



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

ALICE MARIA VASCONCELLOS PEREIRA TAVARES

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE EM AMBIENTE  
CÁRSTICO

Niterói  
2018

ALICE MARIA VASCONCELLOS PEREIRA TAVARES

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE EM AMBIENTE  
CÁRSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a Obtenção do grau de Bacharel em Geofísica.  
Orientador: Prof. Gilmar Vital Bueno

Niterói  
2018

ALICE MARIA VASCONCELLOS PEREIRA TAVARES

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE EM AMBIENTE  
CÁRSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a Obtenção do grau de Bacharel em Geofísica.  
Orientador: Prof. Gilmar Vital Bueno

Niterói,

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Gilmar Bueno  
Universidade Federal Fluminense - LAGEMAR

---

Prof. Paulo Buarque de Macedo Guimarães  
Universidade Federal Fluminense - LAGEMAR

---

Prof. André Luiz Ferrari  
Universidade Federal Fluminense - LAGEMAR

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus orientadores Gilmar e Paulo por acreditarem na minha proposta e me ajudarem a desenvolver este trabalho da melhor forma possível. Ao geólogo e membro do Observatório Espeleológico Roberto Cassimiro que foi fundamental para que o trabalho de campo ocorresse e se disponibilizou ao máximo na ajuda da confecção deste trabalho. Ao técnico Adalberto da Silva Souza que com todos seus conhecimentos fez com que o equipamento funcionasse e o levantamento obtivesse sucesso. Ao Dr. Marcos Sampaio, dono da Fazenda Guanabara, que gentilmente disponibilizou suas terras para a exploração e o desenvolvimento científico. À todos os professores do curso de graduação que fizeram parte do meu crescimento e aprendizado durante esses anos. Aos meus pais, Amalia e Alvaro, por me proporcionarem a oportunidade de ter um título de graduação e por acreditarem em mim mesmo quando eu não acreditei. À minha amiga e companheira Erika, por toda sua parceria, amizade, compreensão e por me mostrar que a vida é muito mais leve do que posso imaginar. E, por fim, às amigas que colecionei durante a vida e que também fizeram parte da minha formação.

## RESUMO

Carste é o termo utilizado para denominar ambientes compostos por rochas solúveis e apresentam uma morfologia típica. Cavernas e grutas ocorrem comumente neste tipo de ambiente. A Gruta da Morena se localiza em Cordisburgo – MG/Brasil é 4ª maior caverna do estado e a 26ª do país e é o objeto de estudo deste trabalho. O método geofísico de eletrorresistividade permite medir a resistividade de camadas em subsuperfície e foi utilizado para encontrar vazios que podem corresponder às cavidades em questão. As cavidades preenchidas por ar corresponderiam aos vazios e apresentam altos valores de resistividade uma vez que o ar é altamente resistivo e não conduz energia elétrica. A resposta do método forneceu informações sobre a subsuperfície que puderam ser calibrados com o contorno da gruta previamente mapeado e conhecido, além de viabilizar a figuração de outras cavidades que podem ser uma extensão a oeste do contorno da Gruta que ainda é desconhecida, não mapeada e não acessível pelas pessoas.

Palavras-chave: Cárstico. Cavidade. Eletrorresistividade. Geofísica. Gruta da Morena

## **ABSTRACT**

*Karst is a term used to name environments that contain soluble rocks and exhibit a typical morphology. Caves and cavities are commonly presented on these kind of environments. The Gruta da Morena is located in the city of Cordisburgo in Minas Gerais state, in Brazil, it is the 4th largest cave of its state and the 26th of the country and is the object of study of this report. The geophysical method of electroresistivity allows to measure the resistivity of subsurface layers and was used to find empty spaces that coincide with the cavities discussed. The cavities are usually filled with air and may correspond to those empty spaces that show high measured values of resistivity once the air is highly resistive and does not conduct electric energy. The method provided data points about the subsurface that could be matched with the previous mapped contour of the Morena cave. Moreover the methods allowed to find other cavities that might be an extension to the West of the Gruta da Morena cave that is still unknown and unmapped where people are not able to reach by foot.*

*Keywords: Karst. Cavities. Electroresistivity. Geophysics. Gruta da Morena.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Configuração geral de eletrodos usada nas medições de resistividade. ....	12
Figura 2 — Arranjos de eletrodos mais comuns. (a) Wenner (b) Schlumberger (c) Pólo-Dipolo (d) Dipolo-Dipolo. ....	13
Figura 3 — Resposta de resistividade aparente sobre uma caverna .....	16
Figura 4 — Esquema do sistema cárstico dividido por zonas e feições típicas	17
Figura 5 — Tabela de reações de dissolução em carste .....	19
Figura 6 — Modelo de evolução de dolinas para úvalas .....	21
Figura 7 — Modelo para surgimento de úvalas por expansão de calhas de drenagem .....	21
Figura 8 — Comparativos de escala em feições de lácias. A esquerda típico rillenkarren em calcário e a direita rinnenkarren em calcário na região dos Pirineus. ....	22
Figura 9 — Mapa de localização da área de estudo .....	23
Figura 10 — Gruta da Morena e seus condutos .....	24
Figura 11 — Geometria da Gruta da Morena. (a) ramiforme dentrítica (b) labiríntica anastomosada .....	25
Figura 12 — Feições cársticas encontradas na região de Cordisburgo. ....	26
Figura 13 — Mapa de localização da Gruta da Morena e do Grupo Bambuí dentro do Cráton São Francisco. ....	27
Figura 14 — Coluna estratigráfica contendo o Grupo Bambuí. ....	29
Figura 15 — Localização dos levantamentos de resistividade no extremo norte da Gruta da Morena .....	32
Figura 16 — Tabela de coordenadas UTM de cada ponto nas duas aquisições	33
Quadro 1 — Parâmetros de aquisição .....	33
Figura 17 — Esquema de aquisição com posicionamento dos eletrodos feita em campo. ....	34
Figura 18 — Visualização do funcionamento do equipamento com as baterias.	35
Figura 19 — Tela de funcionamento do programa de protocolagem Gconfig. . .	36
Figura 20 — Tabela de checagem e resposta de contato de eletrodos .....	36
Figura 21 — Exemplo de uma dolina observada à distância. ....	38
Figura 22 — Dolina aproximada e identificada pelo tracejado branco. ....	39

Figura 23 — Resultado da primeira aquisição . . . . .	40
Figura 24 — Resultado da segunda aquisição . . . . .	40
Figura 25 — Modelo de resistividade da primeira seção. Os círculos em preto representam zonas de alta resistividade. . . . .	41
Figura 26 — Modelo de resistividade da segunda seção. Os círculos em preto representam zonas de alta resistividade. . . . .	41

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 — Resistividade X Condutividade .....	12
Equação 2 — .....	14
Equação 3 — .....	14
Equação 4 — .....	14
Equação 5 — .....	15
Equação 6 — .....	15
Equação 7 — .....	19
Equação 8 — .....	19

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
1.1	OBJETIVO:	10
<b>2</b>	<b>O MÉTODO GEOFÍSICO</b>	11
2.1	O MÉTODO ELÉTRICO:	11
2.2	ELETORRESISTIVIDADE:	11
<b>3</b>	<b>O AMBIENTE CÁRSTICO</b>	17
<b>4</b>	<b>GRUTA DA MORENA</b>	23
4.1	LOCALIZAÇÃO	23
4.2	FORMA E GEOMETRIA:	24
4.3	CONTEXTO FISIAGRÁFICO	25
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DO CAMPO</b>	31
<b>6</b>	<b>OBSERVAÇÕES DE CAMPO E RESULTADOS</b>	38
6.1	OBSERVAÇÕES DE CAMPO	38
6.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	43
	<b>REFERÊNCIAS</b>	44

## 1 INTRODUÇÃO

O Carste é um terreno de rochas altamente solúveis que desenvolvem uma porosidade secundária na forma de condutos (FILHO; KARMANN, 2012). Os terrenos cársticos são terrenos marcados por feições típicas, de subsidência e colapso e por vezes cavernas e grutas. Por esse motivo, o estudo de terrenos cársticos é importante tanto para a prevenção de acidentes de colapso, como para o entendimento de possíveis reservatórios cársticos que pertençam a ambientes de preservação ambiental.

O método de eletrorresistividade é um dos principais métodos geofísicos usados na caracterização deste tipo de ambiente.

### 1.1 OBJETIVO:

O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sobre os ambientes cársticos, suas características e trazer uma aplicação geofísica, com o intuito de entender como é seu funcionamento e resposta.

Além do levantamento bibliográfico, uma prática de campo na região de Cordisburgo, Minas Gerais, foi realizada para a verificação e entendimento desse método com o objetivo de encontrar cavidades subterrâneas de forma a poder compará-los com dados mapeados e, eventualmente, mapear novas cavidades.

## 2 O MÉTODO GEOFÍSICO

### 2.1 O MÉTODO ELÉTRICO:

Os métodos elétricos usados na geofísica são fundamentados em propriedades das rochas ou solos nos quais são aplicados, a fim de entender e estudar a geologia e estrutura da mesma em subsuperfície. Dentro dos métodos elétricos englobam-se os métodos de resistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. Estes utilizam-se de parâmetros como: condutividade, resistividade, polarização e potencial espontâneo. Os métodos são classificados de acordo com a fonte de energia usada, seja ela natural ou artificial (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Este trabalho irá fazer uso do método de resistividade explicado a seguir.

### 2.2 ELETORRESISTIVIDADE:

O método de eletrorresistividade é um dos métodos mais utilizados na geofísica aplicada e atinge diversos segmentos da exploração geocientífica: como prospecção mineral, estudos ambientais de contaminação e na prospecção de águas subterrâneas (BORGES, 2002).

A fonte de energia usada neste método é artificial e a partir da medição da resposta do potencial elétrico na superfície é possível reconhecer em subsuperfície corpos e estruturas geológicas.

Uma corrente elétrica artificialmente gerada é inserida no solo por meio de dois eletrodos (A e B) e, em superfície, a resposta é obtida por outros eletrodos (C e D) posicionados na vizinhança dos primeiros. A medida obtida é a diferença de potencial entre os dois pontos (C e D) e com isso é possível medir a resistividade real ou aparente da subsuperfície. As diferentes medições de potencial em relação a uma resposta esperada num solo homogêneo (teórico) nos fornece informações sobre a forma e as propriedades elétricas da subsuperfície não-homogênea (real) (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). A figura 1 a seguir ilustra a configuração de eletrodos usada em geral.

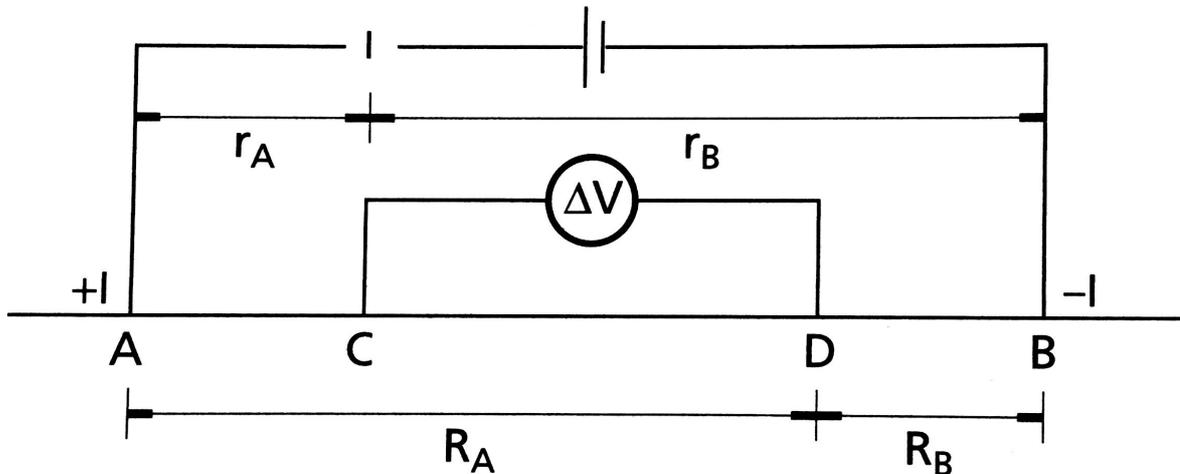


Figura 1 - Configuração geral de eletrodos usada nas medições de resistividade.

Fonte: Kearey, Brooks e Hill (2009, p. 318)

A resistividade é representada por  $\rho$  e tem unidade em Ohm·m (ohms vezes metro) e a condutividade é representada pelo símbolo  $\sigma$  e tem unidade em S/m (Siemens por metro). A resistividade é, na verdade, o inverso da condutividade, valendo então a seguinte relação entre elas dada pela equação:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Equação 1 - Resistividade X Condutividade

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

Entende-se que condutividade elétrica é a facilidade com que um material tem em conduzir energia elétrica, ou seja, dizer que um material é pouco resistivo é o mesmo que dizer que é muito condutivo e vice-versa.

A resistividade de um material depende de sua composição e natureza e, basicamente, é afetada pela composição mineralógica do material, sua porosidade, teor de água, proporção e natureza dos sais dissolvidos na água. De acordo com Kearey, Brooks e Hill (2009) alguns minerais conduzem a eletricidade via passagem de elétrons, e este é chamado de processo eletrônico, no entanto a maior parte das rochas conduz eletricidade por um processo chamado eletrolítico onde a corrente elétrica é dada pelo deslocamento de íons dissolvidos na água presente nos poros ou fissuras de uma rocha ou de um solo. Dessa forma, a porosidade das rochas é a maior responsável pelo aumento ou diminuição da resistividade das rochas. Em muitos casos, quanto maior a porosidade, maior sua condutividade, pois há mais

chance de estar preenchida de água.

A resistividade medida num meio heterogêneo não é apenas a de um material, rocha ou camada em separados, mas sim do resultado de um pacote que envolve todos estes. Portanto a resistividade medida se chama resistividade aparente e reflete as propriedades médias pelas quais a corrente passou e depende do tipo de arranjo utilizado no levantamento (BORGES, 2002).

Segundo Telford, Geldart e Sheriff (1990), no levantamento de campo existem diversas maneiras de se arranjar os eletrodos. Os arranjos mais utilizados são a configuração Wenner e a configuração Schlumberger e dentre os mais conhecidos ainda há os arranjos Pólo-Dipolo e Dipolo-Dipolo mostrados abaixo na figura 2.

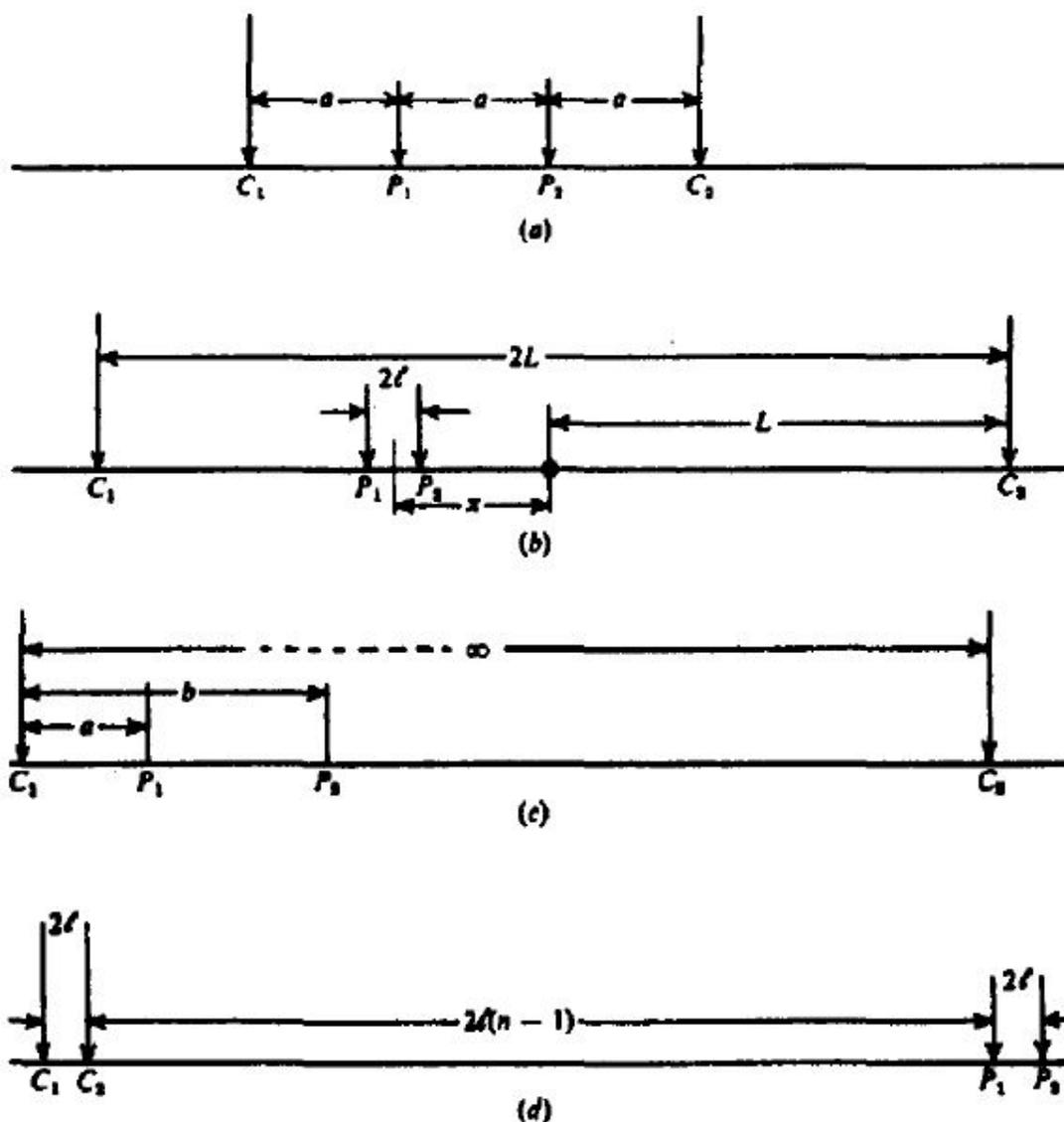


Figura 2 - Arranjos de eletrodos mais comuns. (a) Wenner (b) Schlumberger (c) Pólo-Dipolo (d) Dipolo-Dipolo.

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990, p. 536)

As diversas configurações são listadas abaixo segundo Telford, Geldart e Sheriff (1990):

**(a)** Configuração Wenner: é o arranjo mais simples e consiste em manter o espaçamento entre os eletrodos sempre iguais a uma distância  $a$ . A resistividade aparente ( $\rho_a$ ) é dada pela equação 2:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Equação 2 - .

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

Para uma exploração em profundidade o espaçamento dos eletrodos é gradativamente aumentado em torno de um ponto central fixado, já no mapeamento lateral o espaçamento se mantém constante e os eletrodos são movidos ao longo de uma linha.

**(b)** Configuração Schlumberger: neste arranjo os eletrodos de corrente tem um espaçamento ( $2L$ ) muito maior que o espaçamento ( $2l$ ) dos eletrodos de potencial e a resistividade aparente é dada pela equação 3:

$$\rho_a = \frac{\pi (L^2 - x^2)^2 \Delta V}{2l (L^2 + x^2) I}$$

Equação 3 - .

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

Caso os eletrodos de potencial estejam simétricos ao ponto central, ou seja,  $x=0$ , a resistividade aparente fica como na equação 4.

$$\rho_a = \frac{\pi L^2 \Delta V}{2l I}$$

Equação 4 - .

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

Para a exploração em profundidade os eletrodos de potencial se mantêm fixos enquanto os eletrodos de corrente são afastados simetricamente do ponto central, enquanto no mapeamento lateral pode ser feito de duas formas: a primeira fixando os eletrodos de corrente com um distanciamento bem grande (da ordem de 300m ou mais) e movendo-se lateralmente os eletrodos de potencial ou, de forma semelhante ao arranjo anterior, o espaçamento se mantêm fixo e os eletrodos são

movidos ao longo de uma linha.

**(c) Pólo-Dipolo:** aqui um dos eletrodos de corrente é posto a uma distância “infinitamente” grande em relação aos outros 3 eletrodos e estes podem configurar diversos espaçamentos. Sendo assim a resistividade aparente é mostrada na equação 5:

$$\rho_a = \frac{2\pi ab}{(b-a)} \frac{\Delta V}{I}$$

Equação 5 - .

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

**(d) Dipolo-Dipolo:** nesse arranjo, o espaçamento é pequeno tanto entre os eletrodos de potencial como entre os eletrodos de corrente, e entre si os eletrodos são bem afastados. A resistividade aparente é dada pela equação 6:

$$\rho_a = 2\pi nl(n-1)(n+1) \frac{\Delta V}{I}$$

Equação 6 - .

Fonte: Telford, Geldart e Sheriff (1990)

Em todas as configurações tanto os eletrodos de corrente como os de potencial podem ser permutados e, pelo princípio da reciprocidade, a resistividade aparente permanecerá a mesma (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

Independente da configuração empregada os procedimentos feitos em levantamentos de resistividade tem dois principais objetivos: a investigação em profundidade ou o mapeamento lateral. A primeira corresponde ao procedimento de sondagem vertical, onde há um ponto central como referência e os eletrodos são afastados em relação a esse ponto, esse procedimento é melhor utilizado na detecção de interfaces horizontais ou quase horizontais. Já o segundo corresponde ao procedimento de perfilagem lateral ou perfilagem elétrica e é usado para detecção de variações verticais de velocidade onde há presença de corpos anômalos ou para detectar discontinuidades abruptas (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990; KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Neste trabalho, o método de resistividade será utilizado com a finalidade de encontrar "vazios", ou seja, cavidades preenchidas de ar onde espera-se obter uma resposta altamente resistiva.

A seguir, a figura 3 mostra a resposta de resistividade aparente de um levantamento de caminhamento quando há uma caverna, nota-se que há um pico de

alta resistividade quando o levantamento se sobrepõe a área onde há a cavidade.

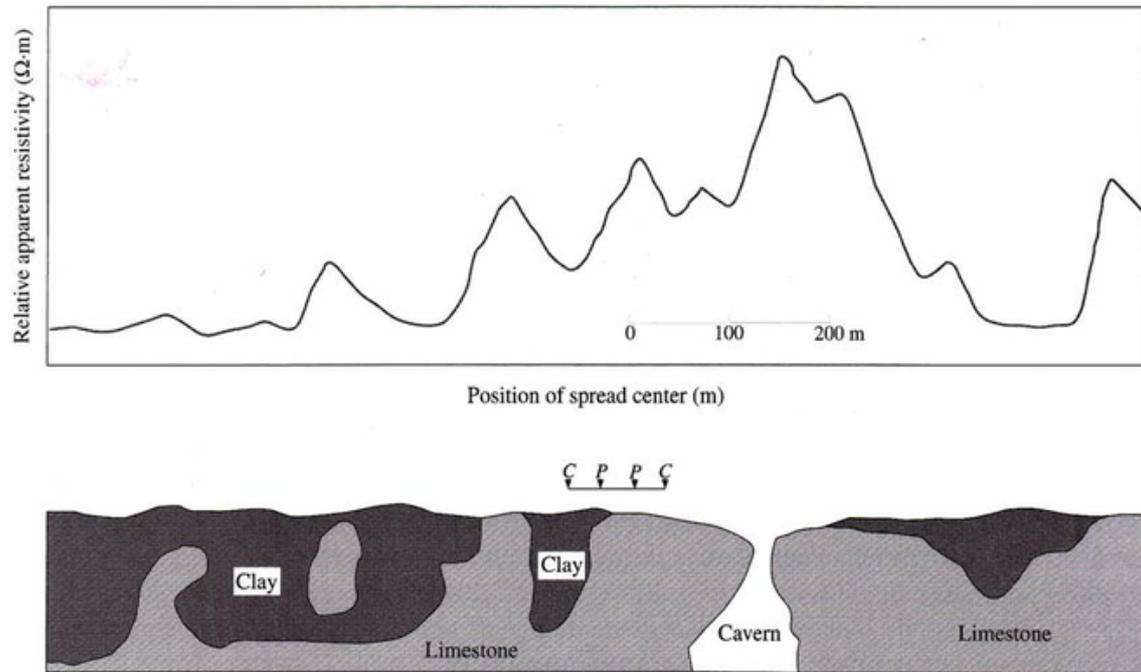


Figura 3 - Resposta de resistividade aparente sobre uma caverna

Fonte: Hubert (1944)

### 3 O AMBIENTE CÁRSTICO

O termo Carste é usado para descrever um tipo característico de paisagem que apresenta extenso sistema de águas subterrâneas e cavernas desenvolvidas em rochas muito solúveis como por exemplo: calcário, mármore, gipsita. O Carste pode ser definido como um terreno de hidrologia e formas de relevo distintas resultante da combinação de rochas muito solúveis e porosidade secundária bem desenvolvida (FORD; WILLIAMS, 2007).

Ainda de acordo com Ford e Williams (2007), o carste é melhor entendido quando enxergado como um sistema aberto composto de dois subsistemas (hidrológico e geoquímico) bem integrados e agentes diretos nas rochas. O resultado da integração desses sistemas é exatamente o relevo cárstico e por isso é muito importante a compreensão do sistema cárstico como um todo. O sistema como um todo pode ser dividido em duas zonas. Primeiramente a zona de erosão, onde a rocha é erodida principalmente por dissolução, e em segundo lugar, a zona de deposição onde novas rochas cársticas são criadas. Em geral o estudo desses ambientes se concentra na primeira zona e a zona de deposição é estudada por sedimentologistas. Na primeira, há uma pequena deposição de rocha erodida e algumas formas de precipitação, mas ainda assim essa deposição é transicional e nem sempre significativa. O sistema pode ser visualizado na figura 4.

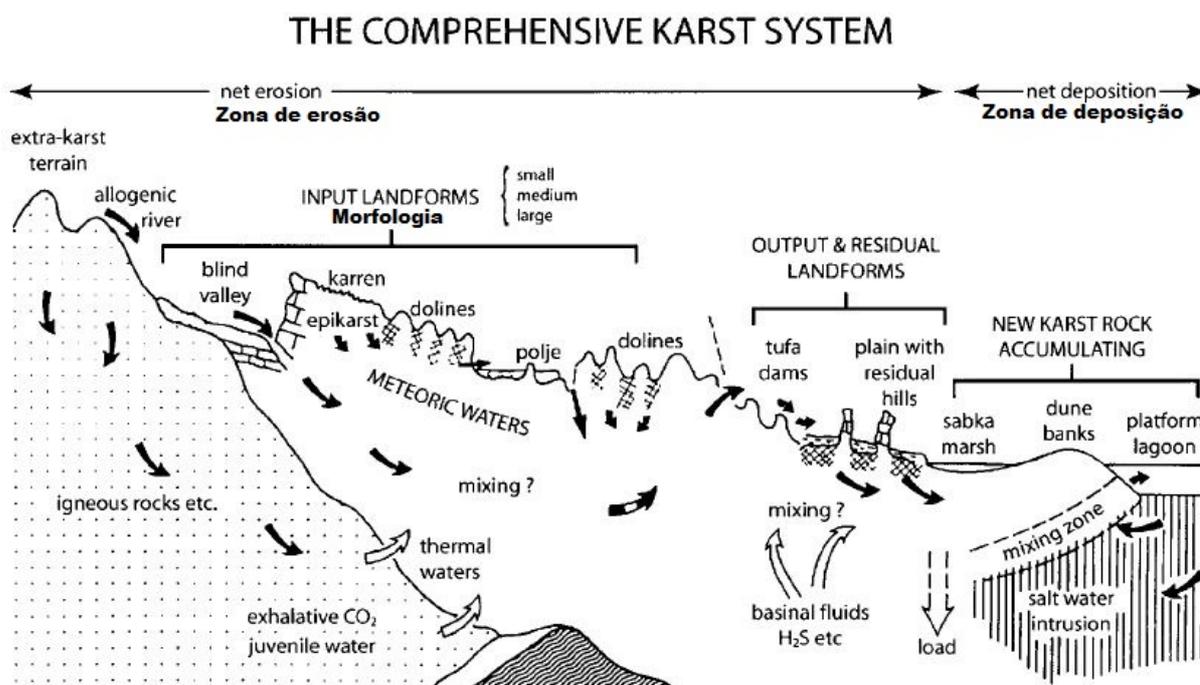


Figura 4 - Esquema do sistema cárstico dividido por zonas e feições típicas

Fonte: Levemente modificado de Ford e Williams (2007)

Segundo Ford e Williams (2007) as rochas que podem desenvolver o carste são divididas em: carbonáticas, evaporíticas e arenitos silicosos e quartzitos.

As rochas carbonáticas são basicamente: o calcário, composto essencialmente pelos minerais calcita e aragonita; a dolomita, composta pelo mineral de mesmo nome; e o mármore, uma forma metamorfozada das duas primeiras rochas.

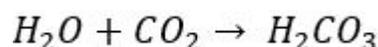
As rochas evaporíticas são formadas pela precipitação de minerais por meio da evaporação de água e seus principais minerais são a halita, gipsita e anidrita, podendo também apresentar minerais como a polihalita, silvita e carnalita.

Já nos arenitos silicosos e quartzitos, apesar de poderem apresentar carstificação, sua ocorrência é mais rara e se dá em circunstâncias muito específicas e favoráveis a dissolução dos minerais. Estas circunstâncias são a alta pureza mineral, para evitar o bloqueio dos canais com minerais não solúveis, o acamamento com planos de interseção permeáveis com fraturas bem espaçadas e a ausência de outros processos erosivos e geomorfológicos de forma a não competir com a gradual dissolução da rocha (FORD; WILLIAMS, 2007).

O carste pode ser bem desenvolvido ou mal desenvolvido e somente a solubilidade da rocha não é o suficiente para o desenvolvimento do mesmo. Os fatores que controlam o desenvolvimento e a carstificação das rochas estão intrinsicamente ligados as suas propriedades litológicas, petrológicas e estruturais. São estas propriedades: (1) a pureza de seus minerais, quanto mais pura a rocha, melhor é o desenvolvimento do carste; (2) O tamanho dos grãos e a textura, na maior parte das vezes, quanto mais fino o grão, mais solúvel é a rocha, exceto em alguns calcários com grão muito finos que apresentam uma textura suave e a dissolução se torna mais difícil; (3) Porosidade; (4) Força mecânica; (5) Descontinuidades penetrativas de água, podem se apresentar como fraturas, planos de acamamento, juntas ou falhas.

Como dito anteriormente o terreno cárstico é o resultado da dissolução de rochas cársticas, isto se dá por meio de águas superficiais ou subterrâneas que, comumente, tem origem meteórica. Segundo Filho e Karmann (2012) as rochas de maior solubilidade são as rochas carbonáticas que contém em sua composição o radical  $\text{CO}_3^{2-}$ . Sendo este o tipo mais abundante e estudada quando se trata do Carste. Abaixo se encontra a explicação de como ocorre a dissolução das rochas carbonáticas.

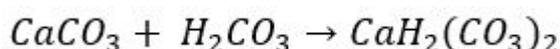
As águas ao entrar em contato com o dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  se tornam ácidas, formando o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) conforme a equação 7:



Equação 7 - .

Fonte: Ford e Williams (2007)

Por sua vez, o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) em contato com o ácido carbônico forma o bicarbonato de cálcio ( $CaH_2(CO_3)_2$ ), que é solúvel e é levado pela água após o processo de dissolução de acordo com a equação 8:



Equação 8 - .

Fonte: Ford e Williams (2007)

Além disso, de acordo com Piló (2000) no desenvolvimento do carste subterrâneo há também o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como um outro agente importante que atua na dissolução das rochas pela oxidação de  $H_2S$  e a oxidação de sulfetos, em particular, a pirita.

Uma vez que as rochas cársticas podem apresentar uma gama variada de minerais, este é apenas um exemplo de reação química de dissolução destas. Mais exemplos de reações de dissolução de minerais podem ser verificados na figura 5 apresentada por Ford e Williams (2007) em seu livro sobre o Carste.

**Table 3.1** Dissociation reactions and solubilities of some representative minerals that dissolve congruently in water, at 25 °C and 1 bar (105 Pa) pressure (Modified with permission from Freeze, R.A. and Cherry, J.A. Groundwater © 1979 Prentice Hall)

Mineral	Dissolution reaction	Solubility ( $mg L^{-1}$ )	Common range of abundance in waters ( $mg L^{-1}$ )
Gibbsite	$Al(OH)_3 + H_2O \rightarrow 2Al^{3+} + 6OH^-$	0.001	Trace
Quartz	$SiO_2 + H_2O \rightarrow H_4SiO_4$	12	1–12
Amorphous silica	$SiO_2 + H_2O \rightarrow H_4SiO_4$	120	1–65
Calcite	$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$	60*, 400†	10–350
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2 + 2H_2O + 2CO_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 4HCO_3^-$	50*, 300†	10–300
Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$	2400	0–1500
Sylvite	$KCl + H_2O \rightarrow K^+ + Cl^- + H^+ + OH^-$	264 000	0–10 000
Mirabilite	$NaSO_4 \cdot 10H_2O + H_2O \rightarrow Na^+ + SO_4^{2-} + H^+ + OH^-$	280 000	0–10 000
Halite	$NaCl + H_2O \rightarrow Na^+ + Cl^- + H^+ + OH^-$	360 000	0–10 000

\* $P_{CO_2} = 10^{-3}$  bar.

† $P_{CO_2} = 10^{-1}$  bar.

Figura 5 - Tabela de reações de dissolução em carste

Fonte: Ford e Williams (2007)

O resultado da contínua dissolução mineral e evolução do carste é um relevo cárstico que apresenta feições particulares. Sistemas de cavernas, depressões

fechadas, vales cegos, sumidouros e nascentes de águas, dolinas, lápias, úvalas e poliês são alguns dos exemplos dessas formas ostentadas pelo relevo cárstico. Algumas destas também estão ilustradas anteriormente na figura 4.

Ford e Williams (2007) classificam essas feições de acordo com o seu tamanho: pequeno (até 10 metros), intermediário (10-1000 metros) e largo (mais de 1000 metros).

Os termos exocarste, endocarste e epicarste são utilizados para descrever os domínios geomorfológicos que se apresentam no ambiente cárstico e representam a superfície, o meio subterrâneo e a subsuperfície, nesta mesma ordem.

O exocarste é o conjunto de feições morfológicas presentes em superfície. Os melhores exemplos destas são as dolinas, úvalas, vales afundados, poliês e lápias.

Segundo Piló (2000) , as dolinas são depressões fechadas circulares ou elípticas formadas em superfície pela dissolução das rochas, elas podem apresentar até centenas de metros de profundidade e diâmetro e são classificadas de acordo com (JENNINGS 1985 apud PILÓ 2000) em dolinas de dissolução, colapso, aluviais ou de subsidência.

As úvalas podem ser consideradas uma união de dolinas em evolução e processo de alargamento, a taxa de alargamento das depressões está ligada diretamente a capacidade de captação e drenagem de águas pela dolina (figura 6) e além disso (White 1998 apud PILO 2000) apresenta um outro modelo para o surgimento de úvalas a partir de sumidouros que se instalam na calha de drenagem, aprofundam o nível freático e a partir da ampliação da divisão entre os sumidouros ocorre a configuração da úvala (figura 7).

Os poliês são também depressões fechadas, mas apresentam larguras de dezenas de quilômetros, com um fundo plano e fronteiras abruptas.

As lápias são microformas residuais de pequena escala, variando de milímetros a poucos metros e podem ser identificadas por sulcos, furos e pequenas saliências, alguns exemplos fotográficos são apresentados no livro de Ford e Williams (2007) como na figura 8. Em seu trabalho o autor classifica as diferentes formas de lápias com base na sua origem e denomina a mesma como karren.

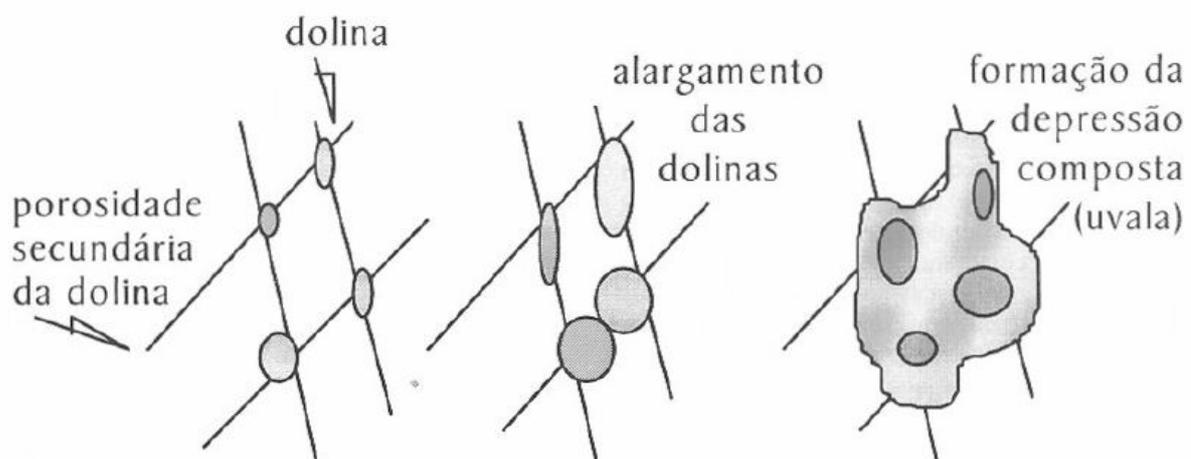


Figura 6 - Modelo de evolução de dolinas para úvalas  
Fonte: Piló (2000)

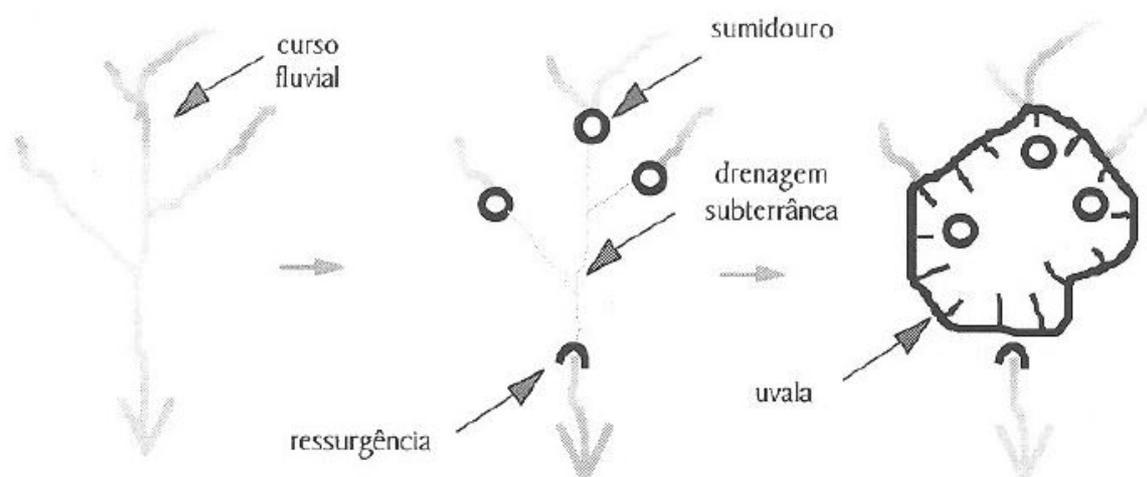


Figura 7 - Modelo para surgimento de úvalas por expansão de calhas de drenagem  
Fonte: Piló (2000)

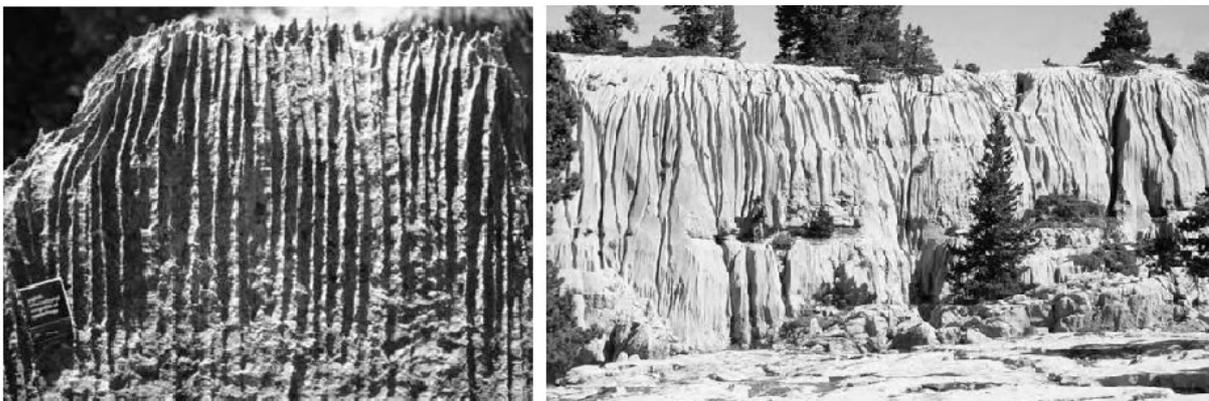


Figura 8 - Comparativos de escala em feições de lápias. A esquerda típico rillenkarren em calcário e a direita rinnenkarren em calcário na região dos Pirineus.

Fonte: Ford e Williams (2007)

## 4 GRUTA DA MORENA

### 4.1 LOCALIZAÇÃO

A área do estudo em questão chama-se Gruta da Morena e se situa no município de Cordisburgo no estado de Minas Gerais a aproximadamente 117 km norte de Belo Horizonte (capital do estado) e 574 km norte da cidade do Rio de Janeiro (Figura 9). Até o presente, o município de Cordisburgo tem um total de 56 cavernas conhecidas em seus arredores e identificadas na base de dados do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) disponibilizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio/ (CECAV, 2012)) e apesar desse total representar somente 0,33% das cavidades cadastradas em todo o Brasil, a Gruta da Morena é a 4ª maior caverna do Estado de Minas Gerais e a 26ª maior do país (OE, 2017).

A Gruta se localiza na região rural de Cordisburgo e pode ser acessada através de propriedades privadas, as quais: a Fazenda Guanabara e a Fazenda Cantagalo, onde a primeira foi o local desse estudo.

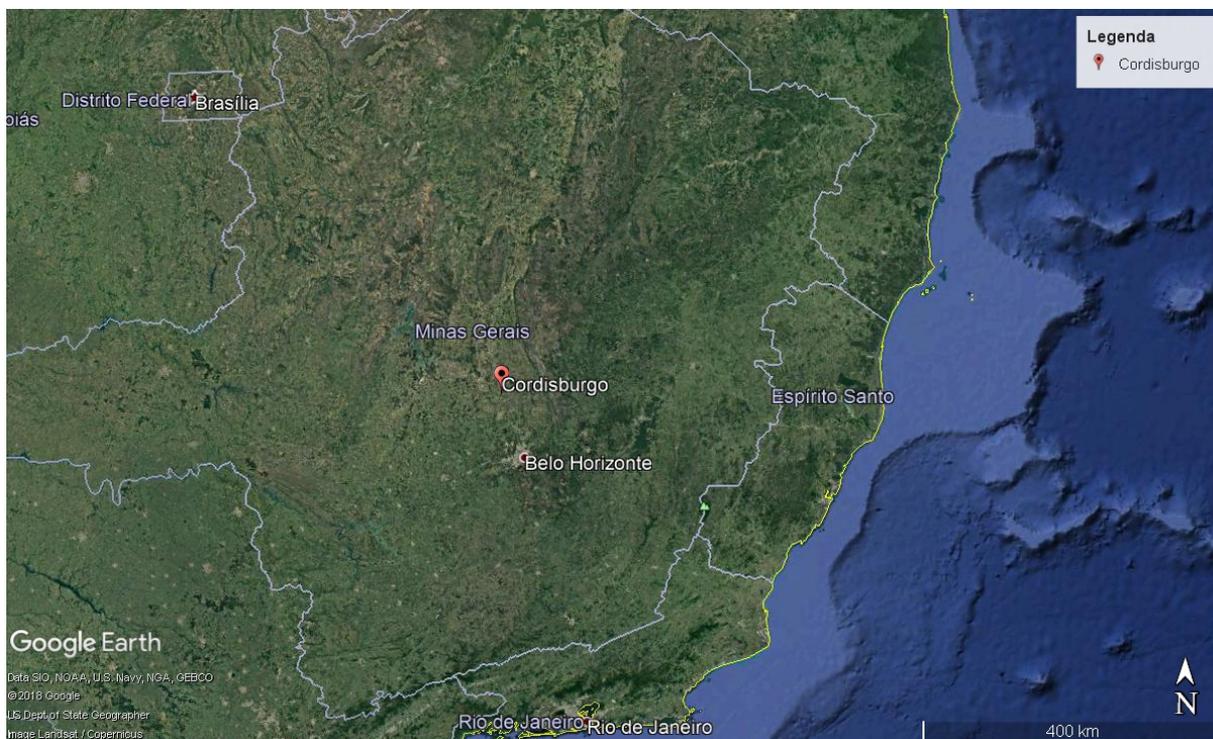


Figura 9 - Mapa de localização da área de estudo

Fonte: Google Earth

## 4.2 FORMA E GEOMETRIA:

A Gruta da Morena é conhecida como a maior caverna da região com aproximadamente 4620 metros de extensão horizontal e possui 7 (sete) entradas que levam a condutos escavados pelas águas (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2003). As águas de seus condutos são provindas de 2 (dois) rios internos e uma nascente também interna que emergem por um único conduto na sua ressurgência (SALES, 2011). Seu contorno é evidenciado na figura 10.

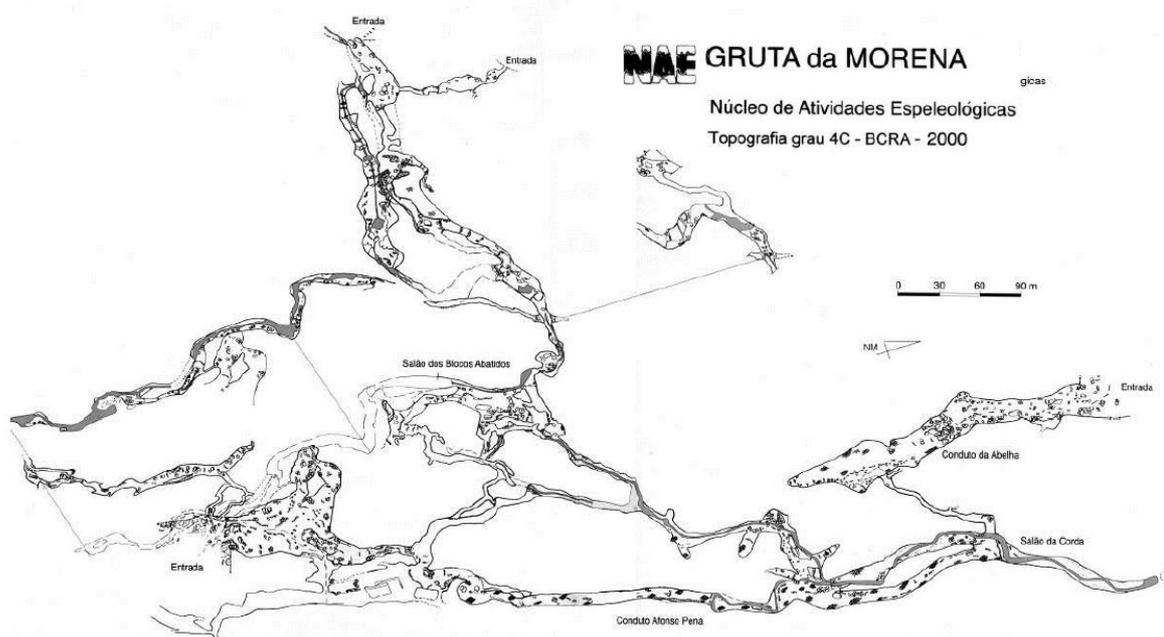


Figura 10 - Gruta da Morena e seus condutos  
Fonte: NAE em Sales (2011)

A geometria da Gruta é descrita por Sales (2011) e baseado na literatura de Palmer (1991). Sales (2011) descreve dois tipos de classificação, uma vez que o autor afirma que sua cavidade tem forma complexa, apenas um tipo de classificação não faria jus a sua identificação. Essas classificações são a geometria ramiforme dentrítica e labiríntica anastomosada, suas formas podem ser verificadas na (figura 11).

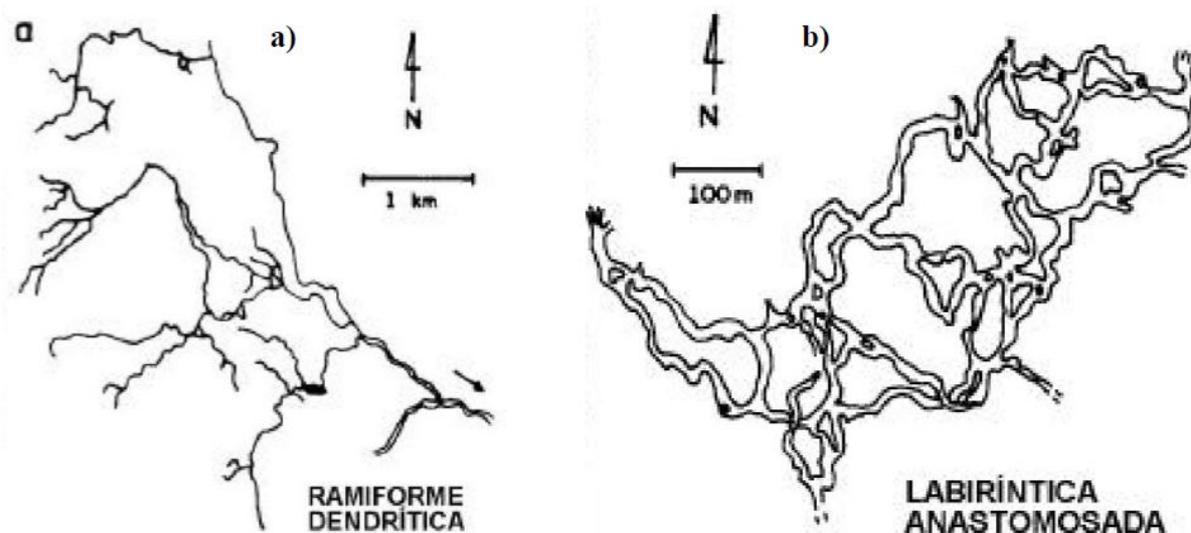


Figura 11 - Geometria da Gruta da Morena. (a) ramiforme dendrítica (b) labiríntica anastomosada  
Fonte: Sales (2011)

### 4.3 CONTEXTO FISIAGRÁFICO

O contexto Fisiográfico da região engloba diversos aspectos físicos do local como o clima, vegetação, geomorfologia e geologia. Este tópico é importante para o entendimento e caracterização de toda a região, uma vez que todos estes estão interconectados e resultam no panorama local.

Segundo o relatório do Observatório Espeleológico (OE, 2017) a região onde se encontra a Gruta da Morena tem uma variação sazonal de períodos mais secos, de maio a setembro e mais úmidos nos outros meses caracterizando um clima tipicamente tropical com mais chuvas no verão e menos no inverno. A área no entorno da Gruta tem um índice pluviométrico de até 1380mm ao ano e uma temperatura média anual de 23°C. Na época de seca a umidade relativa do ar é cerca de 60% e o índice pluviométrico representa apenas 7% das chuvas anuais; nos meses úmidos a umidade é em média 77%, mas pode chegar até 96%. De acordo com dados do IBGE (IBGE 1993 apud OE 2017) a vegetação é típica de cerrado e floresta estacional semidecidual, onde a vegetação de cerrado é restringida a manchas remanescentes em regeneração ou em transição.

Como dito anteriormente, morfologia cárstica pode ser dividida em exocarste, epicarste e endocarste. De acordo com o relatório (OE, 2017), a região da Gruta é marcada por feições exocársticas tanto elevadas como planas: os corpos rochosos elevados em forma de ruínas são cortados por fraturas, juntas e diaclases e fazem

parte da Formação Lagoa do Jacaré e as áreas de textura mais suaves e aplainadas são rochas pelíticas, que fazem parte da Formação Serra de Santa Helena ou são solo coberto por pastagens. A drenagem da caverna é dada principalmente por águas subterrâneas e apresenta diversos pontos de cânions, sumidouros e surgências. A figura 12 a seguir apresenta algumas das feições encontradas na região de Cordisburgo e foi elaborada por Eli Lemos e Thiago Lima para o relatório (OE, 2017).

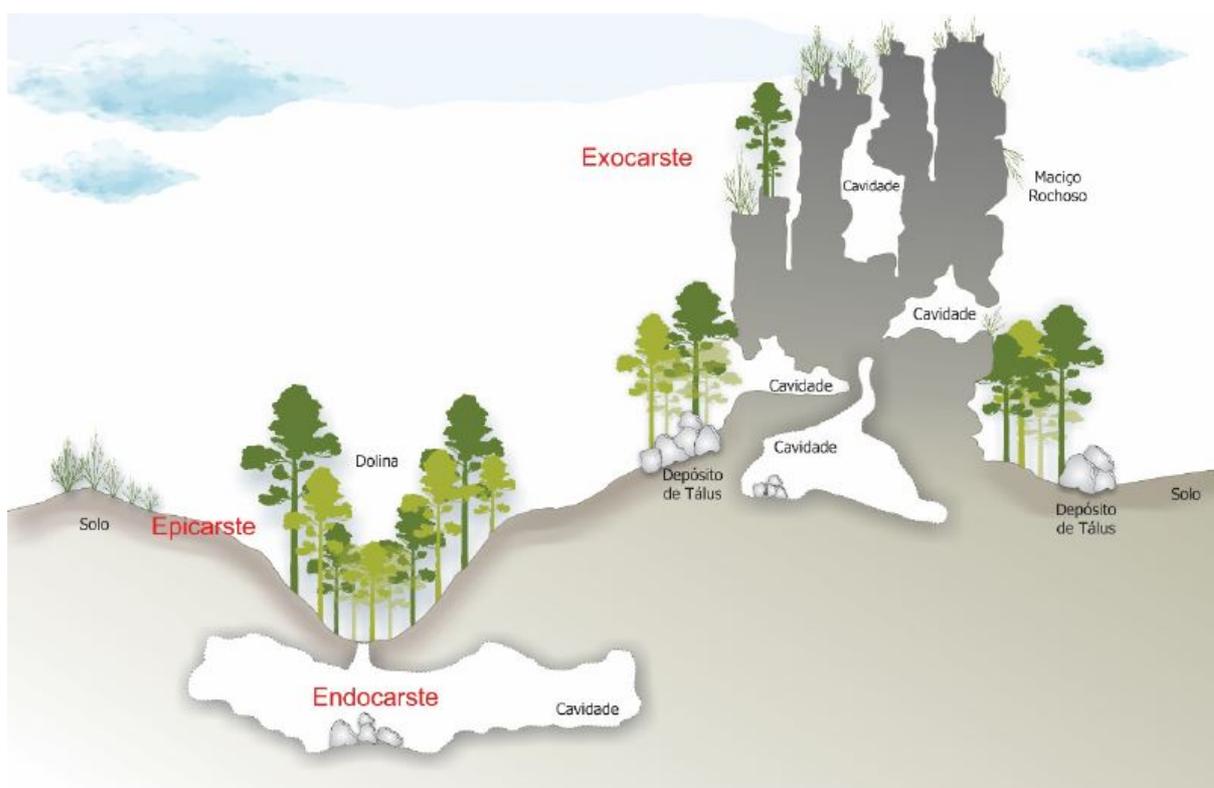


Figura 12 - Feições cársticas encontradas na região de Cordisburgo.

Fonte: OE (2017)

Segundo (Karmann e Sanchez (1979) apud OE (2017)) pode-se classificar como província espeleológica uma região que está inserida em uma mesma unidade geológica onde suas rochas estão sujeitas ao processo de carstificação. Classifica-se como distrito as áreas no interior da província que apresentam descontinuidades no sistema ou de processos cársticos. A Gruta da Morena se encontra no Distrito do Alto e Médio São Francisco localizado na Província Espeleológica do Bambuí e integra a Região Cárstica do Grupo Bambuí.

O município de Cordisburgo está inserido no Cráton do São Francisco (CSF), mais especificamente na porção sudoeste da mesma denominada Bacia Intracratônica do São Francisco figura 13. De acordo com OE (2017), o CSF representa uma unidade geotectônica estabilizada no fim do ciclo transamazônico e

está sucedida por faixas de dobramentos do Proterozóico Superior. Estas sucessões estão divididas em quatro sequências sedimentares e são elas a sequência: de Minas-Itacolomi, do Espinhaço, de Macaúbas e de Bambuí onde as duas últimas são compreendidas no Supergrupo São Francisco que está presente no município de Cordisburgo. Por sua vez, a Gruta da Morena se desenvolve na última sequência do Bambuí(OE, 2017) .

Nos anos 70, Dardenne (1978) publicou um trabalho sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí e, visto que este grupo é muito importante para a caracterização geológica deste trabalho os próximos parágrafos irão resumir este trabalho.

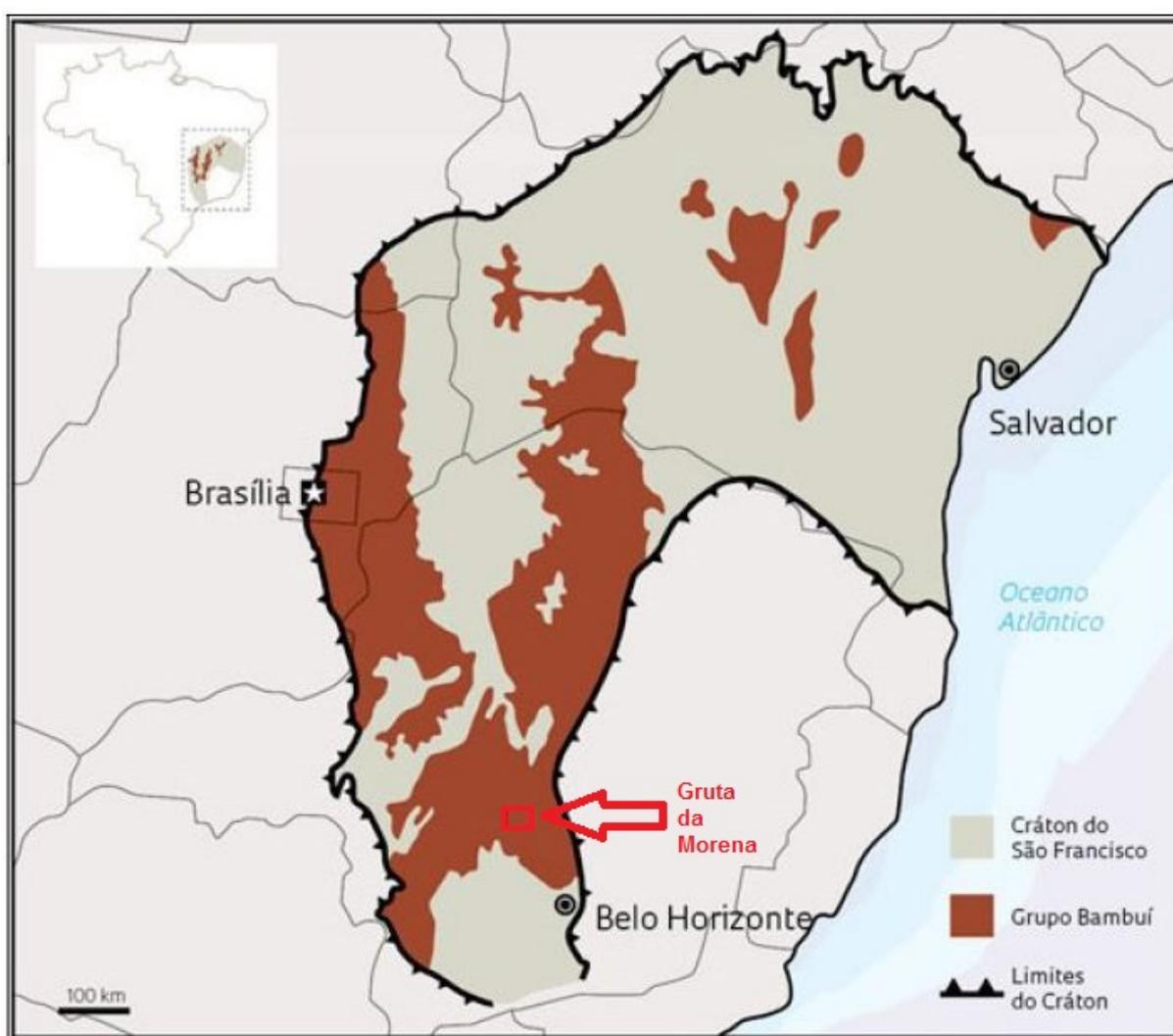


Figura 13 - Mapa de localização da Gruta da Morena e do Grupo Bambuí dentro do Cráton São Francisco.

Fonte: Levemente modificado de OE (2017)

O Grupo Bambuí foi subdividido em 6 (seis) formações no trabalho de Dardenne (1978). São estas as Formações: Jequitá, Sete Lagoas, Serra de Santa

Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. O autor descreve a composição de cada formação, da base para o topo, como a seguir:

1. Formação Jequitaí: formada por um paraconglomerado basal de matriz esverdeada (siltitos). A formação marca a base do grupo Bambuí e está sobre uma discordância com unidades mais antigas, do Pré-Cambriano.
2. Formação Sete Lagoas: representada por calcários e dolomitos lenticulares numa sequência pelítica.
3. Formação Serra de Santa Helena: majoritariamente pelítica, com presença de folhelhos e siltitos.
4. Formação Lagoa do Jacaré: composta por calcários oolíticos e pisolíticos intercalados e lenticulares em siltitos e margas.
5. Formação Serra da Saudade: composta por folhelhos e argilitos verdes que passam a siltitos em direção ao topo.
6. Formação Três Marias: composta por siltitos verdes e arcóseos.

A figura 14 ilustra a coluna estratigráfica do Supergrupo São Francisco, onde está inserido o Grupo Bambuí dividido em suas formações.

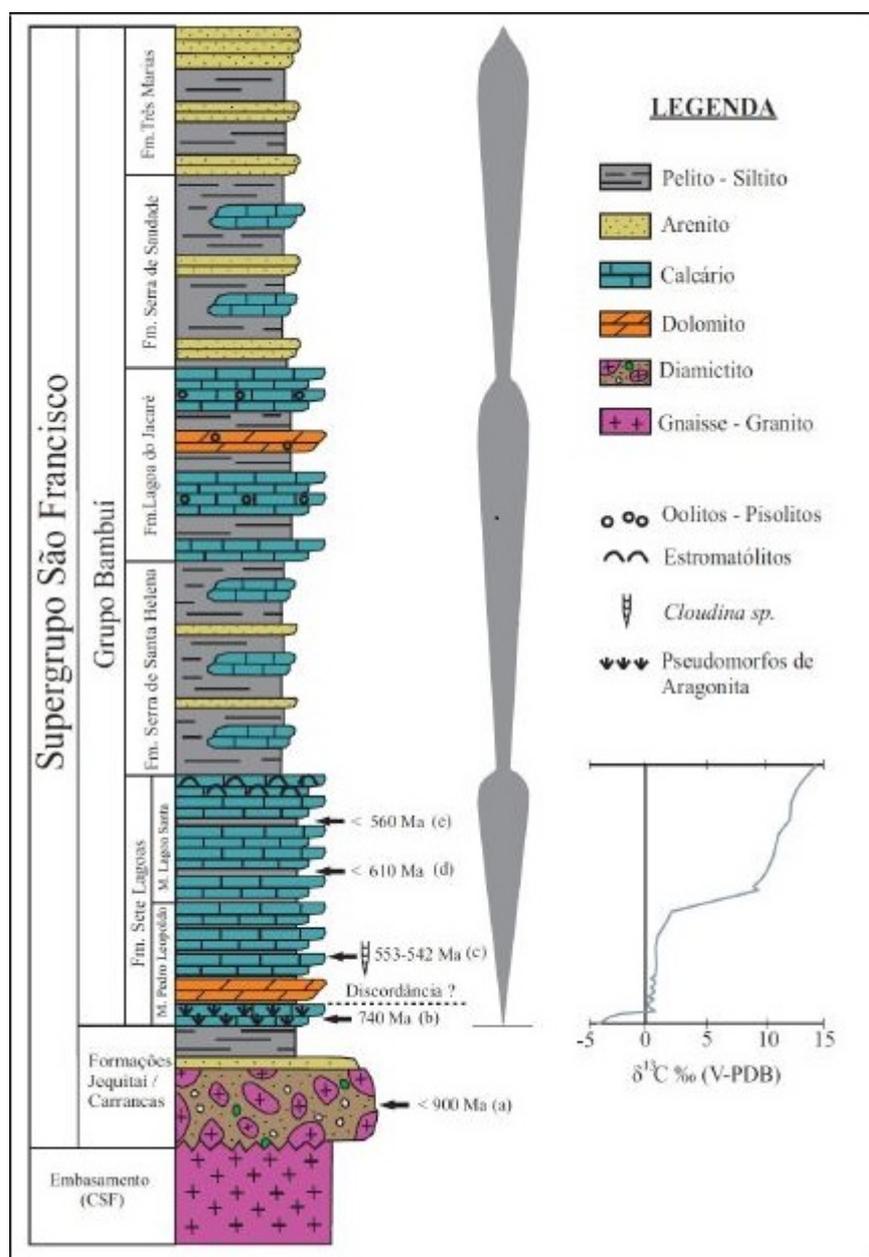


Figura 14 - Coluna estratigráfica contendo o Grupo Bambuí.

Fonte: OE (2017)

As rochas do Grupo Bambuí também são classificadas por (Muzzi-Magalhães et al. 1998 apud OE 2017) em quatro fácies que são, da base para o topo, conglomeráticas, pelíticas, carbonáticas e psamopelíticas, onde a Gruta em questão se encontra nas fácies carbonáticas da Formação Lagoa do Jacaré. Nesta formação, além dos calcários está presente também um manto de intemperismo (solo) sobrejacente aos calcários.

O Relatório OE (2017) aponta ainda que os calcários presentes na região são chamados “impuros”, pois são frequentemente intercalados por argilas terrígenas

delgadas, e também há a presença de calcita preenchendo fraturas secundárias.

## 5 METODOLOGIA DO CAMPO

O trabalho de campo se deu na região do município de Cordisburgo no Estado de Minas Gerais – Brasil durante 4 (quatro) dias no período do dia 28/06/2018 ao dia 01/07/2018 com a participação do geólogo Roberto Cassimiro, o técnico Adalberto e dos professores Gilmar Bueno, Paulo Buarque.

A viagem teve como principal objetivo aplicar o método de resistividade em ambientes conhecidos como cársticos. A intenção era poder enxergar “vazios” de alta resistividade que pudessem ser correlacionados com o topo da cavidade, uma vez que o ar é altamente resistivo e não permite a condução elétrica.

O primeiro e último dia de viagem foram apenas para o deslocamento entre cidades. No segundo dia de viagem foi possível serem feitos dois levantamentos de resistividade próximos a extremidade a Norte de possível acesso da Gruta da Morena, conforme a figura 15. Um levantamento sobre a área da Gruta do Maquiné era previsto para o terceiro dia, mas não foi viável, pois a cavidade ainda não está mapeada de forma a saber, em superfície, onde seus limites se encontram, além disso a trilha era de difícil acesso e de topografia muito irregular para chegar com todo o equipamento do imageador.

Para o levantamento, foi utilizado o imageador Geotest IRPI-1000 emprestado pelo departamento de geociências da Universidade Federal Fluminense (UFF). Além de toda a aparelhagem do imageador foram levados outros materiais de apoio como: quatro baterias de 12 Volts cada, um carregador de baterias, duas marretas e uma trena de 50 metros, gentilmente disponibilizados pelo professor Alberto Figueiredo.

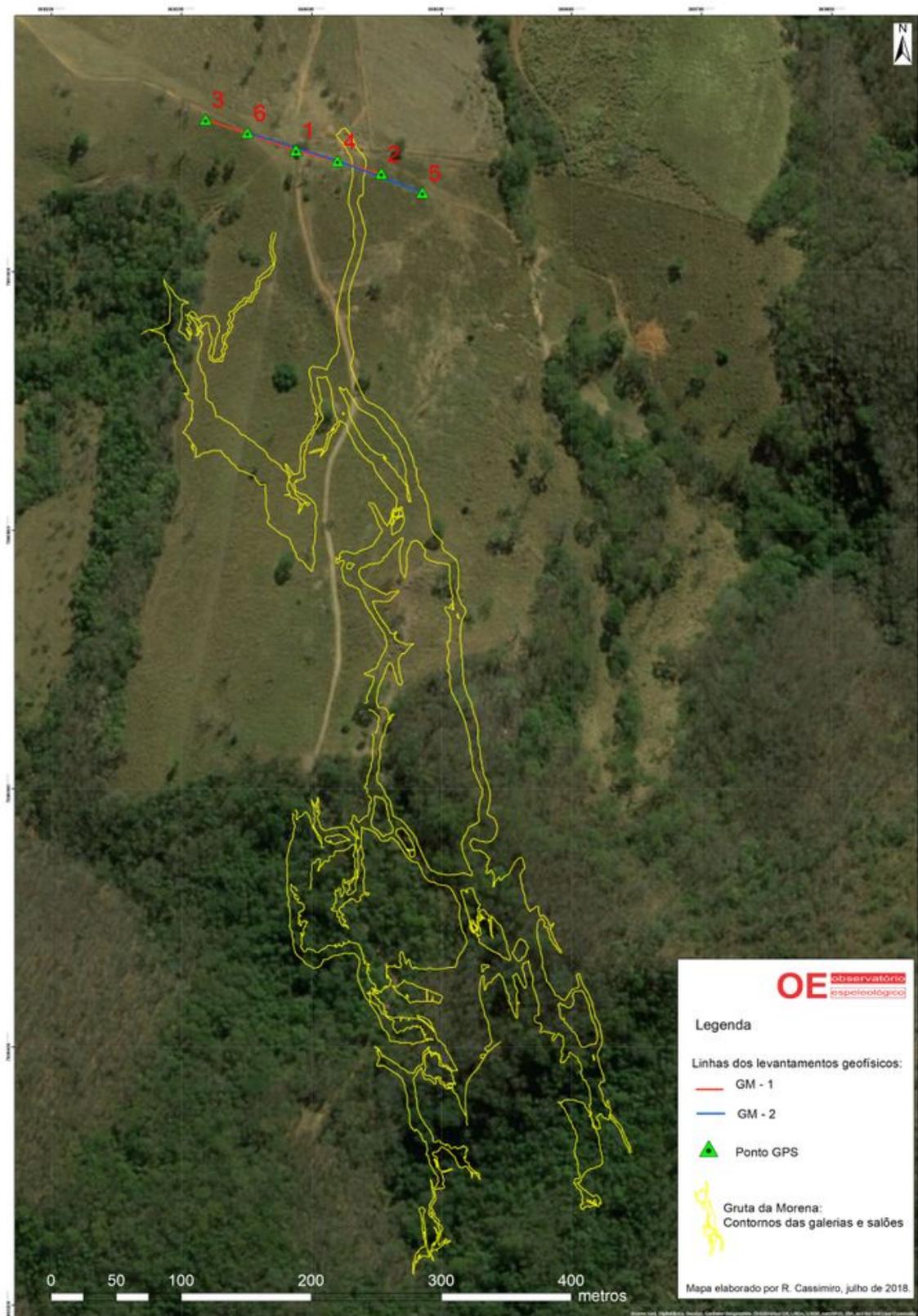


Figura 15 - Localização dos levantamentos de resistividade no extremo norte da Gruta da Morena  
Fonte: Elaborado por Roberto Cassimiro

A figura 16 mostra seis pontos marcados pelo GPS e as coordenadas em UTM de cada ponto bem como sua posição em relação a cada levantamento.

Ponto	Coordenadas UTM	Observação
<b>Seção Gruta da Morena 1</b>		
1	569.381 m E/ 7.881.096 m S e 754 metros de altitude	Local aonde ficou o equipamento
2	569.453 m E/ 7.881.078 m S e 750 metros de altitude	Extremo a leste
3	569.316 m E/ 7.881.119 m S e 754 metros de altitude	Extremo a oeste
Deslocamento da linha		
<b>Seção Gruta da Morena 2</b>		
4	569.416 m E/ 7.881.087 m S e 754 metros de altitude	Local aonde ficou o equipamento
5	569.484 m E/ 7.881.064 m S e 749 metros de altitude	Extremo a leste
6	569.351 m E/ 7.881.108 m S e 750 metros de altitude	Extremo a oeste

Figura 16 - Tabela de coordenadas UTM de cada ponto nas duas aquisições

Fonte: Elaborado por Roberto Cassimiro

As duas aquisições pelo método de resistividade com o imageador Geotest IRPI-1000 foram tomadas com parâmetros conforme o quadro 1.

	1ª aquisição	2ª aquisição
Arranjo	Dipolo-Dipolo	Dipolo-Dipolo
Número de eletrodos	30	30
Espaçamento entre eletrodos	5 metros	5 metros
Quantidade de níveis investigados	6	8
Voltagem inicial	5 Volts	200 Volts

Quadro 1 - Parâmetros de aquisição

Fonte: O autor (2018)

O imageador funciona com dois cabos de 150 metros ligados a um console de recepção de dados, este console é ligado por meio de um cabo a outra caixa onde o software de operação funciona com um pen-drive. Os dois cabos de 150 metros são postos em contato com os eletrodos (estacas de metal) de campo que foram previamente inseridos no solo com um espaçamento regular de 5 metros (figura 17).

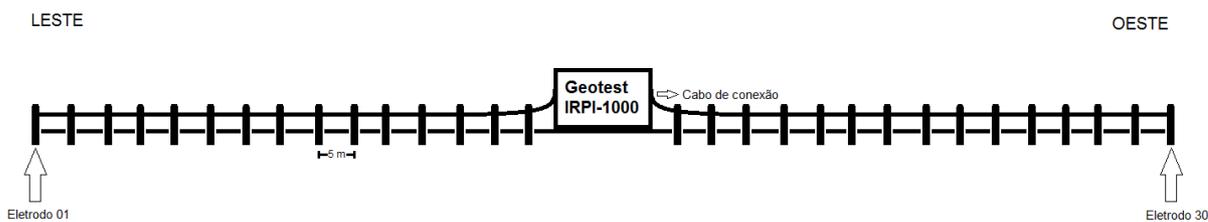


Figura 17 - Esquema de aquisição com posicionamento dos eletrodos feita em campo.

Fonte: O autor (2018)

A topografia da área em estudo se mostrou irregular e por isso os levantamentos tiveram uma extensão de apenas 145 metros, o que acabou por limitar a profundidade máxima alcançada na investigação, uma vez que a profundidade de análise está diretamente ligada ao espaçamento entre os eletrodos.

Segundo o manual do imageador, o mesmo precisa ser alimentado por uma tensão de 24 Volts para seu funcionamento, por isso é necessário que sejam utilizadas duas baterias secas (tipo de automóvel) de 12 Volts conectadas em série. Por sugestão do técnico que acompanhou o levantamento, foram utilizadas cinco baterias de 12 Volts cada conforme a figura 18.



Figura 18 - Visualização do funcionamento do equipamento com as baterias.

Fonte: O autor (2018)

Para que o equipamento operasse foi necessário utilizar dois programas externos fornecidos num pen-drive que o acompanha. O programa Gconfig foi instalado no computador, deve-se notar que o programa só pode ser instalado se já houver o programa JAVA no computador. O programa serve para criar um arquivo (protocolo) de configuração no pen-drive que irá operar o equipamento para o levantamento, o seu uso é autoexplicativo e não há muita dificuldade em utilizá-lo como pode ser visto na figura 19. Juntamente ao protocolo feito pelo Gconfig é imperativo que no pen-drive a ser usado tenha o programa “Guia”, é necessário que essa pasta seja copiada no mesmo.

Figura 19 - Tela de funcionamento do programa de protocolagem Gconfig.  
Fonte: O autor (2018)

O pen-drive deve ser inserido no imageador antes de conectá-lo as baterias e então o equipamento começa a fazer uma checagem em cada eletrodo para verificar seus contatos e se eles estão ligados conforme a tabela. No levantamento em questão, após a verificação dos eletrodos, alguns destes constavam como desligados ou com contato ruim. Para mitigação deste problema o solo a volta destes eletrodos foi molhado com agua salgada, pois como era período de seca o solo não estava fornecendo um bom contato.

<i>Resistência de contato</i>	<i>Condição do contato</i>
$R < 1,1 \text{ k}\Omega$	EXC (excelente)
$1,1 \text{ k}\Omega \leq R < 1,8 \text{ k}\Omega$	BOM
$1,8 \text{ k}\Omega \leq R < 3 \text{ k}\Omega$	REG (regular)
$3 \text{ k}\Omega \leq R < 6 \text{ k}\Omega$	MAU
$R \geq 6 \text{ k}\Omega$	DLG (desligado)

Figura 20 - Tabela de checagem e resposta de contato de eletrodos  
Fonte: O autor (2018)

Após a checagem de eletrodos, o levantamento se deu de forma automática com algumas interrupções em consequência de medidas que não tiveram resultados dentro do desvio padrão até o fim da aquisição de dados onde o imageador mostrou

a mensagem “Fim do trabalho” e salvou automaticamente os dados adquiridos no pen-drive. É importante observar que o pen-drive só deve ser retirado após o imageador ter sido desconectado das baterias de alimentação. A partir daí foi necessário utilizar o programa Gconfig mais uma vez para converter o arquivo no formato .txt de forma que o mesmo pudesse ser usado num programa de inversão.

Por fim, a inversão dos dados foi feita pelo programa RES2DINV e em cada inversão foram feitas quatro iterações que obtiveram um erro RMS 51,5% e 55,9% na primeira e na segunda, respectivamente.

## 6 OBSERVAÇÕES DE CAMPO E RESULTADOS

### 6.1 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

No primeiro dia de levantamento foi possível observar algumas das feições explicadas anteriormente nesse trabalho. A figura 21 exemplifica uma dolina vista de cima, pode-se notar que a vegetação se modifica logo acima da depressão. Em seguida a figura 22 mostra um outro ângulo mais aproximado da mesma dolina onde é possível visualizar sua borda um pouco melhor.

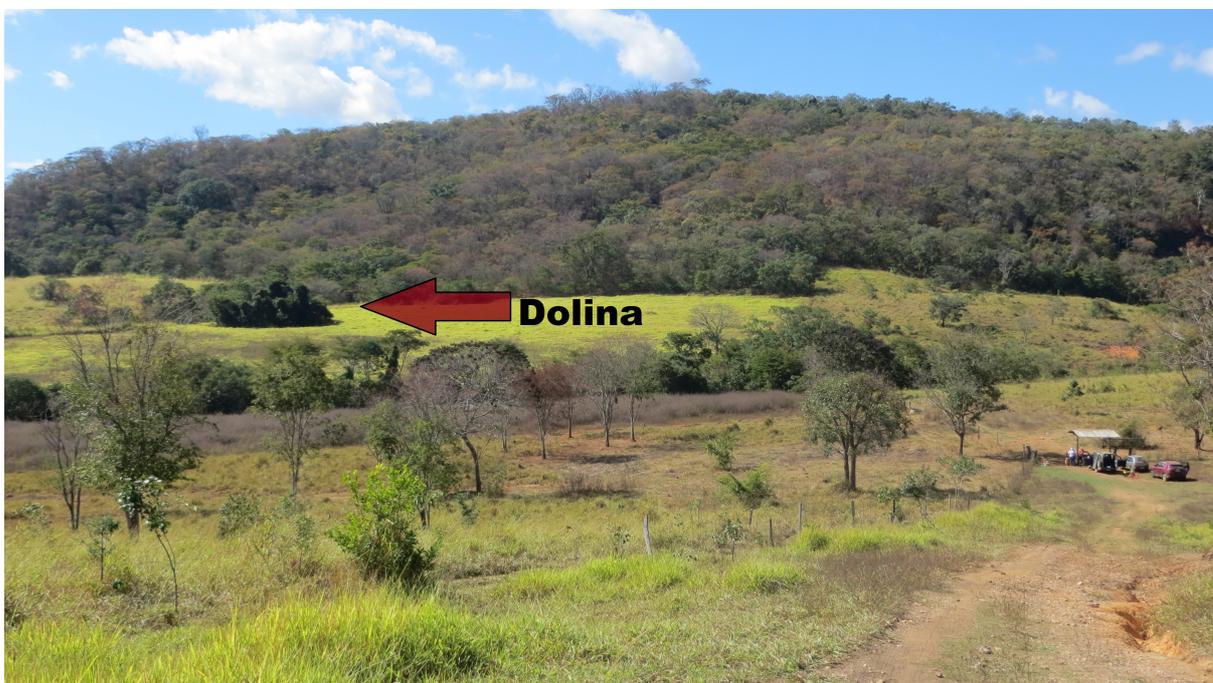


Figura 21 - Exemplo de uma dolina observada à distância.

Fonte: O autor (2018)



Figura 22 - Dolina aproximada e identificada pelo tracejado branco.

Fonte: O autor (2018)

## 6.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado inicial obtido pela inversão do primeiro e segundo levantamento pode ser observado nas figuras 23 e 24, respectivamente. Em cada figura o gráfico (a), no topo, mostra a resistividade aparente medida na pseudoseção, no meio, o gráfico (b) mostra a resistividade aparente calculada na mesma e, finalmente, na base, o gráfico (c) ilustra o modelo, já invertido, de resistividade da seção. O eixo horizontal dos gráficos representa a distância em metros dos eletrodos, desde o primeiro (eletrodo 01) na posição 0.0 m até o último (eletrodo 30) na posição 142.5 metros, já o eixo vertical reflete a profundidade alcançada na medida, também em metros. Vale ressaltar que nos dois levantamentos foram utilizados 30 eletrodos, 15 à direita do equipamento e 15 à esquerda do mesmo e os eletrodos foram dispostos conforme o esquema apresentado anteriormente na figura 17. Os gráficos apresentam uma legenda de cores abaixo com seus respectivos valores, mas intuitivamente podem ser lidos da seguinte forma: as cores mais quentes (amarelos, laranjas, vermelhos e roxo) equivalem a valores de resistividade mais altos, já as cores frias (azuis e verdes) equivalem a valores mais baixos.

Observou-se que em ambas aquisições ocorreu uma "mancha" de alta resistividade próximo a superfície no entre os espaçamentos 70-80.0 m no primeiro

levantamento e entre 70-77.0 m no segundo. A localização desta mancha corresponde exatamente ao posicionamento das caixas de equipamento entre eletrodos centrais (eletrodo nº15 em 70.0m e eletrodo nº16 em 75m), por esse motivo estes valores foram desconsiderados na interpretação dos dados.

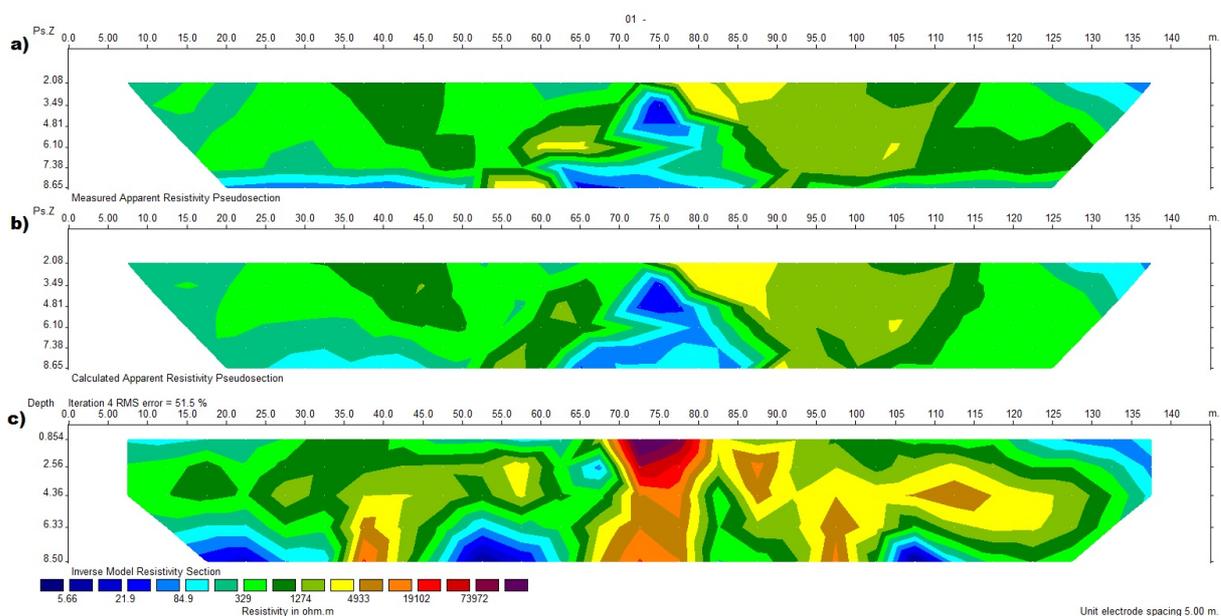


Figura 23 - Resultado da primeira aquisição  
Fonte: O autor (2018)

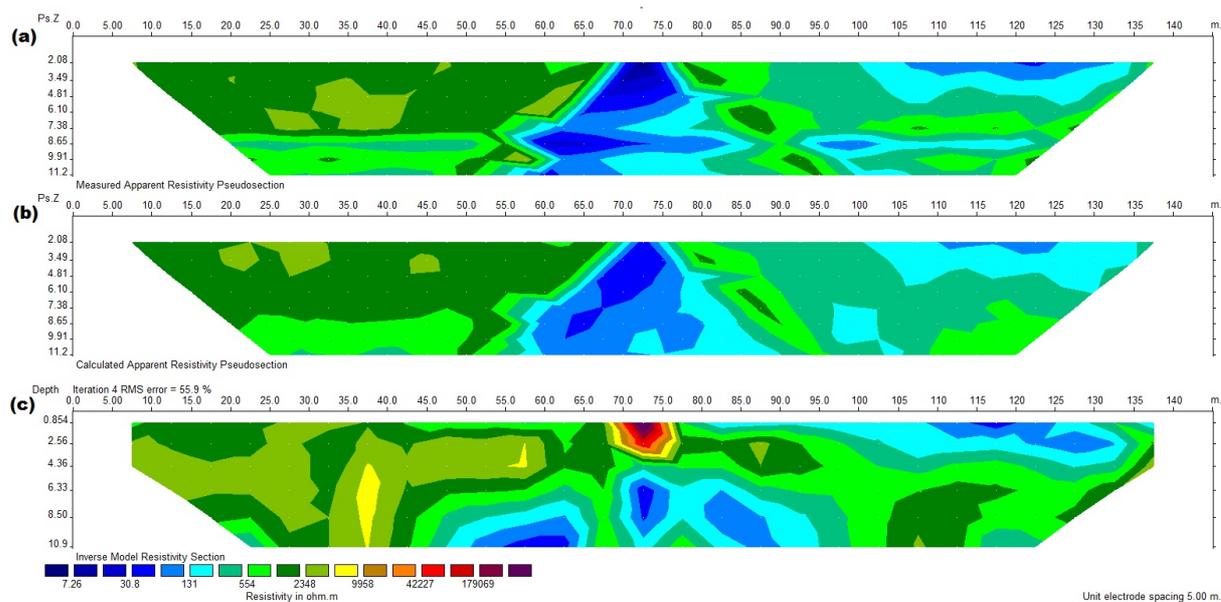


Figura 24 - Resultado da segunda aquisição  
Fonte: O autor (2018)

Na primeira aquisição foi aprofundada em seis níveis e a investigação chegou a uma profundidade de 8,50 metros. Algumas zonas de alta resistividade foram constatadas entre os espaçamentos: (1) 35-40.0 m a profundidade variando de 6.33-8.5 m; (2) 67-80.0 m com profundidade de 4.36-8.5 m; (3) 85-90.0 m com profundidade 0.854-4.36 m; (4) 95-100.0 m com profundidade aproximadamente entre 3-8.5 m; e finalmente (5) 105-120.0 m a 4.36 m de profundidade. Essas zonas podem ser verificadas na figura 25.

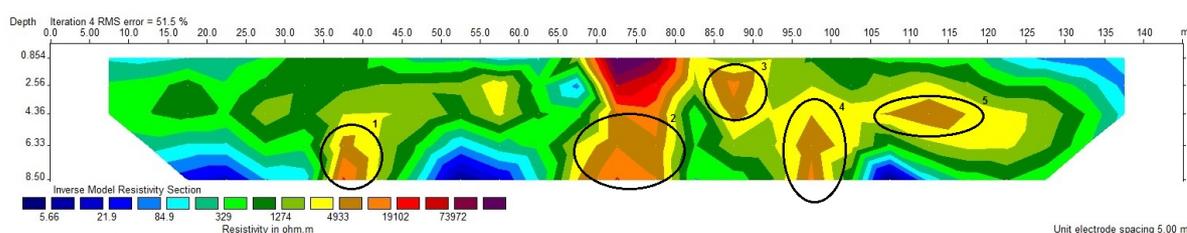


Figura 25 - Modelo de resistividade da primeira seção. Os círculos em preto representam zonas de alta resistividade.

Fonte: O autor (2018)

Já na segunda aquisição foi aprofundada em oito níveis e a investigação chegou a 10,9 metros de profundidade e as zonas de alta resistividade: (6) entre os espaçamentos 35-40.0 com profundidade de 4.36-10.9 m; e (7) entre os espaçamentos 50-60.0 e profundidade 2.56-4.36 m podem ser constatadas na figura 26.

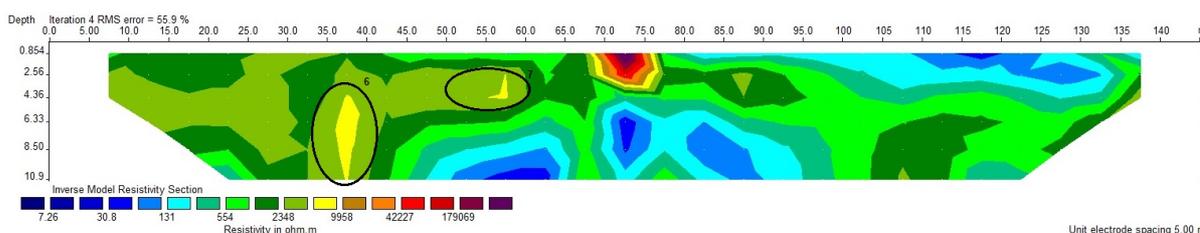


Figura 26 - Modelo de resistividade da segunda seção. Os círculos em preto representam zonas de alta resistividade.

Fonte: O autor (2018)

A segunda linha do levantamento foi medida com uma diferença de 35 metros a leste da primeira e comparando os dois modelos obtidos é possível enxergar uma correspondência entre essas zonas de alta resistividade onde as zonas 6 e 7 no segundo levantamento possivelmente retratam as zonas 2 e 3 do primeiro.

Comparando-se a resposta obtida nas figuras 25 e 26 com o mapa de localização dos levantamentos na figura 15 acima é possível inferir que as zona 1 se localiza próximo ao ponto de localização 6; as zonas 2, 3, 6 e 7 correspondem ao

ponto de localização 1. Tanto os pontos de localização 1 quanto o ponto 6 não possuem nenhuma informação de caverna mapeada, no entanto, ambos modelos de resistividade corroboram para afirmar a existência dessas zonas de alta resistividade que podem eventualmente configurar uma zona de vazio não explorada. As zonas 4 e 5 se localizam entre os pontos 2 e 4 do mapa da figura 15, que pode ser calibrada com a parte do polígono da região da gruta já mapeada representada no mesmo mapa.

## 7 CONCLUSÃO

Apesar das dificuldades apresentadas pela topografia irregular que acabaram por limitar a profundidade de investigação, o método produziu respostas positivas e satisfatórias. Uma vez que o ar não é um meio condutivo de energia elétrica o método traz a viabilidade de enxergar vazios por meio da análise de manchas de alta resistividade. Esses espaços preenchidos de ar refletem as cavidades (cavernas ou grutas) formadas pela dissolução das rochas cársticas.

Os resultados obtidos em campo proporcionaram a calibragem dos dados de localização da gruta já existentes, mapeados e disponibilizados pelo relatório do Observatório Espeleológico (OE, 2017). Além da calibragem, os resultados também permitiram a figuração de outra área de alta resistividade que possivelmente configura uma extensão do contorno mais a oeste da gruta ainda não conhecido nem mapeado.

A aplicação geofísica no estudo de cavernas se mostrou de grande auxílio na construção de um cenário de cavidades em subsuperfície ainda não exploradas ou não alcançáveis e também para a corroboração de cavidades previamente mapeadas.

Por fim, a intenção do trabalho foi concretizada, uma vez que foi comprovada a aplicabilidade e efetividade do método em ambientes cársticos, neste caso, na Gruta da Morena. Ademais sugere-se que outras linhas sejam levantadas na região com o intuito de melhor caracterização da Gruta da Morena.

## REFERÊNCIAS

- BORGES, Welitom Rodrigues. **Investigações geofísicas na borda da bacia sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eletrorresistividade..** São Paulo, 2002 Dissertação (Departamento de Geofísica) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14132/tde-26042004-112913/fr.php>>. Acesso em: 11 jul. 2018.
- CECAV. **Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco. Série Espécies Ameaçadas. nº 27. Brasília, DF..** 2012.
- CRUZ, Luciana Vetel; PEREIRA FILHO, Milton. Qualidade das águas da Gruta da Morena, Cordisburgo, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, XXVII. 04 a 14 de Julho de 2003, Januária - MG, 2003. 146-150 p.
- DARDENNE, Marcel Auguste. Síntese Sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , XXX. v.2, Recife, 1978.
- FILHO, William Sallum; KARMANN, Ivo. **Províncias Cársticas e Cavernas do Brasil** : In: Geologia do Brasil. Organizado por Yociteru Hassui, Celso Dal Ré Carneiro, Fernando Flávio Marques de Almeida, Andrea Bartorelli. São Paulo: Beca, 2012. 900 p.
- FORD, Derek; WILLIAMS, Paul. **Karst hydrogeology and geomorphology** . Rev. ed. Chichester - England: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- HUBERT, MK. .. 1944.
- KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **Geofísica de exploração**. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- OE, Relatório Observatório Espeleológico. **Projeto Gruta da Morena: mapeamento e caracterização expedita**. Belo Horizonte, 2017.
- PALMER, Arthur N.. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, v. 103, p. 1-21, 1991.
- PILÓ, Luis B.. Revisão de Literatura: Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2000.
- SALES, Nelicio Faria de. Classificação Geométrica da Gruta da Morena (MG -270), Cordisburgo, MG e Proposta de Gênese de seus Condutores a Oeste. In: 31º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. 21-24 de julho de 2011, Ponta Grossa - PR, 2011.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P. ; SHERIFF, R. E.. **Applied Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.