

5 - GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O relevo da área de estudo foi modelado sobre diferentes tipos de rochas, mas, sobretudo pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Os quartzitos da Formação Sopa Brumadinho que afloram na região exibem variações litológicas proeminentes (Figura 3), as quais refletem no condicionamento do relevo.

A Unidade Serra do Lobo se destaca na paisagem com cotas altimétricas entre 1300 e 1693m, sendo constituída de rochas pouco susceptíveis à erosão. A Serra do Espinhaço (Foto 1) ocupa parte da borda oeste da área, formando extensos platôs entrecortados por drenagem e escarpamento originado por linha de falha. A Serra do Lobo e Serra dos Linhares apresentam perfis abruptos, com encostas dissecadas pela drenagem (Figura 18). Estas serras se orientam na direção NNE-SSW, que representa a atitude aproximada das falhas de empurrão da área de estudo, de expressão regional (Figura 3).

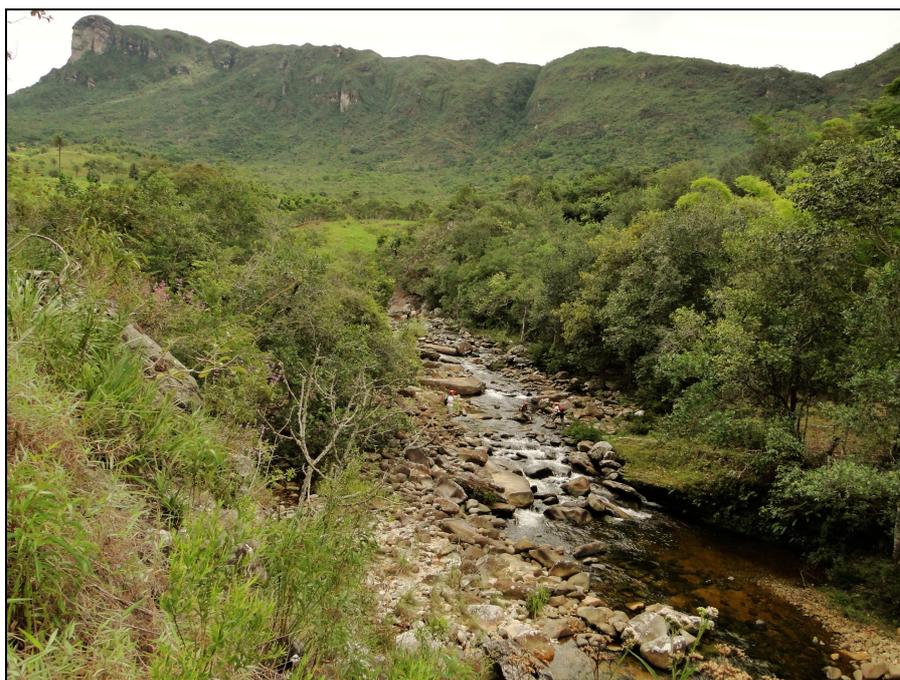


Foto 1. Vista para Serra do Espinhaço Meridional e para o Córrego das Posses.

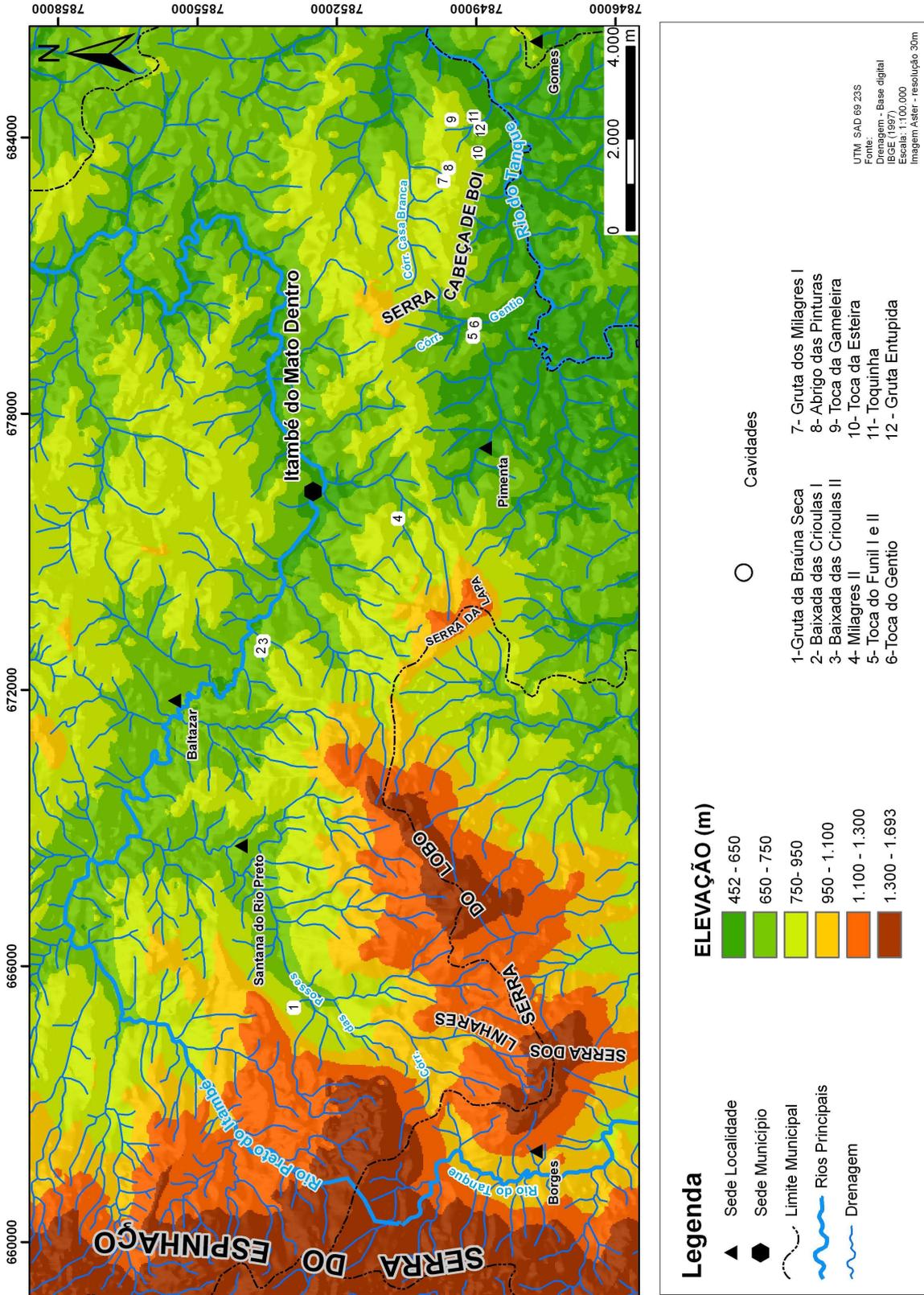


Figura 18: Mapa Hipsométrico da área de estudo

A Unidade Rio Preto se caracteriza por apresentar relevo mais rebaixado e pouco acidentado, com altitudes que variam entre faixas altimétricas 650 – 750 e 750 – 950m, com exceção da Serra da Lapa, que possui encosta íngreme, com pontos cimeiros que chegam a atingir 1200m. Os quartzitos da Unidade Itambé do Mato Dentro também sustentam um relevo rebaixado, no qual as maiores altitudes não ultrapassam os 1000m na Serra Cabeça de Boi (Figura 18).

Devido à baixa resposta ao intemperismo químico dos quartzitos, há o predomínio do controle lito-estrutural da área em questão. Os processos pedogenéticos são mais atuantes nas rochas do embasamento que afloram, sobretudo na porção nordeste e sudeste (Figura 3), onde as formas de relevo dominantes são as colinas convexas e policonvexas, com altitudes que variam entre 452 – 650 e 650 - 750m, mas podendo superar os 800m (Figura 18). Nas demais regiões as colinas se encontram intercaladas aos afloramentos quartzíticos. As intrusões de rochas metabásicas que afloram em grande parte da área, também compõem mantos de intemperismo mais espessos com encostas suaves.

As formas de relevo da região são resultantes da dissecação fluvial pelos rios principais (Rio Preto do Itambé e Rio Tanque) e seus afluentes, adaptados às direções tectônicas estruturais. A rede de drenagem é caracteristicamente mais estruturada e densa à medida que se aproxima da Serra do Espinhaço, apresentando padrões sub-paralelos e retangulares, em decorrência da forte influência do controle estrutural, sobretudo por falhas e fraturas. As drenagens de primeira e segunda ordem organizam-se nas direções aproximadas E-W e N-S. Sobre o embasamento e as intrusões, entretanto, a rede de drenagem apresenta menor controle estrutural, podendo ser classificada como padrão dendrítico.

A geomorfologia da área também é marcada por irregularidades no relevo influenciadas por variações estruturais e estratigráficas, como rupturas de declive bastante recorrentes na paisagem, além de soleiras geomorfológicas, que resultam em belas cachoeiras, as quais constituem pontos turísticos.

Diante das características analisadas, como hipótese para evolução geomorfológica da área de estudo, parte-se do pressuposto de que a erosão fluvial atuou de forma a individualizar as serras quartzíticas que, atualmente, não se encontram mais interligadas à Serra do Espinhaço (Figura 18). Em alguns casos, a erosão fluvial atuou preferencialmente através das rochas menos resistentes, intercaladas tectonicamente por litologias menos tenras. Como evidência deste fato, observa-se a ação do Rio Tanque e a do Córrego das Posses sobre os quartzitos da Unidade geológica Rio Preto (níveis

fosfatados), que promoveu o rebaixamento do relevo separando as Serras do Lobo e dos Linhares da Serra do Espinhaço (Figura 3 e 18).

5.1- AS FEIÇÕES CÁRSTICAS SUPERFICIAIS DA REGIÃO DE ITAMBÉ DO MATO DENTRO

As feições cársticas superficiais são muito pouco recorrentes no relevo da área de estudo. Essas formas estão associadas basicamente às dolinas originadas por colapso de teto de caverna.

Depressões em quartzitos, recobertas por vegetação, por vezes ocorrem isoladamente na paisagem, possivelmente formadas a partir de abatimento de vazios subterrâneos, através da ampliação de discontinuidades tais como fraturas e planos estratigráficos (Foto 2).



Depressão recoberta por vegetação

Foto 2. Depressão em quartzito recoberta por vegetação formadas a partir da ampliação de estruturas da rocha tais como planos estratigráfico e fraturas. As fraturas se encontram destacadas por linhas tracejadas em amarelo na foto acima.

O conjunto morfológico superficial do carste, denominado exocarste (BÖGLI,1978), pode conter grande variedade de formas tais como paredões, maciços, cones e verrugas que constituem remanescentes rochosos, produto do processo de dissolução, típicas do relevo cárstico em rochas carbonáticas. Feições semelhantes podem ser observadas em litologias pouco solúveis como os quartzitos e outras rochas siliciclásticas nas quais, muitas vezes, o processo de dissolução não é, necessariamente, fundamental na gênese dessas formas.

Na Serra Cabeça de Boi, feições residuais, semelhante às torres desenvolvidas em rochas carbonáticas, se destacam na paisagem (Fotos 3 e 4). Sua gênese pode ser explicada a partir da erosão pluvial, condicionada por estruturas geológicas. Dessa forma, não convém classificar tais formas como cársticas.

Já os afloramentos quartzíticos da área são marcados, com frequência, pela ocorrência de microfeições originadas pelo processo de dissolução, tais como sulcos, saliências irregulares, furos, muitas vezes denominados alvéolos (Ford *et al.*, 1989) (Foto 5).



Foto 3. Formas residuais semelhantes às torres cársticas carbonáticas.



Foto 4. Formas residuais semelhantes às torres cársticas carbonáticas.



Foto 5. Alvéolos observados nos afloramentos quartzíticos.

VI-AS CAVERNAS DA REGIÃO DE ITAMBÉ DO MATO DENTRO

6.1 – CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

Na região de Itambé do Mato Dentro, foram mapeadas e estudadas onze grutas: Gruta da Braúna Seca, Gruta Baixada das Crioulas I, Gruta Baixada das Crioulas II, Gruta dos Milagres I, Gruta dos Milagres II, Toca do Funil I, Toca do Funil II, Toca do Gentio, Abrigo das Pinturas¹, Toca da Esteira e Toquinha. Além dessas cavidades, também foram objeto de análise para essa pesquisa, duas cavernas que se encontram entupidas por sedimentos, a Toca da Gameleira e a Gruta Entupida.

De acordo com o mapa de localização das grutas na área de estudo (Figura 19), é possível notar que estas se encontram isoladas na paisagem, em afloramentos quartzíticos, embora haja uma concentração na Serra Cabeça de Boi (Figura 19). Destaca-se ainda a existência de dois sistemas cársticos²: o primeiro interliga a Gruta Baixada das Crioulas I à Gruta Baixada das Crioulas II e o segundo conecta a Toca do Funil I, Toca do Funil II e Toca do Gentio. A área estudada se caracteriza, portanto pela baixa densidade de feições endocársticas, com apresentação de apenas 0,044³ por km² (com a ressalva de que possa haver outras cavidades ainda não descobertas), principalmente se comparada com a densidade da Serra do Ibitipoca, que apresenta 2,015⁴ cavernas por km².

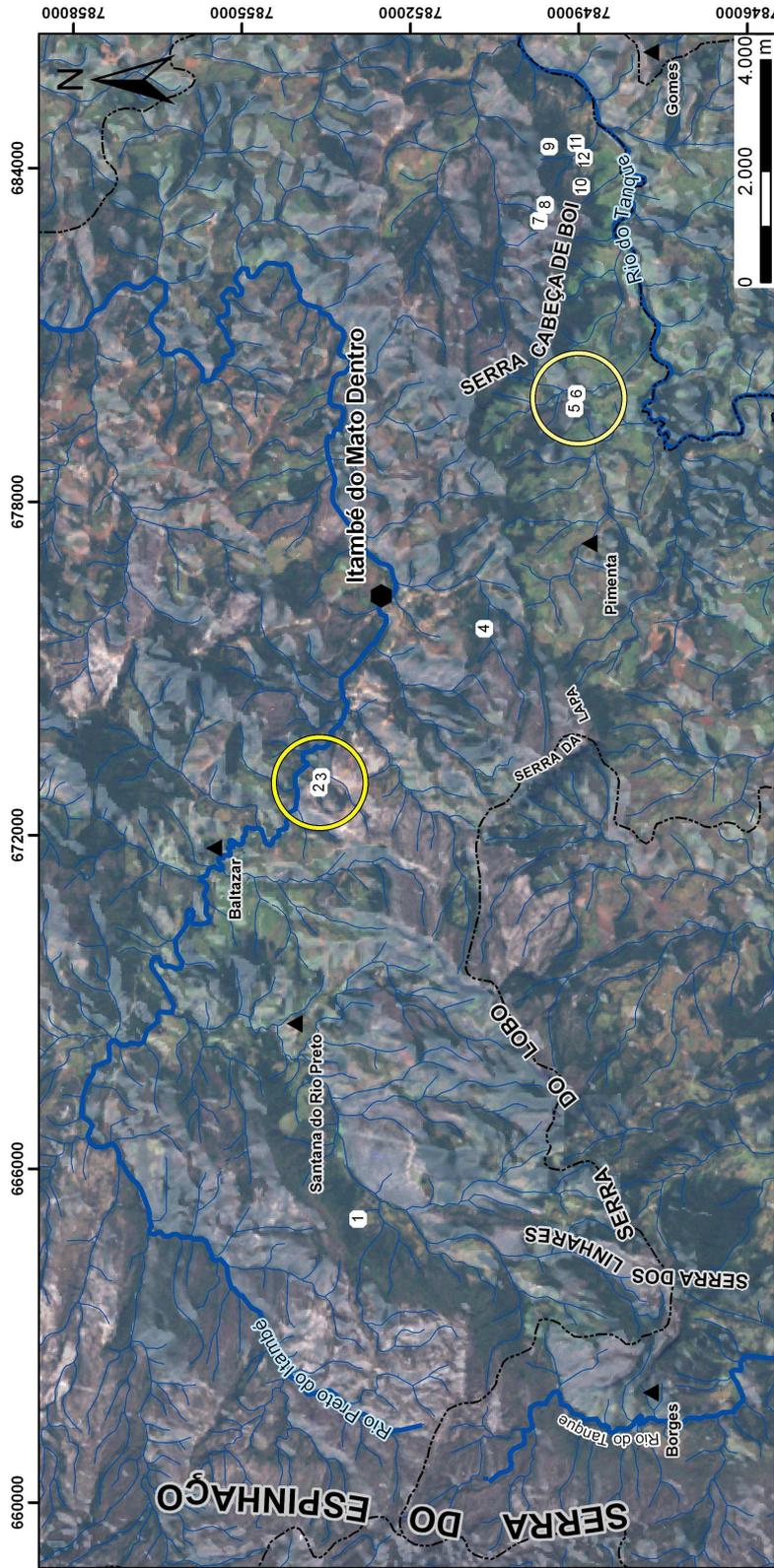
Os autores que estudaram a Serra do Ibitipoca, onde se desenvolveu um dos maiores conjuntos espeleológicos do mundo em rochas siliciclásticas, partem do princípio de que sem o elevado gradiente hidráulico existente na serra, é provável que não ocorresse, ao menos no que diz respeito à magnitude das feições, a formação das cavernas (CORRÊA NETO *et al.*, 1997; CORRÊA NETO, 1997; SILVA, 2004).

¹ Segundo a classificação da SBE (1991) com base em parâmetros morfométricos, o Abrigo das Pinturas pode ser considerado uma caverna.

² Sobre a terminologia sistema, o leitor dever referir-se a Karmann *et al* (1979).

³ Densidade = número de cavernas encontradas na região / Área de estudo em Km² coberta por quartzitos.

⁴ Densidade = número cavernas cadastradas na região / área do Limite do Parque Estadual do Ibitipoca (Fontes: Cecav e IBGE).



Legenda

- ▲ Sede Localidade
- Sede Municipio
- Limite Municipal
- ~ Rios Principais
- ~ Drenagem
- Cavernas
- Sistema Cárstico

Nome da cavidade	Localização	
	E	N
01-Gruta da Braúna Seca	665.233	7.852.877
02- Baixada das Crioulas I	672.862	7.853.631
03- Baixada das Crioulas II	673.059	7.853.583
04- Milagres II	675.724	7.850.886
05- Toca do Fumil I e II	675.724	7.850.886
06- Toca do Gentio	679.991	7.848.894
07- Gruta dos Milagres I	683.175	7.849.626
08- Abrigo das Pinturas	683.355	7.849.576
09- Toca da Gambleira	684.400	7.849.509
10- Toca da Esteira	683.269	7.848.930
11- Toquinha	684.149	7.848.843
12- Gruta Entupida	684.156	7.848.858

UTM SAD 68 23K
 Fonte: Base Hidrográfica (IGAM (2009))
 Escala: 1:100.000
 Inicialização: 14/07/2007
 Resolução: 30m Data: 14/07/2007
 Dados de campo.

Figura 19: Localização das cavernas da área de estudo

Em relação às condições topográficas da região, as cavernas não se localizam nas áreas consideradas como maior potencial hidráulico, tais como nas encostas das serras mais elevadas (Figuras 20, 21), onde a declividade é em torno de 20 a 45% e 45 a 75% (Figura 22).

Com base na distribuição altimétrica, verifica-se que as cavidades se concentram entre as altitudes mais baixas, nas faixas 650 – 750 e 750 – 950m (Figura 18), que correspondem, de forma geral, às porções do relevo onde a declividade é relativamente menos acentuada, até 8 e 20% (Figuras 22). Sua localização também está relacionada aos quartzitos menos resistentes, pertencentes às Unidades geológicas Rio Preto e Itambé do Mato Dentro (Tabela 4).

A maior parte das cavidades se situa em áreas com declividade entre 8-20%, com exceção da Toca da Esteira e da Toca da Gameleira, localizadas nas encostas da Serra Cabeça de Boi, onde a declividade é mais elevada, entre 20 e 45% (Figura 20). No entanto, as mesmas não representam as cavernas de maior desenvolvimento da região (Tabela 4). Vale destacar que a diferença entre a serra e o nível de base regional é de aproximadamente 300m, se considerado o topo em relação ao Rio do Tanque. Desnível este muito inferior ao encontrado na Serra do Ibitipoca, que chega a superar os 800m (SILVA, 2004).

Outras exceções são as grutas situadas em porções da serra onde o relevo é menos acentuado, com desnível entre 3 a 8%. Quanto ao desenvolvimento, o Abrigo das Pinturas é uma cavidade pequena, já a Gruta dos Milagres I representa a segunda maior cavidade encontrada na região até o momento (Tabela 4).

Logo, pode-se concluir que as maiores cavidades não estão associadas às áreas de maior gradiente e vice-versa, o que não nos permite estabelecer uma relação clara entre gradiente do relevo regional e desenvolvimento das cavernas estudadas.

Figura 20. Localização das cavernas nos perfis topográficos Leste – Oeste da área de estudo.

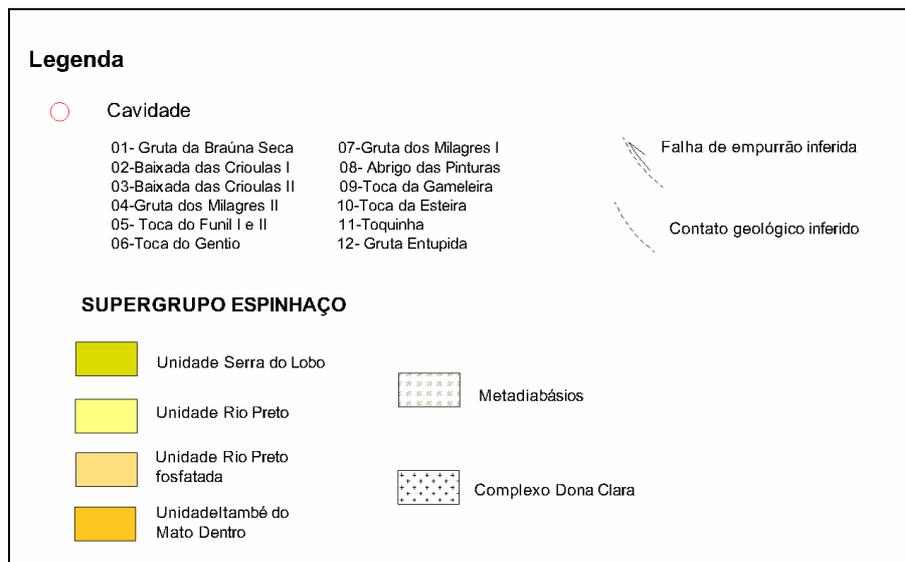
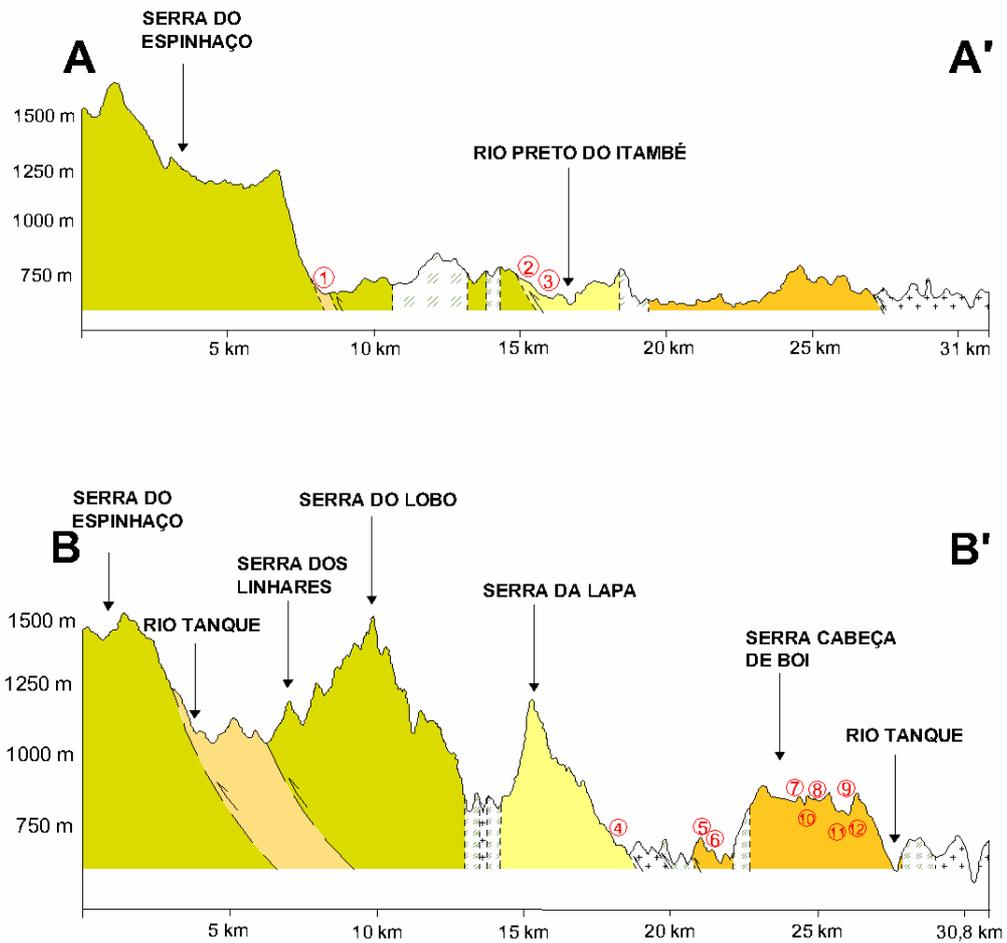


Figura 21. Localização das cavernas nos perfis topográficos Norte – Sul da área de estudo.



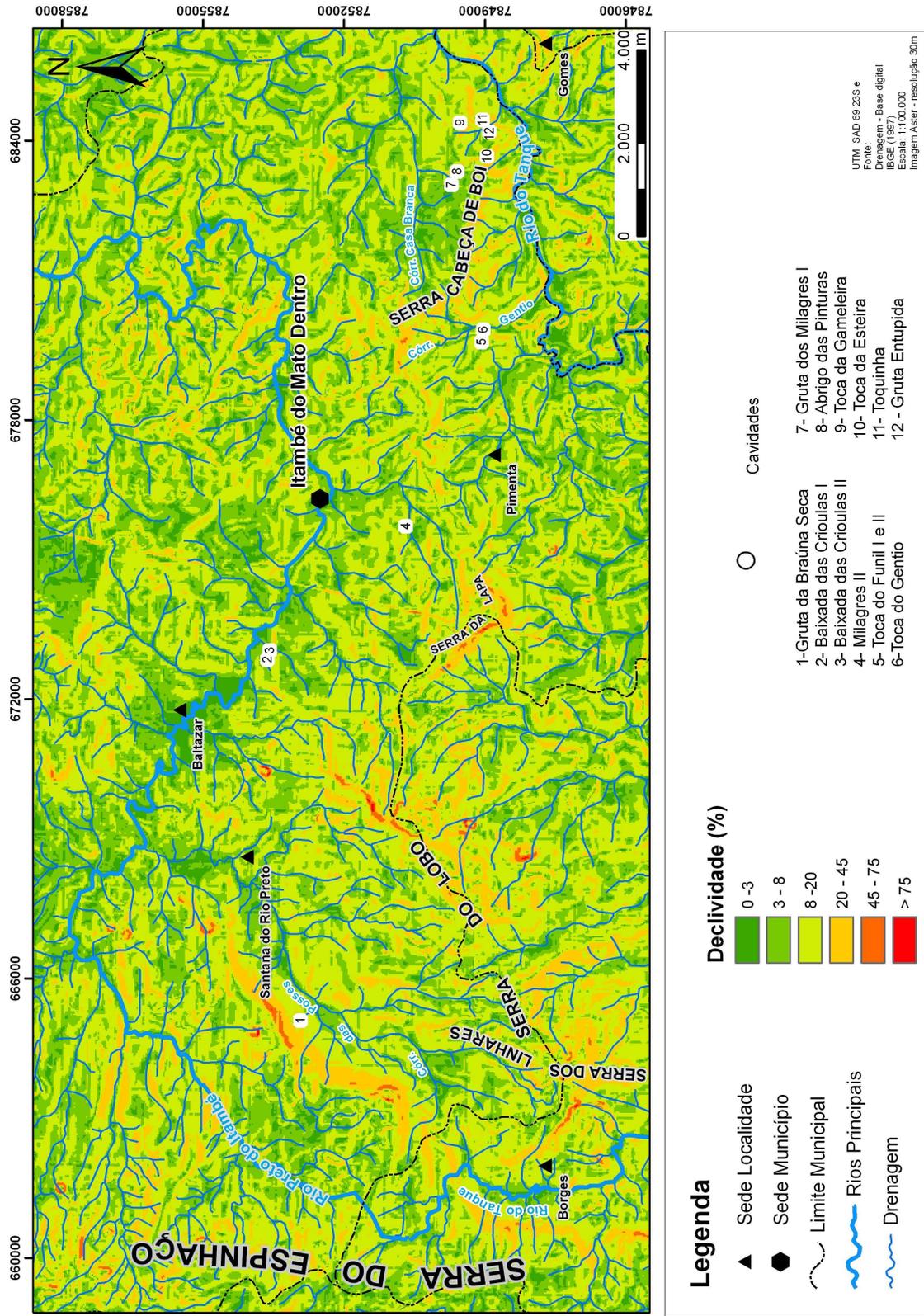


Figura 22: Mapa de declividade da área de estudo

Tabela 4. Dados para análise geomorfológica local e regional das cavernas.

<i>Grutas</i>	<i>Litologia</i>	<i>Gradiente do Relevo Regional (%)</i>	<i>Gradiente do Relevo Local (%)*</i>	<i>Gradiente da Rede de Drenagem (%)*</i>	<i>Projeção Horizontal (m)</i>
Toca da Gameleira	Unidade Itambé do Mato Dentro.	20 a 45	23,3	23,6	0
Gruta Entupida	Unidade Itambé do Mato Dentro	8 a 20	30,6	23,6	0
Toquinha	Unidade Itambé do Mato Dentro.	8 a 20	31,8	23,6	6
Toca do Gentio	Unidade Itambé do Mato Dentro.	8 a 20	14,3	22,9	14
Toca do Funil I	Unidade Itambé do Mato Dentro.	8 a 20	14,3	22,9	21
Braúna Seca	Unidade Rio Preto (níveis fosfatados).	8 a 20	43	30	37
Abrigo das Pinturas	Unidade Itambé do Mato Dentro.	3 a 8	10,4	5,8	65
Toca da Esteira	Unidade Itambé do Mato Dentro.	20 a 45	27,4	17,8	96
Toca do Funil II	Unidade Itambé do Mato Dentro. Quartzito ferruginoso de granulometria fina a média.	8 a 20	14,3	22,9	106
Milagres II	Unidade Itambé do Mato Dentro. Quartzito sericítico de granulometria fina a média.	8 a 20	17,8	9,1	149
Baixada das Crioulas II	Unidade Rio Preto.	8 a 20	10,6	10	205
Milagres I	Unidade Itambé do Mato Dentro. Quartzito sericítico de granulometria fina a média.	3 a 8	8,3	5,8	225
Baixada das Crioulas I	Unidade Serra do Lobo e Rio Preto. Quartzito sericítico de granulometria fina.	8 a 20	10,6	10	1074

Obs: - Os valores para gradiente do relevo regional foram obtidos com base no mapa de declividade.

- $[(A_{max} - A_{min}) / D] \times 100$

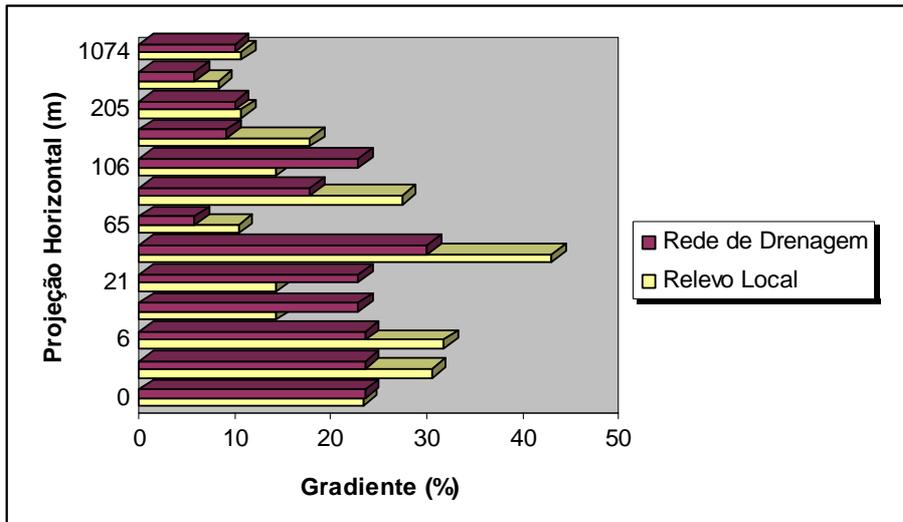
- Os dados litológicos referentes à granulometria e à composição mineralógica dos quartzitos são relativas às análises de lâminas delgadas no anexo 1.

6.2 – CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

As cavernas investigadas estão inseridas nos mais variados compartimentos geomorfológicos: alta, média e baixa vertente, bem como depressão e fundo de vale. É válido ressaltar que o seu desenvolvimento acompanha a morfologia local, o que implica em uma forte influência no desenvolvimento e dinâmica dessas cavidades.

Para melhor compreensão desse controle geomorfológico foram considerados os gradientes da rede de drenagem e da morfologia da vertente, na qual as cavernas se desenvolveram. Ao avaliar a Tabela 4 e o gráfico da Figura 23 é possível notar que mesmo em escala local as cavernas mais desenvolvidas não estão associadas às áreas de maior gradiente hidráulico ou do relevo local.

Figura 23. Gráfico de comparação entre projeção horizontal das cavernas e o gradiente do relevo local e da rede de drenagem.



O cruzamento entre as variáveis projeção horizontal e gradiente, através do gráfico de dispersão (Figura 24) revela que esses parâmetros não estão correlacionados. Os valores de coeficiente de Pearson confirmam uma correlação fraca negativa entre as variáveis analisadas (Tabela 5).

Figura 24. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e gradiente.

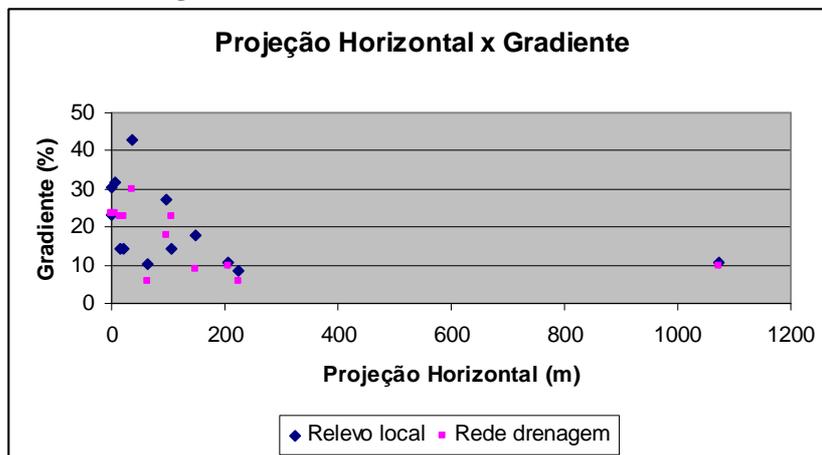


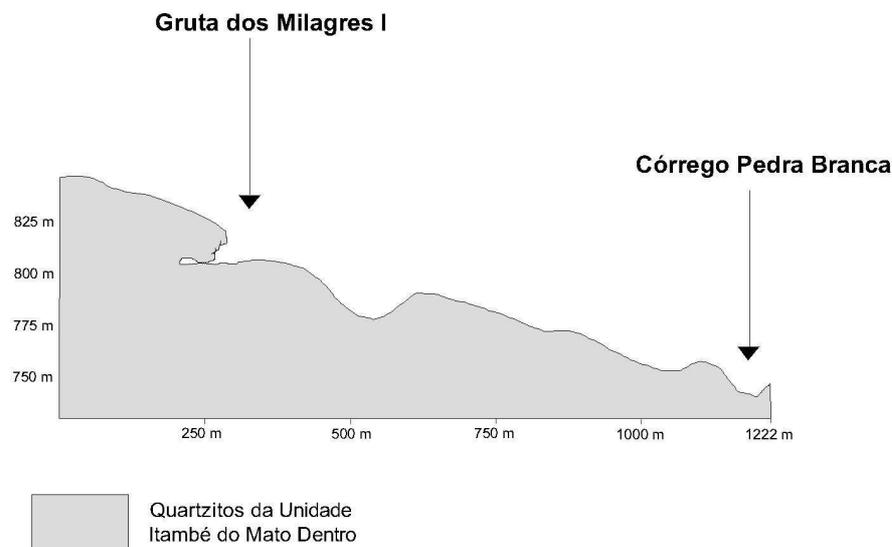
Tabela 5. Valores de coeficiente de Pearson (r) para correlação entre Projeção Horizontal e gradiente do relevo local e rede de drenagem das cavernas estudadas.

Correlação	Valor de r
Projeção Horizontal x Gradiente do Relevo Local	-0,4
Projeção Horizontal x Gradiente da rede de drenagem	-0,5

6.2.1) GRUTA DOS MILAGRES I

A Gruta dos Milagres I está situada na alta vertente da Serra Cabeça de Boi, em ruptura de declive (Figura 25 e Foto 6). Trata-se da segunda maior encontrada na região até o momento, com cerca de 225 m de desenvolvimento e 14 m de desnível.

Figura 25. Perfil topográfico da Gruta dos Milagres I



Sua entrada principal está a 810 m de altitude e constitui ressurgência intermitente que flui em direção ao afluente do Córrego Pedra Branca. Seu gradiente hidráulico é de apenas 5,78% (Tabela 4). O Córrego Pedra Branca, por sua vez, é afluente do Rio do Tanque, que se caracteriza pela baixa declividade e velocidade de escoamento. O perfil da caverna é subhorizontalizado e segue, embora em menor inclinação, a direção de maior declive da vertente (Figura 25), cujo gradiente é de 8,28% (Tabela 4).



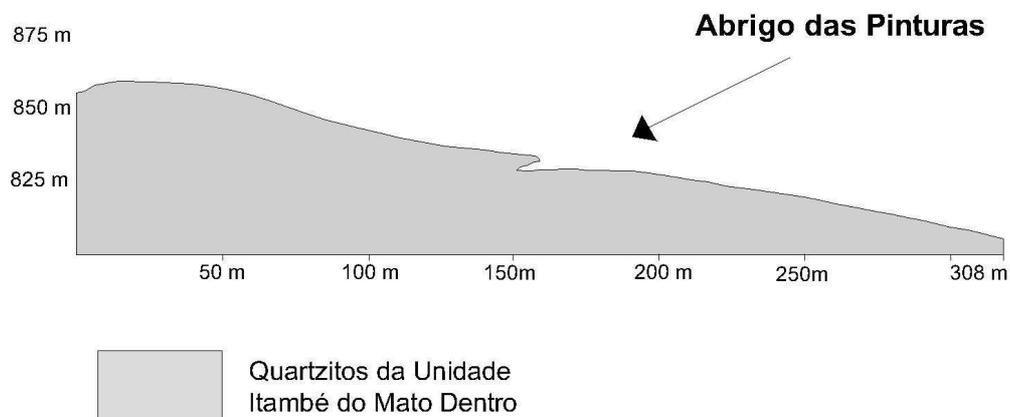
Foto 6. Inserção na paisagem da Gruta dos Milagres I

6.2.2) ABRIGO DAS PINTURAS

O Abrigo das Pinturas se localiza em média vertente na Serra Cabeça de Boi e em ruptura de declive (Figura 26). Sua entrada encontra-se a aproximadamente 830m de altitude e possui 65 m de projeção horizontal e 8 m de desnível.

Apesar de se localizar próximo à Gruta dos Milagres I, a vertente se apresenta pouco mais acidentada, com gradiente de 10,42%. A caverna não possui drenagem sendo assim, o gradiente da rede de drenagem considerado foi o mesmo que o da Gruta dos Milagres I, por ser o curso d'água de maior proximidade em relação ao Abrigo das Pinturas (Tabela 4).

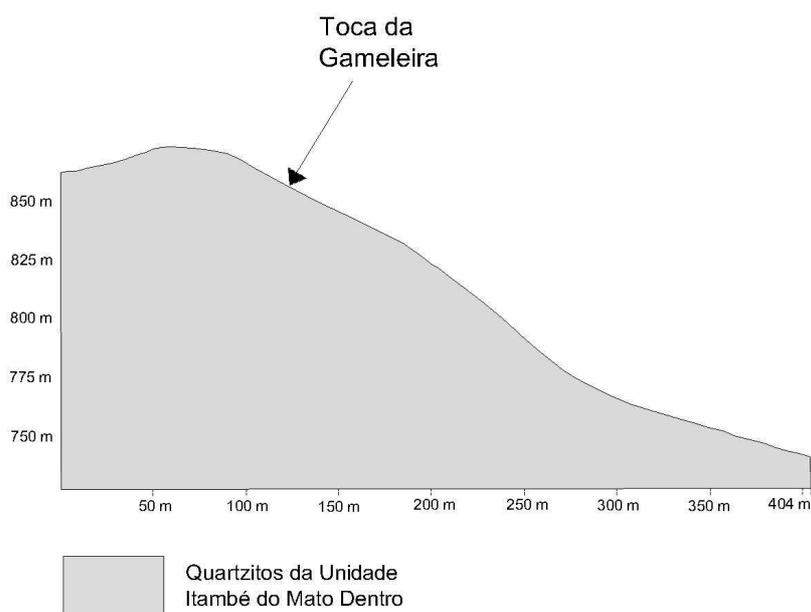
Figura 26. Perfil do Abrigo das Pinturas.



6.2.3) TOCA DA GAMELEIRA

Encontra-se situada na parte superior da encosta da Serra Cabeça de Boi, na altitude aproximada de 872 m (Figura 27). A Toca da Gameleira é originada a partir de uma fratura de direção EW no maciço quartzítico, caracterizando-se como uma fenda com dimensões entre 6 - 0,5 m de altura e 2 a 0,3 m de largura (CRUZ *et al.*, 1999).

Figura 27. Perfil da Toca da Gameleira



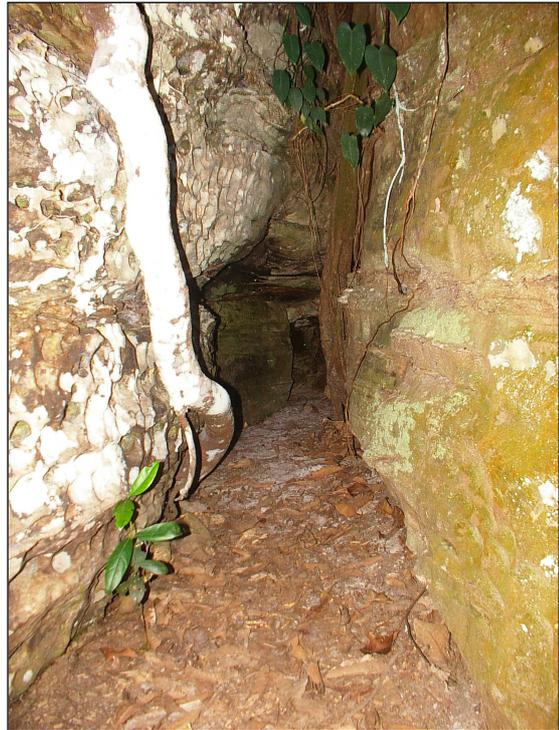
Apesar do gradiente da vertente e da drenagem ser considerado elevado, com 23,3% e 23,6%, respectivamente, a caverna atualmente se encontra entupida por sedimentos carregados da vertente (Tabela 4). Segundo os moradores da região, esse entupimento se deu por processos naturais e dentro de um período de aproximadamente 30 anos (Foto 7).

Escala da foto:

1,7m de altura

0,5 de largura

Foto 7. Toca da Gameleira



6.2.4) GRUTA ENTUPIDA

A Gruta Entupida se situa na média encosta da Serra Cabeça de Boi, encontrando-se a cerca de 705 m de altitude. A cavidade se localiza próxima ao contato geológico entre os quartzitos da Unidade Itambé do Mato Dentro e rochas do embasamento, delimitado por falha de empurrão (Figura 28).

Assim como a Toca da Gameleira, o gradiente hidráulico da rede de drenagem e do relevo local é elevado, com 23,6% e 30,6%, respectivamente (Tabela 4). No entanto, sua localização em uma dolina, a torna susceptível aos processos de movimento de massa, provenientes da colina desenvolvida sobre rochas do embasamento. De acordo com relatos dos moradores da região, há cerca de 30 anos atrás, a gruta podia ser adentrada pelo homem e atualmente se encontra totalmente entupida por sedimentos (Figura 28).

Figura 28. Perfil da Gruta Entupida

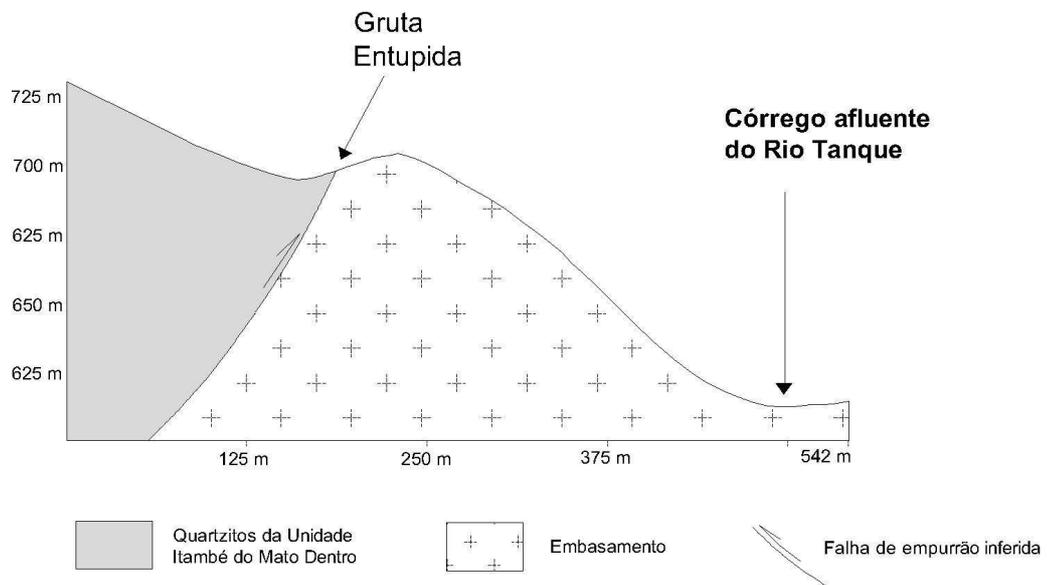
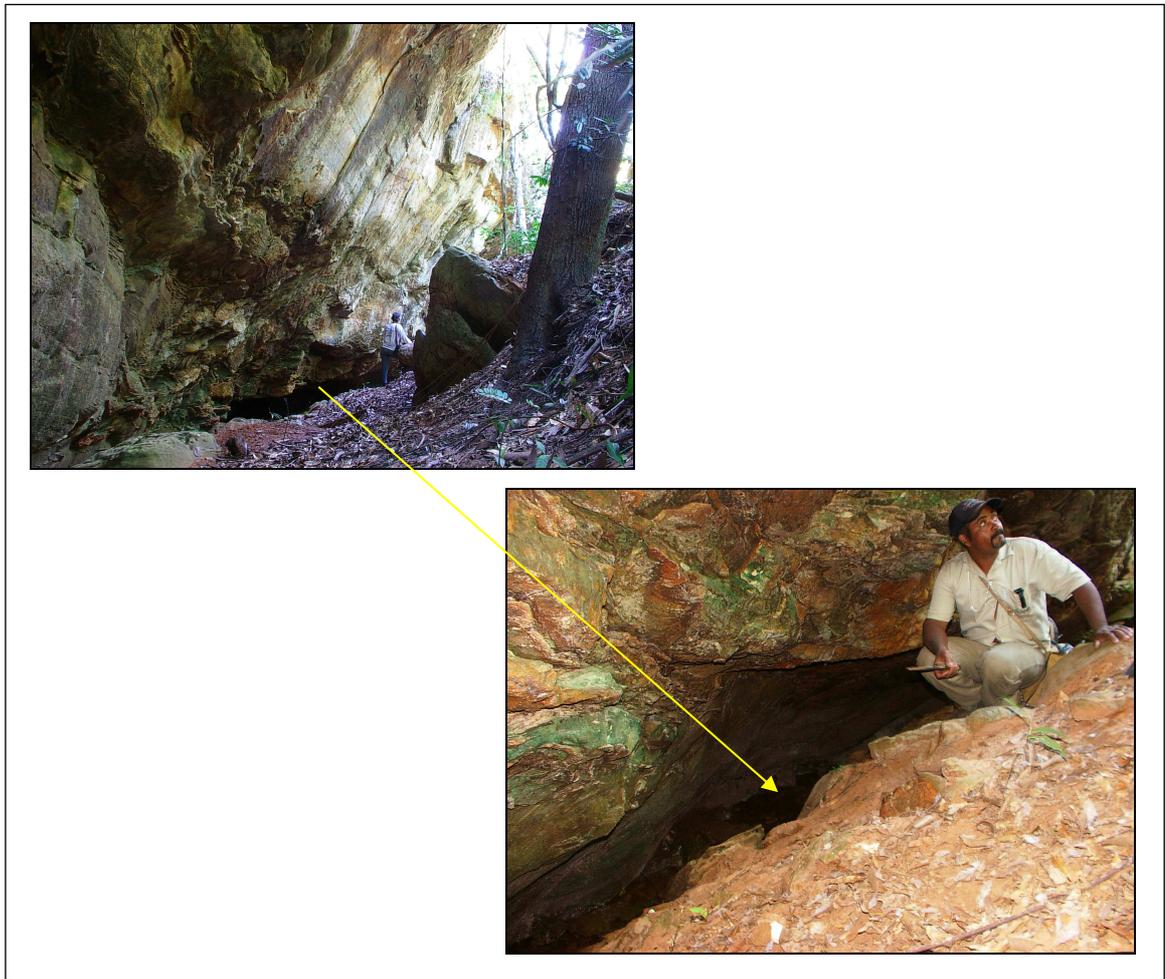


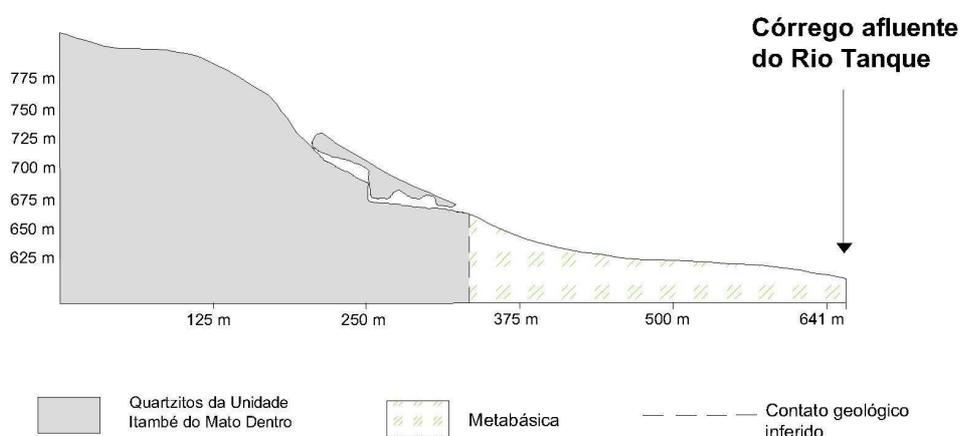
Figura 29. Gruta Entupida



6.2.5 TOCA DA ESTEIRA

A Toca da Esteira se localiza na porção mediana da encosta da Serra Cabeça de Boi, e sua entrada mais à montante está situada a aproximadamente 725 m de altitude (Figura 30). Apresenta 96 m de projeção horizontal e 28 m de desnível. Conta com uma drenagem perene que conecta com córrego afluente sem nome do Rio Tanque. O gradiente da rede de drenagem calculado foi de 17,8%, já o gradiente da vertente é mais elevado, com 27,4% (Tabela 4).

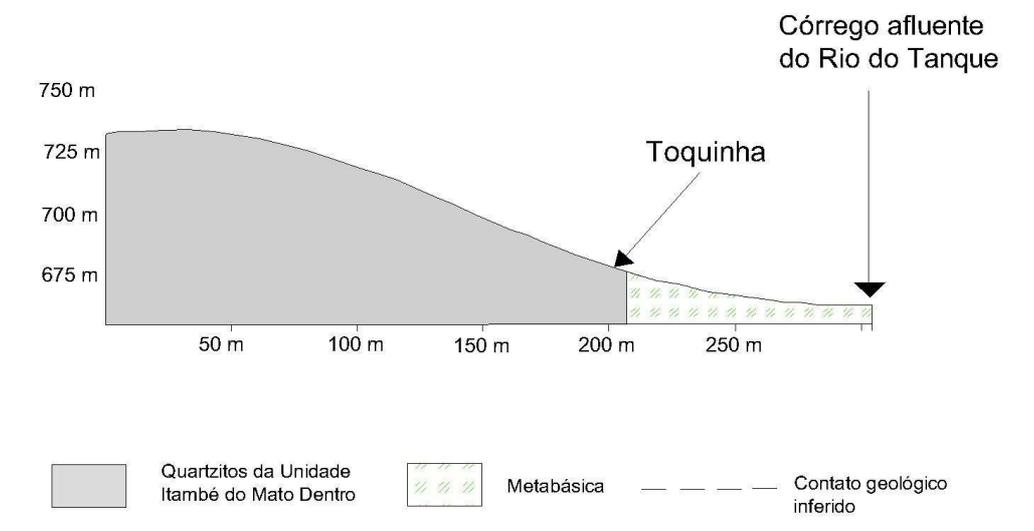
Figura 30. Perfil da Toca da Esteira



6.2.6 TOQUINHA

A Toquinha se localiza na baixa encosta da Serra Cabeça de Boi (Figura 31), a aproximadamente 679 m de altitude. Possui 6m de projeção horizontal e 1,5 m de desnível. Sua entrada constitui nascente perene que flui para o córrego sem nome, afluente da margem direita do Rio tanque. Os gradientes da rede de drenagem e do relevo da vertente são representados pelos respectivos valores, 23,56% e 31,76% (Tabela 4).

Figura 31. Perfil da Toquinha



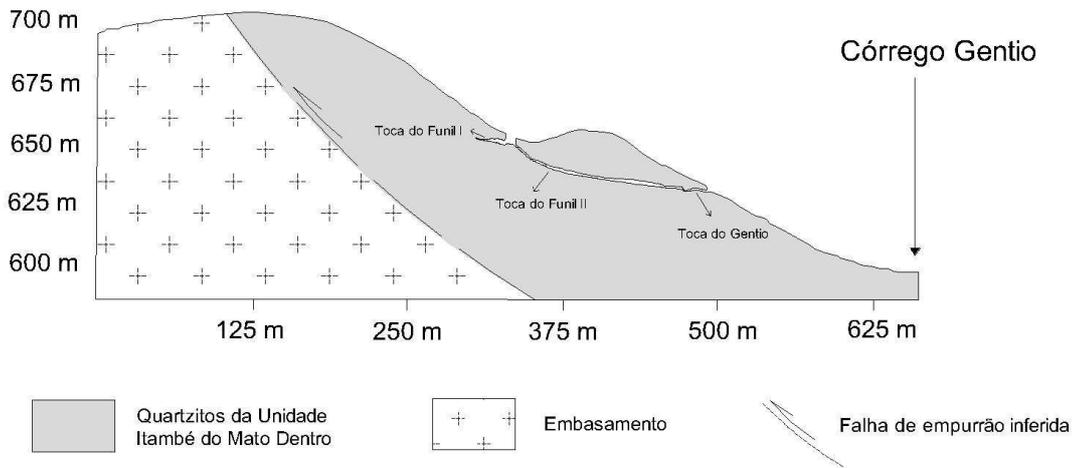
6.2.7) SISTEMA CÁRSTICO FUNIL I E II / GENTIO

As cavernas Toca do Funil I e II ocorrem no sopé de uma dolina, localizada em meia vertente (Figura 32) de um afloramento quartzítico próximo à Serra Cabeça de Boi. A dolina possui forma elíptica com eixo maior (NW-SE) medindo cerca de 30 m, e eixo menor (SW-NW) com aproximadamente 24 m. Em parte, é delimitada por paredes quartzíticas com presença de escarpa de aproximadamente 30 m de altura, que marca as entradas das cavernas. Na porção sudoeste, apresenta rampa de colúvio que dá acesso à base da dolina.

A Toca do Funil I se localiza na porção mais à montante do sistema cárstico, enquanto que a Toca do Funil II se situa a leste da dolina. A Toca do Gentio, por sua vez, está inserida na porção mais à jusante do sistema, em meia vertente de um afloramento isolado com ruptura de declive. A ruptura se posiciona na inflexão da encosta, perpendicular ao eixo da drenagem.

A entrada da Toca do Gentio constitui nascente do afluente do Córrego Gentio, com gradiente hidráulico aproximado de 22,9%. Já o gradiente do relevo local é de 14,3% (Tabela 4).

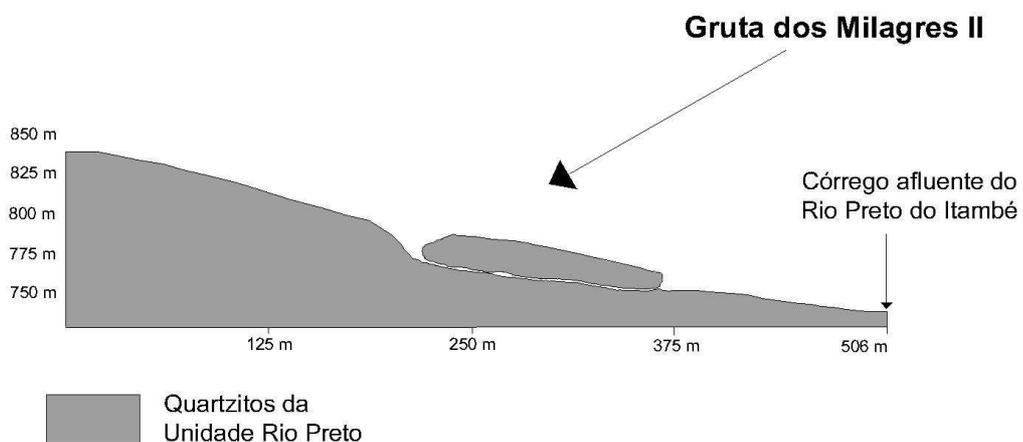
Figura 32. Perfil do Sistema Toca do Funil I e II / Gentio



6.2.8) MILAGRES II

A Gruta dos Milagres II se localiza em meia vertente, a 747 m de elevação (Figura 33), em afloramento quartzítico próximo à Serra da Lapa. Apresenta 149 m de projeção horizontal e 17 m de desnível. A entrada à montante está inserida em uma dolina. A nascente do sumidouro se localiza a cerca de 6 m e o curso d'água que escoa no interior da gruta forma ressurgência à jusante, que por sua vez, drena em direção ao Córrego afluente do Rio Preto do Itambé. O gradiente da rede de drenagem e do relevo local são 9,1% e 17,8%, respectivamente (Tabela 4).

Figura 33. Perfil da Gruta dos Milagres II



6.2.9) SISTEMA CÁRSTICO BAIXADA DAS CRIOULAS

A Gruta Baixada das Crioulas I é maior caverna da região, com 1.074 m de projeção horizontal e 75 m de desnível. Localiza-se à montante do sistema cárstico, possui entrada em alta vertente e se desenvolve em direção ao fundo de vale (Figuras 34 e 35).

A Gruta Baixada das Crioulas II apresenta 205 m de projeção horizontal e 13,5m de desnível. Encontra-se à jusante do sistema, em fundo de vale. O curso d'água no interior da cavidade é proveniente da Gruta Baixada das Crioulas I, com nascentes localizadas próximas às entradas à montante. A conexão hidrológica entre as duas grutas ocorre através de um trecho superficial e a ressurgência forma canal de drenagem à jusante que escoa em direção ao afluente do Rio Preto do Itambé (Figuras 34 e 35). Ambas as cavidades se localizam em afloramento quartzítico próximo à Serra do Lobo, no qual o gradiente da rede de drenagem e do relevo local, são representados pelos respectivos valores, 10% e 10,6% (Tabela 4).

Figura 34. Perfil das Grutas Baixada das Crioulas I e II.

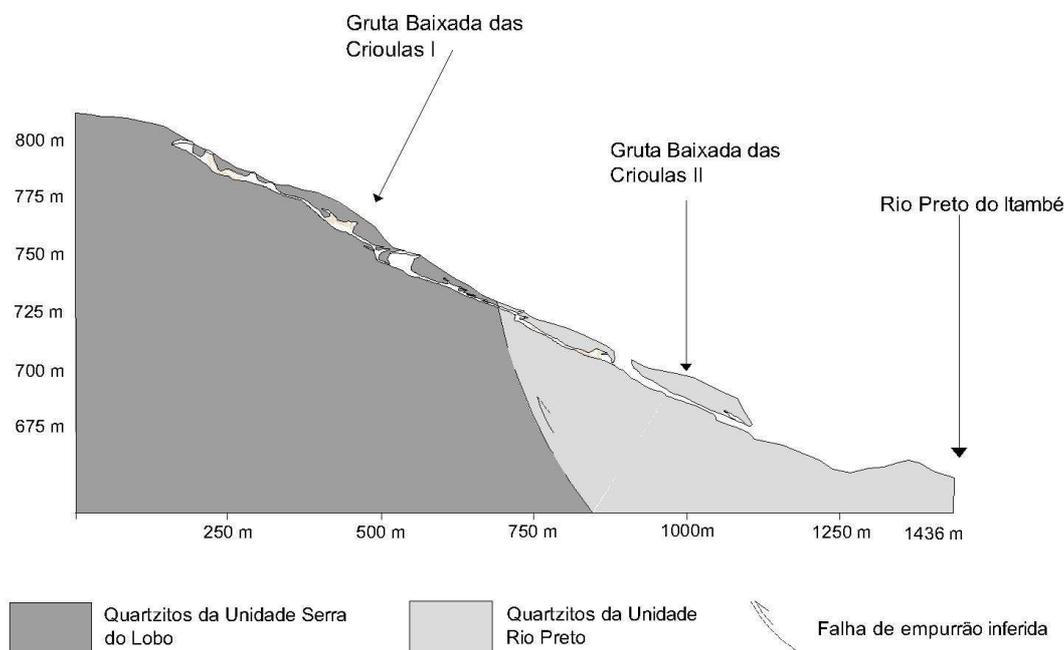
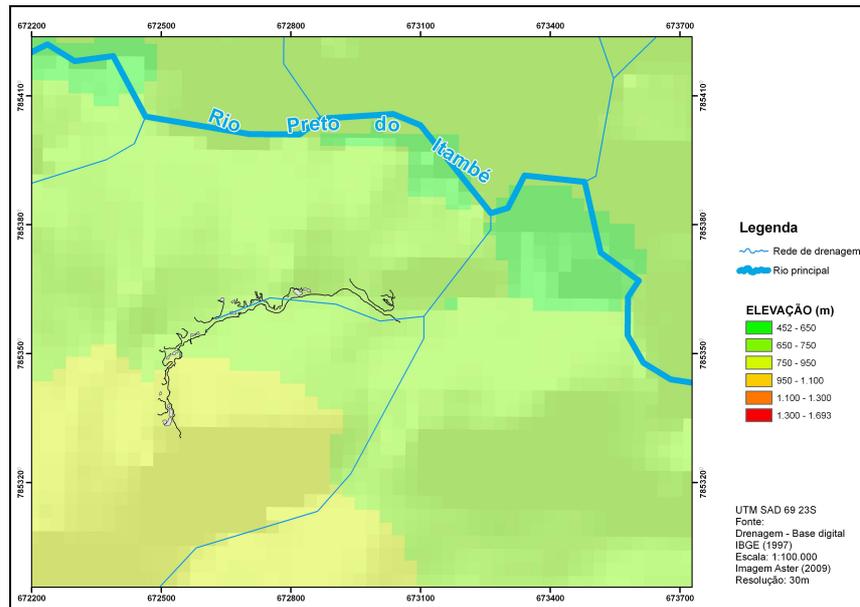


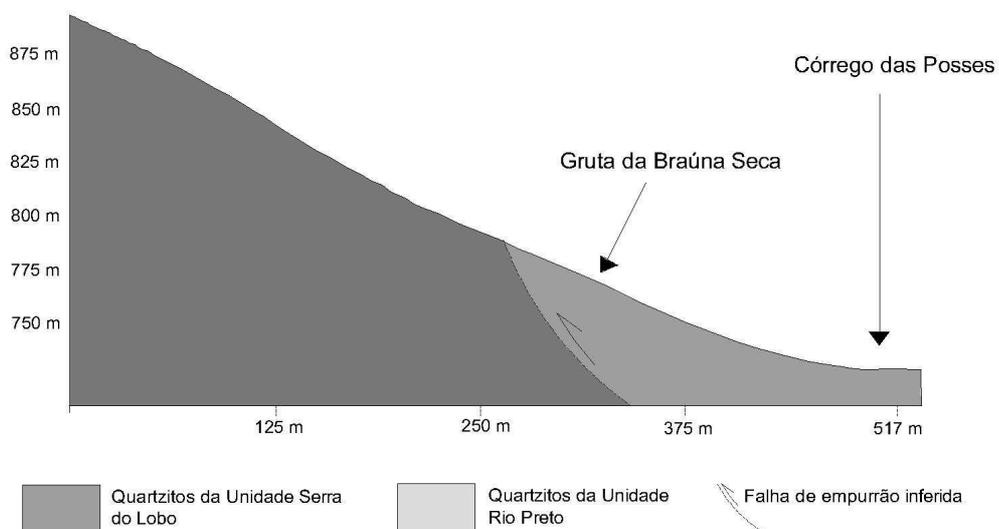
Figura 35. Sistema Grutas Baixada das Crioulas I e II inserido em fundo de vale.



6.2.10 GRUTA DA BRAÚNA SECA

A Gruta da Braúna Seca encontra-se inserida na baixa encosta da Serra do Espinhaço, a 772 m de elevação, o que implica na ocorrência de um gradiente local mais elevado, com 43%, assim como o gradiente hidráulico de 37%. (Tabela 4 e Figuras 36). Apresenta 37 m de projeção horizontal e 7 m de desnível.

Figura 36. Perfil da Gruta da Braúna Seca



6.3- CARACTERIZAÇÃO DAS CAVERNAS

O presente capítulo tem como objetivo caracterizar as cavernas da região de Itambé do Mato Dentro, sobretudo do ponto de vista morfológico. Os principais aspectos avaliados foram: hidrologia, controle litoestrutural, macro e micro formas, padrão da caverna em planta e perfil, morfologia dos condutos e seus depósitos químicos e clásticos. De modo geral, as formas encontradas ao longo das cavidades apresentam alguma semelhança, o que leva a sugerir que há uma tendência de fenômenos em condições similares.

6.3.1) GRUTA DOS MILAGRES I

A Gruta dos Milagres I apresenta uma entrada principal ampla, com aproximadamente 20 m de altura e 40 m de largura. A partir dessa entrada a gruta se desenvolve por dois setores, o setor leste e o oeste (Figura 37), que se diferem quanto às características morfológicas.

O Setor oeste possui um único acesso e se desenvolve através de um conduto que conecta com o *Grande Salão*. Logo na entrada ocorrem alvéolos de dimensão centimétrica seguindo os planos de acamamento. O *Grande Salão* possui cerca de 10m de altura e 20 m de largura, com presença de teto arredondado e condutos pouco desenvolvidos.

Sobre o piso ocorre grande quantidade de depósitos arenosos, predominantemente autóctones, que formam cones de sedimentos entrecortados por drenagem intermitente. Os canalículos presentes nas paredes da caverna são importantes pontos de entrada de água e sedimentos de granulometria areia à argila. Calhaus e matações encontram-se dispersos no salão, individualizando as passagens. Outros aspectos hidrológicos estão associados a alguns pontos de gotejamentos, escorrimentos e condensação.

Não foi possível atribuir padrão planimétrico a esse setor. Contudo, embora o controle estrutural não seja tão aparente quanto no setor leste, ele pode ser detectado pela presença de paredes marcadas por fraturas, assim como o teto e piso controlado por planos estratigráficos.

O setor oeste representa uma área mais friável e mais susceptível à erosão devido à ocorrência de níveis ricos em mica na composição das rochas. Já a litologia do

setor oeste é formada por quartzitos mais ricos em ferro em sua composição, com exceção do *Salão das Dobras*. Essa hipótese é corroborada pela análise mineralógica de rocha coletada na parede do *Grande Salão* (anexo 1), e a partir da observação de blocos abatidos, bem como pela grande quantidade de sedimentos arenosos sobre o piso (Foto 8).

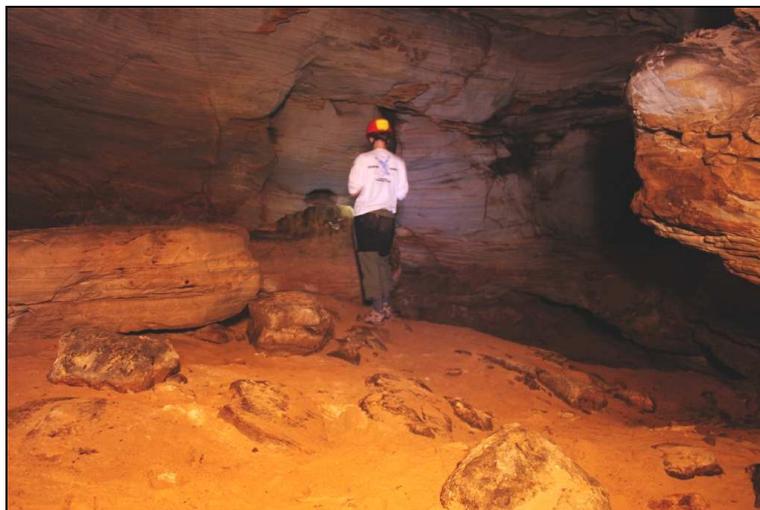


Foto 8. Acúmulo de sedimentos arenosos e blocos abatidos sobre o piso do Grande Salão.

O setor leste da caverna possui dois acessos que se desenvolvem ao longo de condutos paralelos em sentido ao *Salão do Lago*. Parte dessa porção da gruta pode ser atribuída como padrão *network* ou em rede (Palmer, 1991), uma vez que se caracteriza por apresentar galerias altas, estreitas e retilíneas que se cruzam, condicionadas tectonicamente. O controle estrutural, portanto, é mais marcante nessa porção da cavidade, com presença de condutos nitidamente condicionados por fraturas subverticalizadas a verticalizadas, com padrão em fissura (Figura 38).

Nas paredes do *Salão do Lago*, coralóides marcam o nível da água do lago (Figura 39) que, aparentemente, deve ser atingido durante o período úmido. O lago intermitente se localiza em uma porção relativamente mais rebaixada em relação à área circundante (Figura 37.1). A água é proveniente principalmente da elevação do lençol freático durante período úmido.

O *Salão das Dobras* é acessado através do *Conduto do Rastejamento* e possui grande quantidade de sedimentos arenosos, em grande proporção autóctone, mas podendo haver contribuição externa, por meio de um canalículo posicionado na porção distal da galeria. O *Salão das Dobras* representa uma zona bastante friável, em decorrência de várias estruturas tectônicas dúcteis e rúpteis, mas também devido à lixiviação de níveis

estratigráficos ricos em mica, que geram o deslocamento do teto (ver Foto 14 no item 6.4.1.1).

Figura 38. Morfologia dos condutos observadas na porção leste da Gruta dos Milagres I: a) conduto em fissura, condicionado por fratura verticalizada; b) conduto em fissura, condicionado por fratura subverticalizada.

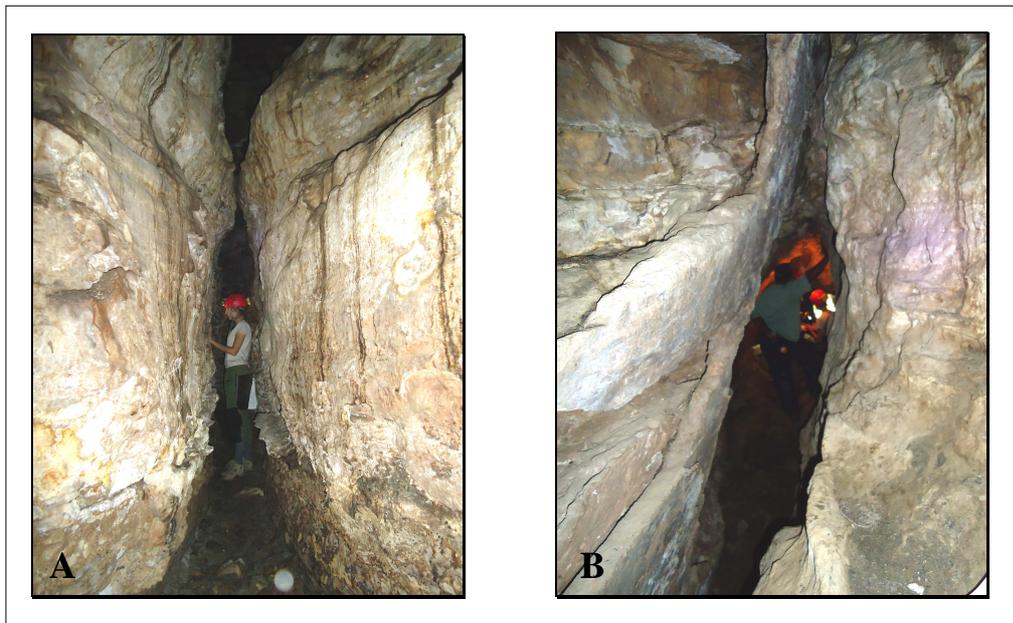
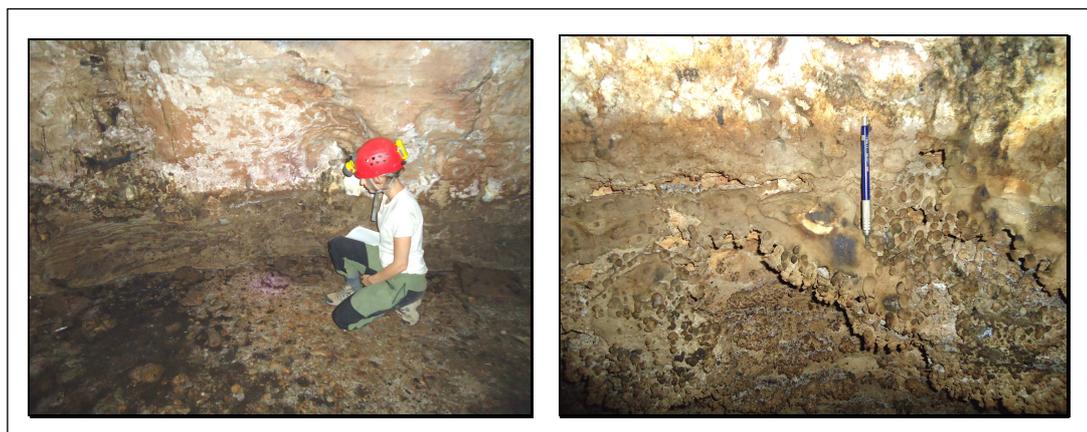


Figura 39. Coralóides delimitando o nível da água do lago alcançado, durante o período úmido.



Destaca-se a presença de ninhos de vespa fossilizados aderidos às paredes do denominado *Conduto das Casinhas Silicificadas*. Os ninhos se encontram litificados através de um lento processo de silicificação, sendo considerados como icnofósseis

(BONITO *et al.*, 2009). Este processo parece ter ocorrido a partir de águas que escorriam pela parede. Os ninhos se encontram em diferentes estágios de fossilização, provavelmente em função do tempo em que estes estiveram expostos à ação das águas contendo minerais. Alguns apresentam tom avermelhado, possivelmente por contribuição do ferro (Figura 40).

Figura 40. Ninhos de vespa em diferentes estágios de fossilização, localizados nas paredes do *Conduto das Casinhas Silicificadas*.



6.3.2) ABRIGO DAS PINTURAS

O Abrigo das Pinturas é uma cavidade pequena, possui entrada em ruptura de declive condicionada por fratura, bem como teto e piso condicionado por planos estratigráficos.

A relevância maior da caverna está em suas pinturas rupestres dispostas em vários painéis que apresentam grafismos zoomorfos como peixes, capivaras, veados e figuras elementares em forma de “y”, que possivelmente são antropomorfos em perseguição aos animais (CRUZ *et al.*, 1999). A cavidade representa, portanto, um importante patrimônio científico e cultural da região, merecedor de estudos arqueológicos (Figura 41 e 42).

Figura 42. Abrigo das Pinturas.



6.3.3) TOCA DA ESTEIRA

A Toca da Esteira possui quatro entradas, entre elas uma clarabóia. O padrão planimétrico pode ser classificado como retilíneo (Figura 43). Distingue-se das demais cavidades da região, por apresentar um conduto vertical com cerca de 7,5 m de altura, que individualiza dois níveis da gruta (Figura 43.1 e 44).

No nível superior, o piso e teto são inclinados (Figura 44) e acompanham o mergulho das camadas da rocha. Sobre o piso concentra-se grande quantidade de sedimentos arenosos, predominantemente autóctones. No entanto, seixos e matacões foram observados próximos à entrada, evidenciando sua origem por processos de abatimentos, possivelmente indicando que sua formação está relacionada a eventos posteriores em relação ao desenvolvimento do conduto. Quanto aos aspectos hidrológicos, o nível superior é drenado por um canal estreito de escoamento intermitente de origem externa, e por curso d'água perene proveniente dos interstícios da rocha, localizado em uma pequena galeria que conecta com o conduto vertical, por onde a água escoa em direção ao nível inferior. Nas paredes há vestígios de escorrimentos frequentes, dada a presença de formas tais como sulcos e lapiás (Foto 9). Tais características representam indícios de um período anterior de maior circulação hídrica nesse setor, interrompida em função do rebaixamento do lençol freático.

O conduto verticalizado marca a mudança do controle estrutural da caverna por fraturas, proporcionando uma forte alteração no seu perfil longitudinal gerando conseqüentemente, o aumento do gradiente hidráulico (Figura 44).

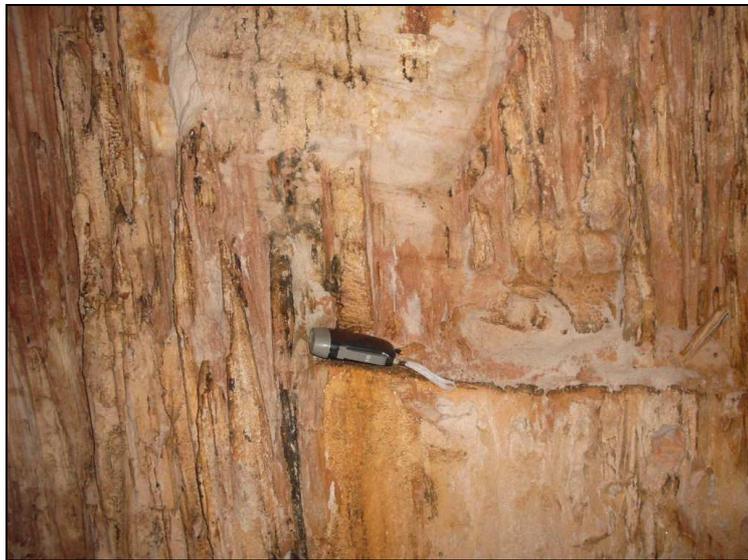
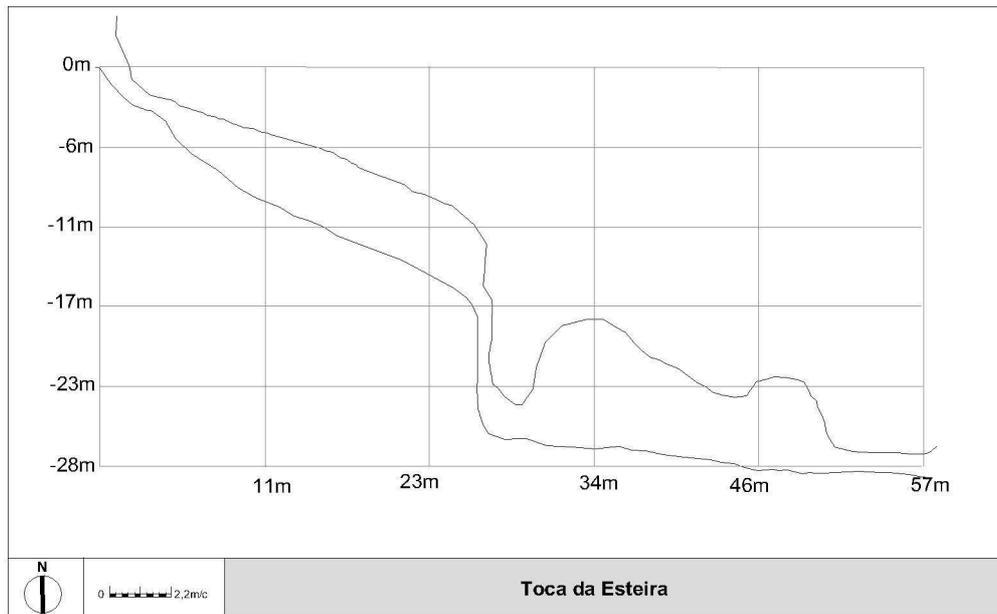


Foto 9. Lapiás na parede do nível superior da Toca da Esteira.

Figura 44. Gráfico do Perfil da Toca da Esteira.

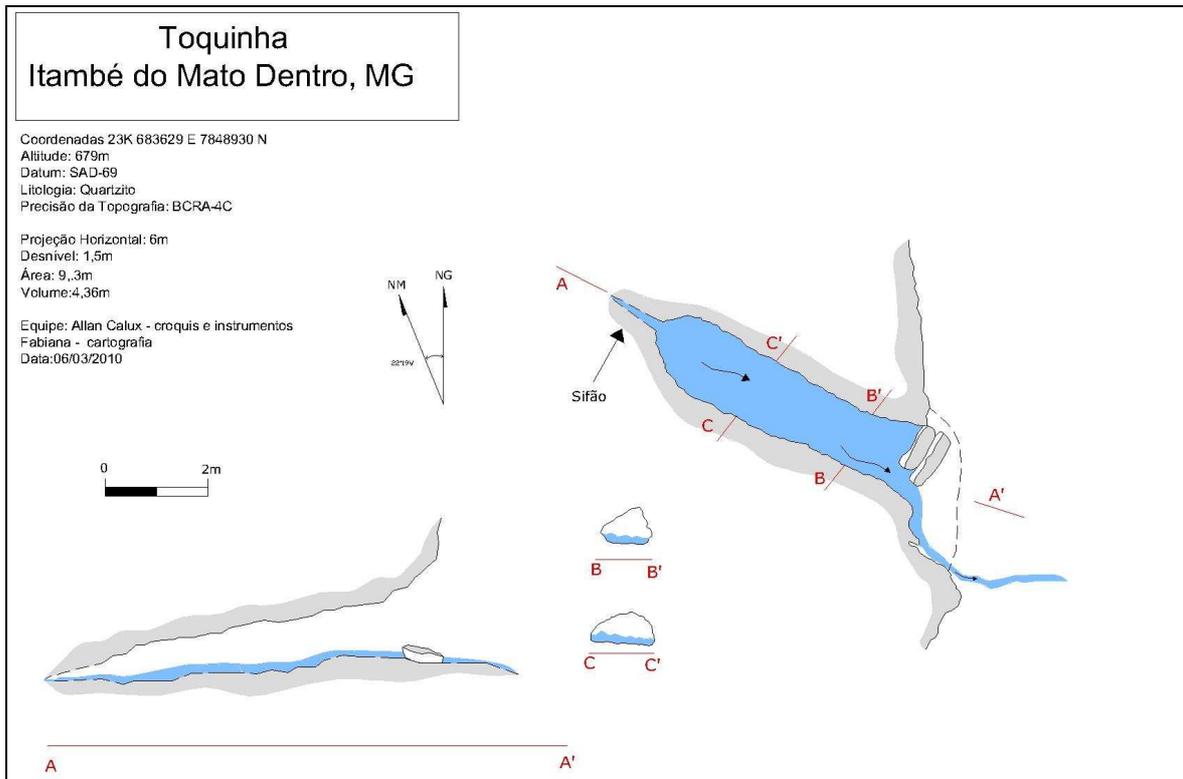


O nível inferior é mais horizontalizado em relação ao superior (Figura 44). As galerias são estreitas e altas, nitidamente condicionadas por fraturas. No teto observa-se a presença de “bolsas de dissolução”, denominada de *solution pocket* por Palmer (1991), associadas às fraturas, evidenciando o controle estrutural das galerias. Vale ressaltar a existência de um paleonível, sustentado por um pilar, que representa um resquício de um antigo piso da caverna e, portanto, um indicativo de rebaixamento do nível do piso. Destaca-se a presença de uma entrada e uma dolina (clarabóia), posicionadas nas laterais da cavidade, associadas a processos de abatimentos, provavelmente relacionada a eventos mais recentes. Sobre os aspectos hidrológicos, o nível inferior apresenta maior dinamismo em relação ao superior, com presença de gotejamento e curso d’água perene que flui ao longo de toda a sua extensão. Os depósitos arenosos ocorrem em menor proporção, mas tendem a se acumular próximos à clarabóia formando banco de areias.

6.3.4. TOQUINHA

A Toquinha é a menor cavidade estudada. Possui uma pequena entrada (1 m de altura e 0,5 m de largura, aproximadamente) e se desenvolve ao longo de um conduto que acompanha o mergulho das camadas da rocha. A drenagem é perene, com a presença de um sifão no final da caverna impenetrável pelo homem, que possibilita o prosseguimento do conduto (Figura 45).

Figura 45. Mapa da Toquinha.



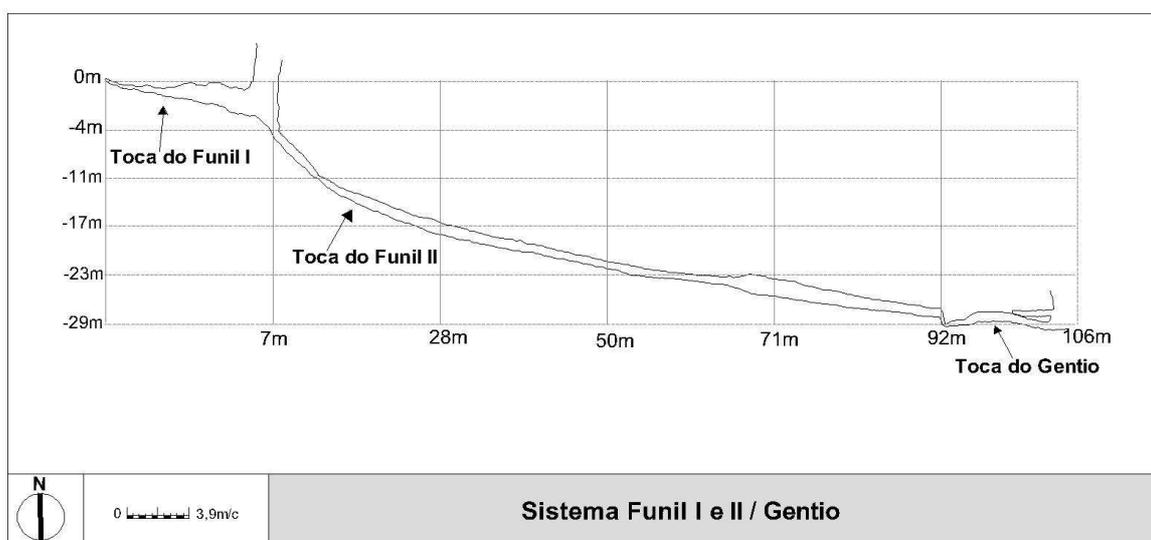
6.3.5) SISTEMA CÁRSTICO FUNIL I E II / GENTIO

A Toca do Funil I, localizada à montante do sistema cárstico (Figura 46), possui uma única entrada relativamente ampla, com cerca de 6 m de largura e 2,5 m de altura. Matacões e calhaus autóctones estão distribuídos na porção intermediária da cavidade, mas de modo geral, predominam os sedimentos de granulometria areia fina a argila, alóctones, são predominantes. Há indícios de sulcos de drenagem próximos à entrada que escoam água em sentido à Toca do Funil II, provavelmente durante eventos pluviais (Figura 46).

A Toca do Funil II possui uma pequena entrada (cerca de 1 m de altura e 0,7 m de largura) e se desenvolve ao longo de um único conduto, com teto baixo e arredondado em quase toda a sua extensão. O padrão planimétrico é aproximadamente retilíneo (Figura 46). O piso da caverna é bastante inclinado próximo à entrada, sempre concordante com a rampa de colúvio da dolina. Tal disposição favorece o transporte de grande quantidade de sedimentos para o interior da cavidade. Seixos e calhaus de quartzo em meio a uma matriz composta por finos (silte e argila) formam extensos bancos de sedimentos alóctones, que variam de 0,5 a 1 m de profundidade e 1 a 5 m de extensão (Foto 10). Estes depósitos

coluviais são encontrados também nas paredes (Foto 11) e tendem a se acumular à jusante da cavidade, onde seu perfil é mais plano (Figura 47). Esse acúmulo de sedimentos proporcionou o entupimento do conduto que conecta com a Toca do Gentio (Figura 46). Depósitos orgânicos tais como galhos e folhas de árvore também são bastante recorrentes. A atividade biológica no interior da cavidade é intensa, com presença de grilos, aranhas, sapos, inúmeros morcegos e guano.

Figura 47. Gráfico do Perfil do Sistema Funil I e II / Gentio



Em relação as microformas, observaram-se numerosos alvéolos de dimensões milimétricas na entrada e no interior da cavidade, sempre associados aos planos estratigráficos, além de canalículos nas paredes que representam importantes vias de entrada de água e sedimentos. Quanto aos aspectos hidrológicos, foi observada a presença de canal intermitente localizada próximo à entrada. No entanto, a drenagem é proveniente, em grande parte, dos interstícios da rocha e canalículos no interior da cavidade, formando canais de drenagem estreitos, de baixa vazão e incisão, perenes e intermitentes. Ao longo da caverna observam-se desníveis abruptos associados à incisão vertical do curso d'água, incoerentes com a capacidade de incisão atual dos canais de drenagem (Figura 46). Entretanto, é provável que durante eventos pluviais a vazão dos cursos d'água alcance volumes maiores.

A Toca do Gentio possui uma entrada com a existência de um patamar sustentado por um espesso veio de quartzo que individualiza dois níveis da caverna. O nível superior não apresenta continuidade e se desenvolvendo por cerca de 4m. O nível

inferior, por sua vez, desenvolve-se por 10 m e apresenta conduto estreito impenetrável pelo homem, que conecta com a Toca do Funil I. A drenagem perene é proveniente da Toca do Funil II e constitui ressurgência do sistema cárstico (Figura 46). É importante destacar a presença de raízes de pequeno a médio porte no teto e paredes da caverna.



Foto 10. Banco de sedimentos coluviais no interior da Toca do Funil II.



Foto 11. Sedimentos alóctones localizados nas paredes da Toca do Funil II.

6.3.8) GRUTA DOS MILAGRES II

A Gruta dos Milagres II possui duas entradas e se desenvolve ao longo de um único conduto, com teto baixo em quase toda sua extensão. O padrão planimétrico é aproximadamente retilíneo (Figura 48). O teto e piso são condicionados pelo mergulho das camadas da rocha e as paredes são marcadas por fraturas. Os condutos apresentam formato predominantemente retangular (ver perfis transversais B, C e H na figura 48.1), que parece receber forte influência dos planos estratigráficos.

A entrada à montante está inserida em uma dolina, é mais ampla em relação ao desenvolvimento da caverna (Figura 48.1 e 49) e tem origem associada a processos de abatimentos, evidenciados pela presença de blocos métricos (Figura 48). Tais características sugerem que essa entrada não apresenta relação direta com o desenvolvimento da caverna e, possivelmente, possui gênese diferenciada e posterior à formação do restante da cavidade.

O piso da caverna é concordante com a rampa de colúvio da dolina, favorecendo a entrada de grande quantidade de sedimentos, que se acumulam em forma de extensos bancos de depósitos coluviais (com cerca de 2 a 10 m de extensão e 1 m de profundidade). Esses depósitos são compostos basicamente de seixos e calhaus de quartzo, subangulares a arredondados, em meio a uma matriz argilo-arenosa (Figura 50). Vestígios desses sedimentos também foram verificados no teto da caverna, entre as camadas da rocha, indicando diferentes fases de sedimentação e erosão. Atualmente, o acúmulo desses depósitos tende a se concentrar à jusante da caverna próxima a entrada (Figura 48), onde o piso é mais plano (Figura 49), impedindo a passagem da drenagem para o meio externo. É provável que este fator tenha proporcionado o desvio do curso da drenagem, forçando a água a buscar descontinuidades na rocha, como fraturas, propiciando o desenvolvimento de um novo conduto (Figura 48).

A drenagem é perene, proveniente do meio externo, por meio de canalículos localizados nas paredes. Intercepta toda a extensão da cavidade e forma canal de escoamento com presença de trechos alagados onde o perfil da caverna é mais aplainado, seguido de trechos levemente encachoeirados onde o perfil é mais inclinado (Figura 49). Esse aumento da inclinação do perfil da caverna é marcado nitidamente por fraturas. A umidade no interior da caverna é elevada, com presença de condensação, inúmeros pontos de gotejamento e percolação.

Figura 49. Gráfico do perfil longitudinal da Gruta dos Milagres II.

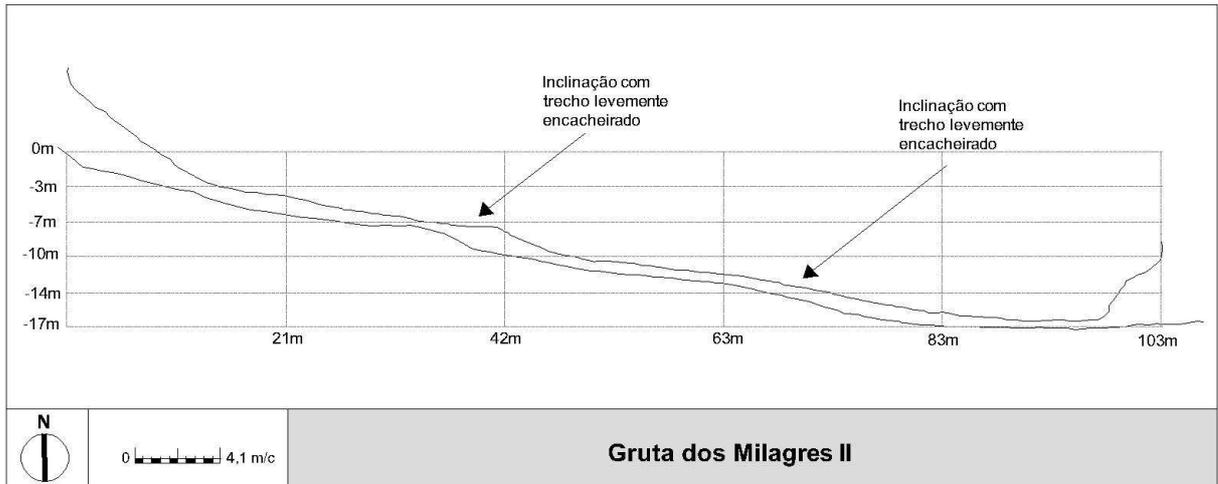


Figura 50. Depósitos coluviais no interior da Toca do Funil II.



6.3.9) SISTEMA BAIXADA DAS CRIOULAS

A Gruta Baixada das Crioulas I, em planta, apresenta trechos com elevado grau de sinuosidade devido à presença de pilares, mas, sobretudo em função de mudanças estruturais (Figura 51). Os condutos tendem a seguir, alternadamente, a direção (strike) e o mergulho (dip) dos planos estratigráficos, proporcionando bruscas mudanças no sentido do seu percurso. Os condutos retilíneos são condicionados, predominantemente, pela direção (strike) dos planos estratigráficos e, por vezes, fraturas verticalizadas em relação aos planos estratigráficos.

Essas mudanças estruturais também exercem influência no perfil longitudinal da caverna, proporcionando fortes inclinações ao longo de suas galerias e, conseqüentemente, o aumento do gradiente hidráulico (Figura 52). Nas galerias condicionadas pela direção dos planos estratigráficos observam-se trechos alternados entre poços e corredeiras. Aquelas controladas pelo mergulho da rocha tendem a formar rampas ou “escorregadores”. Os trechos encachoeirados ocorrem no contato entre as mudanças estruturais (dip e strike dos planos estratigráficos).

A Gruta Baixada das Crioulas I possui dez entradas que se concentram a noroeste da cavidade (Figura 51), muitas condicionadas pelo mergulho das camadas da rocha. De forma geral, as entradas tendem a ser amplas, inclinadas e posicionadas em nível superior em relação ao piso da caverna (Figura 52 e Foto 12). Tais características sugerem que as mesmas possuem gênese diferenciada, possivelmente associada a processos externos e posteriores em relação ao desenvolvimento da cavidade. Próximas às entradas observam-se várias dolinas elípticas com cerca de 3 m de diâmetro, aparentemente conectadas com a caverna por meio de fluxo subterrâneo. Dessa forma, a origem das entradas pode ter início a partir da formação de dolinas, seguida de processos de abatimento evidenciados pela presença de blocos métricos.

Na parte externa por onde o curso d'água da Gruta Baixada das Crioulas I se conecta com a Gruta Baixada das Crioulas II, também foram observados registros de abatimentos rochosos (Figura 51), evidenciando que essa área possivelmente foi formada a partir de colapsos de entradas. Esses processos provavelmente mais recentes que o desenvolvimento da caverna, sugerem uma nova fase de evolução da cavidade.

Figura 52. Gráfico do perfil longitudinal da Gruta Baixada das Crioulas I.

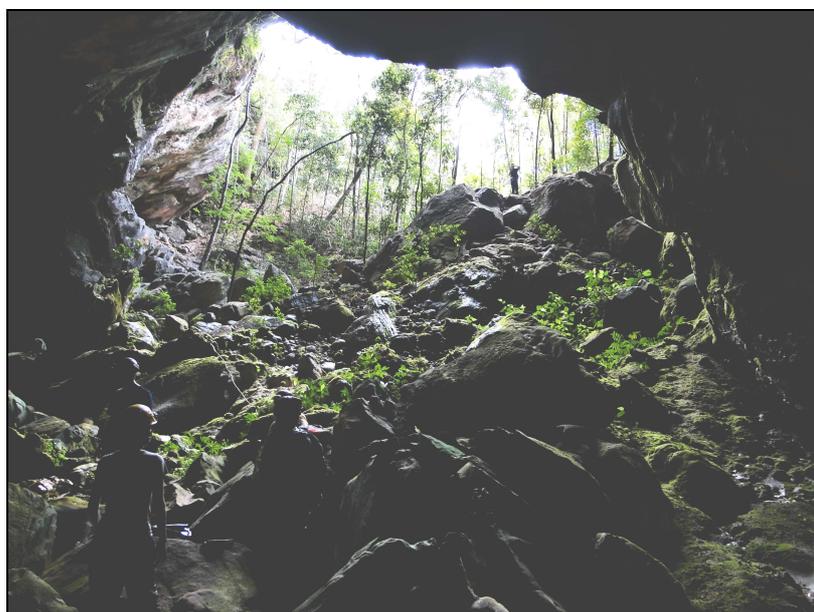
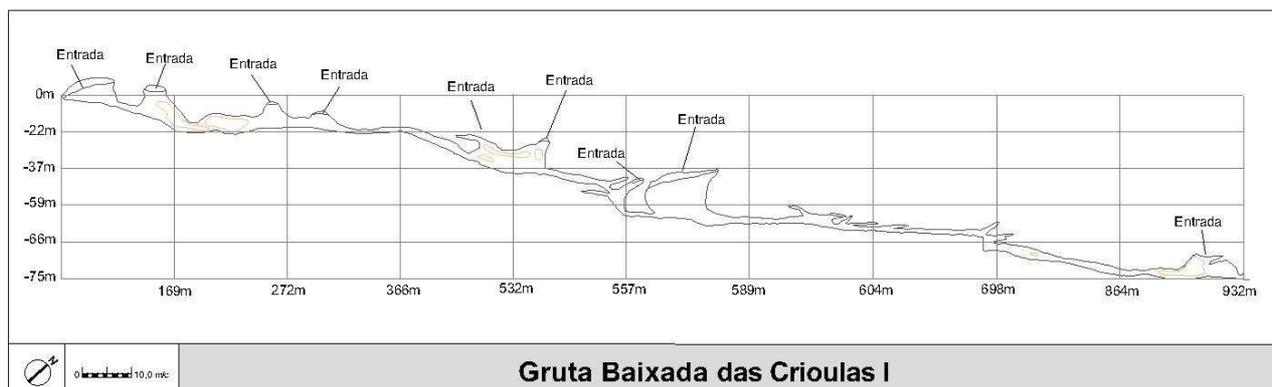


Foto 12. Entrada lateral posicionada em nível superior em relação ao piso da caverna.

A caverna também tem como característica uma rede de drenagem permanente em quase toda a sua extensão, alimentada por tributários intermitentes e perenes provenientes de condutos, canaliculos e entradas. Outro aspecto que diz respeito à hidrologia é a presença de inúmeros pontos de gotejamentos e condensação.

A morfologia dos condutos assume diferentes formas, mas a mais recorrente é a de forma alongada no sentido horizontal (ver cortes transversais F, L, J, M, N e Q na Figura 51), orientadas segundo a direção (strike) ou mergulho (dip) dos planos estratigráficos. Em determinadas passagens observa-se que a drenagem se encontra mais encaixada, em decorrência do aproveitamento da direção dos planos estratigráficos, que

lhes atribuem maior poder de incisão. O rebaixamento do nível de base forma o clássico perfil em forma de fechadura (PALMER, 1991) (ver corte transversal H na Figura 49).

Neste contexto, destaca-se a presença de depósito aluvionar situado à montante da caverna (Figura 51) e em posição mais elevada em relação a canal de drenagem atual, como testemunho do antigo leito do rio. Esse depósito é composto por sedimentos mal selecionados, com presença de calhaus e seixos sub-angulosos a arredondados de quartzo e canga em meio a um material composto, predominantemente por areia fina (Figura 53).

Depósitos arenosos, grânulos, seixos, calhaus e matacões, predominantemente de origem autóctone, se fazem presentes em praticamente toda a extensão da cavidade. Entretanto, seixos e calhaus subangulares a arredondados, tendem se concentrar à jusante da caverna, onde o conduto sifona (ver trecho “Passagem com água até o pescoço” na Figura 51). Sedimentos terrígenos de provável origem coluvial, também foram observados no interior da cavidade, quase sempre acumulados próximos às entradas ou nos canalículos.

Depósitos químicos sob forma de espeleotemas diversos são abundantes no interior da caverna. Destacam-se coralóides de cor escura, estalactites, cortinas serrilhadas, além de microtravertinos.

A Gruta Baixada das Crioulas II é composta por um conduto principal de padrão planimétrico aproximadamente retilíneo (Figura 51), que acompanha o mergulho das camadas da rocha. Possui duas amplas entradas e drenagem perene que intercepta toda a extensão do conduto. As águas que integram esse canal são de origem, principalmente externa à caverna, mas também provindas de tributários incipientes, oriundos dos interstícios da rocha. Ainda sobre o aspecto hidrológico, foi observada presença de pontos gotejamento perenes.

Assim como na Baixada das Crioulas I, o controle estrutural exerce grande influência no que diz respeito aos aspectos morfológicos da cavidade. Em relação à morfologia dos condutos, observa-se o predomínio do padrão fechadura (ver cortes transversais B, C e D na Figura 51). Outro aspecto importante está relacionado à mudança estrutural evidenciada pela presença de estratificação cruzada na parede da caverna, que possivelmente proporcionou a formação de desnível significativo no perfil longitudinal da cavidade, originando a existência de trecho encachoeirado (Figura 54).

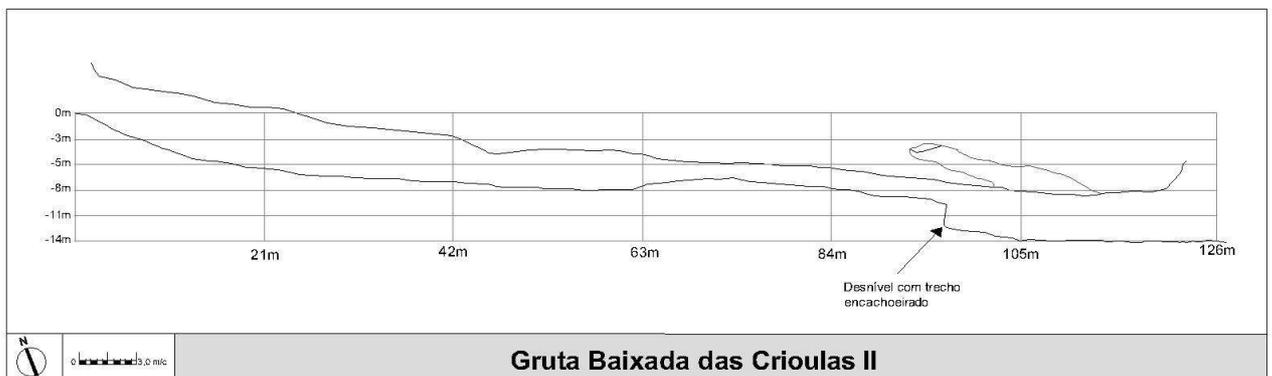
Em seu interior é encontrado uma variedade de depósitos sedimentares, desde blocos abatidos de dimensões métricas, encontrados ao longo de toda cavidade, a depósitos arenosos de origem gravitacional e fluvial. Depósitos como argila e seixos arredondados a

levemente angulosos, demonstrando grau de transporte considerável, incompatível com a dimensão da caverna, são encontrados ao longo do canal fluvial. Esses sedimentos possivelmente são provenientes da Gruta Baixada das Crioulas I, situada à montante, transportados por canal fluvial que conecta as duas cavidades.

Figura 53: Depósito aluvionar no interior da Gruta Baixada das Crioulas I.



Figura 54: Gráfico do perfil longitudinal da Gruta Baixada das Crioulas II.



A cavidade também apresenta dois condutos menores: o primeiro é estreito, retilíneo, com teto baixo e aparentemente condicionado por fratura. Predominam os sedimentos de granulometria areia fina a argila, de origem principalmente externa, transportados por canalículos. Já o segundo conduto se caracteriza por ser amplo, com predomínio de sedimentos arenosos autóctones. Em perfil, a galeria apresenta formato alongado na horizontal (ver perfil transversal A na Figura 51).

6.3.11) GRUTA DA BRAÚNA SECA

A Gruta da Braúna Seca se distingue das demais por ser formada a partir de um bloco basculado, dando origem a uma pequena cavidade com altura entre 0,5 e 3 m. Possui duas entradas e uma pequena clarabóia, localizada à montante da caverna.

Em seu interior observam-se inúmeros matacões, grânulos e calhaus com as arestas arredondadas. Os blocos de dimensões maiores possivelmente foram transportados pela drenagem e depositados antes da queda do bloco que originou a cavidade. Depósitos arenosos também estão presentes, formando banco de sedimentos paralelos ao canal de drenagem (Figura 55).

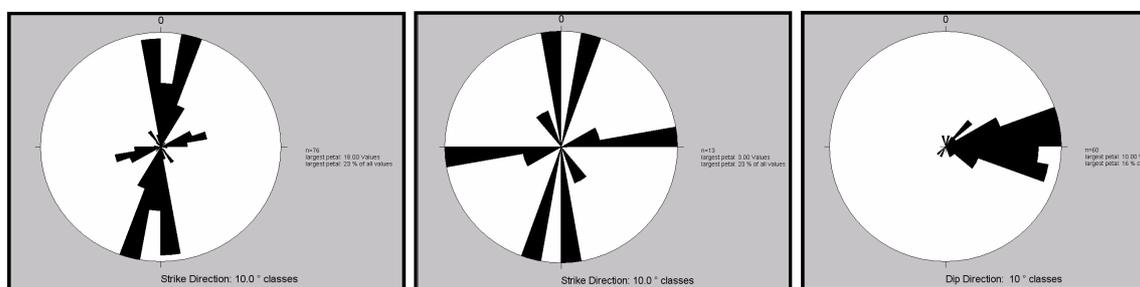
6.4- ANÁLISE ESTRUTURAL DAS CAVIDADES DE ITAMBÉ DO MATO DENTRO

6.4.1.1) GRUTA MILAGRES I

A Gruta dos Milagres I representa a cavidade onde se encontram registros da intensa atividade tectônica ocorrida na região, evidenciada pela presença marcante de estruturas dúcteis, principalmente dobras assimétricas de dimensão centimétrica a métrica. De forma geral, os planos So são aproximadamente paralelos em relação aos planos Sn.

A partir da medição dos planos de fratura, constatou-se o predomínio das direções N10-20E e N350-360W, que são concordantes com as direções de alguns condutos da caverna (Figura 56). No setor oeste há o predomínio de fraturas no sentido NE, onde se observa uma tendência do desenvolvimento dessa porção da caverna nesse sentido. O setor leste, por sua vez, tende a se desenvolver para o sentido NW. O controle estrutural é mais evidente nesta porção da cavidade, com presença de condutos que dão acesso ao *Salão do Lago*, e são nitidamente controlados por fraturas que se cruzam, de direções preferenciais N350-360W e N80-90E (Figura 57).

Figura 56. Diagrama de roseta sobre as orientações das fraturas, direções dos condutos e caimento da foliação da Gruta dos Milagres I.



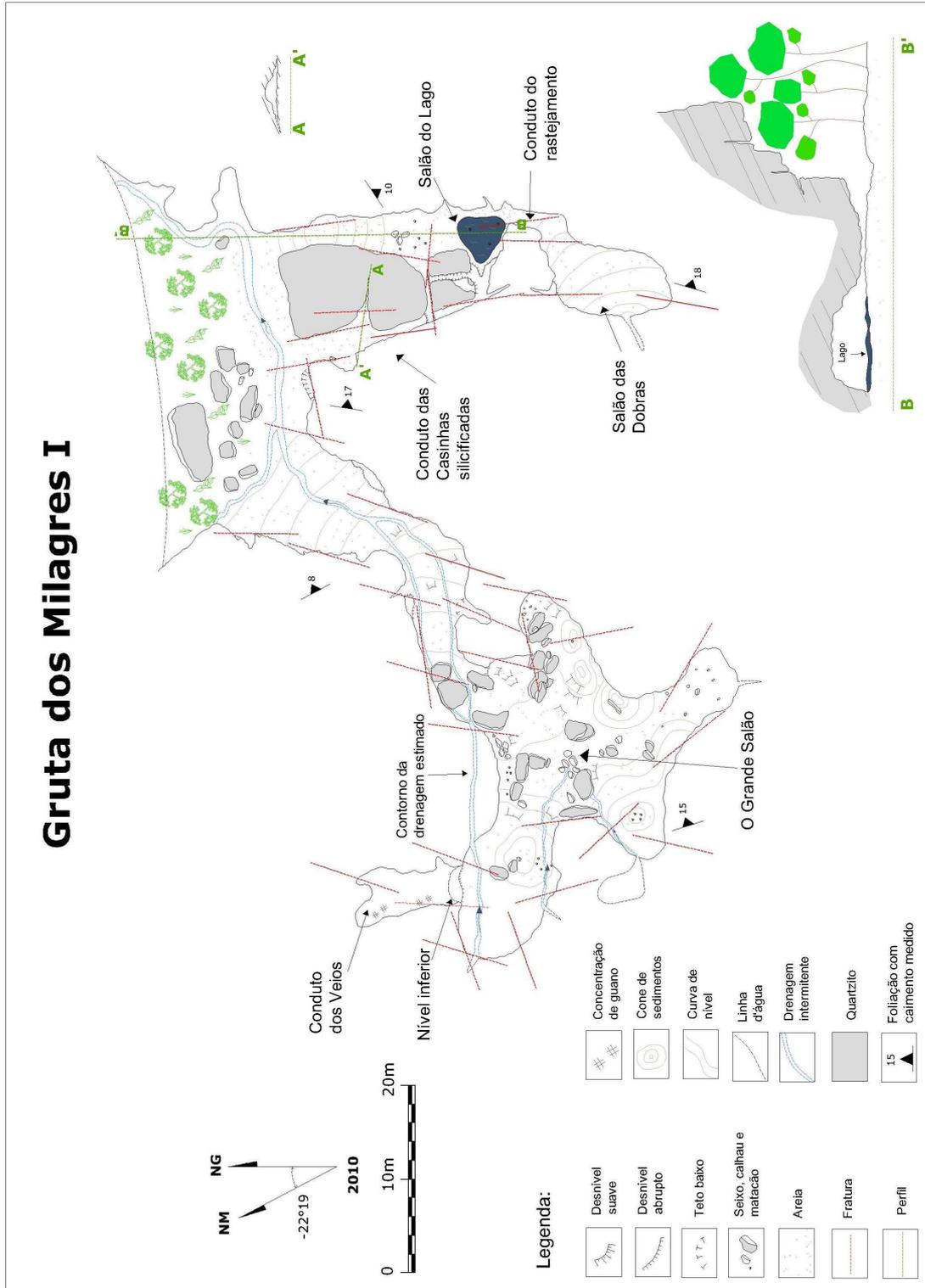
A- Fraturas

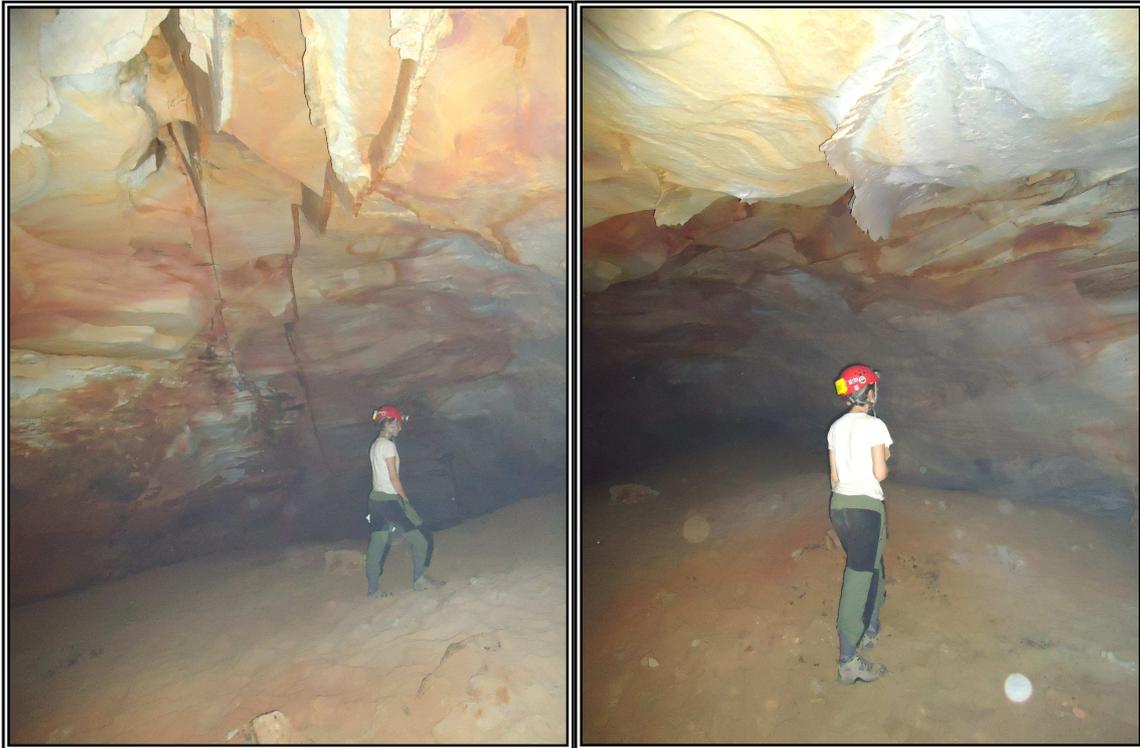
B- Direções dos Condutos

C- Caimento da Foliação

Já as galerias mais amplas, sobretudo *O Grande Salão* e o *Salão das Dobras*, parecem ter uma contribuição mais significativa dos planos estratigráficos no seu desenvolvimento. O mergulho dos planos de foliação medidos demonstra que essas porções da cavidade foram condicionadas por camadas pouco inclinadas, em torno de 10 a 20°. No *Salão das Dobras* observa-se um *trend* de fraturas (com azimute entre 359° a 10°) que, de certa forma, condicionam o desenvolvimento da galeria (Foto 13). Entretanto, no *Grande Salão* as fraturas assumem direções variadas (Figura 57).

Figura 57. Mapa da Gruta dos Milagres I com destaque para os planos de fratura e estratigráficos.





Fotos 13. Fraturas condicionando o desenvolvimento do Salão das Dobras.

Foto 14. Deslocamento do teto do Salão das Dobras a partir dos planos estratigráficos.

Tal fato está associado à presença de quartzitos de granulometria fina e micas na composição da rocha (ver descrição petrográfica do capítulo 5.5 e Anexo 1), tornando-a mais susceptível ao intemperismo. Com base nessa afirmação, observa-se no *Salão das Dobras* a ocorrência de deslocamentos orientados por acamamento e foliação, a partir da lixiviação da mica (Foto 14), além da grande quantidade de blocos abatidos e sedimentos arenosos observados também no *Grande Salão*.

6.4.1.2) TOCA DA ESTEIRA

Na Toca da Esteira, o nível superior apresenta relação com o mergulho dos planos de acamamento. O caimento medido desses planos não apresenta inclinações muito elevadas, em torno de 20 e 30°. Foram registradas fraturas paralelas (azimute entre 270° e 290°) em relação ao desenvolvimento do conduto, mas o controle exercido por esses planos é pouco evidenciado. As fraturas perpendiculares (direções entre 350° e 360°) em relação à direção do conduto são mais freqüentes. Possivelmente o cruzamento entre essas duas direções (paralelas e perpendiculares) de fraturas pode ter influenciado os processos de abatimentos que deram origem à entrada da caverna.

O conduto vertical é controlado por fraturas (azimutes de 342°-343°). O nível superior também se desenvolve seguindo essas estruturas. No entanto, a direção preferencial dos planos de fratura e acamamento é perpendicular em relação ao desenvolvimento da cavidade, mas concordante com os condutos menores e canalículos, posicionados nas laterais (Figuras 58 e 59). Destaca-se a ocorrência de um dolinamento de colapso (clarabóia), em decorrência da dissolução e remoção mecânica, junto à interseção de fraturas e planos de acamamento (Figura 58).

Figura 58. Mapa da Toca da Esteira enfatizando os planos de fratura e estratigráficos

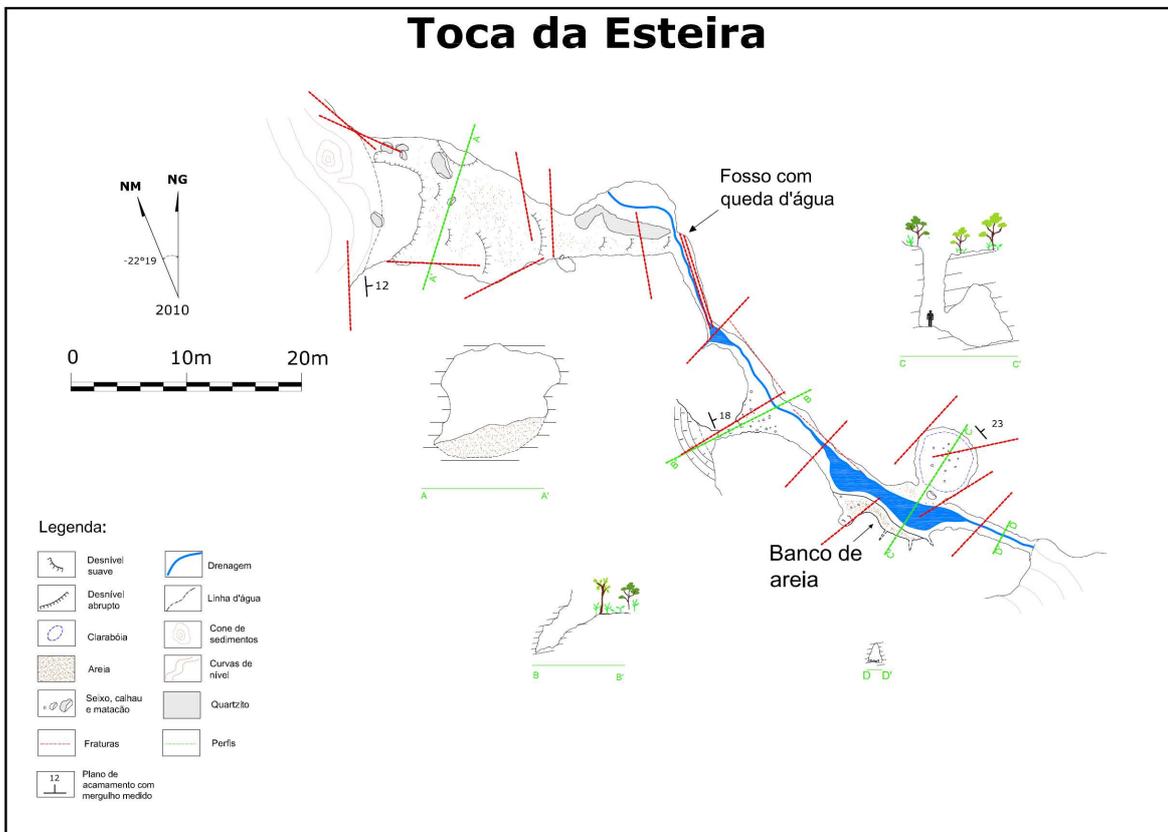


Figura 59. Diagramas de roseta de fraturas, direções dos condutos e mergulho do plano de acamamento da Toca da Esteira.



6.4.1.3) SISTEMA CÁRSTICO FUNIL I e II / GENTIO

No interior da Toca do Funil I foram observadas fraturas com direções preferenciais entre N40-50E, que são perpendiculares em relação à direção do conduto (azimute N311W), não apresentando, portanto, controle sobre o desenvolvimento da caverna (Figura 60). O mergulho dos planos de acamamento também não apresenta concordância com o desenvolvimento da caverna. Entretanto, a direção dos planos de acamamento parece contribuir para o desenvolvimento da cavidade (Figura 60 e 61).

Figura 60. Diagramas de roseta sobre as orientações das fraturas, direção do conduto, plano de acamamento e da foliação da Toca do Funil I.

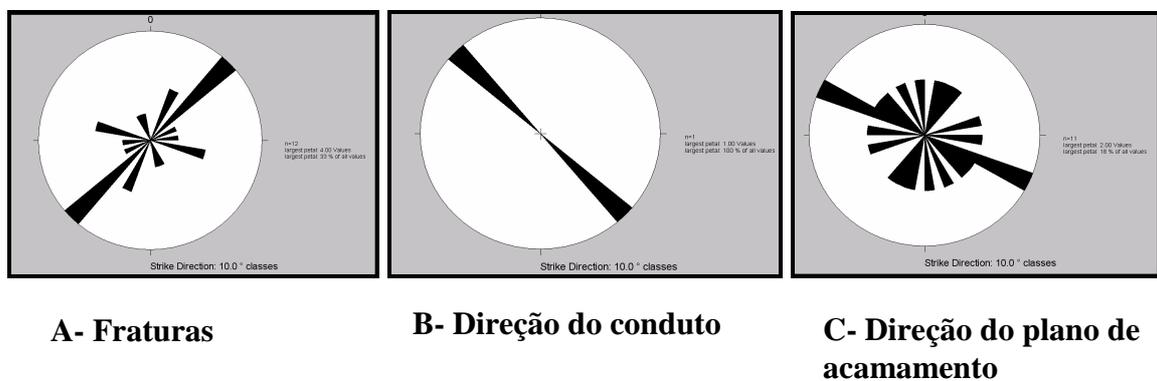
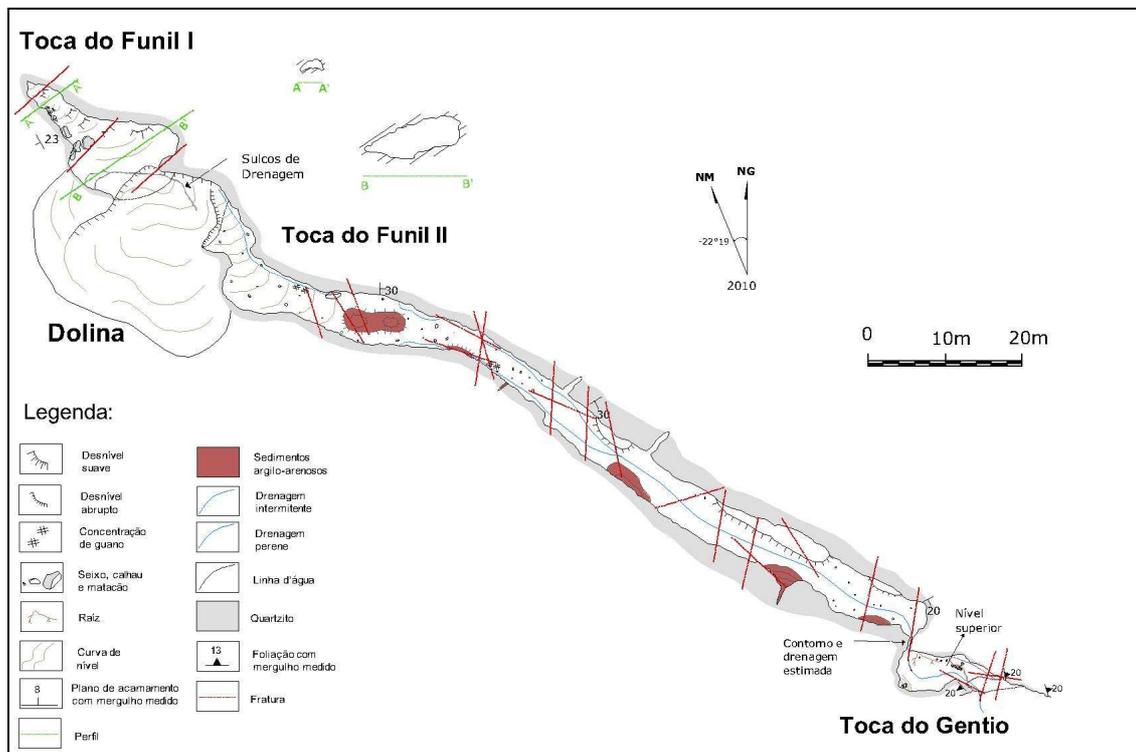


Figura 61. Mapa do Sistema Funil I e II / Gentio denotando os planos estratigráficos e de fratura.



Na Toca do Funil II as direções das fraturas mostram-se variadas, com predomínio para orientação N0-10E. Com base na comparação entre os diagramas de roseta, sua direção principal não apresenta relação clara com as direções do conduto, embora a passagem estreita que conecta a Toca do Funil II e a Toca do Gentio seja controlada por fratura com azimute N10E (Figura 62 e 63).

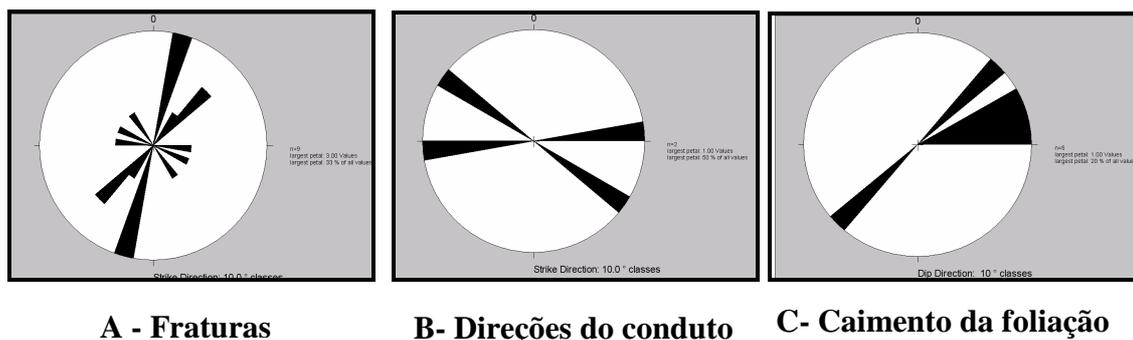
Figura 62. Diagrama de rosetas sobre as orientações das fraturas, direções dos condutos e mergulho do plano de acamamento da Toca do Funil II.



Há, porém, uma concordância entre a orientação da caverna e o mergulho dos planos de acamamento (Figura 62 e 63). O caimento medido desses planos é em torno de 20° e 30°. Sendo assim, é mais apropriado atribuir o mergulho dos planos de acamamentos como fator condicionante no desenvolvimento da cavidade.

A Toca do Gentio é marcada pela presença expressiva de descontinuidades preenchidas por veios de quartzo. As fraturas possuem orientação predominante para N10-20E e não apresentam relação com o desenvolvimento do conduto, que possui sentido inicialmente para N308W e, em seguida, para N81E (Figura 61 e 63).

Figura 63. Diagramas de roseta sobre as orientações das fraturas, direções dos condutos e caimento da foliação da Toca do Gentio.



6.1.4) GRUTA DOS MILAGRES II

A partir das medidas dos planos de fratura constatou-se o predomínio de atitudes N270-280W (Figura 64). O controle através dessas estruturas não parece evidente, embora nas extremidades as medidas obtidas tendam a ser mais próximas do direcionamento das fraturas (Figura 65). Já a existência de fraturas orientadas perpendicularmente em relação à direção do conduto, agrupadas na classe de sentido N10-20E, não possui relação com a orientação da caverna. No entanto, essas descontinuidades parecem ter contribuído para o desenvolvimento de canalículos localizados nas paredes, e para o rompimento da escarpa que delimita a entrada leste (Figura 65).

O desenvolvimento da caverna é concordante com o mergulho das camadas dos planos de acamamento, com caimento medido em torno de 10° (Figura 65). Dessa forma, a Gruta dos Milagres II se caracteriza por ser orientada pelo mergulho dos planos de acamamento.

Figura 64. Diagramas de rosetas sobre a orientação das fraturas, das direções dos condutos e mergulho dos de acamamento (S_0) da Gruta dos Milagres II.

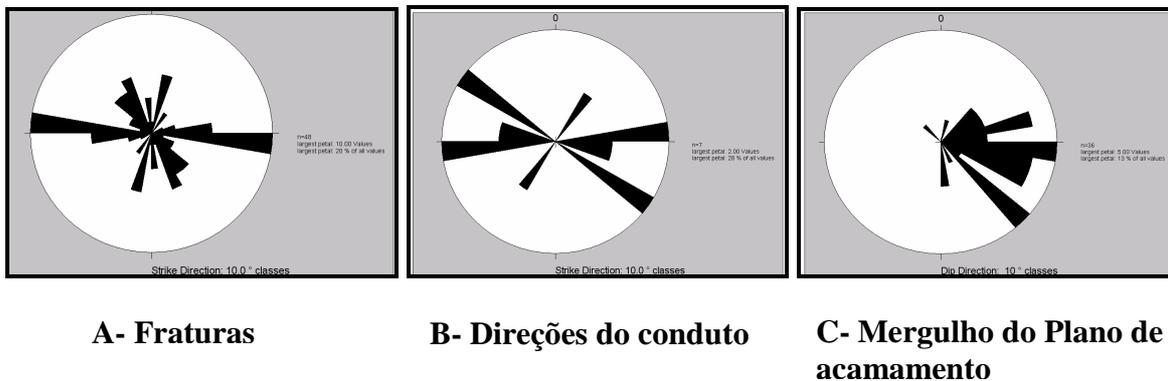
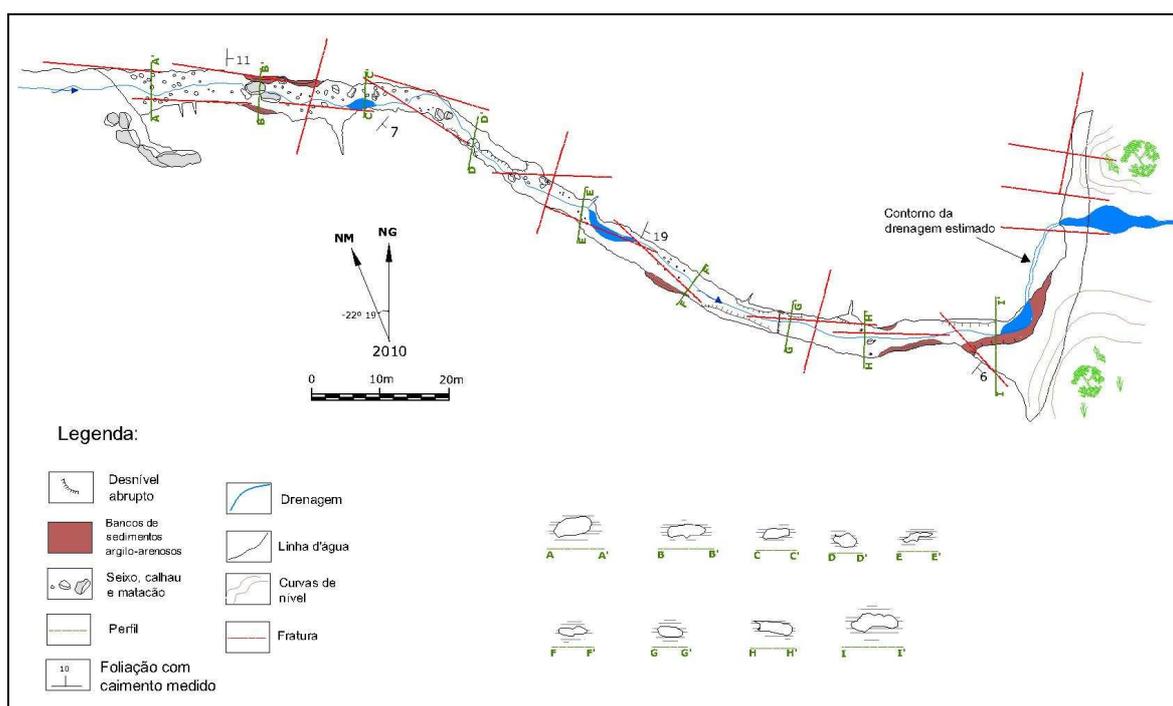


Figura 65. Mapa estrutural da Gruta dos Milagres II



6.4.1.5) SISTEMA CÁRSTICO BAIXADA DAS CRIOULAS

Com base no diagrama de roseta da Baixada das Crioulas I, percebe-se que há uma coerência entre a orientação dos condutos e das fraturas. As atitudes das fraturas mostram predomínio das orientações N0-10E, assim como as direções dos condutos (Figura 66). Nota-se que há uma seqüência de planos de fratura na direção NE que acompanha, em grande parte, o desenvolvimento da caverna. Já as fraturas de direção NW apresentam relação com o desenvolvimento de alguns condutos e entradas laterais (Figura 67).

Entretanto, o controle estrutural é mais evidente através dos planos estratigráficos. A maior parte dos condutos se desenvolveu seguindo o mergulho (dip) ou direção (strike) da foliação. Já as entradas seguem preferencialmente o mergulho da foliação (Figura 67 e Foto 15). O caimento da foliação medido é de 30° a 40°. Nas entradas os mergulhos tendem a alcançar maiores inclinações, podendo alcançar mais de 60°.

A Gruta Baixada das Crioulas II se caracteriza por apresentar condutos condicionados pelo mergulho dos planos de acamamento. Algumas fraturas também acompanham o desenvolvimento dos condutos (Figura 68). Tal comportamento pode ser

evidenciado através da concordância aproximada entre essas três variáveis analisadas, representadas pelos diagramas de rosetas (Figura 69).

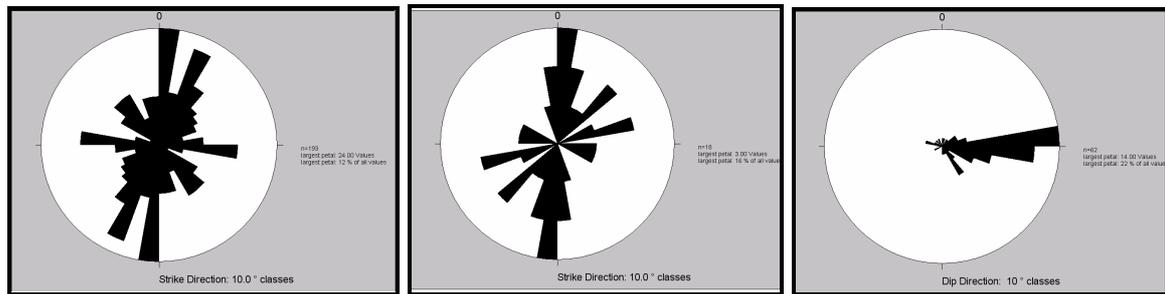


Foto 15. Entrada condicionada pelo caimento da foliação.

Num primeiro momento, os condutos da caverna seguem as orientações N80-90E ou S260-270W e, posteriormente, as direções N310-320W ou S130-140E. Já as fraturas possuem atitudes preferenciais N290-300W e N80-90E. Contudo, há registro de uma classe de fraturas (azimute N10-20E), com frequência também considerável de ocorrência, perpendicular à orientação dos condutos que, portanto, não orienta o desenvolvimento da gruta (Figura 68 e 69).

O mergulho dos planos de acamamento tem as direções principais N70-90E e S120-140E. O caimento da foliação medido é de aproximadamente 10°. Destaca-se a presença de estratificação cruzada localizada na parede à jusante da caverna, evidenciando a mudança de direção do mergulho dos planos de acamamento (com ângulo de discordância aproximado de 120°), assim como a orientação do direcionamento do conduto principal (Figura 68 e Foto 16).

Figura 66. Diagramas de roseta sobre as orientações de fraturas, direções dos condutos e caimento da foliação da Baixada das Crioulas I.



A- Fraturas

B-Direções dos condutos

C-Caimento da Foliação

Figura 67. Mapa da Gruta Baixada das Crioulas I, enfatizando os planos estratigráficos e de fratura.

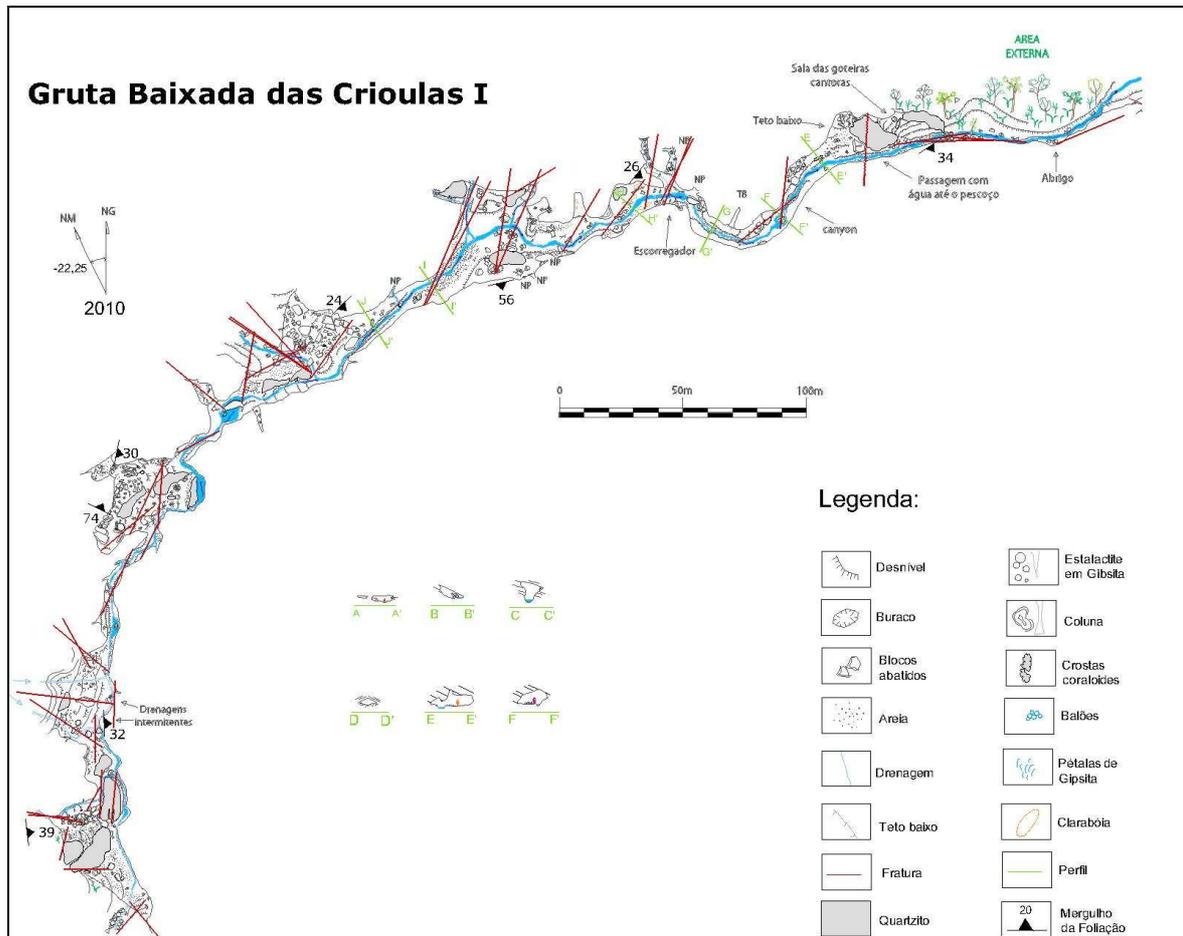


Figura 68. Mapa da Gruta Baixada das Crioulas II, enfatizando os planos estratigráficos e de fratura.

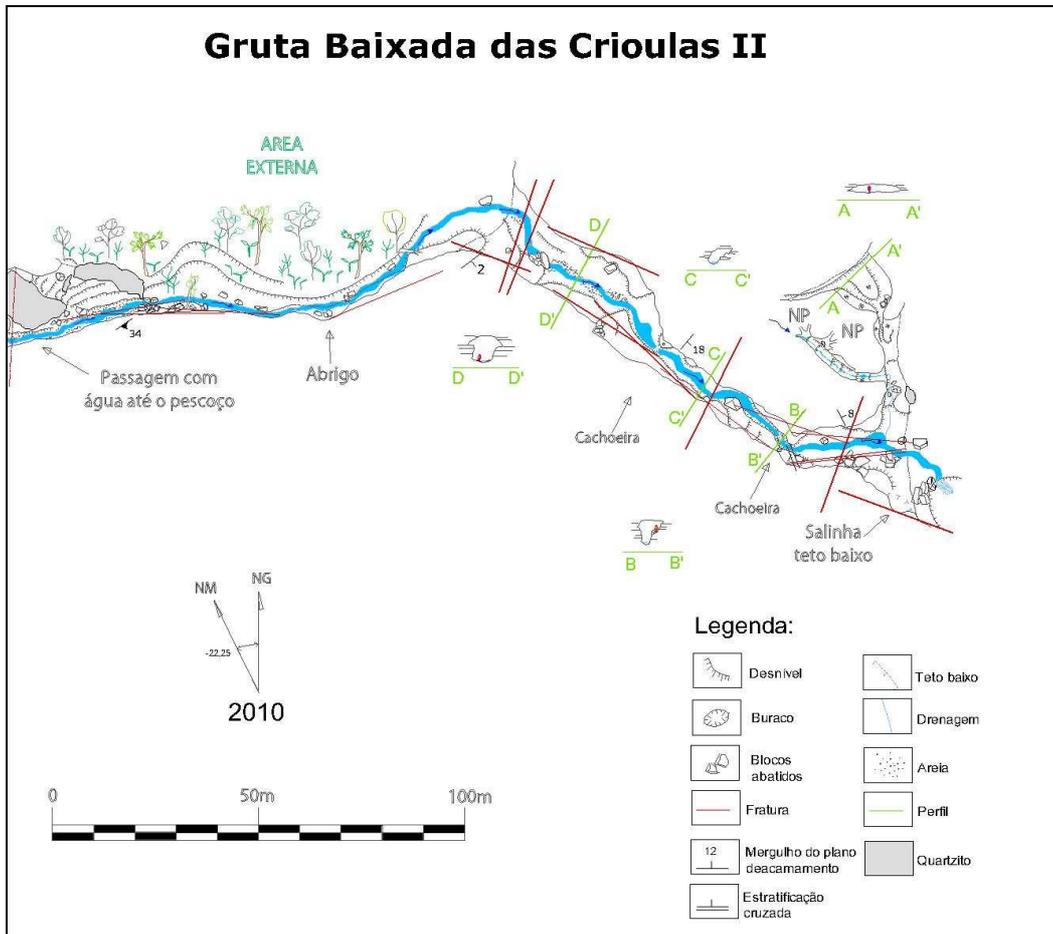
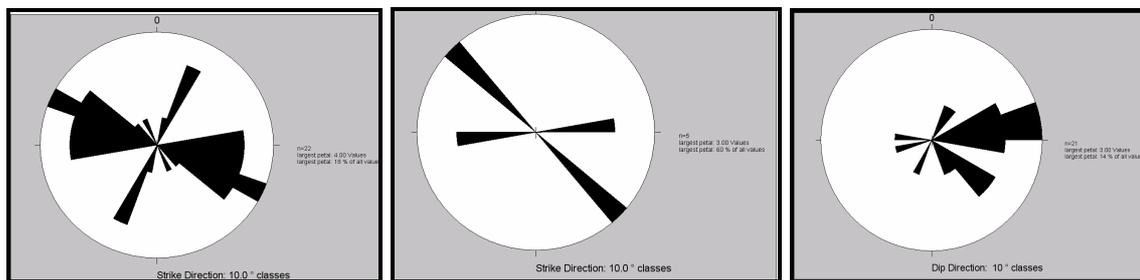


Figura 69: Diagramas de rosetas sobre as orientações das fraturas, direções dos condutos e mergulho dos planos de acamamento da Gruta Baixada das Crioulas II.



A- Fraturas

B- Direções dos condutos

C- Mergulho do plano de acamamento

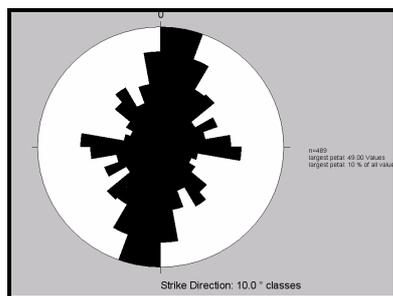


Foto 16. Estratificação cruzada localizada no canal principal da Gruta Baixada das Crioulas II, que marca a mudança de direção do mergulho dos planos de acamamento.

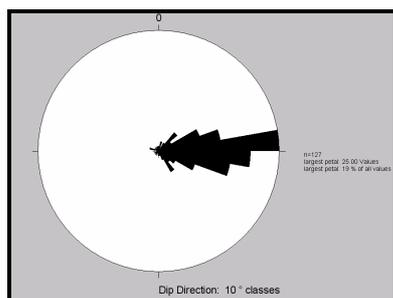
6.4.2- COMPARAÇÃO ENTRE A GEOLOGIA ESTRUTURAL DAS CAVERNAS DA ÁREA DE ESTUDO E A GEOLOGIA ESTRUTURAL REGIONAL

Através da análise dos diagramas de roseta referente às estruturas geológicas das cavernas onde foram realizadas as medidas estruturais (Figura 70), é possível perceber uma forte correlação em relação à geologia estrutural regional da Serra do Espinhaço Meridional.

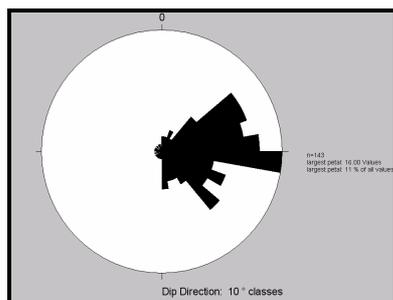
Figura 70. Diagramas de roseta das estruturas geológicas e direção dos condutos das cavernas estudadas.



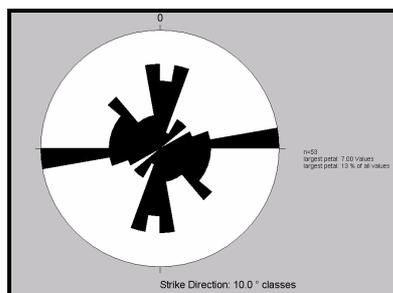
A – Fraturas



B – Mergulho da foliação



C- Mergulho do acamamento



D- Direção dos condutos

No total foram realizadas 489 medidas dos planos de fratura que apresenta direção preferencial N0-20E (Figura 70A). Esta direção é concordante com a própria geometria da Serra do Espinhaço Meridional que se orienta na direção aproximada N-S, assim como as estruturas maiores pré cambrianas, tais como dobras e falhas de empurrão (ALMEIDA ABREU *et al.*, 1994). Em escala mais local, Guimarães (1992) observou nos afloramentos da região de Itambé do Mato Dentro fraturas e falhas (inversas e normais), também de direção preferencial N-S.

Os planos de acamamento e do caimento da foliação somam 270 medidas realizadas. Os planos medidos apresentam direção preferencial para leste (Figura 7 B e C), assim como os da Serra do Espinhaço Meridional, em decorrência dos cavalgamentos vergentes para oeste, que foram responsáveis pela estruturação geral do Orógeno Espinhaço (UHLEIN *et al.*, 1986; ALMEIDA ABREU, 1995).

De acordo com o Mapa de Lineamentos Estruturais da área de estudo registra-se a direção preferencial entre N80 – 90E, representada principalmente por estruturas menores. No entanto, é possível perceber alguns lineamentos maiores, de continuação mais regional, com atitudes entre N0-10E (Figura 71).

Com base na análise dos diagramas de roseta, os condutos das cavernas estudadas se orientam preferencialmente na direção entre N80 – 90E, que por sua vez é concordante com a atitude preferencial encontrada para o mergulho dos planos estratigráficos e com os lineamentos menores encontrados na área de estudo. Há também uma seqüência significativa de condutos que se orientam aproximadamente na direção N (Figura 70), possivelmente por influência de fraturas, observadas principalmente na Gruta dos Milagres I e na Gruta Baixada das Crioulas I.

Dessa forma, é possível concluir que as cavernas estudadas são condicionadas preferencialmente pelo mergulho dos planos estratigráficos. Em muitas cavidades as fraturas acompanham o desenvolvimento dos condutos, embora o controle por intermédio desses planos não seja tão aparente, salvo algumas exceções na Toca da Esteira e da Gruta dos Milagres I, onde sua influência pôde ser notada com mais evidência. No entanto, não se descarta a importância dessas estruturas como planos de fraqueza da rocha, favoráveis à penetração da água podendo ser ampliadas durante a evolução cárstica.

Lineamentos Estruturais

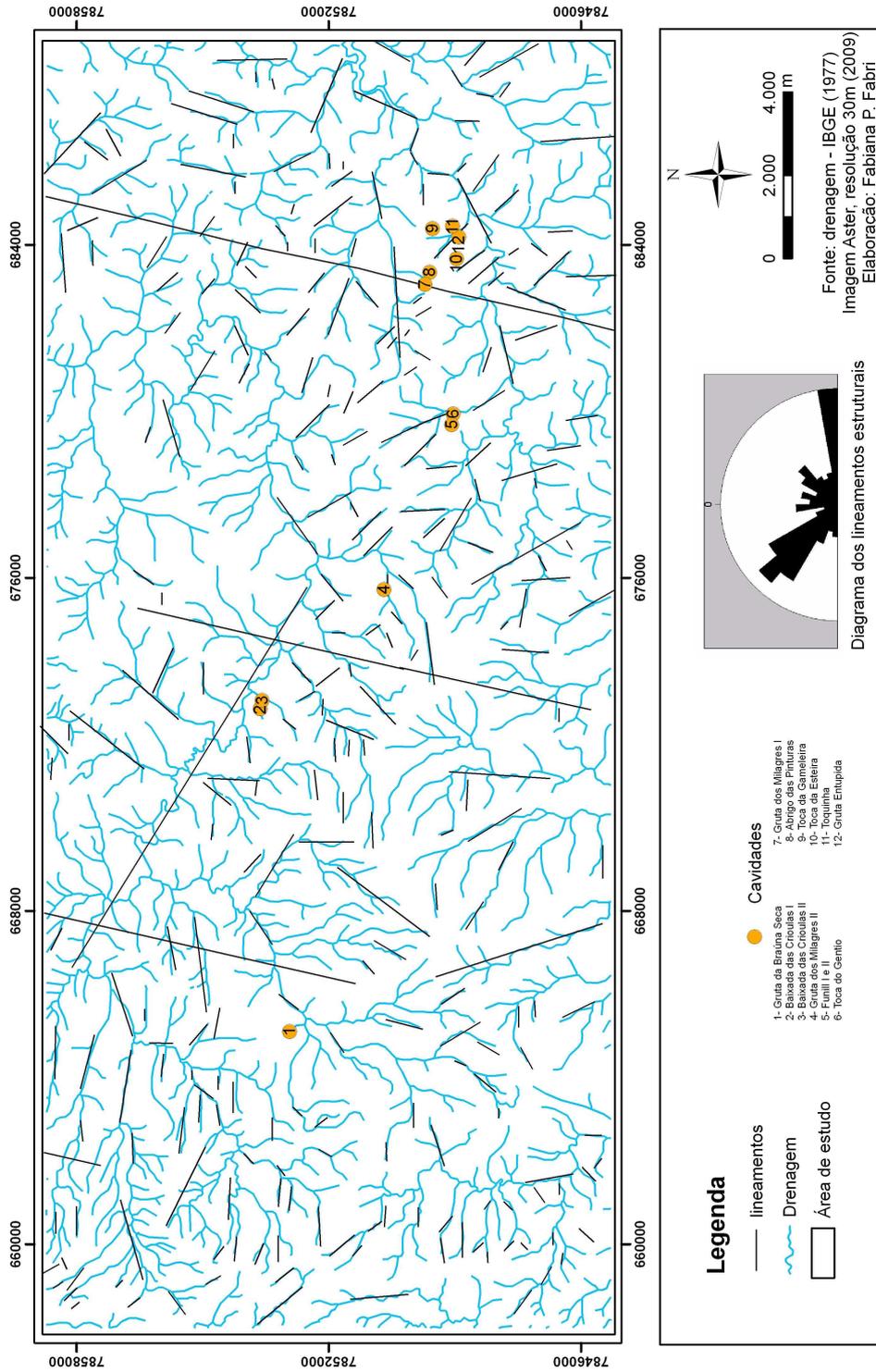


Figura 71: Mapa de lineamentos estruturais da área de estudo

6. 5- CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A caracterização petrográfica dos quartzitos que compõem as cavernas estudadas foi feita com base na análise de cinco amostras coletadas no interior das cavidades: Toca do Funil II, Gruta dos Milagres I, Gruta dos Milagres II e Baixada das Crioulas I (ver anexo I).

Macroscopicamente, as amostras analisadas podem ser caracterizadas por quartzitos finos, sericíticos de tonalidade branca, com exceção da rocha coletada na Toca do Funil II, que apresenta tonalidade rosada, em função do maior teor de ferro. Os quartzitos também se caracterizam por apresentar aspecto poroso e muito friável.

Ao microscópio, os quartzitos exibem textura granoblástica fina a média (grãos entre 0,1mm e 0,2mm). Apenas na Gruta Baixada das Crioulas I foi identificada textura predominantemente fina (grãos com até 0,1mm). Quanto à composição, as amostras são constituídas essencialmente por quartzos (entre 85 a 90% e 90 a 95%), mas também por filmes sericíticos (entre 5 a 10% e 15 a 20%), que determinam o plano de foliação da rocha (Figura 72). Os níveis sericíticos também ocorrem no contato entre os grãos de quartzo. Os minerais opacos (óxidos / hidróxidos de ferro) normalmente ocorrem associados à sericita.

Na maior parte das amostras analisadas observou-se um material produto de alteração (incolor com pontos pretos, possivelmente representando minerais opacos), geralmente associados à sericita e os opacos, mas também preenchendo espaços vazios entre os grão de quartzo (Figura 73). Contudo, os dados atualmente disponíveis a partir da microscopia óptica não permitem identificá-lo ou avaliar a origem desse material.

Figura 72: Fotomicrografias da rocha coletada no interior da Gruta Baixada das Crioulas I, sem polarização (A) e com polarização (B). Observa-se que a sericita ocorre em níveis contínuos que determinam a foliação da rocha.

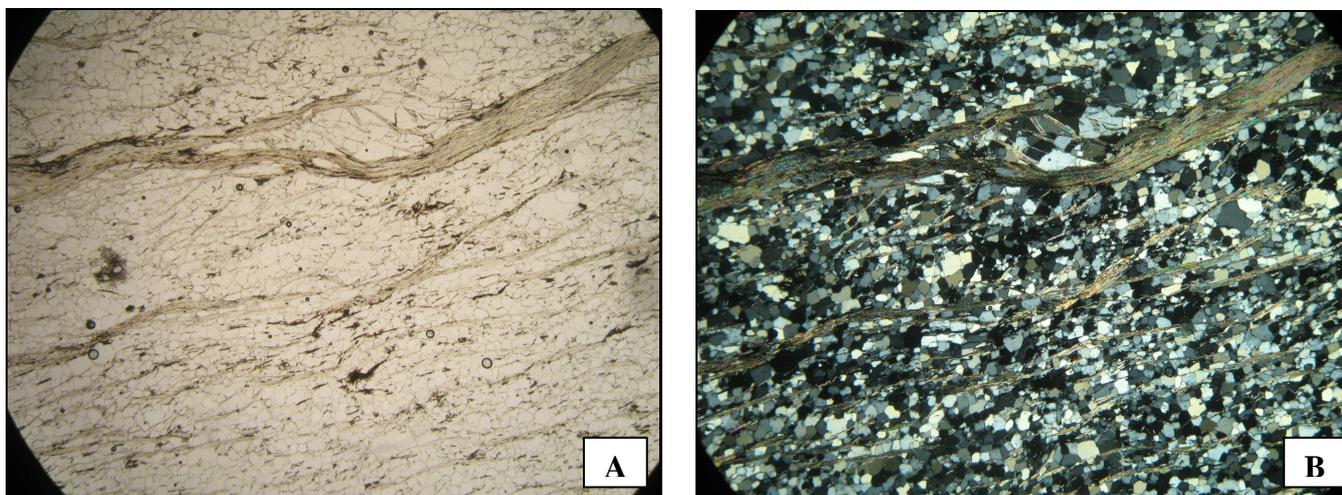
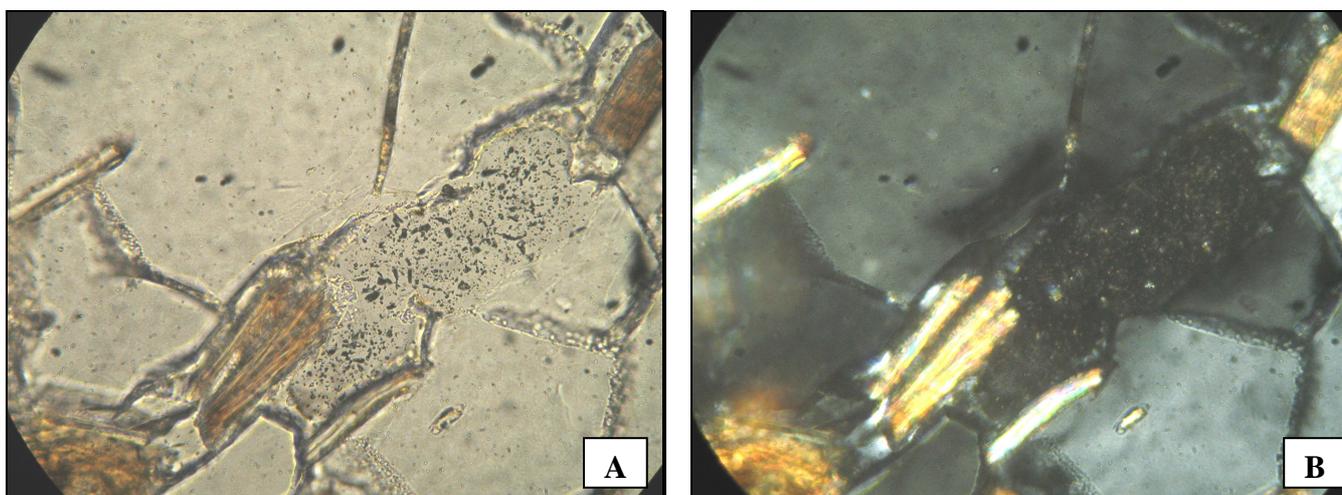


Figura 73: Fotomicrografias da rocha coletada no interior da Gruta dos Milagres I, sem polarização (A) e com polarização (B). Destaque para material de alteração associado à sericita e minerais opacos entre os grãos de quartzo.



7- ESPELEOGÊNESE

As cavernas da região de Itambé Mato do Dentro podem ser classificadas como pertencentes a dois tipos básicos: cavernas primárias e cavernas secundárias. A Gruta da Braúna Seca é considerada com uma caverna em tálus. Depósitos de tálus são formados a partir de desmoronamentos oriundos do intemperismo e erosão, comuns nas bases de áreas elevadas e íngremes. As cavidades em tálus são consideradas primárias, formadas concomitantes à geração do depósito. Não são consideradas como feições cársticas, pois não são geradas essencialmente por dissolução (CORRÊA NETO, 1996; AULER *et al.*, 2005).

Já as demais cavidades encontradas na região são tidas como secundárias, ou seja, posteriores à formação da rocha que as envolve. Estas cavernas são originadas por processos cársticos através da dissolução, entre outros fatores que favorecem para a sua formação tais como a litologia, a estrutura, a geomorfologia e a hidrologia (CORRÊA NETO, 1996; AULER *et al.*, 2005).

7.1- DISSOLUÇÃO

Em relação ao clima, segundo Saadi (1995), a evolução geomorfológica da Serra do Espinhaço, na região de Minas Gerais, ocorreu sob condições paleoclimáticas predominantemente úmidas e quentes. No entanto, vale ressaltar que os índices de temperatura e, principalmente o índice pluviométrico da área de estudo estão bem abaixo das médias registradas nas regiões equatoriais, onde se desenvolveram os *Tepuys* venezuelanos, com cerca de 4000 mm médios anuais (SZCZERBAN *et al.*, 1974). Encontram, contudo, muito acima dos índices registrados nas regiões da África Subsaariana, onde há ocorrência de cavernas em rochas siliciclásticas, com médias pluviométricas anuais 20 a 30 mm anuais. Dessa forma, as variáveis temperatura e precipitação podem ser consideradas como fatores importantes no processo de carstificação da área estudada, uma vez que ambientes quentes (temperaturas mais elevadas promovem a aceleração da maioria das reações químicas, inclusive da sílica) e úmidos oferecem condições mais propícias ao processo de dissolução.

Em relação às microformas observadas nas cavidades estudadas, formas alveolares também denominadas favos de mel (*honeycombs*) por Willems *et al* (2002) são bastante recorrentes, quase sempre associados aos planos estratigráficos. “Bolsas de dissolução” (*solution pockets*), análogas àquelas verificadas em rochas carbonáticas (PALMER, 1991), também foram observadas no interior da Toca da Esteira, seguindo os

planos de fratura. Essas microformas, entretanto, não parecem contribuir para o desenvolvimento das grutas, sendo representativas apenas como indicadoras do processo de dissolução diferencial.

Viles *et al* (1994) caracterizam os alvéolos como feições resultantes da ação de agentes orgânicos, em especial líquens, mas que se restringem à zona fótica. Embora essas formas sejam mais recorrentes próximas às entradas, sua presença também é constante no interior das cavidades estudadas. Outros elementos bióticos, como pigmentos de coloração amarelada e esbranquiçada foram verificados com frequência. Trabalhos recentes buscam cada vez mais informações acerca das influências da atividade biológica no interior das cavernas siliciclásticas. Alguns autores sugerem que os processos bioquímicos são importantes e, possivelmente, representam o fator dominante no controle do desenvolvimento de microfeições encontradas na caverna arenítica Charles Brewer nos *Tepuys*, sudeste da Venezuela (LUNDBERG *et al.*, 2010).

Quanto à influência litológica, a hipótese mais concreta diz respeito à presença de outros minerais mais solúveis que o quartzo na composição dos quartzitos. De acordo com a caracterização petrográfica (ver capítulo 5. 5), os quartzitos que compõem as cavidades estudadas apresentam granulometria fina a média, bem como níveis sericíticos e ferruginosos paralelos ao plano de foliação da rocha. Essas características se assemelham muito à descrição feita por Grossi-Sad *et al* (1997) sobre os quartzitos que compõem a Unidade Itambé do Mato Dentro, embora algumas cavernas estejam situadas também na Unidade Rio Preto. Segundo este autor, tais características justificam a tendência da rocha ao deslocamento, fenômeno este nitidamente observado na Gruta dos Milagres I (ver Foto 14).

O fato de que o desenvolvimento das cavernas ocorre preferencialmente através dos planos de foliação ou acamamento, representa uma evidência de que o intemperismo ocorre preferencialmente ao longo dos níveis sericíticos. Dessa forma, destaca-se a importância dos quartzitos com níveis estratigráficos ricos em mica e compostos por quartzos de granulometria mais fina no processo de carstificação das cavernas estudadas. Os autores que estudaram o processo de cavernamento na Província Espeleológica Quartzítica de Andrelândia também verificaram nela condições muito semelhantes (CORRÊA NETO *et al.*, 1997; CORRÊA NETO, 1997 e SILVA, 2004).

Os níveis sercíticos também ocorrem no contato entre os grãos de quartzo (anexo 1), corroborando a hipótese de alguns autores de que a dissolução dos quartzitos

pode agir sobre uma matriz mais solúvel (URBANI, 1986B; YOUNG, 1988; GALÁN, 1991; YOUNGER *et al.*, 1995).

No interior da Gruta Baixada das Crioulas I foram observadas variações na composição mineralógica das rochas, onde provavelmente os planos com menor concentração de mica tendem a apresentar maior resistência ao intemperismo, permanecendo-se como pilares. Trata-se, portanto de um indicativo sobre a gênese de algumas galerias encontradas na caverna.

Para essa análise, amostras de rocha foram coletadas em um pilar e no teto da cavidade. Com base nos resultados das lâminas dessas amostras, observa-se que os quartzitos que compõem o pilar apresentam menor concentração de mica (5 a 10%). Já a amostra coletada no teto apresenta uma porcentagem maior de mica (15 a 20%), com menor concentração de opacos. Além disso, a sericita ocorre em níveis contínuos com presença de foliação mais bem definida, sobre a qual o processo de intemperismo pode agir de forma mais eficiente, acompanhando o plano de foliação da rocha (ver fichas de descrição petrográfica no anexo 1). Sendo assim, a amostra do teto deve representar a rocha que foi, em outro local, removida para a geração da galeria, por apresentar níveis contínuos com maior concentração de mica e, portanto maior susceptibilidade ao intemperismo. Já a amostra do pilar representa um remanescente do que foi dissolvido e erodido.

Com base na análise microscópica foi possível identificar a presença de um material de alteração (descrito no capítulo 5.5) encontrado muitas vezes associado à sericita. Este material representa uma evidência de que a mica se encontra alterada e de que o processo de intemperismo ocorre preferencialmente ao longo desses minerais (anexo 1).

A sericita pertence ao grupo das micas com composição aproximada da moscovita, porém mais hidratada e muito fina (DERR *et al.*, 1965). Vários autores estudaram a dissolução de micas sobre diversas condições, analisando diferentes fatores que influenciam a dissolução do mineral. Martins *et al* (2004) apresenta uma revisão sobre o assunto, relatando o estudo de Kalinowski *et al* (1998) sobre as taxas de dissolução desses minerais na faixa de pH entre 1 a 4 em temperatura ambiente (22°C) e verificaram que a biotita e a flogopita são mais afetadas pelo decréscimo de pH do que a moscovita. Da mesma forma, Schnitzer *et al* (1976) verificaram a dissolução de micas (biotita, flogopita e moscovita) por ácido fúlvico em temperatura ambiente. Esses autores constataram que a biotita é o mineral mais suscetível ao ataque pelo ácido orgânico, por apresentar maiores

quantidades de ferro, coincidindo com suas antigas investigações que sugeriam a afinidade do ferro com ácido fúlvico.

A dissolução das micas é uma importante fonte de liberação de K e Mg (KALINOWSKI *et al.*, 1998). Neste contexto, alguns autores estimam que a presença desses solutos na água seja capaz de acelerar a superfície de reatividade da sílica (amorfa e quartzo) (ICEHOWER *et al.*, 2000), cuja solubilidade é aumentada sob condições alcalinas (KRAUSKOPF, 1972). Destacam-se ainda trabalhos encontrados na literatura que investigam a ocorrência da dissolução de quartzos em arenitos, induzida pela presença de mica e /ou minerais argila (ALCANTAR *et al.*, 2003; MEYER *et al.*, 2006). Bjoerkum (1996) deduz que a dissolução diagenética do quartzo não é conduzida somente pela pressão da carga de sedimentos subjacentes, mas, sobretudo pela presença de micas e argilas, uma vez que a dissolução nas bordas dos grãos de quartzo não foi observada na ausência desses minerais.

De acordo com Corrêa Neto *et al* (1997) e Corrêa Neto (1997), a presença de determinados níveis estratigráficos ricos em mica e mais raramente feldspatos teria proporcionado a formação das grutas da Província Espeleológica Quartzítica Andrelândia, a partir da lixiviação de sódio (Na) e potássio (K) provenientes desses minerais, juntamente com a dissolução da sílica.

Em relação aos opacos (óxido / hidróxido de ferro) associados à sericita, em ambientes ricos em matéria orgânica e hidromórficos onde a atividade microbiana é moderada, é possível a redução e lixiviação do ferro a grandes distâncias (BIGARELLA, 2007). Rushing *et al* (2003) verificaram que níveis elevados de sílica causam o aumento da taxa de liberação de ferro na água, bem como a diminuição do tamanho das partículas de ferro suspensas.

Qualquer que sejam os fatores que influenciam na alteração da sericita e/ou do ferro destaca-se a importância e eficiência deste processo como possível mecanismo gerador de planos preferenciais de permeabilidade, tanto no domínio intergranular como através dos planos de foliação ou acamamento. Neste sentido, a formação de poros originar-se-ia através da percolação de água meteórica, que ocorre inicialmente através das discontinuidades estruturais, se enriquecendo de compostos como ácidos orgânicos ou até mesmo microorganismos capazes de aumentar sua capacidade em atacar os componentes da rocha. Gotejamentos perenes freqüentemente observados no interior das cavidades, provenientes dos interstícios da rocha, sejam por porosidade secundária ou primária, evidencia a capacidade da mesma em transmitir fluidos.

Sendo assim, à medida que o contínuo processo de arenização avança, a rocha tem sua porosidade e permeabilidade aumentada, o qual resulta em um quartzito muito friável, caracterizando a primeira etapa de espeleogênese das cavernas estudadas, de acordo com o modelo proposto por Martini (1979). A rocha se torna, portanto mais susceptível ao intemperismo físico por meio de canalículos ou “pipings”.

No interior das cavidades observa-se com frequência espeleotemas, que representam a evidência maior da dissolução do meio. A caracterização desses depósitos químicos, entretanto, é apresentada no capítulo 8.

7.2 -GEOMORFOLOGIA REGIONAL

As cavernas da região de Itambé do Mato Dentro não se localizam nas porções do relevo consideradas como aquelas de maior potencial hidráulico, mas em áreas relativamente menos elevadas e acidentadas (Figuras 20 e 21). Dessa forma, a hipótese de que um alto gradiente hidráulico seria um fator essencial a influenciar a espeleogênese não parece apresentar para as grutas estudadas, a mesma relevância diagnosticada para o desenvolvimento das cavernas da Serra do Ibitipoca (CORRÊA NETO *et al.*, 1997; SILVA, 2004). Tal fator pode ser explicado em função de que em relevos com declividade acentuada a capacidade de infiltração do solo em subsuperfície é limitada e a velocidade do fluxo subterrâneo é mais rápida, não havendo disponibilidade hídrica e tempo suficiente para que as reações químicas ocorram, sobretudo nas rochas siliciclásticas. No entanto, isso não significa dizer que o gradiente esteja ausente ou mesmo que seja pouco importante no processo de espeleogênese das cavernas estudadas.

A maior parte das cavernas encontradas na região tem como características a existência de drenagem perene, com exceção daquelas localizadas em áreas topograficamente mais elevadas tais como a Gruta dos Milagres I e o Abrigo das Pinturas que apresentam cursos d'água intermitentes e ausência de drenagem, respectivamente. Já as grutas situadas em porções mais rebaixadas do relevo tais como a Gruta dos Milagres II, a Toquinha e o Sistema Baixada das Crioulas são drenadas por cursos d'água de maior vazão em relação às demais cavidades (Figuras 19 e 20).

Não é possível datar diretamente a idade dessas cavernas, mas tal fator sugere que seu processo de formação está relacionado com o desenvolvimento da paisagem. Devido ao rebaixamento geral do relevo e da superfície do aquífero, a circulação hídrica das cavernas tende a diminuir, bem como os processos de carstificação. Além disso, o nível freático acompanha aproximadamente as irregularidades da superfície do terreno e,

de modo geral, é mais profundo nas cristas de divisores topográficos e mais raso nos fundos de vale (TEIXEIRA, 2003).

Algumas cavidades situadas em porções relativamente intermediárias do relevo apresentam fortes indícios do rebaixamento do nível freático. O nível superior da Toca da Esteira e a Toca do Funil I situada à montante do sistema cárstico Tocas Funil I e II / Gentio atualmente são drenados por canais intermitentes, onde se observam indícios de que a circulação hídrica já foi mais atuante.

O rebaixamento do nível freático na Serra Cabeça de Boi possivelmente contribuiu consideravelmente para a redução da circulação hídrica na Gruta dos Milagres I, dificultando o transporte de sedimentos e proporcionando o acúmulo dos mesmos no interior da cavidade. Atualmente, o principal tipo de recarga hídrica da caverna se dá através da oscilação do lençol freático que alimenta periodicamente o lago intermitente e os fluxos d'água provenientes dos canalículos.

O mesmo fator também pode ter contribuído para o entupimento da Toca da Gameleira por sedimentos, situada em nível topográfico ainda mais elevado que a Gruta dos Milagres I (Figuras 19 e 20), em função do rebaixamento do lençol freático.

7.3 -GEOMORFOLOGIA LOCAL

Assim como na escala regional, também em escala local não foi possível associar as maiores cavernas às áreas de maior potencial hidráulico (Tabela 4 e Figura 24). Contudo, muitas das cavernas estão inseridas em superfícies do terreno onde o escoamento concentrado é favorecido, consideradas por Palmer (1991) como morfologias importantes para o desenvolvimento de cavernas carbonáticas.

Segundo este mesmo autor, a importância da topografia para origem das cavernas é ilustrada em função de que grande parte das mesmas é atualmente (ou originalmente foi) alimentada por vales ou aprofundamento de vales.

O Sistema Baixada das Crioulas possivelmente se enquadra nesse contexto. Vales encaixados geram descarga hídrica elevada ao longo das passagens subterrâneas, resultando em uma maior eficiência na remoção de resíduos insolúveis (grãos de quartzo), bem como na dissolução da rocha (preferencialmente ao longo das micas encontradas na composição dos quartzitos). Águas com fluxo lento exercem pouca ação, pois logo se saturam, perdendo sua ação corrosiva e capacidade de transporte (PALMER, 1991; TEIXEIRA, 2003).

Cavernas tais como a Toca do Funil I, Toca do Funil II, Gruta dos Milagres II e Gruta Entupida estão inseridas na base de dolinas. Estas feições cársticas superficiais são igualmente consideradas ideais para o desenvolvimento inicial de cavernas carbonáticas (Palmer, 1991), embora de acordo com o modelo genético sugerido para as grutas da área de estudo (de “evolução regressiva” que será discutido mais adiante), pressupõe-se que a formação dessas dolinas seja posterior às das cavidades. Entretanto, essa condição deve ser melhor analisada, sendo necessária a realização de datações que comprovem a cronologia dos fatos e a real influência dessas formas na gênese das cavidades.

A Gruta dos Milagres II e a Toca do Funil II apresentam como característica em comum a presença marcante de sedimentos alóctones transportados através da dolina. Remanescentes desses sedimentos podem ser encontrados nas paredes e tetos das cavidades, mostrando que um período anterior de maior sedimentação foi seguido por uma ou mais fases de remoção desses depósitos.

Ciclos de erosão e sedimentação são comumente observados em cavernas carbonáticas localizadas na base de dolinas, em áreas tectonicamente estáveis no leste do Brasil. Auler *et al* (2009) associa esses processos à condições climáticas específicas. Em Campo Formoso, no nordeste do Brasil, a sedimentação é um processo ativo relacionado ao atual clima semi-árido, no qual a vegetação esparsa permite a erosão das vertentes e sedimentação nas cavernas. Entretanto, períodos mais úmidos que o atual, permitiram a precipitação de espeleotemas. Já em Lagoa Santa-MG, dada as condições predominantemente mais úmidas no sudeste do país, provavelmente houve restrição da ocorrência de fases mais secas. A sedimentação dessas cavernas, portanto pode estar associada à condições intermediárias ou de transição entre fase seca e úmida, em que eventos pluviais favorecem o *runoff* nas dolinas e a sedimentação nas cavernas.

Dessa forma, é provável que a Gruta dos Milagres II e da Toca do Funil II possam ter sido sujeitas à condições semelhantes observadas nas cavernas de Lagoa Santa, por meio de controle paleoclimático de ciclos de sedimentação e erosão. Neste contexto, observa-se que atualmente no interior dessas cavidades há um predomínio dos processos erosivos sobre a sedimentação, embora na Gruta Entupida, as evidências revelem uma tendência contrária, a qual proporcionou o entupimento completo da passagem da caverna. É válido ressaltar que esta caverna não apresenta indícios de que o processo de entupimento tenha ocorrido por influência antrópica, mas sim, por fatores naturais.

No entanto, essas questões devem ser melhor analisadas, pois, aparentemente, uma série de fatores locais específicos pode alterar significativamente esse modelo

proposto para as cavernas carbonáticas como, por exemplo, o gradiente da dolina, área de captação, tipo de solo, cobertura vegetal, além do tipo e morfologia do sistema da caverna podendo resultar em diferenças na magnitude, taxa e morfologia dos sedimentos (AULER *et al.*, 2009).

Ainda que muitas questões sobre esses sedimentos não estejam bem esclarecidas, é evidente que estes interferem na paisagem e dinâmica endocárstica, como por exemplo, na separação da Toca do Funil II e da Toca do Gentio através do entupimento do conduto que conecta as duas cavernas (Figura 46), e no controle sobre a orientação da drenagem na Gruta dos Milagres II (Figura 48). Em função de evidências de impacto antrópico no entorno e na cobertura vegetal que se encontra relativamente bem preservada, dificilmente esses entupimentos teriam origem antrópica.

Em relação à análise dos perfis das cavidades estudadas, observa-se que há o predomínio do padrão morfológico no qual à montante tende a apresentar maiores inclinações em relação à base (Figuras 44, 47, 49, 52 e 54). Esse perfil padrão possivelmente pode ser associado ao modelo espeleogenético proposto por (WRAY, 2009) para *Cavernas em Tubo*. A denominação *Cavernas em Tubo ou Tubulares* foi atribuída por este autor para designar cavernas areníticas na Austrália, que se desenvolveram ou se desenvolvem ao longo de um único conduto, que se articulam com outros canais de escoamento, formando uma rede de drenagem subterrânea.

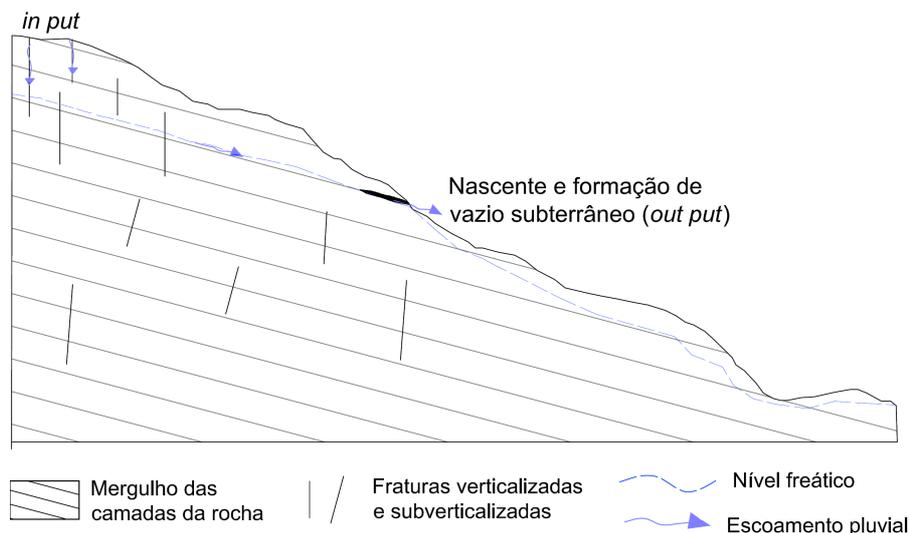
Com base no modelo de desenvolvimento apresentado para as *Cavernas em Tubo* (WRAY, 2009), algumas considerações acerca da espeleogênese das cavernas estudadas podem ser sugeridas. Onde as camadas dos quartzitos, com níveis ricos em sericita, se apresentam de forma concordante com a morfologia externa, o fluxo subterrâneo é direcionado lateralmente, gerando maior descarga e agressividade de dissolução, devido ao aumento da pressão hidrostática. Dessa forma, o fluxo de água a princípio, se propaga do *input* (descontinuidades tais como fraturas verticais e subverticais por onde a água em superfície infiltra na rocha em direção à subperície) para *output* (nascentes). Entretanto, o início da formação das cavernas por meio da remoção dos grãos de areia parece ocorrer a partir das surgências ou nascentes cársticas, em direção à montante deste ponto (Figura 74).

Como evidência da aplicação desse modelo destaca-se o fato de que as cavernas mencionadas acima apresentam entradas à montante associadas a processos de abatimento e/ou são mais amplas em relação ao desenvolvimento da caverna. Tais características sugerem que essas entradas não apresentam relação direta com o desenvolvimento da

caverna e, provavelmente, possuem gênese diferenciada e posterior à formação do restante da cavidade. Dessa forma, é comum observar acúmulo de sedimentos na base do perfil das cavidades onde os processos erosivos tendem a ser menos expressivo com, por exemplo, na Gruta dos Milagres II, na Toca do Funil II e na Baixada das Crioulas I e na Esteira.

A Gruta dos Milagres II e a Toca do Funil II são típicas *Cavernas Tubulares*, formadas ao longo de um único conduto, a partir do mergulho das camadas da rocha (WRAY, 2009). A Toquinha apresenta características morfológicas semelhantes e dada a sua pequena dimensão parece ser o início do desenvolvimento das cavernas tubos, formada por meio da remoção grão a grão dos quartzos, a partir da borda da encosta da Serra Cabeça de Boi.

Figura 74. Esquema para hipótese de modelo de desenvolvimento das cavernas de Itambé do Mato Dentro.



Outro aspecto interessante é fato de que a maior parte das cavernas da área de estudo apresenta entradas à jusante em rupturas de declive ou bordas de escarpa (Figuras 25, 26, 30, 31, 32 e 33), indicando sua provável relação com processos de evolução das vertentes. Após a incisão vertical dos rios principais e a retração lateral das encostas dando origem a essas feições geomorfológicas e, conseqüentemente o aumento do gradiente hidráulico, provavelmente iniciou-se o processo de desenvolvimento das cavidades por “*evolução regressiva*”. Este processo é semelhante ao verificado nos recuos de cabeceira de drenagens superficiais (CARSON *et al.*, 1972; DIETRICH *et al.*, 1933; LEOPOLD, *et al.*, 1995)

De acordo com análise da morfologia dos condutos das cavernas estudadas, observa-se que há o predomínio do padrão alongado na horizontal ou retangular,

nitidamente controlado por planos estratigráficos. Algumas passagens estreitas alongadas na vertical, seguindo planos de fraturas, também foram verificadas na Toca da Esteira e na Gruta dos Milagres I.

Dessa forma, o desenvolvimento das cavidades estudadas aparenta ter ocorrido no nível freático (Figura 74). Diferentemente das *Cavernas Tubulares* (WRAY, 2009) que apresentam indícios de desenvolvimento sob condições freáticas, uma vez que os condutos apresentam morfologias arredondadas indicando passagem por fluxo forçado (PALMER, 1991).

A partir da dissecação do relevo o lençol freático tende a rebaixar, proporcionando a incisão vertical da drenagem, assim como o desenvolvimento do conduto verticalmente. A ocorrência freqüente de canalículos em praticamente todas as cavernas estudadas, localizados aproximadamente no mesmo nível topográfico, sempre representados como importantes vias de saída de água e sedimentos, é mais um indicativo de que as cavernas se desenvolvem no lençol freático.

A partir da análise geomorfológica tanto no contexto local quanto regional, pode-se concluir que a formação das cavernas está relacionada como o desenvolvimento da paisagem, em função do rebaixamento geral do relevo e da superfície do aquífero. A primeira fase de formação das grutas provavelmente ocorre após a incisão vertical dos rios principais e da retração lateral das encostas, proporcionando o aumento do gradiente hidráulico. Neste contexto os processos erosivos tendem a se tornar mais atuantes, promovendo o desenvolvimento das cavidades no nível freático, através principalmente dos planos estratigráficos, por “evolução regressiva”. Posteriormente, em uma fase de evolução tardia das cavernas, o contínuo rebaixamento do nível freático resultaria na diminuição da circulação hídrica e, conseqüentemente na menor atuação do processo de carstificação.

7.4- CONTROLE ESTRUTURAL

O controle estrutural das cavidades discutido no capítulo 6.4 demonstra que o controle do fluxo subterrâneo se dá preferencialmente seguindo os planos estratigráficos possivelmente condicionados por níveis mais ricos em mica. Essa influência também se manifesta no que diz respeito aos aspectos morfológicos das cavidades, como por exemplo, o padrão das formas dos condutos já mencionados anteriormente, mas também em relação aos padrões planimétrico e em perfil das cavernas investigadas.

Em planta observa-se que muitas cavernas tais como a Gruta Baixada das Crioulas II, a Gruta dos Milagres II, a Toca do Funil II e a Toca da Esteira apresentam padrão retilíneo. A maior parte das passagens dessas cavernas são controladas pelo mergulho das camadas da rocha (*dip*), com exceção do nível inferior da Toca da Esteira condicionado por fraturas verticalizadas em relação aos planos estratigráficos. Dessa forma, o controle estrutural parece exercer influência no desenvolvimento desse padrão.

No entanto, a Gruta dos Milagres I o padrão planimétrico é diferenciado, com presença de salões que se desenvolvem preferencialmente ao longo da foliação, especialmente seguindo níveis ricos em mica. Embora não muito desenvolvido, o padrão network (PALMER, 1991) pôde ser observado através de galerias retilíneas que se cruzam, com forte influência dos planos de fraturas.

A Gruta Baixada das Crioulas também se difere em relação às demais cavernas pela arquitetura morfológica dos seus condutos sinuosos. Esse padrão pode ser explicado em função das mudanças no controle estrutural de forma alternada entre o mergulho (*dip*) e a direção (*strike*) da foliação, possivelmente seguindo níveis mais ricos em mica na composição das rochas.

Devido ao predomínio do padrão planimétrico retilíneo identificado nas cavernas da área de estudo, com presença de pouca ou ausência de ramificações, observa-se que as mesmas tendem a desenvolver cursos d'água pouco hierarquizados. Mesmo a Gruta Baixada das Crioulas I que se destaca quanto a sua dimensão, apresenta apenas canais de primeira e segunda ordem. Destaca-se, entretanto, a presença de vários canalículos no interior das cavidades que possam vir a desenvolver condutos maiores e contribuir para a formação de redes de drenagem mais complexas.

O desenvolvimento das grutas, de um modo geral se dá a uma profundidade relativamente baixa, estando em média entre 14 e 29m de desnível, sem levar em consideração as cavidades muito pequenas com a Toca do Funil I, a Toca do Gentio e a Toquinha, que apresentam valores muito baixos, entre 1,5 e 4m de desnível. Já a Gruta

Baixada das Crioulas I está muito acima da média, com 75m de desnível. Esses valores estão associados ao mergulho dos planos estratigráficos, já que as galerias tendem a seguir essas estruturas. Os ângulos medidos para o mergulho desses planos variam em torno de 10° e 30° de inclinação, com exceção da Baixada das Crioulas I onde os valores são maiores, em torno de 30° e 40°, podendo alcançar 60° nas entradas.

Dessa forma, as cavernas da área de estudo pertencem ao grupo das grutas quartzíticas de frente de *cuesta*, comumente encontradas na América do Sul (AULER, 2004). Diferentemente das cavernas quartzíticas verticalizadas desenvolvidas ao longo de fissuras verticais, essas grutas ocorrem em topografias mais suaves e tendem a seguir planos paralelos à topografia externa.

As cavernas também se caracterizam por apresentar suaves inclinações ao longo de suas galerias, com ressalva para a Gruta Baixada das Crioulas I e a Toca da Esteira, esta devido à presença do conduto vertical. As inclinações registradas no interior das cavidades são decorrentes de processos de abatimentos observados principalmente na Gruta dos Milagres I e na Gruta Baixada das Crioulas I, mas, sobretudo em função de mudanças estruturais que alteram significativamente o perfil longitudinal das cavernas de forma geral, muitas vezes, proporcionando o aumento do gradiente hidráulico.

8 - EPELEOTEMAS

Os espeleotemas são depósitos secundários de minerais que compõem as rochas, mais comumente descritos em cavernas carbonáticas. Espeleotemas de sílica não são raros e ocorrem em cavernas areníticas, quartzíticas e graníticas em todo o mundo. Assumem variedades de formas resultantes de processos complexos ainda pouco compreendidos. Ainda que de dimensões milimétricas, sua simples presença sugere a possibilidade de haver dissolução da rocha (WRAY, 1997b).

Esses depósitos químicos podem ser encontrados em praticamente todas as cavernas investigadas nessa pesquisa. Os mais recorrentes apresentam características morfológicas que permitem classificá-los como coralóides, de formatos muito diversificados (Figura 75).

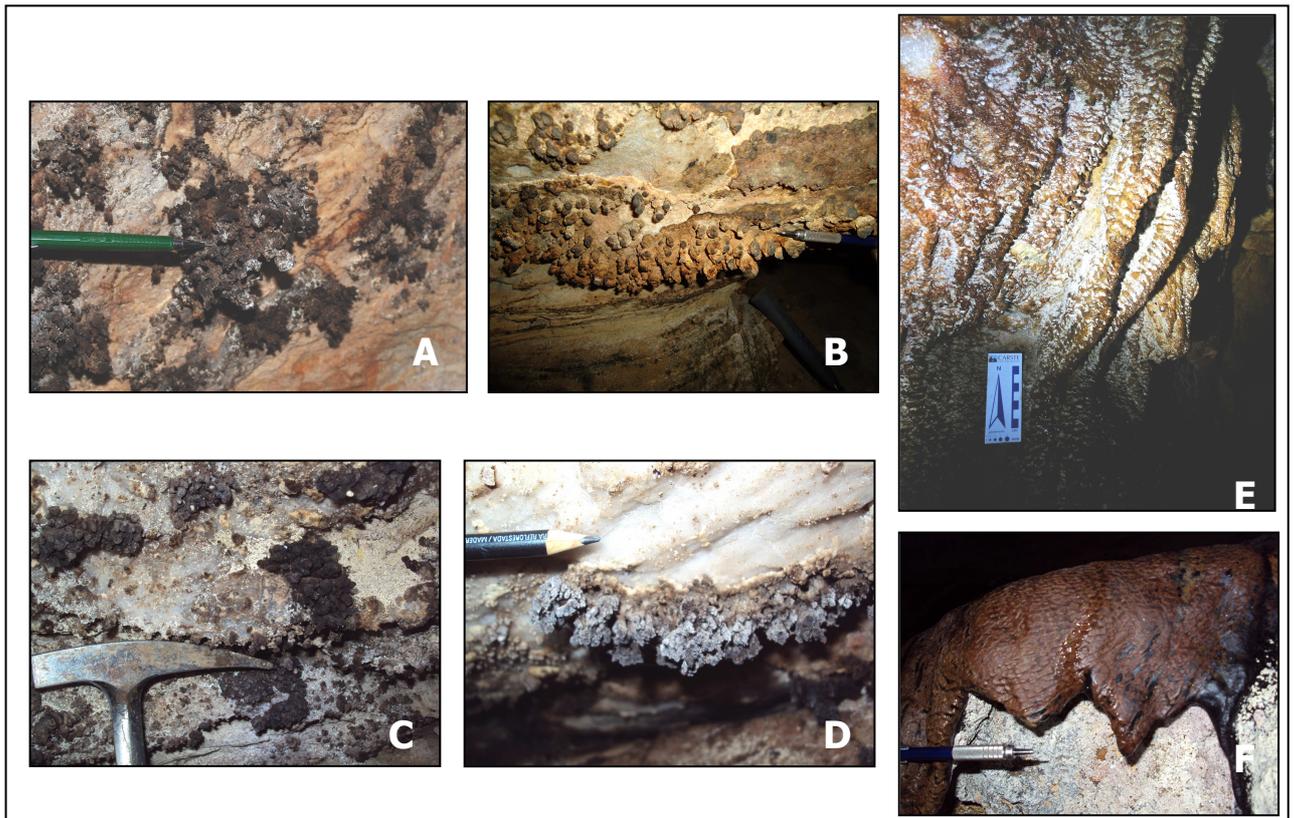
De forma geral, os espeleotemas encontrados nas cavernas estudadas podem ocorrer individualmente ou agrupados podendo ocorrer em amplas áreas. Não é comum observá-los em juntas, fraturas ou outros lineamentos. Wray (1999) descreve condições semelhantes para os coralóides de sílica em cavernas areníticas no sudeste da Austrália. Segundo este autor tal distribuição sugere uma movimentação da água através do volume da rocha e não ao longo de zonas preferenciais de permeabilidade.

A cor dos espeleotemas é bastante variável devida à presença de impurezas (WRAY, 1999) possivelmente composta por óxido de ferro, manganês, poeira e matéria orgânica. Os tons desses depósitos comumente observados são marrom escuro, preto, acinzentado, alaranjado e mais raramente a cor branca.

Em termos de composição e microestrutura os espeleotemas analisados não parecem apresentar grandes diferenças. De acordo com as análises de difratometria de raios-X e lâminas delgadas em microscópio óptico verificou-se que são compostos basicamente de sílica presente nas formas de quartzo e opala-A. Vários espectros analisados apresentam uma curva¹ que apresenta crescimento a partir 18° e decréscimo em 24° aproximadamente, onde é registrada a ocorrência de opala – A Finlayson *et al* (1995 *apud* WRAY, 1997b; 1999; WIEGAND *et al.*, 2004).

¹ O material amorfo aparece no difratograma de raio-X em forma de curva. Diferentemente do mineral cristalino que é indicado por picos.

Figura 75. Diferentes tipos de espeleotemas encontrados nas cavernas da área de estudo.



**A, B, C e D - Coralódés;
E – Cortina serrilhada;
F - Estalactites**

Quanto à estrutura interna desses depósitos, observa-se que se organizam em camadas de crescimento concêntrico. Diferentemente dos espeleotemas em calcita, a precipitação da opala não ocorre por liberação de gás, mas por evaporação. As forças de capilaridade e gravidade atraem pequenos volumes de água para superfície da rocha onde evaporam, depositando finas camadas de sílica amorfa. Repetidos ciclos de evaporação e deposição de opala-A levam ao desenvolvimento de camadas que formam os espeleotemas. Já a presença de grãos de quartzo, principalmente na base dos depósitos são derivados da rocha hospedeira (WRAY, 1997b;1999).

Espeleotemas de sílica com características semelhantes as descrita acima foram descritos na literatura (WRAY, 1997;1999; WIEGAND *et al.*, 2004; ROMANÍ *et al.*, 2005; J. LUNDBERG; 2010).

Romaní *et al* (2003) descrevem espeleotemas de sílica, nos quais bactérias induzem a dissolução dos grãos de quartzo, transformando este mineral em sílica biogênica

(opala – A), que é quinze vezes mais solúvel que o quartzo (KRAUSKOPF, 1956; BENNET, 1991).

Lundberg *et al* (2010) estudaram as diferentes camadas de bioespeleotema da Caverna Charles Brewer nos *Tepuys*, as quais implicam na possibilidade de registros paleoambientais, assim como os espeleotemas desenvolvidos em rochas carbonáticas. Com base em datações de U-Th os autores verificaram que essas camadas estão relacionadas a ciclos mais úmidos e secos, fortemente associadas com períodos glaciais e interglaciais.

Em função do mecanismo de formação desses espeleotemas por evaporação, a sua ocorrência é comumente observada em condutos onde o fluxo de ar é mais intenso, o que levaria a evaporação da água mais rapidamente, ocasionado a precipitação do mineral dissolvido. A Gruta Baixada das Crioulas I oferece essas condições, onde se observa uma grande variedade desses depósitos.

Alguns tipos de coralóides são descritos e analisados a seguir segundo a sua composição, morfologia externa e estrutura microscópica.

Estalactites

Diferentes formas de estalactites podem ser observadas no interior das cavidades. Aquelas mais freqüentes, já descritas em outras cavernas (WRAY, 1999), são as do tipo erráticas ou com filamentos (Figura 75 a;c;d), em forma de bulbos ou “pipoca” (*popcorn*) (Figura 75b) e cônicas (Figura 76).

Estalactites cônicas afinam suavemente da base à ponta e, embora sejam bastante similares em relação àquelas em calcita não apresentam um duto central por onde a água circula, além de serem bem menores tanto no comprimento como na largura (WRAY, 1999).

Externamente podem apresentar cor marrom escura, muito provavelmente devida a presença de matéria orgânica ou de forma mais pura, com coloração branca. Independentemente da cor, a parte externa (camada fina que reveste o espeleotema) de ambas as estalactites é composta basicamente de opala-A (Figura 78). Já a porção interna (qualquer parte que não seja a externa) é composta tanto por opala-A quanto quartzo (Figura 77).

Figura 76. Estalactites coletadas no teto da Gruta Baixada das Crioulas I, de coloração marrom escura e branca (a amostra apresenta tom amarelado por sofrer alterações em ambiente externo à cavidade).

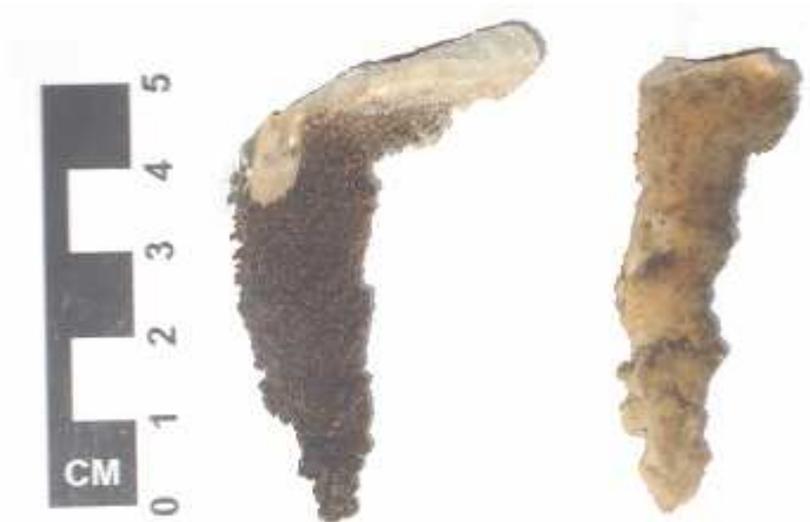


Figura 77. Difratoograma de raio-X relativa à parte externas das estalactites marrom escura e branca. O padrão é típico de opala-A, sem picos característicos de estrutura cristalina.

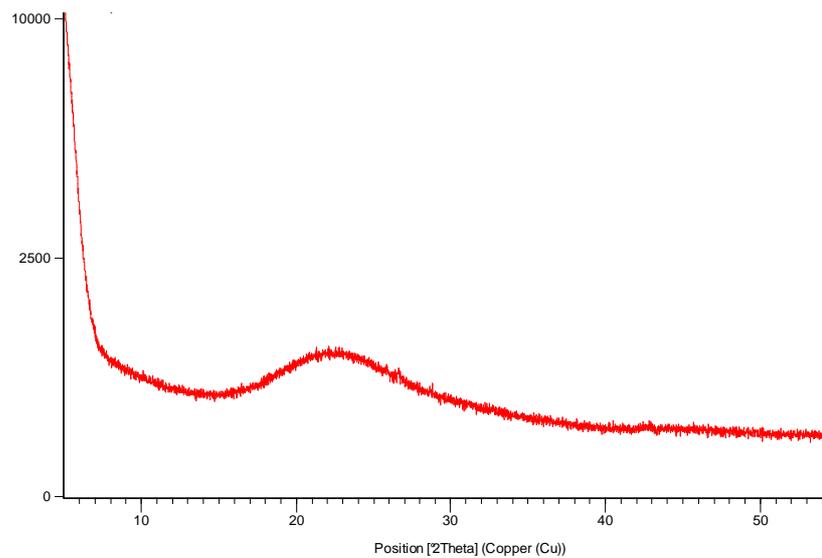


Figura 78. Difratoograma de raio-X da parte interna da estalactite marrom escura. Observa-se a presença uma curva relativa à sílica amorfa, opala-A e picos de quartzo.

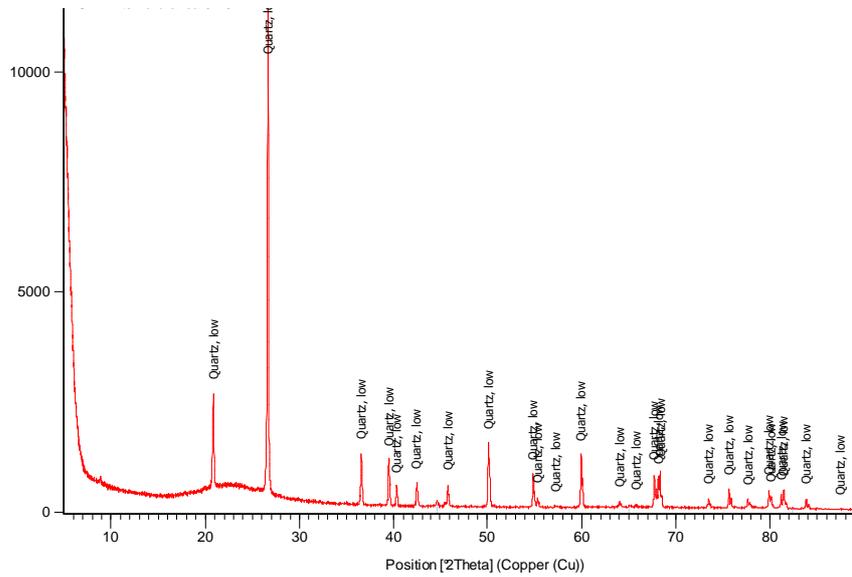
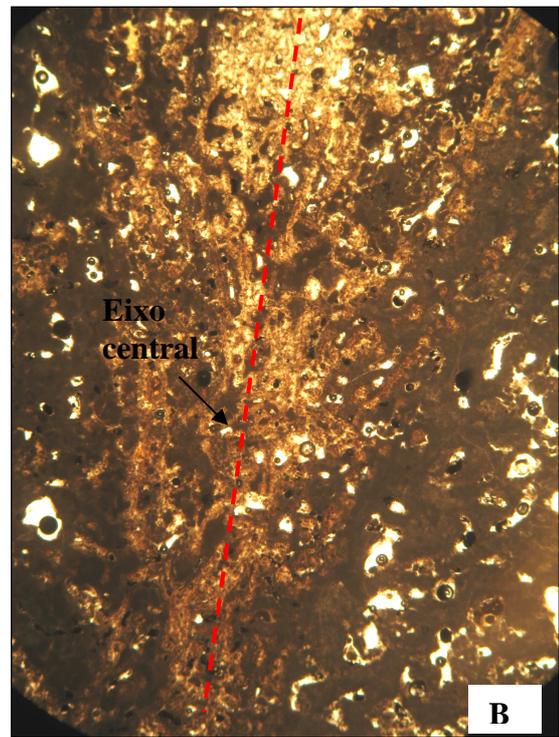
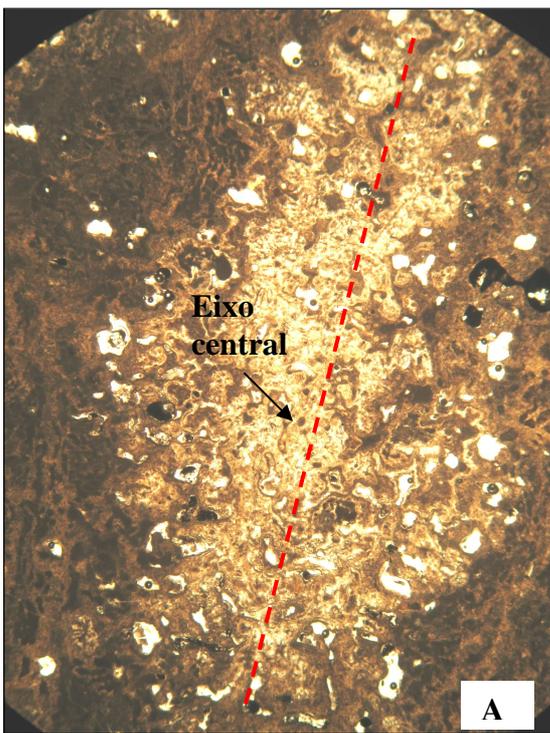


Figura 79. Fotomicrografia da estalactite de cor branca (A) e de cor marrom escura (B). Observa-se sucessivas camadas irregulares paralelas ao eixo central. Os espaços em branco representam vazios.



Quanto à estrutura interna das estalactites observam-se sucessivas camadas irregulares de opala que se acumulam na superfície externa entorno ao eixo central dos espeleotemas (Figuras 79). Não foi observada a presença de um duto central por onde a água circularia. Estalactites com microestruturas internas semelhantes a essas foram descritas por Wray (1997b). Dessa forma, a formação dessas estalactites se difere em relação àquelas de calcita denominadas “canudo de refresco” (Ford *et al*, 1989).

Coralóides

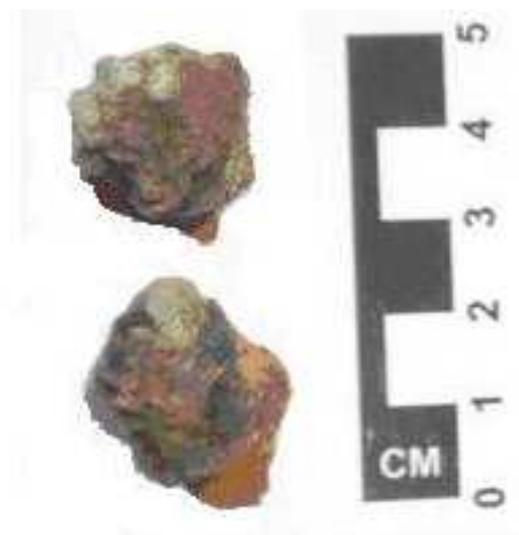
Coralóides desenvolvidos no piso das cavernas são espeleotemas que se desenvolvem contra a ação da gravidade, por atração capilar da água através de aberturas na rocha (Figuras 80 e 81). Morfologicamente se diferem muito das estalagmites carbonáticas e não se desenvolvem da mesma forma convencional por gotejamento (Romaní *et al*, 2003).

Esses espeleotemas também assumem formas bastante variadas e de dimensões muito reduzidas (dificilmente ultrapassam cinco centímetros). Destaca-se a presença de guano em uma das amostras coletadas (Figura 81), no qual pode-se atribuir uma possível participação biológica no desenvolvimento desse espeleotema.



Figura 80. Coralóide do tipo “cogumelo”, de coloração marrom escura, coletado no piso da Gruta Baixada das Crioulas I.

Figura 81. Coralóides de coloração marrom escura, localizados sobre um bloco abatido na Gruta dos Milagres II, com presença de guano.



Em termos de composição esses espeleotemas não se diferem dos demais, uma vez que se observa o predomínio de sílica nas formas de quartzo e opala-A em sua constituição (Figuras 82 e 83). Embora não tenha sido diagnosticado através da difração de raio-X, as análises das lâminas indicam a possível presença de palhetas de mica (possivelmente sericita) na constituição de uma das amostras, provavelmente de origem detrítica (Figura 84).

Figura 82. Difratoograma de raio-X no coralóide do tipo “cogumelo”. Observa-se a presença de uma curva suave que representa a sílica amorfa, opala-A e picos de quartzo.

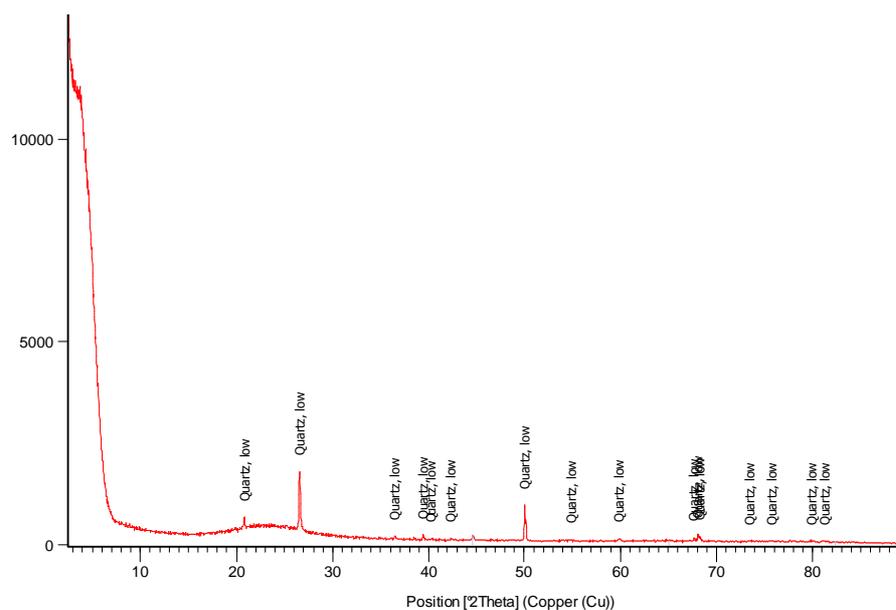
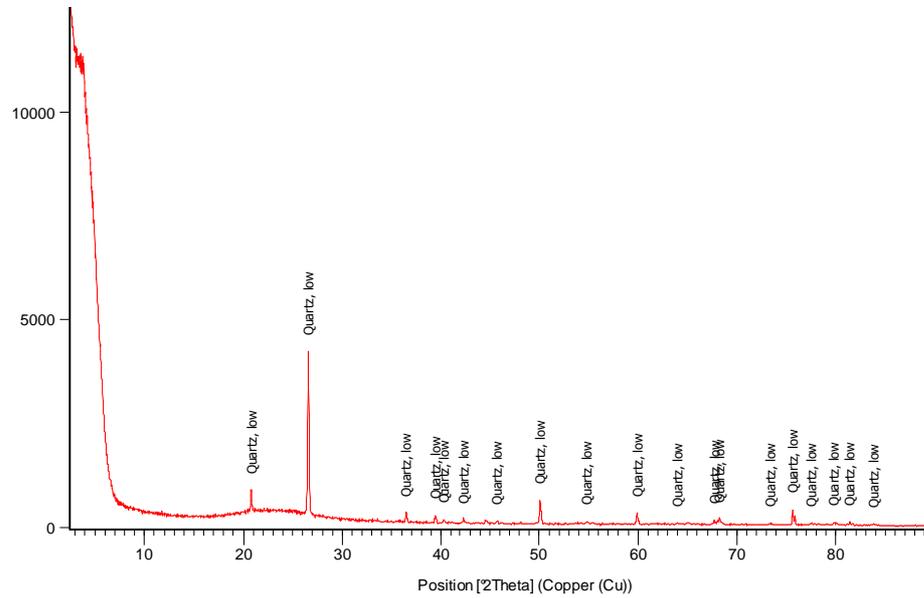


Figura 83. Difratoograma de raio-X em espeleotema coletado na Gruta dos Milagres II. Observa-se a presença de uma curva que representa a sílica amorfa, opala-A e picos de quartzo.



Quanto à estrutura interna desses espeleotemas, camadas de crescimentos concêntricos de amplitudes variadas também podem ser observadas microscopicamente. Variações no crescimento desses espeleotemas parecem estar associadas a diferentes fases de deposição de sílica (Figuras 84 e 85).

Figura 84. Fotomicrografia com polarização do coralóide tipo “cogumelo”. Grãos de quartzo aparecem na cor branca. As finas palhetas de mica aparecem na imagem na cor marrom clara, orientadas segundo as camadas de sílica amorfa.

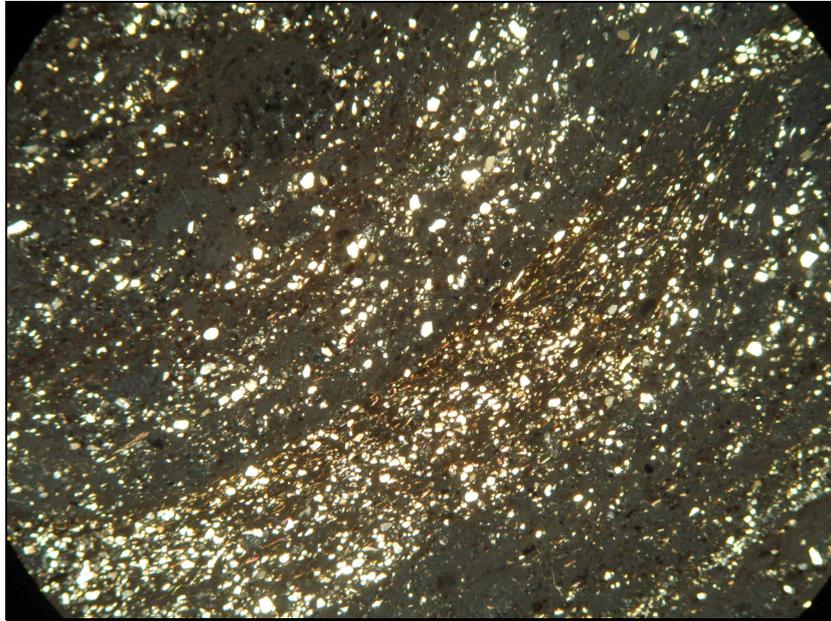
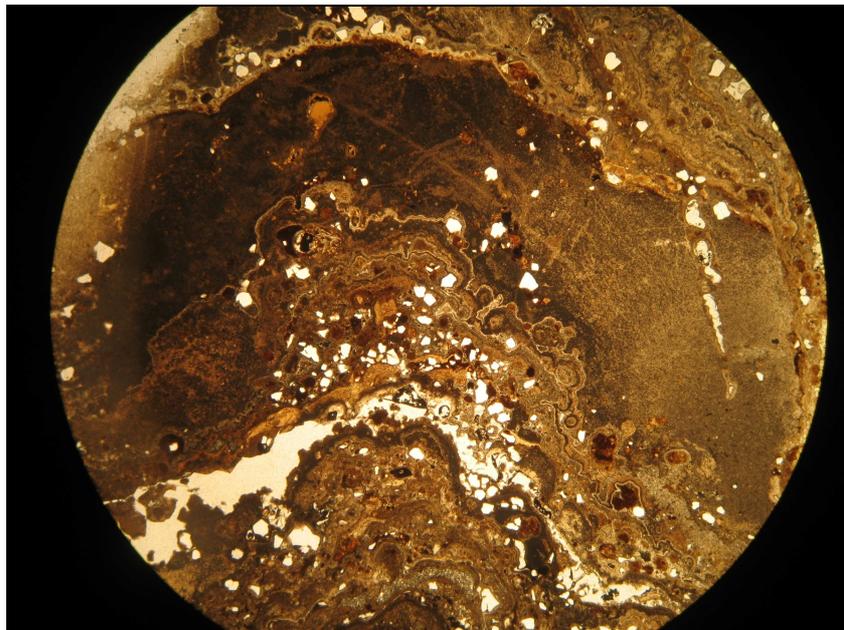


Figura 85. Fotomicrografia do coralóide coletado na Gruta dos Milagres II. Grãos de quartzo aparecem na cor branca de forma aleatória, inseridos nas camadas de opala-A.



Outros espeleotemas

Crostas milimétricas que se assemelham a microtravertinos, de coloração avermelhada, variando de tons de laranja para marrom foram observadas no interior das Grutas Baixada das Crioulas I e II, e na Toca da Esteira (Foto 17). Corrêa Neto *et al*(1997) os caracteriza como sendo argila expansivas de alta capacidade de hidratação, que leva a sua expansão. Esse material encontra-se sempre associado à água corrente, mesmo que sazonal.



Foto 17. Microtravertinos localizados nas paredes na Toca da Esteira.

Escala da Foto: 1,3m de altura
0,7m de largura

De acordo com os resultados obtidos através da difração de raio-X, detectou-se a presença somente do mineral quartzo (Figura 86). Entretanto, durante o processo de preparação da amostra não foi possível separar a fração argila da fração pesada. Já análise em microscópio óptico observa-se que possivelmente, esse material é composto por minerais tamanho argila (Figura 87).

Corrêa Neto *et al* (1997) com base em análises de difratometria de raios-X, mostram ainda que além das argilas expansivas, mineralogicamente, os microtravertinos estão constituídos por allofana e/ou bauxita amorfa. A ocorrência freqüente dessas crostas no interior das cavidades representa para esses autores uma evidência da alteração de aluminossilicatos (micas e feldspatos).

Figura 86. Difratoograma de raio-X do microtravertino coletado na Gruta Baixada das Crioulas I, com presença de pico de quartzo

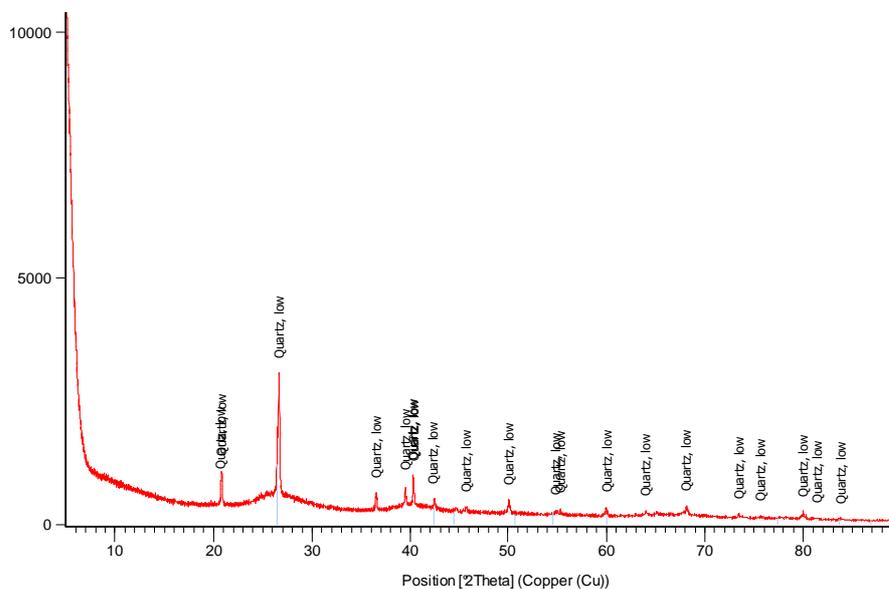
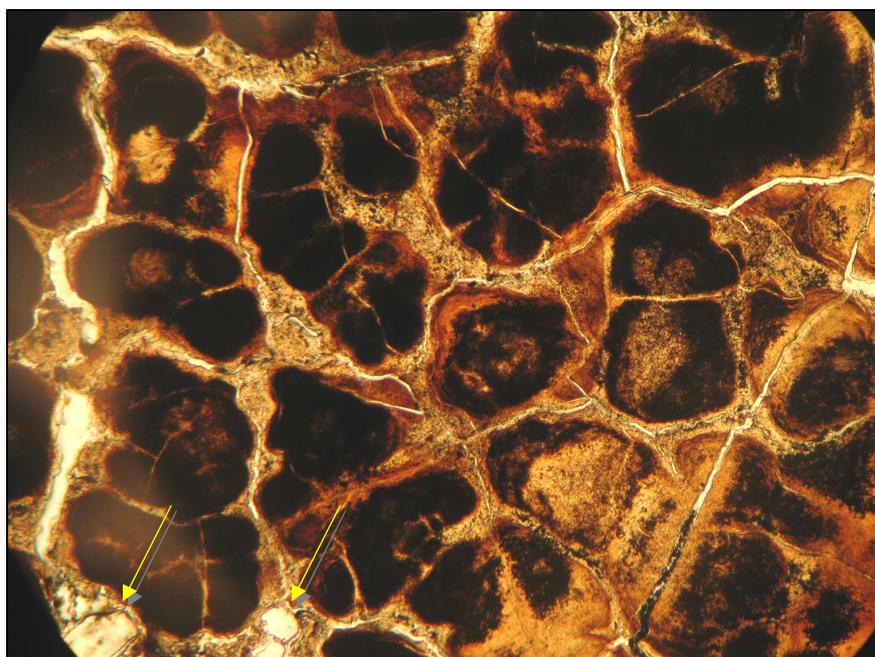


Figura 87. Fotomicrografia dos microtravertinos coletados na Gruta Baixada das Crioulas I. Grãos de quartzo transportados aparecem destacados na figura.



Dessa forma, pode-se considerar que os espeleotemas analisados apresentam pouca variedade mineralógica, sendo constituídos basicamente de sílica amorfa (opala – A) e quartzo. Entretanto, esta análise trata-se apenas de um estudo preliminar e descritivo, sendo necessário estudos mais apurados acerca da origem e desenvolvimento desses depósitos.

9. ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Na análise morfométrica um grupo de 77 cavernas (dentre as quais uma parcela significativa foi analisada por Silva (2004)) foi estudado com base nos parâmetros descritos na metodologia. Incluí-se na análise dez grutas de Itambé do Mato Dentro (Tabela 6). A Gruta Braúna Seca foi desconsiderada dessa análise, pois os processos responsáveis pela sua gênese se diferem das restantes. Em relação às cavidades das outras áreas, os dados referentes às grutas Alaouf, Bocaína, Centenário e Fumaça não foram levados em conta, uma vez que destoam muito em relação às demais grutas, em relação aos parâmetros projeção horizontal e desnível. Estas pertencem ao grupo das grutas verticalizadas, desenvolvidas em descontinuidades tectônicas. Já as demais, referem-se ao que Auler (2004) define como grutas de frente de *cuesta*, correspondente a grande maioria das cavernas em rochas siliciclásticas encontradas até o momento.

Tabela 6. Grutas utilizadas na análise morfométrica, em negrito as grutas de Itambé do Mato Dentro.

Gruta	Localidade	Autor	Gruta	Localidade	Autor
Abrigo das Pinturas	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC	Gruta do Pião	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Abrigo do Cedro	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Gruta do Triângulo	Mariana, MG	SEE
Abrigo Porto de Areia I	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Gruta dos Coelhos	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Abrigo Porto de Areia II	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Gruta dos Milagres I	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Arco Verde	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Gruta dos Milagres II	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Areia Branca	Cuiabá, MT	GEIPECA	Gruta dos Moreiras	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Aroe Jarí	Chapada dos Guimarães, MT	IG/USP	Gruta dos Viajantes	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Bloco Supenso	Mariana, MG	GBPE	Inocente	Tamarana, PR	DGEO/UEL
Cacheira da Zilda	Carrancas, MG	SBE	Itambé	Altinópolis, SP	Martins
Captação de Água	Altinópolis, SP	Martins	Kiogo Brado	Chapada dos Guimarães, MT	IG/USP
Carimbado I	São Tomé das Letras, MG	GBPE	Mandebe	Luminárias, MG	SBE-UPE
Carimbado II	São Tomé das Letras, MG	GBPE	Moreiras	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Carrancas	Carrancas, MG	GBPE	Num sei I	Luminárias, MG	GBPE
Cedro I	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Num sei II	Luminárias, MG	GBPE
Cedro II	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Olho de Cabra	Altinópolis, SP	Martins

Cedro III	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Pião	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Cinco Bocas	Altinópolis, SP	Martins	Pobe Jarí	Chapada dos Guimarães, MT	IG/USP
Cortinas de Baixo	Carrancas, MG	SBE	Ponte de Pedra	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Cortinas	Carrancas, MG	SBE	Pôr- do- Sol	Catas Altas, MG	GBPE
Duas Bocas	Altinópolis, SP	Martins	Retiro Analândia	Analândia, SP	CAP
Fugitivos	Lima Duarte, MG	GBPE-GPME	Salitre	Diamantina, MG	SEE
Furna I	Mariana, MG	SEE	Serra Grande	Luminárias, MG	SBE-UPE
Gruta Baixada das Crioulas I	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC	Sertãozinho Alto	Altinópolis, SP	Martins
Gruta Baixada das Crioulas I	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC	Sertãozinho Baixo	Altinópolis, SP	Martins
Gruta da Água Santa	Presidente Juscelino, MG	SEE	Sete Salões	Santa Rita do Itueto, MG	GBPE
Gruta da Cruz	Lima Duarte, MG	GBPE-GPME	Sima do Sertão	Mariana, MG	SEE
Gruta da Torre	Mariana, MG	SEE	Síto	Minas Novas, MG	SEE
Gruta das Bromélias	Lima Duarte, MG	SCPE-CEG	Tamanduá I	Carbonita, MG	SEE
Gruta das Casas	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE	Tamanduá II	Carbonita, MG	SEE
Gruta das Dobras	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE	Toca	Itirapina	IG/USP
Gruta das Urtigas	São Jerônimo da Serra, PR	DGEO/UEL	Toca da Esteira	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Gruta do Buracão	Turmalina, MG	SEE	Toca do Funil I	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Gruta do Campo I	Luminárias, MG	SBE	Toca do Funil II	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Gruta do Campo II	Luminárias, MG	SBE-UPE	Toca do Gentio	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Gruta do Corujão	Turmalina, MG	SEE	Toquinha	Itambé do Mato Dentro, MG	Inst. do Carste e MEC
Gruta do Fazendão	Ipeúna, SP	Veríssimo e Spolare	Três Arcos	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE
Gruta do Lapão	Lençóis, BA	GBPE-IG/USP	Túnel Fradinhos	Altinópolis, SP	Martins
Gruta do Lobo	Luminárias, MG	SEE	Valú	Carbonita, MG	SEE
Gruta do Monjolinho	Lima Duarte, MG	GBPE-GMPE			

Abreviações: **CAP** – Clube Alpino Paulista; **CEG** – Centro Excursionista Guanabara; **DGEO/UEL** – Departamento de Geociências/Universidade Estadual de Londrina; **GBPE** – Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas; **GPME** – Grupo Pierre Martin de Pesquisas Espeleológicas; **GSBM** – Grupo Speleo Marcoule; **IG/USP** – Instituto de Geociências / Universidade de São Paulo; **MEC** – Meandros Espeleo Clube; **SBE** – Sociedade Brasileira de Espeleologia; **SEE** – Sociedade Excursionista Espeleológica; **SCPE** – Sociedade Carioca de Pesquisas Espeleológicas; **UPE** – União Paulista de Espeleologia.

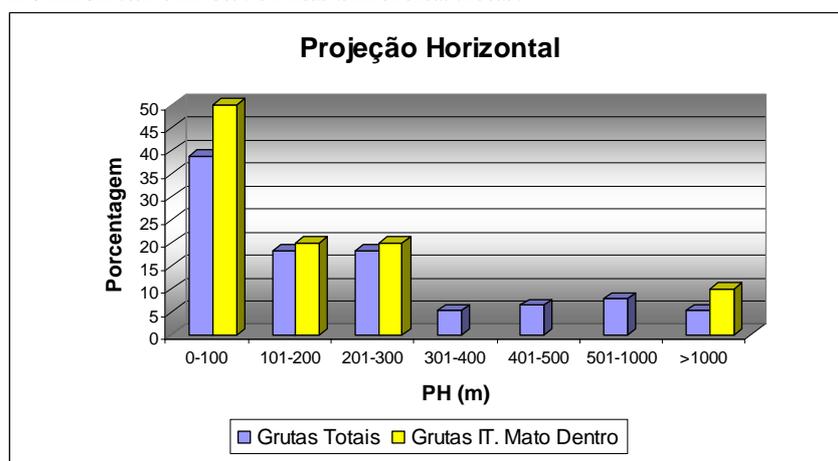
Fonte: adaptado de Silva (2004)

Projeção Horizontal

Como Silva (2004) havia concluído, as grutas desenvolvidas em rochas siliciclásticas, de modo geral apresentam baixo grau de desenvolvimento em relação às cavernas em calcário (Figura 88).

Com base nos dados obtidos, foi possível observar que grande parte das cavidades siliciclásticas, ou seja, 38,9% das grutas totais¹ não ultrapassam os 100m. Outro grupo expressivo de cavernas que representa 36,4% das grutas totais, está entre as faixas de 100-200m e 201-300m. Dessa forma, 75,3% das cavernas não ultrapassam os 300 metros de projeção horizontal, podendo ser consideradas pequenas. Já para as grutas de Itambé do Mato Dentro os resultados são bastante semelhantes, isto é, há um predomínio de cavernas inferiores a 100 metros de desenvolvimento relativo a 50%, enquanto que 40% está entre as faixas de 100-200m e 201-300m.

Figura 88. Gráfico de distribuição sobre a projeção horizontal em cavernas siliciclásticas.



Embora prevaleçam as cavidades pequenas, 12,9% das grutas totais superam os 500 metros, o que é bastante representativo para cavernas em rochas siliciclásticas, sendo que, 5,2% são maiores que 1km de desenvolvimento. Na área de estudo apenas uma amostra, a Gruta Baixa das Crioulas I de desenvolvimento superior a 1000 metros, que corresponde a 10% das cavernas da região, pode ser considerada como cavidade de grande porte.

¹ Entende-se como Grutas Totais o grupo de cavernas que será comparado com as grutas da área de estudo, analisado no trabalho de SILVA (2004).

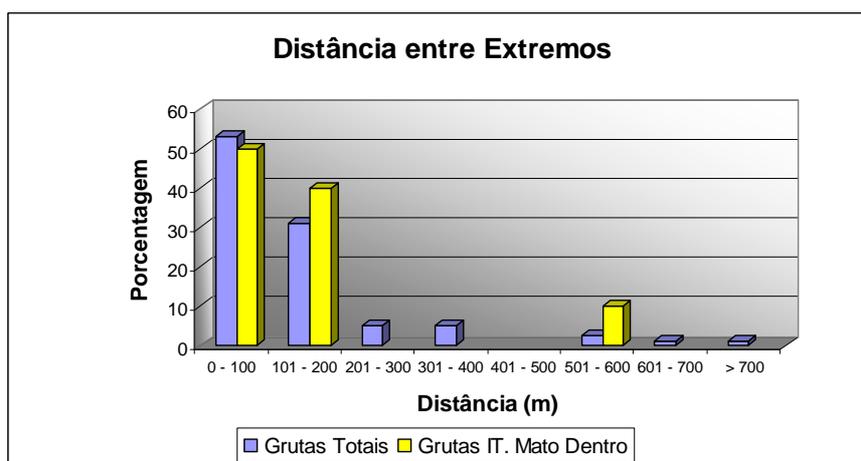
Distância entre extremos

Considerando que as grutas em rochas siliciclásticas são predominantemente pequenas, era de se esperar que tal tendência seria observada também para o parâmetro de distância entre extremos (Figura 89).

Os dados demonstram que tanto para as grutas totais como para as cavernas em Itambé do Mato Dentro, a distância entre extremos não ultrapassam os 100 metros, podendo ser confirmadas pelos valores 53,2% e 50 %, respectivamente.

Embora haja uma correlação entre os parâmetros projeção horizontal e distância entre extremos, que será melhor analisada a seguir, é interessante observar que o mesmo não se aplica às cavidades maiores. Para elas, em grande parte, a distância é menor em relação ao seu desenvolvimento, possivelmente pela existência de condutos laterais ao principal.

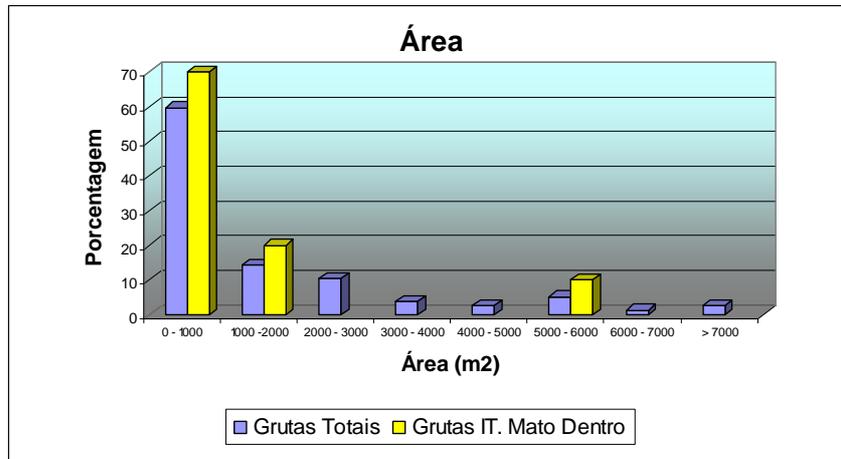
Figura 89. Gráfico de distribuição de distância entre extremos em grutas siliciclásticas.



Área

Após a apuração dos dados, é possível perceber que o parâmetro área também se correlaciona com a projeção horizontal. Os resultados mostram que 59,7% das grutas totais ocupam área inferiores à 1000 metros quadrados, assim como a grande maioria das cavernas da área de estudo, representadas por 70%. O percentual reduz fortemente em direção as classes de áreas cujos valores são mais elevados (Figura 90).

Figura 90. Gráfico de distribuição da área em cavernas siliciclásticas.

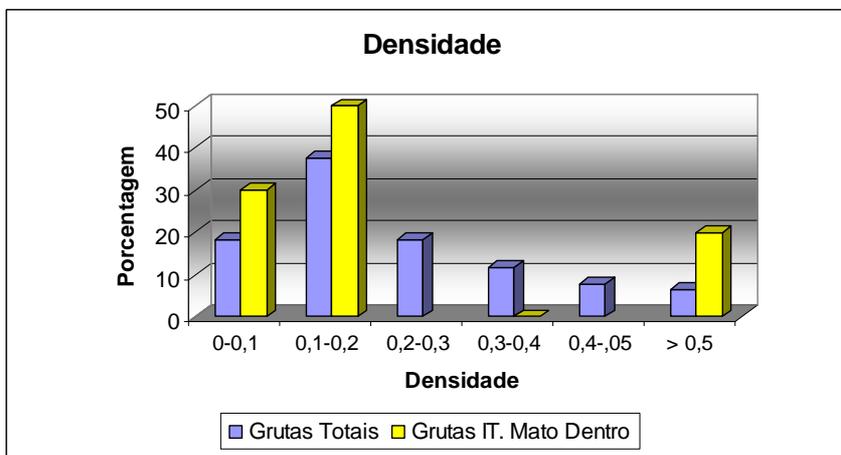


Densidade

Com base nos dados analisados (Figura 91), conclui-se que para as grutas totais predominam as densidades de áreas situadas entre 0,1 – 0,2, contabilizando esta faixa em 37,7%. Registra-se também uma boa representatividade para faixas 0 – 0,1 e 0,2 – 0,3, que juntas somam o percentual de 36,4%. A partir da terceira classe, no entanto, o percentual tende a decrescer.

Sobre as cavernas de Itambé do Mato Dentro, os resultados são muito similares, há o predomínio da segunda classe, com 50%, sendo que as densidades entre 0 – 0,1, também são significativas, com 30%. As grutas menores, entretanto, tendem a ocupar maior densidade de área.

Figura 91. Gráfico de distribuição de densidade em grutas siliciclásticas.

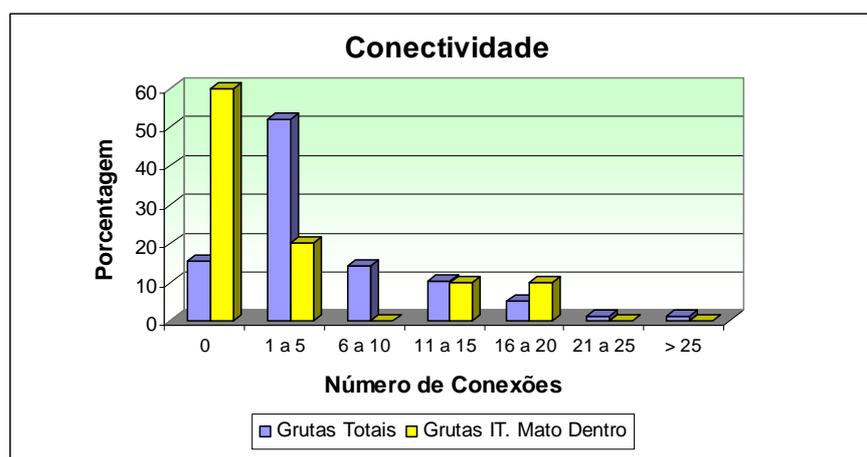


Conectividade

A partir da análise dos resultados deste parâmetro observa-se que as cavernas em rochas siliciclásticas tendem a apresentar baixa conectividade (Figura 92). Os números mostram que 51,9% das grutas totais exibem um número pequeno de conexões, entre 1 a 5%. Pelo fato das grutas apresentarem baixo desenvolvimento, há uma forte tendência em possuir menos ramificações. Esta relação será melhor explicada mais adiante.

Embora haja uma forte tendência para baixa conectividade, a porcentagem de cavernas que apresentam nenhuma conectividade é representada por apenas 15,6% do total. Diferentemente das demais, 60% das cavernas estudadas apresentam ausência de conexões.

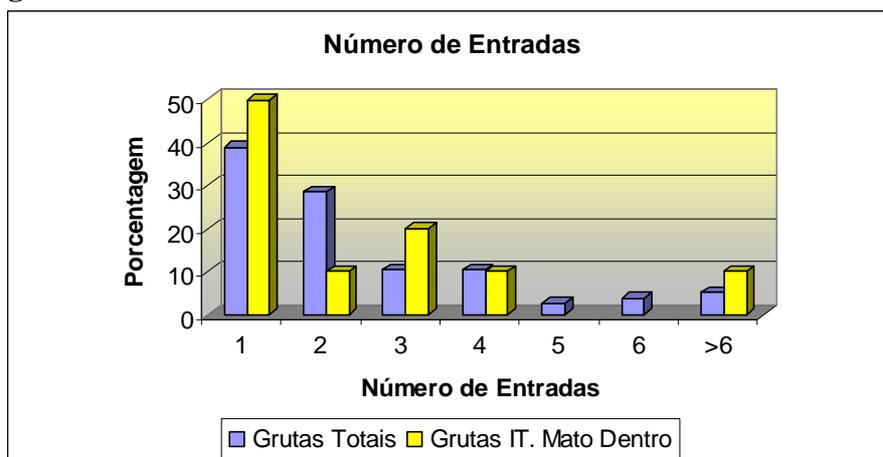
Figura 92. Gráfico de distribuição sobre conectividade em cavernas siliciclásticas.



Número de Entradas

De acordo com os resultados deste parâmetro (Figura 93), houve um predomínio de cavernas com apenas uma entrada, com 38,9% das grutas totais. Outro grupo significativo de grutas foi aquele com duas entradas, representado por 28,6%. Em relação às cavernas de Itambé do Mato Dentro, a distribuição entre as classes varia um pouco, mas a maior frequência também se dá com o grupo de uma entrada, representado por 50%, em função do seu pequeno desenvolvimento. Dessa forma, concluí-se, portanto, que, de forma geral, as grutas em rochas siliciclásticas tendem a apresentar um número reduzido de entradas.

Figura 93. Gráfico de distribuição do número de entradas em grutas siliciclásticas.



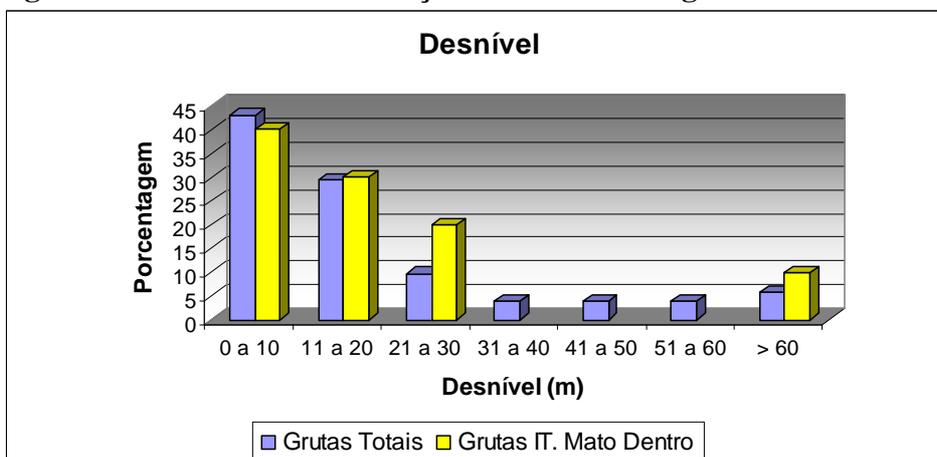
Desnível

Com exceção das cavernas verticalizadas da região da Serra do Caraça, Mariana, MG, que não foram consideradas para análise morfométrica, as cavernas em rochas siliciclásticas tendem a apresentar desníveis suaves (Figura 94).

De acordo com os dados, tanto as grutas totais quanto as grutas da área de estudo, se concentram na faixa de desnível entre 0-10 metros, representadas por 43,1% e 40%, respectivamente. Se considerarmos em até 20 metros de desnível, a porcentagem sobe para 83,1% e 70%.

As grutas de Itambé do Mato Dentro apresentaram inclinações predominantemente pouco acentuadas ao longo de suas galerias, pois, normalmente, são coincidentes com à direção e / ou mergulho dos planos estratigráficos que tendem a ser igualmente, pouco inclinados.

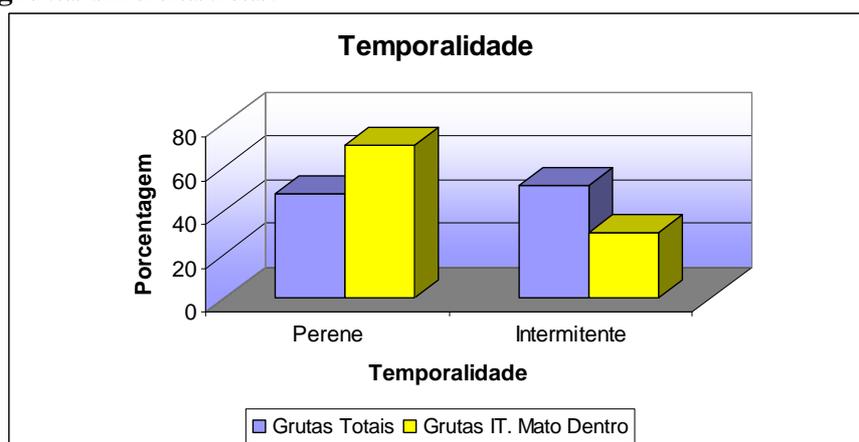
Figura 94. Gráfico de distribuição do desnível em grutas siliciclásticas.



Temporalidade

Para o parâmetro temporalidade foram definidas duas classes: a de drenagem permanente e a de drenagem temporária ou com ausência de drenagem, incluindo nesta categoria as cavernas que não apresentam informações em seus mapas (Figura 95) (SILVA, 2004).

Figura 95. Gráfico sobre temporalidade de fluxo hídrico nas grutas siliciclásticas.



Os dados revelam que 48,1% das grutas totais apresentam drenagem perene, enquanto que 51,9% possuem drenagem intermitente ou ausência de drenagem. Quanto as cavernas da área de estudo, as informações são mais precisas, pois puderam ser acessadas ao longo de todo o ano. Sobre as mesmas, os resultados mostram que 70% apresentam fluxo perene e, apenas 30% apresentam fluxo de caráter intermitente ou ausência de drenagem.

Origem do Fluxo

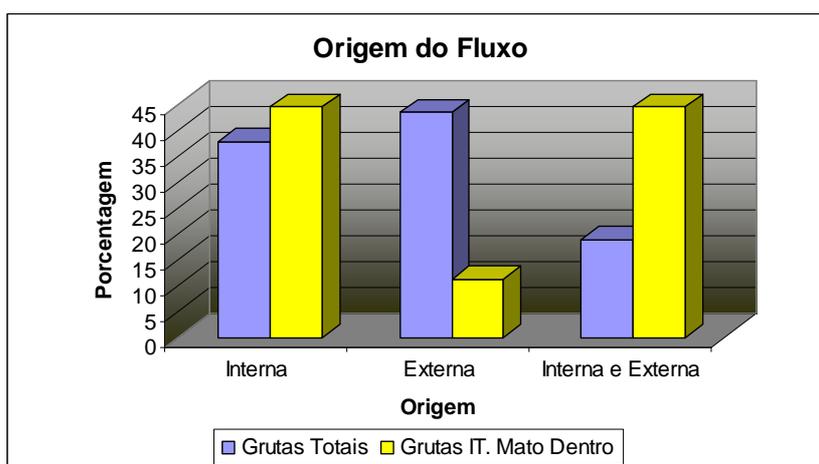
Com base apenas em informações cartográficas, torna-se difícil definir a origem do fluxo, principalmente em cavernas com fluxo intermitente. Dessa forma, com exceção das grutas de Ibitipoca e da área de estudo, para as grutas totais foram consideradas apenas aquelas com drenagem perene (SILVA, 2004).

Os dados amostrados (Figura 96) indicam que 37,7% das grutas totais apresentam fluxo de origem interna, ou seja, proveniente dos interstícios da rocha ou por porosidade secundária. A maioria, entretanto, com 43,4% do total, tem como fonte de

origem do curso d'água o meio externo. Para os 18,9% restantes, o tipo de recarga se dá tanto por origem externa quanto interna.

Quanto as grutas estudadas, 88,9% apresentam tipo origem do fluxo interno ou de ambas categorias, isto é, interna e externa. Uma fração mais reduzida, relativa à 11,1% possui fluxo de origem apenas externa.

Figura 96. Gráfico sobre origem de fluxo nas cavernas siliciclásticas.

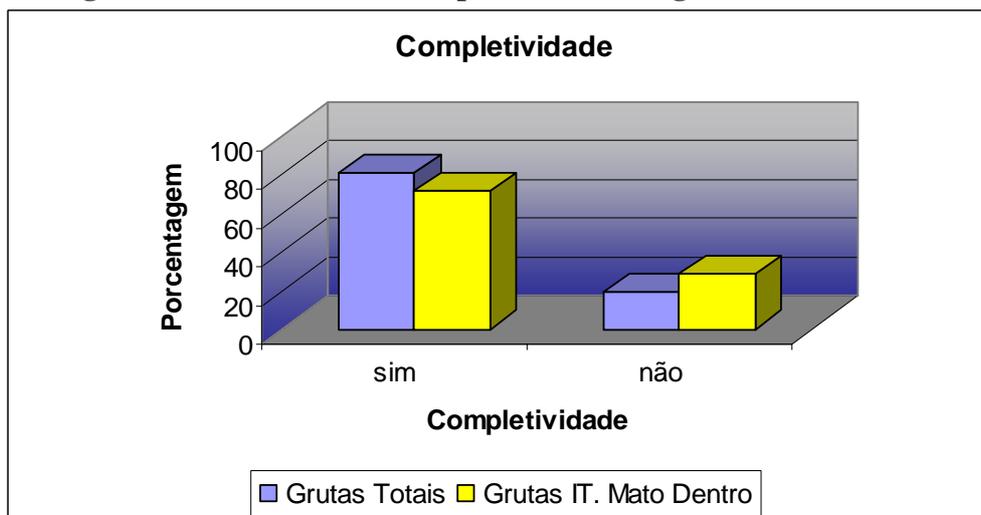


Completividade

Para este parâmetro também foram consideradas apenas as cavernas totais com escoamento perene. Em Ibitipoca e Itambé do Mato Dentro, entretanto, estas informações foram obtidas com maior precisão.

Os dados mostram que 80,9% das grutas totais possuem fluxo perene sem interrupções. Já em 19,4% o fluxo é interrompido por meio de sumidouro, infiltração em sedimentos ou dissipação por evaporação (SILVA, 2004). Resultados muito semelhantes foram obtidos para as grutas de Itambé do Mato Dentro, onde 71,4% das grutas possuem fluxos com rotas completas em seu interior e 28,6% não (Figura 97).

Figura 97. Gráfico sobre completividade das grutas siliciclásticas.

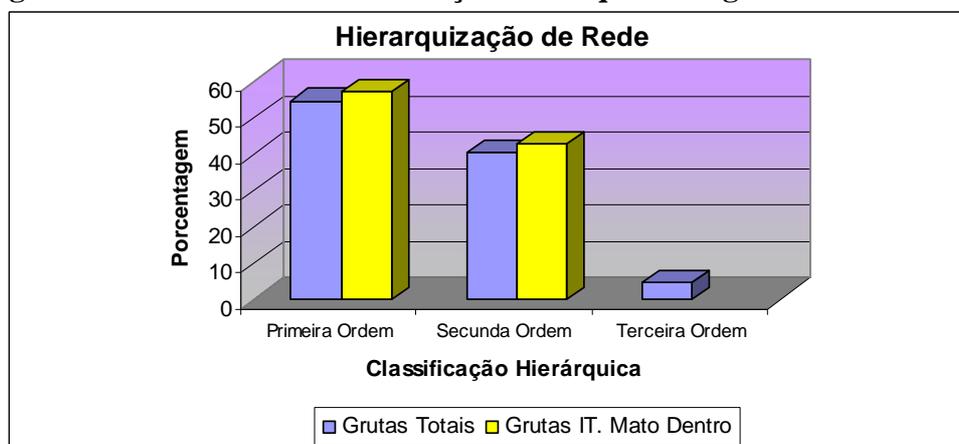


Hierarquização de Rede

Em relação à hierarquização de rede, também foram consideradas apenas as cavernas de fluxo permanente, tanto para o canal principal como para os tributários. A partir das análises verificou-se que as grutas em rochas siliciclásticas não tendem a desenvolver grandes redes hierarquizadas.

Os dados revelam que 54,8% das grutas totais apresentam apenas canais de primeira ordem, 40,8% canais de segunda ordem e apenas 4,8% apresentam redes mais complexas, compostas por canais de terceira ordem. Quanto às grutas da área de estudo, os resultados foram muito similares, pois 57,4% têm canal de primeira ordem, 42,9% desenvolvem canais de segunda ordem e nenhuma das cavidades chega a desenvolver canais de terceira ordem (Figura 98).

Figura 98. Gráfico sobre classificação hierárquica em grutas siliciclásticas.

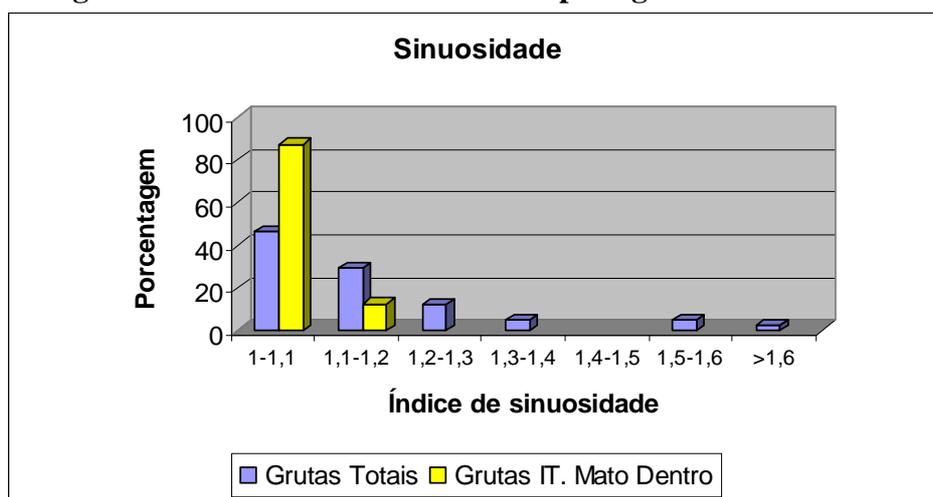


Sinuosidade

De acordo com os resultados observa-se que o grau de sinuosidade dos canais de drenagem das cavernas em rochas siliciclásticas não é muito grande, pois cerca de 46,3% das grutas totais apresentam índices inferiores a 1,1, o que significa dizer que percorrem trechos não superiores do que 10% do caminho teoricamente mais curto. Mesmo os valores mais elevados são relativamente baixos, sendo que o maior índice registrado é pouco superior a 1,6 (Figura 99). Sendo assim, os canais tendem a ser retilíneos, em função do forte controle existente na maior parte das cavidades.

Já os cursos que drenam as cavernas de Itambé do Mato Dentro também apresentam baixa sinuosidade, com índices muito próximo a 1. O maior valor encontrado é pouco superior a 1,1, relativa à maior cavidade, a Gruta Baixada das Crioulas I.

Figura 99. Gráfico sobre sinuosidade para grutas siliciclásticas.



Relações entre Parâmetros

A seguir foram realizadas correlações entre os parâmetros analisados. Esse procedimento teve como propósito obter um melhor entendimento sobre a inter-relação entre as diversas variáveis que influenciam na morfologia das cavernas siliciclásticas.

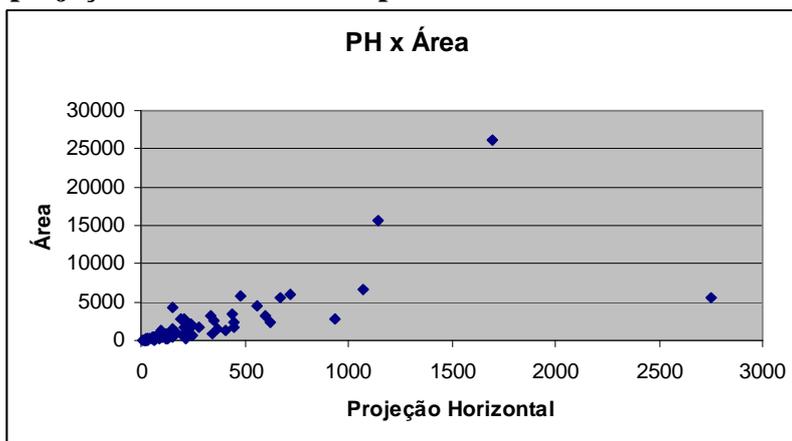
Projeção Horizontal como variável independente

Projeção Horizontal x Área

De acordo com os dados obtidos na análise, percebe-se que existe uma correlação moderada positiva para as grutas totais entre os parâmetros analisados, pois o valor de r foi de 0,71 (Figura 100). Silva (*op cit.*) ressalta o fato de que os pontos de maior

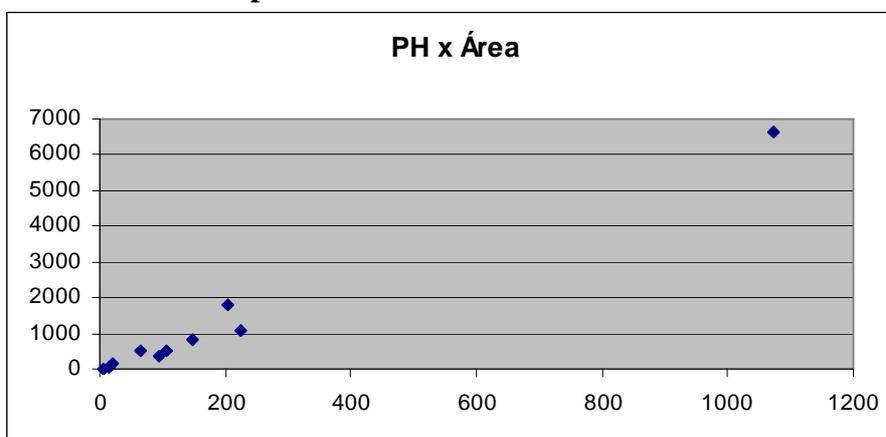
dispersão, para a amostragem das grutas totais, estão associados às cavernas maiores. Tal questão pode ser explicada em função de que as grandes cavidades tendem a desenvolver condutos mais estreitos. Exemplo claro disso pode ser observado para as grutas de Ibitipoca, onde a caverna com maior desenvolvimento, que é mais de quatro vezes superior à segunda, não apresenta a maior área, pois tem com características gerais condutos extensos, porém estreitos.

Figura 100. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e área para as Grutas totais.



Em relação às grutas de Itambé do Mato Dentro, o valor encontrado para r foi de 0,99, evidenciando uma correlação quase que direta entre os dois parâmetros analisados (Figura 101). Apesar da Gruta Baixada das Crioulas I ser considerada grande, não se caracteriza por apresentar preferencialmente condutos estreitos, mas amplos, o que torna sua área proporcional em relação ao seu desenvolvimento.

Figura 101: Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e área para as Grutas de Itambé do Mato Dentro.



Dentre os poucos pontos de anomalia encontrados na relação entre os parâmetros analisados, está a Toca da Esteira, que apesar de apresentar projeção horizontal maior que o Abrigo das Pinturas, possui área menor. Isto pode ser explicado pelo fato de que a Toca da Esteira se caracteriza por condutos retilíneos, porém estreitos fortemente condicionados por fraturas. Já o Abrigo das Pinturas se desenvolve ao longo de uma galeria ampla, controlada por planos estratigráficos.

Projeção Horizontal x Distância entre Extremos

A dimensão de uma caverna quase sempre não reflete sua extensão em linha reta, salvo as grutas com forte controle estrutural, que tendem a seguir seu desenvolvimento de forma retilínea.

O valor de correlação obtido para as grutas totais foi de 0,85, indicando uma correlação positiva forte (Figura 102). Sobres as grutas de Itambé do Mato Dentro, esta correlação é praticamente perfeita, com 0,98 (Figura 103). Entretanto, deve-se ressaltar que o valor da distância entre extremos das cavidades maiores como a Gruta Baixada das Crioulas I e II e a Gruta dos Milagres I reduziram consideravelmente, em alguns casos para a metade, em relação à sua medida de projeção horizontal. Isso se deve ao fato de que essas cavernas não seguem o padrão em planta retilíneo como as demais. A Gruta Baixada das Crioulas I apresenta trechos mais sinuosos e a Gruta dos Milagres I desenvolveu um grande salão.

Figura 102. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e distância entre extremos para as Grutas totais.

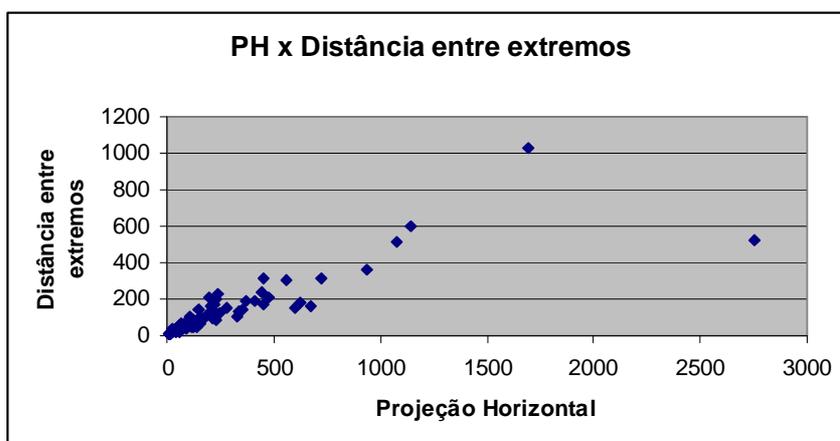
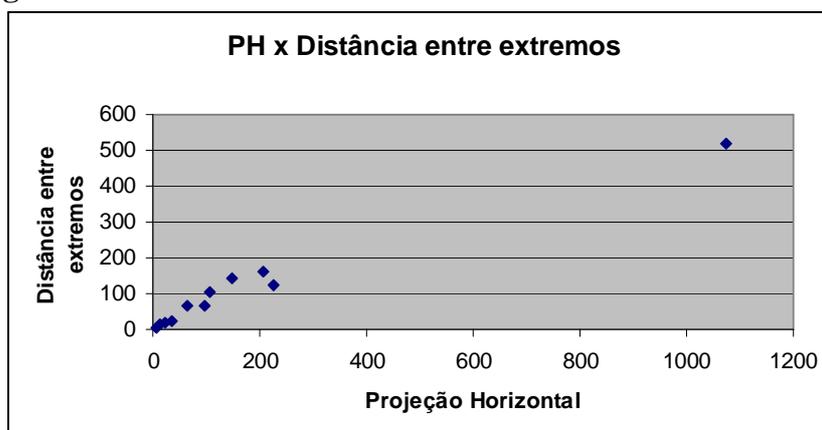


Figura 103. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e distância entre extremos para as grutas de Itambé do Mato Dentro.



Projeção Horizontal x Conectividade

Com base nos dados obtidos, observa-se uma forte correlação existente também entre os parâmetros projeção horizontal e conectividade, tanto para a totalidade de grutas como para as de Itambé do Mato Dentro, evidenciada pelos respectivos índices 0,84 e 0,89 (Figuras 104 e 105). Para as grutas totais essa relação se torna mais estreita quanto menor a dimensão das grutas. Quanto às grutas estudadas, aquelas com até 200m de projeção horizontal apresentam o predomínio de ausência de conectividade.

Segundo Silva (2004) esta condição possivelmente se deve ao fato de que as grutas em rochas siliciclásticas apresentam forte controle estrutural, normalmente seguindo planos de fraturas. Dessa forma, tendem a se tornar mais retilinizadas e pouco ramificadas. No entanto, as cavernas estudadas são condicionadas preferencialmente pelo mergulho da foliação ou acamamento. Já as fraturas apresentaram controle pouco significativo sobre o desenvolvimento das mesmas.

Figura 104. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e conectividade para as Grutas totais.

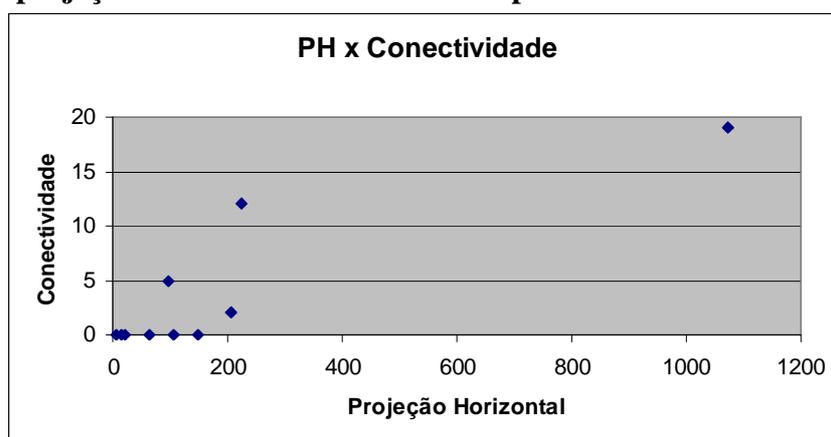
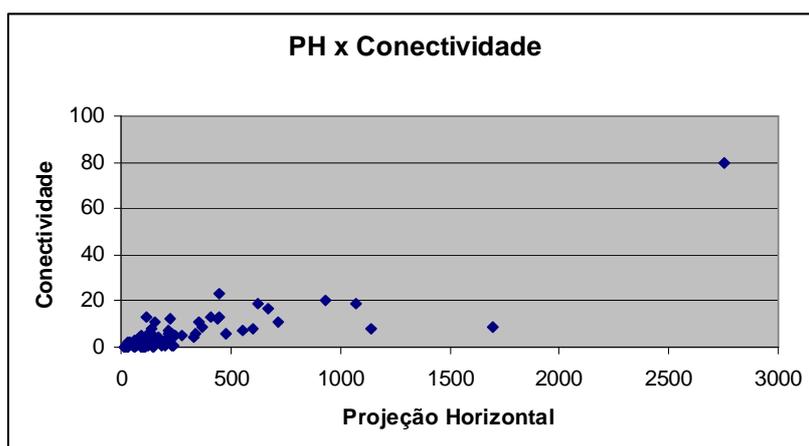


Figura 105. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e conectividade para as grutas de Itambé do Mato Dentro.



Outras variáveis

O cruzamento da variável Projeção Horizontal com as demais variáveis para as grutas totais, não apresentou uma boa correlação (Tabela 8). Os valores de r se mostraram baixos e, em alguns casos negativos, com correlação linear fraca.

Tabela 7. Valores de r para correlação entre Projeção Horizontal e outras variáveis.

Correlação	Valor de r
Projeção Horizontal x Densidade	-0,3
Projeção Horizontal x N° de Entradas	0,44
Projeção Horizontal x Desnível	0,57
Projeção Horizontal x Sinuosidade	0,26

O cruzamento dessas variáveis para as grutas de Itambé do Mato Dentro mostrou valores diferentes, em geral, com correlação positiva forte, com exceção da densidade, onde o $r = -0,32$. O mesmo também foi observado para as análises das grutas de Ibitipoca (SILVA, 2004).

A correlação existente entre tamanho da cavidade e número de entradas é forte, com valor de $r = 0,95$ (Figura 106). Na maioria dos casos, portanto, o número de entradas é diretamente proporcional ao desenvolvimento da cavidade, para o caso das cavernas da área de estudo.

A relação entre projeção horizontal e desnível também revelou resultados com correlação forte entre os dois parâmetros, com $r = 0,92$ (Figura 107). A interpretação dos dados mostra que quanto maior o desenvolvimento da caverna, maior será o seu desnível. Para o caso de Ibitipoca, este fato foi explicado em função do forte condicionamento estratigráfico que ocorre nas grutas (SILVA, 2004). O mesmo pode ser observado para as grutas de Itambé do Mato Dentro, com destaque para a Gruta Baixada das Crioulas I.

Figura 106. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e número de entradas para as grutas de Itambé do Mato Dentro.

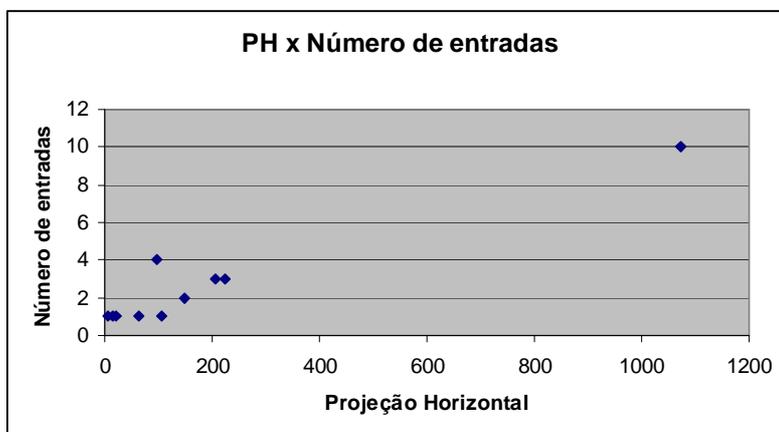
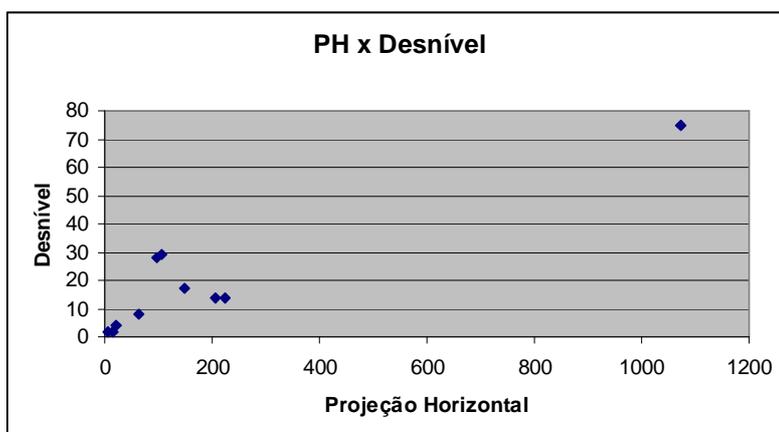


Figura 107. Gráfico de dispersão entre os parâmetros projeção horizontal e desnível para as grutas de Itambé do Mato Dentro.



Área como variável independente

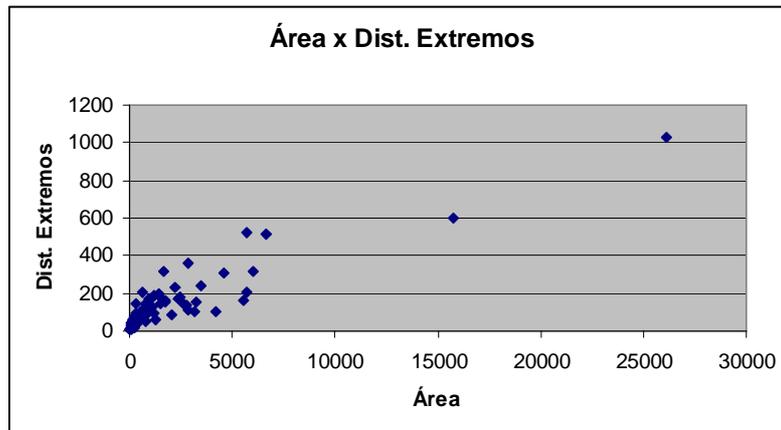
Os dados mostram que o parâmetro área como variável explicativa não obteve, de modo geral, uma boa correlação com as demais variáveis (Tabela 9). Exceto para a projeção horizontal (como foi dito anteriormente) e distância entre extremos.

Tabela 8. Valores de r para correlação entre área e outras variáveis.

Correlação	Valor de r
Área x Densidade	-0,17
Área x N° de Entradas	0,23
Área x Desnível	0,37
Área x Projeção Horizontal	0,71
Área x Conectividade	0,28
Área x Sinuosidade	0,15

O índice de correlação entre área e distância entre extremos foi o mais expressivo na análise entre as grutas totais. O valor de $r = 0,9$ indica uma forte correlação, mostrando que quanto maior área ocupada pela caverna, maior o valor entre suas extremidades (Figura 108). Para as cavernas de Itambé do Mato Dentro, o valor para r encontrado foi ainda mais elevado de 0,98, indicando uma relação quase perfeita (Figura 109).

Figura 108. Gráfico de dispersão entre os parâmetros área e distância entre extremos para as grutas totais.



Para as cavernas da área de estudo, entre os parâmetros área e desnível também foi encontrada uma correlação forte, com valor de $r = 0,9$ (Figura 110). Outra relação que se diferencia das grutas em geral, é aquela existente entre área e conectividade. O valor de $r = 0,83$ confirma uma correlação forte. Apesar da maior parte das grutas apresentar ausência de conectividade, demonstra que quanto maior a área da caverna, mais ramificações ela desenvolverá (Figura 111).

Ainda em relação às cavidade de Itambé do Mato Dentro, a única correlação fraca encontrada para o parâmetro área como variável independente, foi a variável densidade. O valor de $r = -0,31$, indica uma correlação negativa fraca.

Figura 109. Gráfico de dispersão entre os parâmetros área e distância entre extremos para as grutas de Itambé do Mato Dentro.

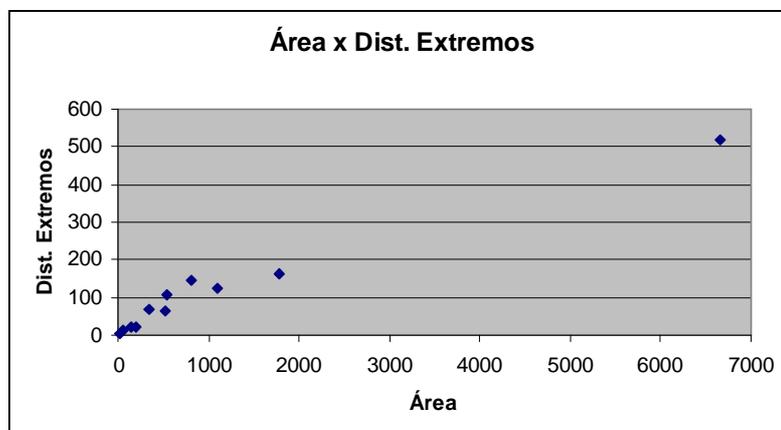


Figura 110. Gráfico de dispersão entre os parâmetros área e desnível para as grutas de Itambé do Mato Dentro.

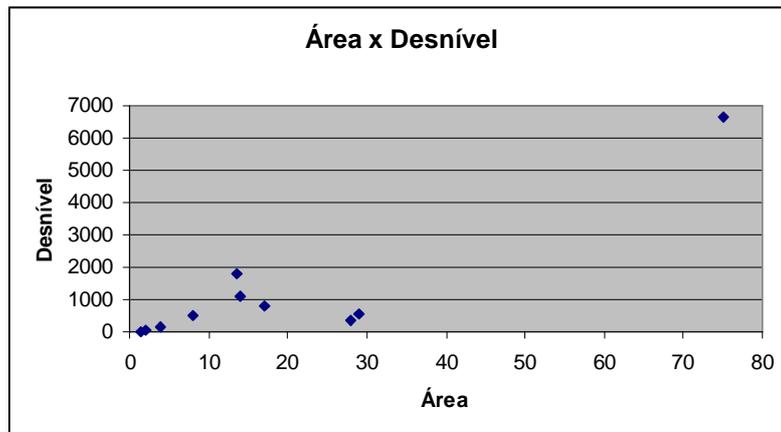
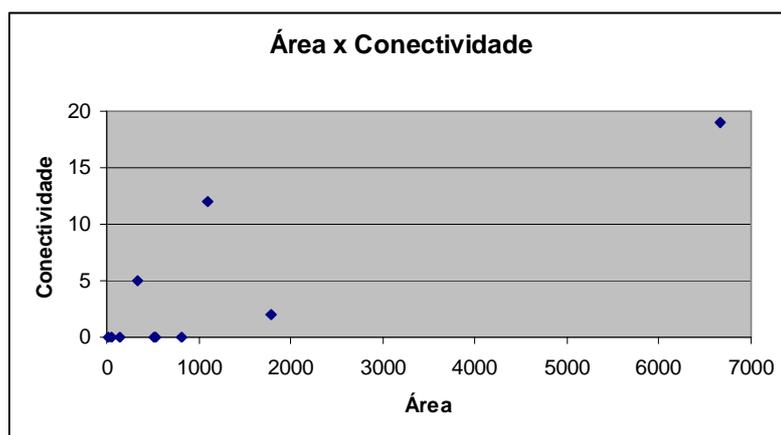


Figura 111. Gráfico de dispersão entre os parâmetros área e conectividade para as grutas de Itambé do Mato Dentro.



Densidade como variável independente

Para o parâmetro densidade como variável independente, pode-se constatar que a correlação deste com outras variáveis é fraca e moderada a fraca, sempre negativa tanto para as grutas totais como para as grutas de Itambé do Mato Dentro. Mesmo para a variável projeção horizontal, cuja relação se mostrou forte quando esta foi empregada como variável independente (Tabela 10).

Tabela 9. Valores de r para correlação entre densidade e outras variáveis.

Correlação	Valor de r para as Grutas Totais	Valor de r para as Grutas IT. Mato Dentro
Densidade x Projeção Horizontal	-0,3	-0,32
Densidade x Área	-0,17	-0,31
Densidade x Dist. Extremos	-0,36	-0,38
Densidade x Conectividade	-0,28	-0,35
Densidade x N° Entradas	-0,35	-0,34
Densidade x Desnível	-0,24	-0,39
Densidade x Sinuosidade	-0,21	-0,24

Distância entre extremos como variável independente

Para as Grutas totais, o parâmetro distância entre extremos como variável explicável, de forma geral, mostra correlação moderada a fraca em relação às demais variáveis. Exceto quando relacionada com as variáveis projeção horizontal e área, cuja correlação se mostra forte (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de r para correlação entre distância entre extremos e outras variáveis.

Correlação	Valor de r para as Grutas Totais	Valor de r para as Grutas IT. Mato Dentro
Dist. Extremos x Projeção Horizontal	0,84	0,99
Dist. Extremos x Área	0,9	0,99
Dist. Extremos x Densidade	-0,35	-0,38
Dist. Extremos x Conectividade	0,5	0,83
Dist. Extremos x N° Entradas	0,39	0,93
Dist. Extremos x Desnível	0,58	0,93
Dist. Extremos x Sinuosidade	0,21	0,93

Quanto as Grutas de Itambé do Mato Dentro, a correlação do parâmetro distância entre extremos com variável independente em relação as demais variáveis, apresenta índices de correlação forte. Exceto quando relacionado com a variável densidade, que apresentou correlação fraca negativa (Tabela 10).

A correlação entre distância entre extremos e conectividade apresentou um índice forte (Figura 112). Isto indica que, diferentemente das cavidades em geral, quanto maior a distância entre as extremidades, maior será o número de conexões. O mesmo pôde ser observado para as grutas estudadas na Serra do Ibitipoca (SILVA, 2004).

Para correlação entre distância entre extremos e número de entradas, também se verifica um índice forte (Figura 113). Ainda mais elevado em relação às grutas de Ibitipoca, que apresentou o valor de $r = 0,72$ (SILVA, 2004). Isto sugere que quanto maior for distância entre extremos, possivelmente maior será o numero de entradas.

Figura 112. Gráfico de dispersão entre os parâmetros distância entre extremos e conectividade para as grutas de Itambé do Mato Dentro.

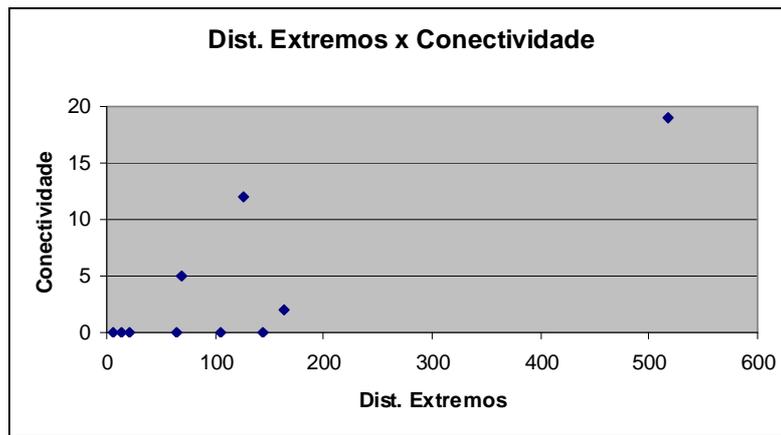
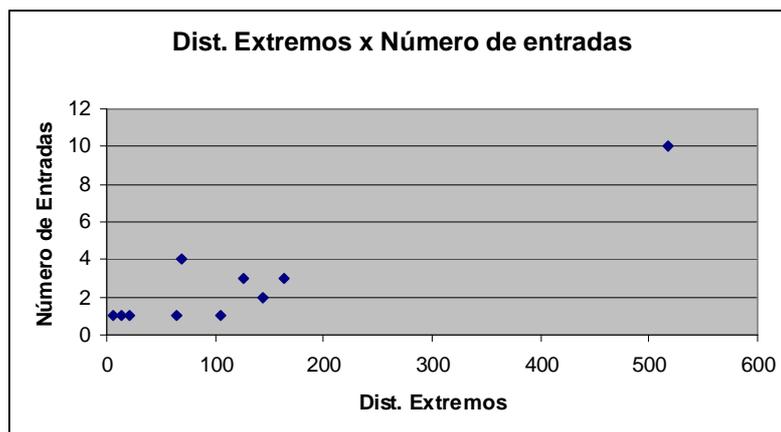


Figura 113. Gráfico de dispersão entre os parâmetros distância entre extremos e número de entradas para as grutas de Itambé do Mato Dentro.



Número de Entradas como variável independente

Ao empregar o parâmetro número de entradas como variável explicável, constatou-se que todas as correlações com as demais variáveis foram moderadas a fraca (Tabela 11). Isto demonstra que o parâmetro número de entradas é uma variável

independente das demais, com pouca ou mesmo com ausência de relação com os outros parâmetros.

Tabela 11. Valores de r para correlação entre distância entre extremos e outras variáveis.

Correlação	Valor de r para as Grutas Totais	Valor de r para as Grutas IT. Mato Dentro
Nº Entradas x Projeção Horizontal	0,44	0,95
Nº Entradas x Área	0,23	0,94
Nº Entradas x Densidade	-0,31	-0,33
Nº Entradas x Conectividade	0,51	0,9
Nº Entradas x Dist. Extremos	0,39	0,93
Nº Entradas x Desnível	0,32	0,91

Quanto as grutas de Itambé do Mato Dentro, os resultados se diferem bastante em relação as grutas em geral. O índice de correlação do parâmetro número de entradas com as demais variáveis quase sempre são fortes. Todavia se aproxima dos valores encontrados para as grutas de Ibitipoca, cujos índices para essa correlação também foram fortes (SILVA, 2004).

Todas as correlações já foram abordadas anteriormente, com exceção da relação entre numero de entradas e desnível. A princípio parece ser estranho esta correlação ter resultado em um valor forte. No entanto, para explicar essa situação, a mesma lógica considerada para as grutas de Ibitipoca, pode ser aplicada para as cavernas da área de estudo. Dessa forma entende-se que, como a projeção horizontal está fortemente relacionada aos parâmetros numero de entradas e desnível, coincide também a relação entre os parâmetros número de entradas e desnível (SILVA, 2004).

9.1- CONSIDERAÇÕES ACERCA DA ANÁLISE MORFOMÉTRICA PARA AS GRUTAS EM ROCHAS SILICICLÁSTICAS E AS GRUTAS DE ITAMBÉ DO MATO DENTRO

Com base nos resultados dos parâmetros morfométricos analisados, foi possível perceber que há uma tendência para a ocorrência de valores baixos para aqueles de ordem quantitativa. Essa tendência demonstra que o processo de carstificação em rochas siliciclásticas não é tão expressivo quanto nos terrenos carbonáticos, embora alguns valores de índices altos podem ser observados se destoando dos demais.

A forte correlação registrada entre os parâmetros projeção horizontal, área e distância entre extremos, tanto para as grutas totais como para as cavernas estudadas, demonstra que existe um forte controle estrutural sobre as cavernas em rochas

siliciclásticas. Entretanto, nas cavernas da Serra do Ibitipoca esse controle se deve principalmente pela influência de fraturas, já as grutas estudadas seguem preferencialmente o mergulho da foliação ou do acamamento. O parâmetro sinuosidade corrobora essa hipótese, por ter apresentado valores sempre baixos. Mesmo para a Gruta Baixada das Crioulas I que possui grande porte e condutos mais sinuosos, esse índice se mostrou baixo. Embora os condutos apresentem maior sinuosidade em relação às demais cavidades, os cursos d'água percorrem ao longo de trechos retilíneos, orientados pelo mergulho ou direção da foliação.

Quanto à correlação entre os demais parâmetros, em muitas situações não houve uma concordância entre os resultados obtidos para as grutas totais com as grutas estudadas, apesar dos parâmetros morfométricos para os dois grupos inicialmente analisados, apresentarem uma boa semelhança. Em muitos casos, esta concordância foi maior, entretanto, em relação às grutas da Serra do Ibitipoca.

Tal situação se deve provavelmente por dois motivos. O primeiro diz respeito ao número reduzido de amostras para as grutas de Itambé do Mato Dentro em relação às grutas totais, com uma a população muito maior, de 77 amostras. Outro fator está associado ao contexto geológico e geomorfológico no qual as cavernas se inserem. Para as grutas da área de estudo, presume-se que os processos e as respostas à carstificação guardem maiores semelhanças entre si, em relação as demais cavidades desenvolvidas sob diferentes cenários. No grupo das grutas totais estão incluídas cavidades desenvolvidas em arenitos e quartzitos de diferentes formações e que, portanto, apresentam histórias geológicas ou até mesmo, morfoclimáticas distintas.

Neste sentido, é possível que existam condições ambientais semelhantes entre a área estudada e a Serra do Ibitipoca, que propiciam respostas parecidas aos processos de esculturação para as cavernas de ambas as áreas, uma vez que as correlações registradas entre os parâmetros foram muito mais próximas entre estes dois grupos, do que para as grutas totais.

10- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região de Itambé do Mato Dentro não representa uma geomorfologia cárstica, pois as cavernas são feições isoladas e não constituem um conjunto coerente das regiões tipicamente cársticas. Neste contexto, as cavernas estudadas podem ser consideradas como formas cársticas pontuais na paisagem, de importância apenas local.

A partir da análise geomorfológica da área estudada pode-se concluir que as cavernas não estão intrinsecamente relacionadas ao maior gradiente hidráulico. Estas se encontram nos quartzitos menos resistentes que afloram na região, entre as altitudes mais baixas e relevo relativamente pouco acentuado. Diferentemente do que foi constatado para as cavernas da Serra do Ibitipoca, onde alto gradiente hidráulico é retratado como fator importante no processo de carstificação das grutas (CORRÊA NETO *et al.*, 1977; SILVA, 2007).

Em relação ao processo de carstificação das cavernas de Itambé do Mato Dentro, foi possível verificar que as cavernas seguem um padrão evolutivo, no qual um conjunto de fatores parece ser essencial. Neste contexto, destacam-se:

- Clima: variáveis precipitação e temperatura;
- Litologia: quartzitos com tendências ao deslocamento, dada a presença de filmes sericíticos orientados no plano de foliação da rocha e quartzos de granulometria média a fina. As micas também ocorrem no contato entre os grãos, podendo contribuir para o aumento da permeabilidade primária da rocha, tornando-a muito frável, porosa e susceptível ao intemperismo físico numa fase mais tardia;
- Estrutura: desenvolvimento das cavidades seguindo preferencialmente mergulho dos planos estratigráficos (possivelmente através dos níveis ricos em mica) que acompanha a morfologia externa, direcionando o fluxo lateralmente. Essa condição proporciona o aumento do gradiente hidráulico resultando em uma maior eficiência nos processos de dissolução da rocha e remoção do material residual;
- Geomorfologia: formação das cavernas relacionada como o desenvolvimento da paisagem, em função do rebaixamento geral do relevo e da superfície do aquífero.

O mergulho dos planos estratigráficos medidos no interior das cavidades apresenta direção preferencial para leste, que representa a estruturação geral no contexto geomorfológico regional. Os planos de fraturas medidos apresentam direção preferencial

aproximadamente N-S, que são concordantes com as estruturas maiores da Serra do Espinhaço Meridional. No entanto, na maior parte dos casos analisados o controle por fraturas se mostrou pouco evidente sobre o controle do desenvolvimento das cavidades.

As estruturas geológicas, sobretudo os planos estratigráficos exercem grande influência nos aspectos morfológicos das cavernas, que refletem no predomínio da morfologia retangular dos condutos e no padrão em planta retilíneo. As mudanças no controle estrutural ao longo das galerias indicaram alterações significativas no perfil longitudinal das grutas, muitas vezes, proporcionando o aumento do gradiente hidráulico.

Quanto a morfometria, tanto para as grutas totais como para as grutas de Itambé do Mato Dentro, a análise mostrou que há uma tendência para ocorrência de valores baixos para os parâmetros quantitativos. Essa tendência demonstra que o processo de carstificação em rochas siliciclásticas não é tão expressivo quanto nos terrenos carbonáticos, embora alguns valores de índices altos podem ser observados, se destoando dos demais.

A forte correlação registrada entre os parâmetros projeção horizontal, área e distância entre extremos, tanto para as grutas totais como para as cavernas estudadas, demonstra que existe um forte controle estrutural sobre as cavernas em rochas siliciclásticas. Entretanto, nas cavernas da Serra do Ibitipoca esse controle se deve principalmente pela influência de fraturas, já as grutas de Itambé do Mato Dentro seguem preferencialmente o mergulho da foliação ou do acamamento. O parâmetro sinuosidade corrobora essa hipótese, por ter apresentado valores sempre baixos.

Quanto à correlação entre os demais parâmetros, em muitas situações não houve uma concordância entre os resultados obtidos para as grutas totais com as grutas estudadas. Em muitos casos, esta concordância foi maior, entretanto, em relação às grutas da Serra do Ibitipoca. Isso indica que as características locais apresentam forte influência na carstificação das cavernas estudadas, se diferenciando das grutas totais. Entretanto, é provável que existam condições ambientais semelhantes entre a área estudada e a Serra do Ibitipoca, que propiciam respostas parecidas aos processos de esculturação para as cavernas de ambas as áreas, uma vez que as correlações registradas entre os parâmetros foram muito mais próximas entre estes dois grupos, do que para as grutas totais.

De forma geral, as cavernas se encontram em bom estado de conservação, tanto internamente quanto no entorno (250 metros). A única que apresenta sinais aparentes de impacto é a Gruta dos Milagres I, com presença de pichações. No entorno da Gruta da Braúna Seca, das Tocas do Funil I e II e Gentio e da Toquinha a cobertura vegetal foi substituída parcialmente por pastagem ou estradas, podendo acarretar no assoreamento das

cavernas. Principalmente em relação àquelas situadas na base de dolinas e fundos de vale, cuja morfologia da vertente favorece esses processos.

Segundo relato de moradores da região há aproximadamente um século atrás eram realizadas manifestações religiosas com celebração de missas pelos “antigos” na Gruta dos Milagres I. No entanto, a relação da caverna com o fenômeno religioso, atualmente não existe mais. Já a Toca da Esteira era utilizada por caçadores para atocaiar os animais, que se escondiam na gruta deixando seus rastros ou esteiras. A Gruta Baixadas das Crioulas I e a Gruta Baixada das Crioulas II apresentam potencial estimável para o espeleoturismo contemplativo, principalmente em função do fácil acesso. O Abrigo das Pinturas também possivelmente apresenta potencial turístico, devido ao seu rico material arqueológico.

Embora as grutas da área de estudo estejam inseridas em APAs (ver capítulo 1), ainda não foi criado um plano de manejo que determine o zoneamento com intuito de preservar as cavernas e seu entorno. É importante, portanto, que haja uma constante preocupação e esforço por parte dos setores privado e público, para que o uso do patrimônio espeleológico e arqueológico seja realizado de forma mais planejada visando proporcionar menor impacto possível.