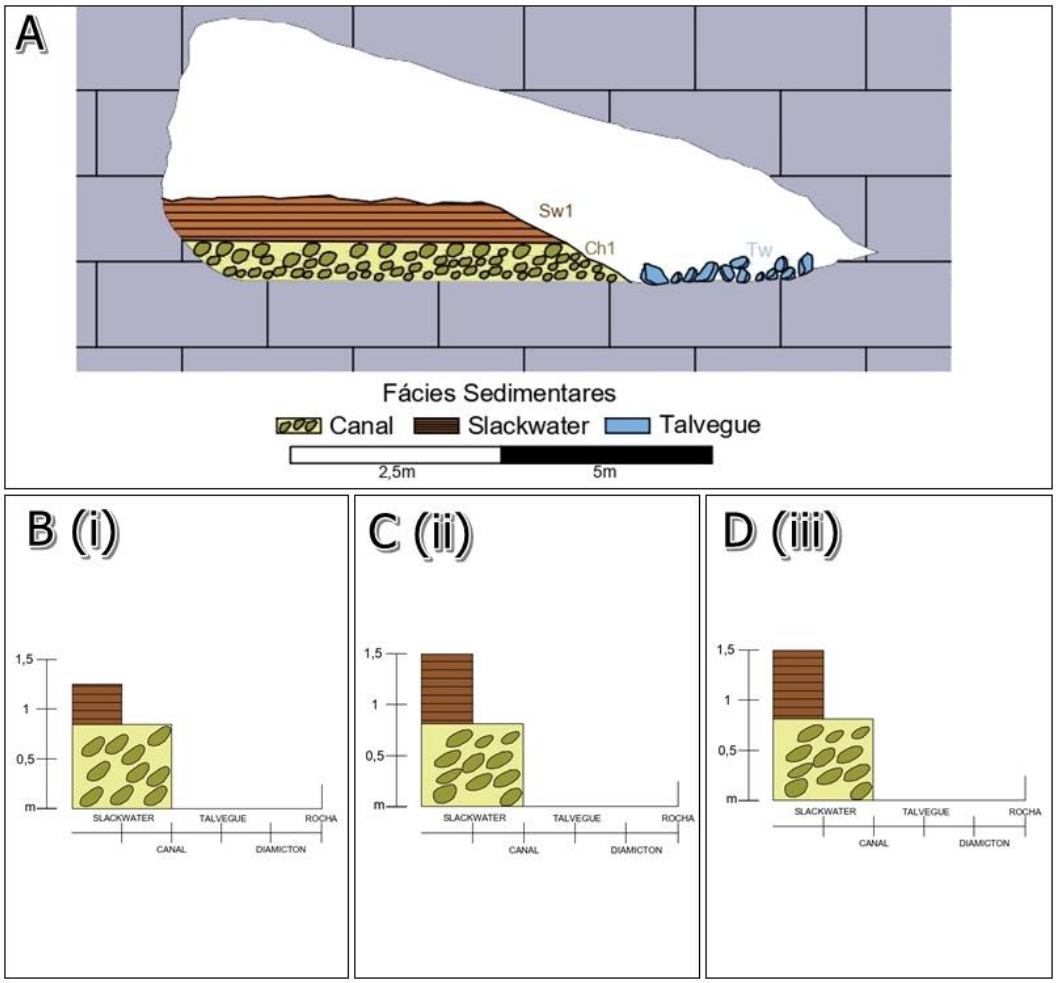


Figura 5.16 - A) Corte transversal do Conduto com a representação do depósito sedimentar. **B)** Perfil estratigráfico (i); **C)** Perfil estratigráfico (ii); **D)** Perfil Estratigráfico (iii).

A Fácies **Ch** possui seleção moderada, composta por grânulos, seixos e matacões, sub-arredondados, de baixa esfericidade. Os matacões tendem a possuir forma prolata e são bem imbricados. Sua composição é predominantemente calcárea, indicando uma possível fonte autóctone. Já os grânulos e seixos têm composição predominantemente pelítica e quartzoza, e apresentam maior esfericidade em relação aos matacões, indicando uma possível fonte alóctone. O arcabouço do depósito é fechado, de matriz siltosa e se encontra bem cimentado por depósitos químicos.

A Fácies **Sw** é composta por um argilito com laminação plano-paralela, de coloração ocre. O depósito desta Fácies ocorre recobrindo os sedimentos da Fácies CH, com gretas de ressecamento no topo do depósito.

Na calha da drenagem, são encontrados sedimentos da Fácies **Tw**, compostos por grânulos, seixos e matacões, sub-arredondados e mal selecionados. A composição dos matacões, é predominantemente calcárea e são mais ângulos em relação ao grânulos e seixos, cuja composição é predominantemente pelítica e quatoza.

No teto do conduto são observadas feições paragenéticas, indicando um ambiente freático onde o conduto encontrava-se completamente preenchido por água, e o piso provavelmente com a presença de sedimentos como carga de fundo, protegendo-o da erosão.

A Figura abaixo apresenta em detalhes os sedimentos das fácies de canal e *Slackwater*, respectivamente, observadas neste ponto.

Figura 5.17 - **A)** Detalhe da fácies de canal, com imbricamento expressivo dos clastos. **B)** Detalhe da fácies slackwater, com laminação plano-paralela.

5.5 Ponto 5 – Sumidouro

O ponto 5 localiza-se no sumidouro principal da Gruta Morena, para onde fluem as principais drenagens presentes na cavidade. O sumidouro localiza-se no final de um longo conduto de sentido norte-sul nas cotas mais baixas de toda a Gruta. Com a confluência dos cursos d´agua presentes na Gruta, observa-se um maior volume de água nesta drenagem, porém devido à baixa inclinação do conduto, a intensidade do fluxo é reduzida resultando em corpos de água estagnados. Em todo o conduto são observados depósitos de sedimentos de Fácies **Sw**, formando bancos espessos compostos por um argilito laminado, com grande quantidade de matéria orgânica.

Figura 5.18 - Sumidouro principal da Gruta Morena. A esquerda banco de sedimentos de silte e argila com detritos orgânicos que definem os depósitos de Fácies *Slackwater*. A direita águas estagnadas do sumidouro.

5.6 SIGNIFICADO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES

De acordo com os aspectos texturais e distribuição espacial dos depósitos sedimentares da gruta do Morena foi possível reconhecer 4 fácies sedimentares equivalentes aos depósitos endocársticos definidos por Bosch & White (2004). Os processos que deram origem a cada um destes depósitos bem como sua distribuição espacial, sugerem uma dinâmica de aumento e diminuição do nível freático local, que controlaram o transporte dos sedimentos e a evolução de formação dos condutos da Gruta Morena. O significado de cada depósito e a sua relação com o estágio de formação do conduto é discutido a seguir.

Fácies de canal (Ch) são o registro de antigos terraços de canais desenvolvidos dentro da gruta. A natureza grossa dos sedimentos indica fluxos canalizados contínuos de alta energia que permitiram o retrabalhamento e incisão de canais no maciço rochoso. Os depósitos grossos associados a cascalhos e matacões imbricados são oriundos de enxurradas episódicas de alta energia, como “trombas da água”, responsáveis pelo transporte de clastos de tamanho métricos. Correntes perenes pós enxurradas, podem retrabalhar estes sedimentos formando barras laterais cascalhosas e granulares.

Sedimentos de fácies *Slackwater* (Sw), representam depósitos formados em condições de baixa energia corrente ou até mesmo ausência, normalmente associados a corpos de águas estagnados (Bosch & White, 2004). Na Gruta foram encontradas duas condições de ocorrência de Sw. A primeira são os depósitos de Sw associados diretamente com os depósitos cascalhosos de canal Ch. Neste caso, os registros de Sw ocorrem recobrindo as fácies cascalhosas de Ch, ou até mesmo na forma de lentes

isoladas dentro da facies Ch. Esta relação espacial sugere que após as enxurradas de alta energia, os condutos se encontravam preenchidos por água por longo período de tempo, o que permitiu a deposição dos sedimentos finos em suspensão sobre as barras cascalhosas. O segundo registro de Sw é associado ao ponto do Sumidouro, Ponto 5, onde o baixo gradiente de declive e confinamento do conduto viabiliza a acumulação de um corpo de água parado com baixo fluxo de corrente. Ambos os depósitos apresentam feições de gretas de contração o que indica um período de exposição subaérea. A presença da intercalação de Sw com Ch, além do registro de gretas de contração indicam que eventos de enxurradas e inundação dos condutos são episódicos e possivelmente de curto intervalo de tempo, que permite a exposição subaérea e retrabalhamento pelos canais.

A presença de travertinos recobrindo depósitos de canal e *Slackwater*, sugere um longo período de estabilização do nível freático, quer resultou no estabelecimento de um fluxo de água laminar e lento, saturados em CaCO3, que favoreceram a formação destes depósitos químicos na forma de travertinos sobre os depósitos sedimentares ao longo do conduto. Entretanto, neste período também são registradas enxurradas episódicas, marcados pelas fácies de canal Ch2 e Ch3, que ocorrem preenchendo as depressões entre e internamente de travertinos. Estes sedimentos podem ter sido transportados em eventos episódicos de alta intensidade. Eventos de incasão devem ser os responsáveis pelos matacões discordantes sobre os depósitos de Ch ou dos travertinos.

Feições paragenéticas foram observadas em grande parte dos tetos dos condutos, onde também foram observados depósitos sedimentares. Estas feições erosivas sugerem que sua formação ocorreu em uma condição freática, onde o conduto encontra-se completamente preenchido por água, e o piso colmatado pela presença de sedimentos como carga de fundo (Bosch & White ,2004). Desta maneira, a deposição de sedimentos é concomitante ao processo da paragênese, e influencia na evolução da morfologia dos condutos da gruta.

A sucessão de eventos descritos acima, e observados nos depósitos sedimentares preservados na cavidade, sugere que o desenvolvimento dos condutos da Gruta Morena teve influência de aportes hídricos-meteóricos elevados, associados a eventos de oscilação do nível do lençol freático e do nível de base. Aqui é apresentado uma hipótese de evolução de eventos responsáveis pela formação dos condutos e dos depósitos sedimentares observados.

1) Nas primeiras fases de abertura dos condutos, massivos influxos de água meteóricas com preenchimento total permite a formação de depósitos conglomeráticos de canal (Ch) criando um pavimento comaltado de carga de fundo, permitindo a escavação das feições paragenéticas no teto do conduto;
2) Redução do influxo de águas externas, e continuo afogamento total dos condutos em função de um lençol freático elevado, ou mesmo a criação de zonas alagadas, permite o

desenvolvimento de água estagnadas e deposição de material siltoso e argilo formando os depósitos de *slackwater*;

3) A estabilização do nível do lençol freático em conjunto com o assoreamento dos condutos por depósitos de canal e a redução de eventos de enxurrados, favoreceram o desenvolvimento dos depósitos químicos de travertivos, os quais recobriram grande parte dos depósitos de canais e *slackwater*, e cimentando boa parte destes depósitos.
4) A evento de rebaixamento do nível de base bem como do lençol freático é marcado pelos paleoterraços e pontes de pedras conglomeráticos de depósitos de Canal. O rebaixamento permitiu a reativação do canal que deu origem a incisão e formação da drenagem atual ativa que gerou os depósitos de talvegue com o restrabalhamento dos depósitos pré-existentes.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

O mapeamento dos principais depósitos sedimentares da Gruta Morena, permitiu observar sua distribuição ao longo dos principais condutos da Gruta. Espessos depósitos de Fácies Slackwater encontram-se principalmente nos condutos a leste da gruta, nas cotas mais baixas da cavidade. Estes condutos, mais afastados das entradas da cavidade, apresentam, em geral, baixa declividade, onde a confluência das principais drenagens presentes na gruta, forma um fluxo lento com grande quantidade de carga em suspensão. Depósitos de fácies de canal são observados em diferentes locais na cavidade, e são cobertos na maioria das vezes por finas camadas de depósitos de fácies Slackwater. Depósitos de fácies diamicton são observados principalmente nas estradas da cavidade, e no maior salão da Gruta, onde condutos amplos são formados pelo abatimento dos tetos e paredes. Além destes também são encontrados também depósitos de fácies talvegue ao longo da calha das drenagens principais da cavidade.

Os perfis estratigráficos levantados nos diferentes pontos da gruta, mostraram uma sucessão que é encontrada com frequência nos diferentes locais. Depósitos de fácies Slackwater, com laminação plano paralela, recobrem sedimentos de fácies de canal, compostos principalmente por clastos moderadamente selecionados, bem arredondados e imbricados. Cobrindo esta sucessão, por vezes ocorrem depósitos químicos na forma de travertinos. Nos locais onde observou-se a deposição desta sucessão de fácies, também foram observadas a formação de feições paragenéticas no teto das galerias.

Estes elementos evidenciam uma dinâmica de sedimentação que está associada a um período de grande aporte hídrico, onde o fluxo transporta como carga de fundo os sedimentos da fácies de canal. Com a proteção do piso do conduto pelo leito de sedimentos, e o aumento das condições de fluxo, ocorre a paragênese, onde o teto do conduto é erodido formando canais anastomosados, e ondulados. Com a diminuição do aporte hídrico no conduto, passam a se depositar os sedimentos finos antes em suspensão, formando os depósitos de fácies Slackwater. Por fim, marcando a estagnação do nível freático por um longo período, depósitos químicos formados por fluxos muito lentos de água são formados no topo da sucessão. Esta dinâmica é observada em diferentes pontos da Gruta Morena, indicando que a maioria dos depósitos podem estar associados ao último grande evento climático de maior pluviosidade e aumento do nível freático regional.

A deposição dos sedimentos na Gruta parece também estar associada à própria gênese da cavidade, uma vez que estão associados à formação de feições paragenéticas nos tetos das galerias, que por vezes formam grandes canais ondulados, ampliando o volume da cavidade e alterando a morfologia dos condutos.

O mapeamento e caracterização dos depósitos sedimentares da Gruta Morena, podem servir como arcabouço para a realização de trabalhos futuros de detalhamento das correlações estratigráficas e localização de depósitos. A aplicação de métodos de datação radiométrica dos depósitos sedimentares pode fornecer valiosas informações paleoambientais para o local de estudo, pois encontram-se preservados os depósitos associados à grandes eventos de inundação na Gruta.

O presente estudo evidencia a importância dos ambientes endocártiscos para a preservação de depósitos sedimentares de grande valor científico, fazendo-se necessária a preservação destes ambientes para que futuros estudos e aplicações de métodos mais detalhados possam fornecer informações mais detalhadas sobre a evolução climática do passado.

Trabalho de Conclusão de Curso, n. 414, 65p. 2021.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.* **106**:142-153.

Bosch, R. F. White, W. B. 2004. Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. *In*: Sasownky, I. D., Mylorie, J. (eds). Studies of cave sediments. Springer, Boston, p. 1-22.

Castro, P. T. A. 2001. Associação vertical de fácies e análise de elementos arquitecturais: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes aluviais. *Revista electrónica de ciências da terra*. **1**:35p.

Cruz, L. V. Pereira Filho, M. 2003. Qualidade das águas da Gruta Morena, Cordisburgo, MG. *In*: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia, Januária, MG.

De Sales, N. F. 2011. Classificação geométrica da Gruta de Morena (MG-270), Cordisburgo, MG e proposta de gênese de seus condutos a oeste. *In*: Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ponta Grossa, PR

Farrant, A. R.; Smart, P. L. 2011. Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. *Geomorphology*, **134**: 79-93.

Ford, D. Williams, P. D. (eds) 2013. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons, 578p.

Herman, E. K., Toran L., White, W. B. 2012. Clastic sediment transport and storage in fluviokarst aquifers: an essential component of karst hydrogeology. *Carbonates and Evaporites.* **27:**211-241.

Laureano, F. V., Karmann, I. 2013. Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e suas contribuições em estudos geomorfológicos: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **14:** n. 1.

Laureano, F. V., Karmann, I., Granger, D. E., Auler, A. S., Almeida, R. P., Cruz, F. W., ... & Novello, V. F., Strícks, N. M. 2016. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*. **273:**63-77.

Lima, T. F., Camargo, R. R., Pontalti, A. L., Bernardes, A. 2018. *Mapa da Gruta da Morena, Cordisburgo-MG (Versão preliminar, Maio 2018)*. Observatório Espeleológico: Belo Horizonte. Disponível online em https://www.observatorioespeleologico.org.br/projetos).

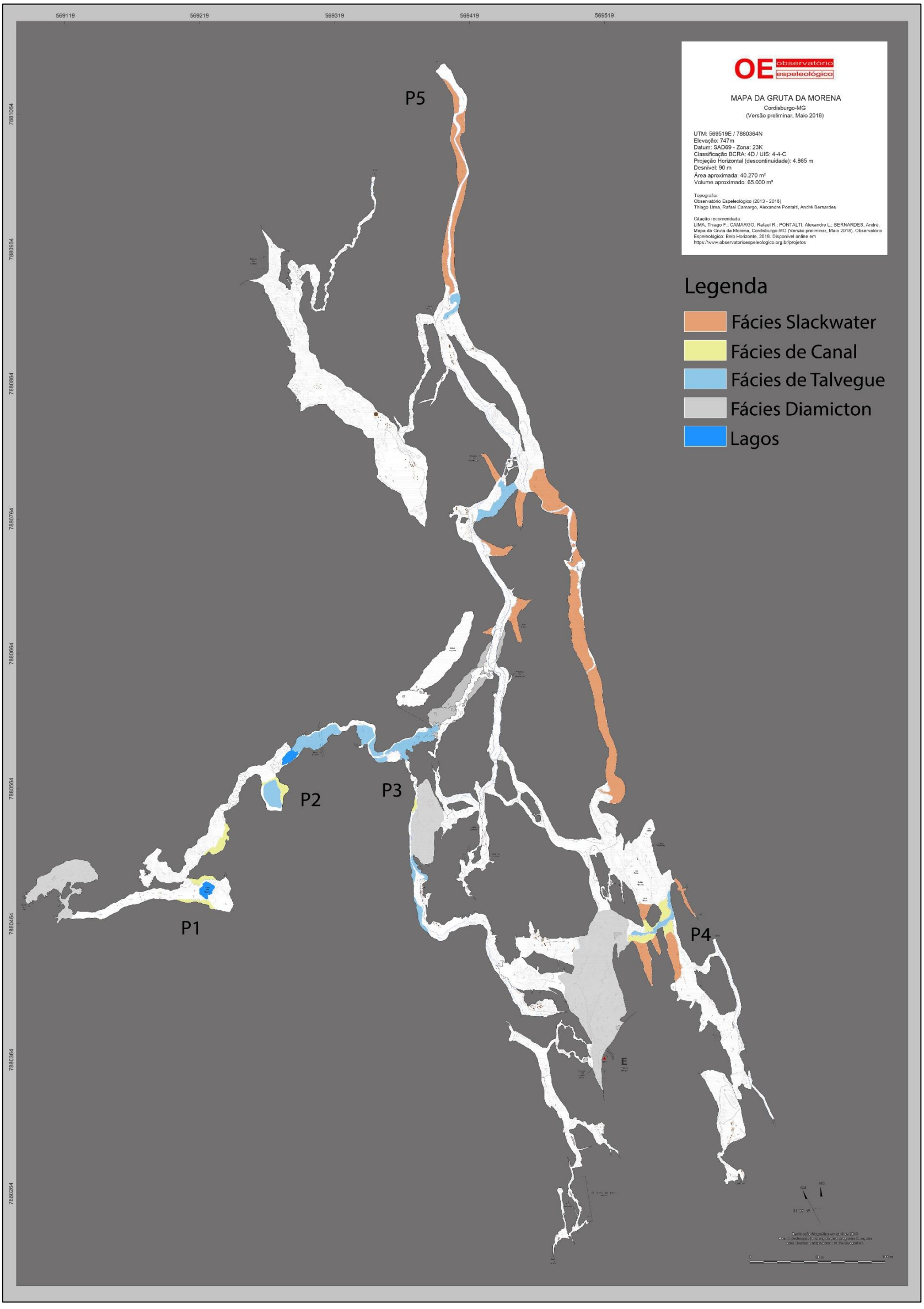
Osborne, R. L. 1984. Lateral facies changes, unconformities and stratigraphic reversals: their significance for cave sediment stratigraphy. *Cave Science*. **11**:175-184.

Sasowsky, I. D. 2007. Clastic sediments in caves–imperfect recorders of processes in karst. *Acta carsologica.* **36**: n. 1.

Travassos, L. E. P. 2007. *Caracterização do carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais.* MS Dissertation, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 102 p.

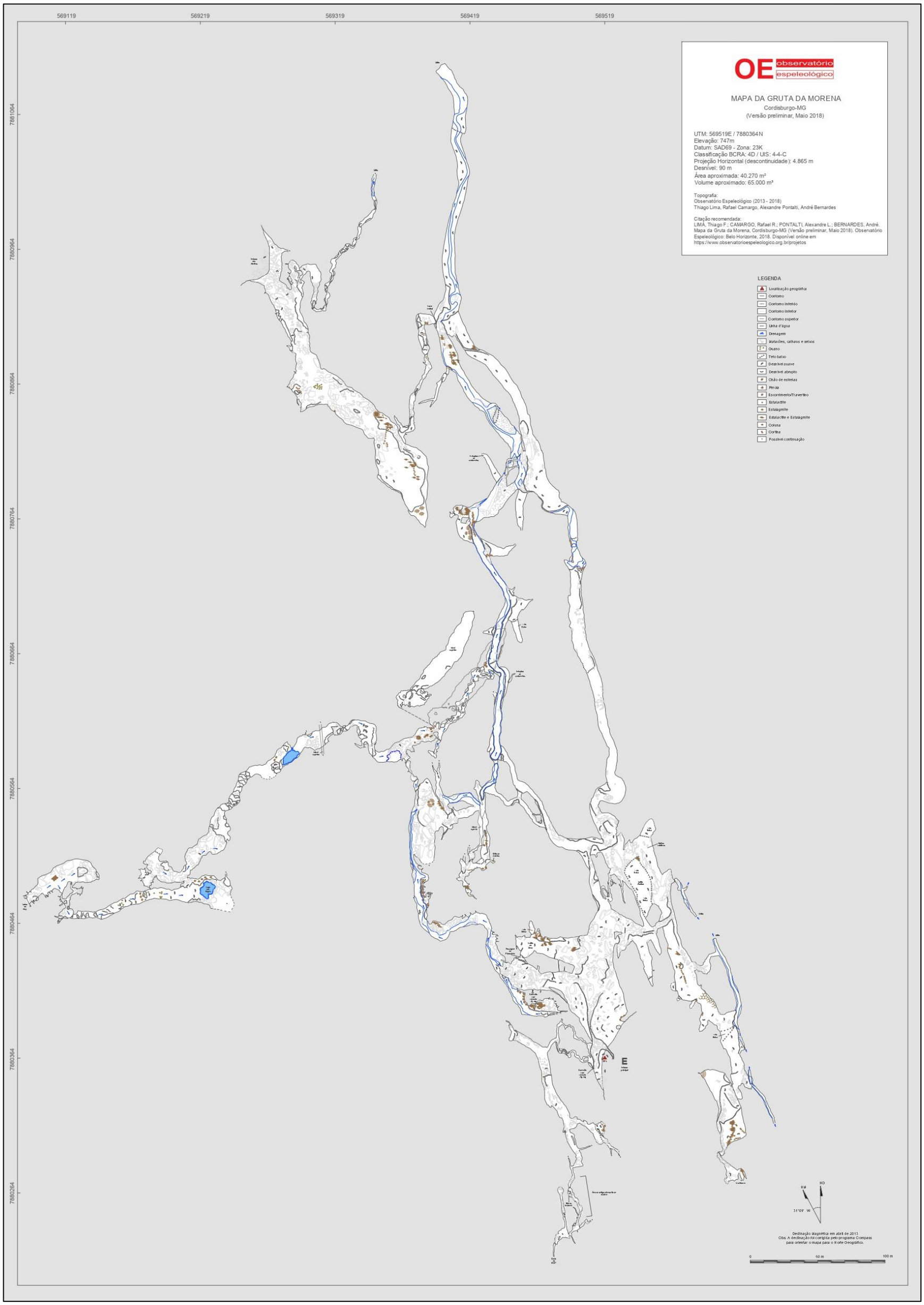
Apêndice

Mapa da Gruta da Morena com a representação dos depósitos sedimentares mapeados no interior da cavidade. Modificado de (LIMA, Thiago F.; CAMARGO, Rafael R.; PONTALTI, Alexandre L.; BERNARDES, André. Mapa da Gruta da Morena, Cordisburgo-MG (Versão preliminar, Maio 2018). Observatório Espeleológico: Belo Horizonte, 2018. Disponível online em https://www.observatorioespeleologico.org.br/projetos)

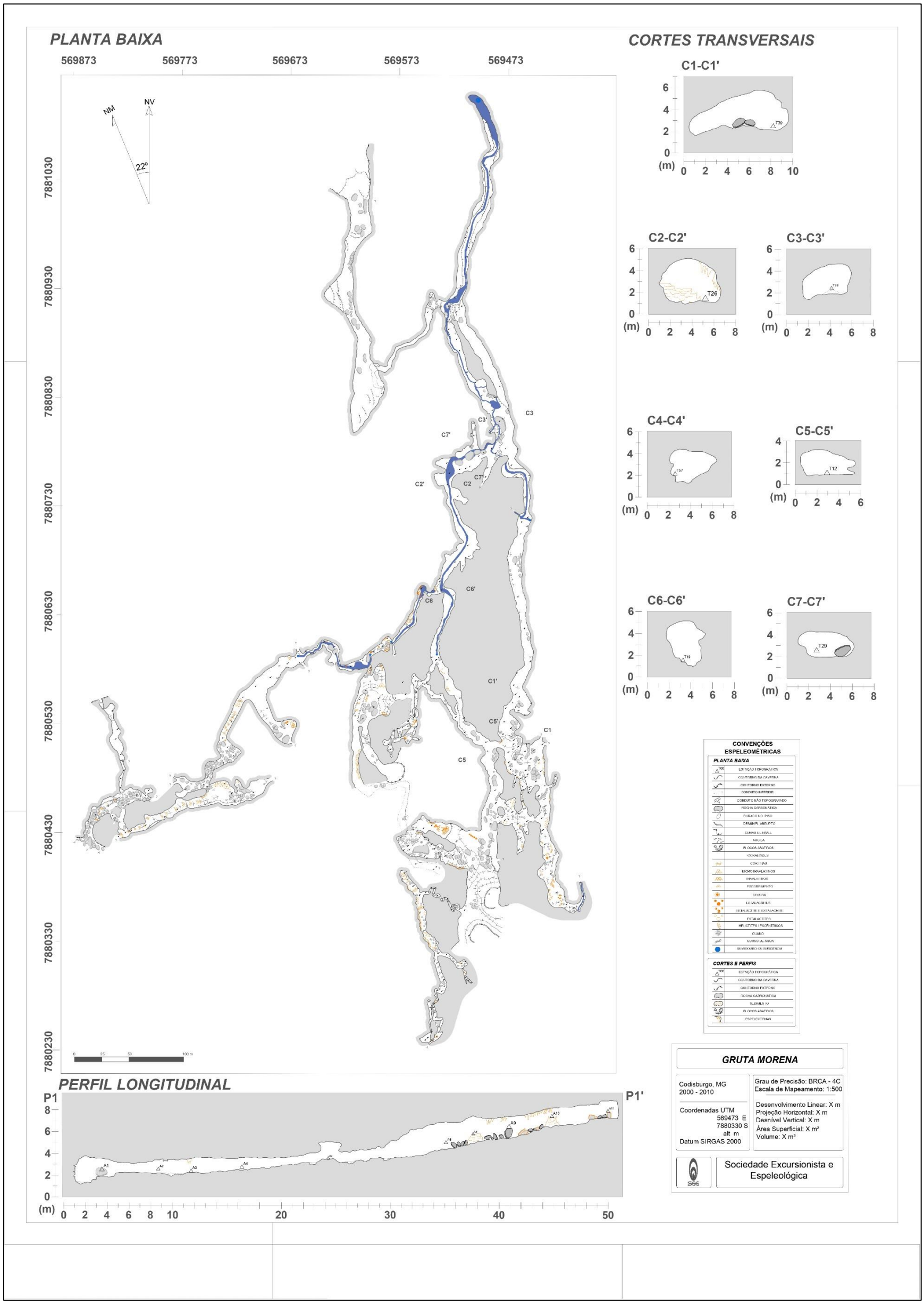


Anexos

Mapa da Gruta da Morena confeccionado pelo Observatório Espeleológico (LIMA, Thiago F.; CAMARGO, Rafael R.; PONTALTI, Alexandre L.; BERNARDES, André. Mapa da Gruta da Morena, Cordisburgo-MG (Versão preliminar, Maio 2018). Observatório Espeleológico: Belo Horizonte, 2018. Disponível online em https://www.observatorioespeleologico.org.br/projetos)



Mapa da Gruta da Morena confeccionado pela Sociedade Excursionista e Espeleológica dos Alunos da Escola de Minas (SEE-UFOP).



Mapa Exploratório de fenômenos cársticos da região de Cordisburgo, Minas Gerais (Travassos, 2000).