



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS - ICH  
FACULDADE DE GEOGRAFIA - FG**

**BRUNO DOS SANTOS SCHERER**

**MORFOLOGIA E ASPECTOS GEOMÉTRICOS DAS CAVIDADES DE  
AMBIENTES PSEUDOCÁRTICOS NA SERRA DA BOCAINA EM CANAÃ DOS  
CARAJÁS-PA.**

MARABÁ-PA  
Dezembro/2019

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca Setorial Josineide da Silva Tavares**

---

Scherer, Bruno dos Santos

Morfologia e aspectos geométricos das cavidades de ambientes pseudocárticos na Serra da Bocaina em Canaã dos Carajás-PA / Bruno dos Santos Scherer; orientador, Abraão Levi S. Mascarenhas, coorientador, Rafael dos Santos Scherer. — Marabá: [s. n.], 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Humanas, Faculdade de Geografia, Curso de Licenciatura e Bacharelado em Geografia, Marabá, 2019.

1. Carste - Carajás, Serra dos (PA) – Pesquisa. 2. Cavernas - Carajás, Serra dos (PA) - Pesquisa. 3. Geomorfologia. 4. Relevo (Geografia) – Carajás, Serra dos (PA). I. Mascarenhas, Abraão Levi S., orient. II. Scherer, Rafael dos Santos, coorient. III. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. IV. Título.

CDD: 22. ed.: 551.447098115

**BRUNO DOS SANTOS SCHERER**

**MORFOLOGIA E ASPECTOS GEOMÉTRICOS DAS CAVIDADES DE  
AMBIENTES PSEUDOCÁRTICOS NA SERRA DA BOCAINA EM CANAÃ DOS  
CARAJÁS-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
para obtenção do título de  
Licenciado e Bacharel em  
Geografia da Universidade  
Federal do Sul e Sudeste do Pará.  
Orientador: Prof. Me. Abraão  
Levi S. Mascarenhas

**Data da Aprovação:** 2019

**Conceito:** \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

**Orientador: Prof.º. Me. Abraão Levi S. Mascarenhas**  
(UNIFESSPA-FAC-GEOGRAFIA)

**Prof.ª. Dr.ª. Maria Rita Vidal**  
(UNIFESSPA-FAC-GEOGRAFIA)

**Me. Ricardo Lima Figueira**  
(Núcleo de Geologia - FCCM)

**Coorientador: Me. Rafael dos Santos Scherer**  
(Grupo Espeleológico de Marabá)

**AGRADECIMENTOS**

Ao meu bom Deus, pelo dom da Vida e de tudo que sou.

A meus pais, José e Maria, meu infinito e eterno agradecimento. Pela maravilhosa educação que me concederam ao longo da jornada da vida. Por serem fonte de sabedoria e amor incondicional que me deram forças para atingir esse objetivo.

A Joyceanne A. Scherer, meu amor que sempre esteve ao meu lado em cada momento. Por seus incentivos e cobranças “só nós sabemos o quanto”, que foram fundamentais para seguir e dá o melhor de mim.

Aos meus filhos por serem tão importantes na minha vida. Sempre me incentivando a incentiva-los, procurando ser um pai exemplar, mostrando que conhecimento e educação são fundamentais no sucesso das pessoas.

Ao meu mano Rafael, obrigado por suas contribuições, pelas críticas, pela inquietude, por tornar essas linhas possíveis. Mano, este trabalho também é seu, e você sabe disso! A minha irmã Carol que sempre foi fonte de inspiração.

A todos os meus amigos e amigas da Fundação Casa da Cultura de Marabá e do Grupo Espeleológico de Marabá Noé von Atzingen, Darlei Vieira, Marlon Prado, Marcelo (*in memoriam*) e tantos outros não menos importantes. Em especial, Tatiane Monteiro minha parceira inseparável em todos os anos que me dediquei a esta instituição.

Aos meus amigos de turma, Carlos Aberto, Caíra Alves, Juliana Lima, Moisés Martins, Diemison Ladislau e Isac Pereira (*in memoriam*), pelos momentos de alegria, aflição, dedicação e força.

Ao meu orientador e amigo Me. Abraão L. Mascarenhas pela paciência, liberdade na condução da pesquisa, revisões, cobranças e ensinamentos.

## **RESUMO**

A Serra da Bocaina está inserida em duas Unidades Morfoestruturais e Morfoclimáticas: o Planalto Dissecado do Sul do Pará; e a Depressão Periférica do Sul do Pará. No topo, colinas com vertentes côncavas e convexas são frequentemente interrompidas por rupturas da cobertura laterítica. Essas rupturas marcam bem os limites do planalto residual na forma de imponentes escarpas erosivas, as quais muitas vezes abrigam cavernas em rochas ferríferas. Formadas por um profundo intemperismo dos terrenos lateríticos, em função dos processos de dissolução e lixiviação, as cavernas são uma geoforma cárstica que podem apresentar diversas configurações morfológicas e geométricas, associadas a sua gênese dominante. Nesta perspectiva, a presente pesquisa se propôs a fazer uma análise dos padrões morfológicos e geométricos das 235 cavernas localizadas na Serra da Bocaina, município de Canaã dos Carajás, Estado do Pará, correlacionando-as com a hipsometria, litotipos, formas do relevo, espeleometria e os processos morfodinâmicos do relevo. Desta forma, as 235 cavernas da Serra da Bocaina estão inseridas principalmente na baixa vertente 56% (131), 29% na alta vertente e 16% na média vertente. Foram definidos 3 padrões geométricos (Simples Retilínea Retangular, Simples Retilínea Triangular e Simples Esférica), porém a classificação geométrica não é possível ser definida em grande parte das cavidades estudadas, por apresentar-se disforme. As cavernas de tipologia composta ocorrem predominantemente em ferricrete. Por sua vez, a maior parte das cavernas com tipologia simples estão inseridas em Jaspelito e canga. As cavernas com PH acima de 50m apresentam tipologia composta. Enquanto a tipologia simples predomina entre 5 e 30m. Desta forma, é evidente que as tendências de concentração de padrões certamente estão condicionadas pelos elementos de arranjo textural e estrutural de cada substrato geológico, bem como seu comportamento frente a ação intempérica e hidrodinâmica.

**Palavras-chave:** Geoforma cástica. Serra da Bocaina Cavernas. configurações morfológicas e geométricas.

## ABSTRACT

Serra da Bocaina is inserted in two Morphostructural and Morphoclimatic Units: the Dissected Plateau of Southern Pará; and the Peripheral Depression of Southern Pará. At the top, hills with concave and convex slopes are often interrupted by lateritic cover ruptures. These ruptures mark well the boundaries of the residual plateau in the form of imposing erosive escarpments, which often harbor caves in ferrous rocks. Formed by a deep weathering of lateritic lands, due to the dissolution and leaching processes, the caves are a karst geoform that can present several morphological and geometric configurations, associated with its dominant genesis. In this perspective, this research aimed to make an analysis of the morphological and geometric patterns of the 235 caves located in the Serra da Bocaina, Canaã dos Carajás, State of Pará, correlating them with the hipsometry, lithotypes, relief shapes, speleometry and the morphodynamic processes of relief. Thus, the 235 Serra da Bocaina caves are located mainly in the low slope 56% (131), 29% in the high slope and 16% in the average slope. Three geometric patterns were defined (Simple Rectangular Rectangle, Simple Rectangular Triangular and Simple Spherical), but the geometric classification is not possible to be defined in most of the studied cavities, as it is misshapen. The caves of composite typology occur predominantly in ferricrete. In turn, most of the caves with simple typology are inserted in Jaspelito and canga. The caves with PH above 50m have composite typology. While the simple typology predominates between 5 and 30m. Thus, it is evident that the pattern concentration tendencies are certainly conditioned by the textural and structural arrangement elements of each geological substrate, as well as their behavior against the weather and hydrodynamic action.

**Keywords:** Castic geoform, Serra da Bocaina, Caverns, morphological.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCRA - *British Cave Research Association*

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CMM - Companhia Meridional de Mineração

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

FCCM – Fundação Casa da Cultura de Marabá

FLONA – Floresta Nacional

FLONACA – Floresta Nacional de Carajás

GEM – Grupo Espeleológico de Carajás

GPS - *Global Positioning System*

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Biodiversidade

IN - Instrução Normativa

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PA – Pará

SB – Serra da Bocaina

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SISCOM -Sistema de Compartilhamento de Informações Ambientais

SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*

UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

UTM – Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
<b>2.1.1 Características Vegetacionais da Área de Estudo .....</b>	<b>17</b>
2.1.1.1 Floresta Ombrófila Densa.....	19
2.1.1.2 Floresta Ombrófila Aberta Submontana (Floresta de Encosta).....	20
2.1.1.3 Savana Metalófila.....	20
2.1.1.4 Floresta Secundária.....	20
<b>2.1.2 Clima Regional e Padrões de Hidrografia.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.3 Características litológicas e Geológicas da Área de Estudo .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.4 Características Geomorfológica Regional e local (área de estudo).....</b>	<b>24</b>
<b>4. FEIÇÕES PSEUDOCÁRSTICAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS .....</b>	<b>26</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	33
5.2 LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E GEOPROCESSAMENTO .....	34
5.3 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO .....	35
5.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CAVERNAS .....	35
<b>6. RESULTADOS E DISCURSÕES.....</b>	<b>36</b>
6.1 INSERÇÃO NA PAISAGEM .....	36
6.2 PADRÕES MORFOLÓGICOS PLANIMÉTRICOS E GEOMÉTRICOS DAS CAVERNAS FERRÍFERAS DA SERRA DA BOCAINA. ....	42
6.3 MORFOLOGIA DAS FEIÇÕES.....	52
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização das Cavernas da Serra da Bocaina no contexto do mosaico de unidades de conservação de Carajás, destacando o Parque dos Campos Ferruginosos .. 16
- Figura 2 – Foto aérea da cobertura vegetal da Serra da Bocaina: (1) Áreas antropizadas em função das queimadas; (2) Vegetação de Pastagem; (3) Floresta Ombrófila (4) Savana Metalófila e Campo Rupestre ..... 19
- Figura 3 - Mapa litológico da região entre as cidades de Parauapebas e Canaã dos Carajás ..... 22
- Figura 4 - Modelo digital de elevação da província mineral de Carajás, destacando localização da serra da bocaina. .... 25
- Figura 5 - Quadro espeleogenético esquemático para as cavernas da Serra dos Carajás (PA) ..... 29
- Figura 6 - Evolução da zona de baixa densidade na interface crosta- saprólito e formação de cavernas: Estágio 1 – Percolação de soluções aquosas ao longo de fissuras e fraturas, e desenvolvimento de um sistema reticulado de vazios. Mobilização de ferro e alumínio; Estágio 2 – Preenchimento de fissuras e fraturas na interface crosta-saprolito por óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, gerando estruturas do tipo boxwork; Estágio 3 – Desenvolvimento da zona de baixa densidade através da dissolução e da eluviação lateral da matriz argilosa. Colapso parcial desta zona e formação de cavidades ..... 30
- Figura 7 - Perfis esquemáticos mostrando o processo de degradação laterítica nos platôs da Serra Norte, Serra dos Carajás, Pará. Modificado de Maurity e Kotschoubey (1994)..... 30
- Figura 8 - Perfil síntese de uma caverna ferrífera com as principais feições morfológicas .31
- Figura 9 - Padrões Planimétricos encontrados em Cavernas (a) Curvilíneo/ramificado; (b) retilíneo/ ramificado; (c) anastomótico; (d) network ou reticulado/labiríntico; (e) espongiforme/labiríntico; (f) ramiforme..... 32
- Figura 10 – Figuras geométricas elementares utilizados na classificação do padrão geométrico: (a) circular; (b) elíptico; (c) triangular; (d) retangular..... 33
- Figura 11 – Mapa Topográfico da Caverna SB-0009..... 35
- Figura 12 – A) Vista aérea da paisagem destacando as vertentes. B) Vista de uma drenagem perene na vegetação densa. C) Escarpa gerada pela ruptura da cobertura de canga na entrada da caverna SB-0010, localizada na borda do planalto residual. D) Vista do contato abrupto que marca a transição vegetação de campo rupestre com a florestas densas. .... 37
- Figura 13 - Mapa de hipsométrico da área de estudo. .... 38

Figura 14 – Distribuição das cavidades em relação a posição .....	39
Figura 15 Frequência de cavernas de bocaina por classes hipsométricas .....	39
Figura 16 – Vista da borda da superfície aplainada, onde o escarpamento abrupto marca a transição da superfície aplainada e as vertentes inclinadas do planalto dissecado.....	40
Figura 17 - Vista da entrada de uma caverna na depressão periférica. ....	41
Figura 18 – A) Vista de dolinamento a 710 m de altitude no flanco norte, com cerca de 100m de diâmetro. B) Entrada da caverna as margens do colapso de canga. ....	42
Figura 19 – 1) Simples Retilínea Retangular; 2) Simples Retilínea Triangular; 3) Simples Esférica; 4) Simples Disforme, 5) Simples Curvilínea Bifurcada; 6) Simples Curvilínea; 7) Simples Bifurcada; 8) Simples Semicircular; 9) Composta Bifurcada; 10) Simples Afunilada; 11) Composta Ramiforme; 12) Composta Mista; 13) Composta Disforme; e 14) Composta Espongiforme .....	45
Figura 20 – Padrões planimétricos e geométricos observados a partir da planta baixa. a) Simples Retilínea Triangular. b) Simples Esférica. c) Composta disforme. d) Simples Retilínea Retangular .....	46
Figura 21 - Distribuição das cavernas da Serra da Bocaina por padrão morfológico planigeométricos.....	47
Figura 22 - Distribuição das cavernas por grupos litológicos. ....	48
Figura 23 - Distribuição do padrão planimétrico por litologia na amostra de cavernas da Serra da Bocaina .....	49
Figura 24 – Distribuição das cavidades por tipo de forma do relevo. ....	50
Figura 25 - Distribuição do padrão planimétrico por litologia na amostra de cavernas da Serra da Bocaina .....	51
Figura 26 - Distribuição das cavernas por classes de projeção horizontal por tipologia das cavernas .....	52
Figura 27 – a) Descontinuidade na parede da caverna. b) Vista aproximada da percolação de água através da fratura subvertical na caverna SB-0010.....	53
Figura 28 – a) Conduto em formato retilíneo afunilado com fraturas subverticais que condicionaram essa morfologia (destacado em amarelo). b) Bandamento com ângulo de mergulho inclinado e abatimentos com dinâmica associada a presença de fraturas atectônicas (juntas de alívio) (destacado em amarelo).....	54
Figura 29 – Vista ampla da câmara da caverna SB-0169 demonstrando de cor amarela com alteração apenas superficial com predomínio de goethita.....	54

Figura 30 – Teto com pendentes e pontões estruturais destacando a irregularidade do teto da  
cavidade SB-0067..... 55

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Exemplos de formas planimétricas das cavernas da Serra da Bocaina.....	43
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

Cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas são relativamente pouco estudadas, tanto no Brasil quanto no restante do mundo (AULER & PILÓ 2005). Isto, provavelmente se deve ao fato da grande maioria destas cavernas possuírem pequenas dimensões e pouco valor cênico, quando comparadas as cavernas que ocorrem em rochas carbononáticas, e em vista disso não são convidativas a práticas esportivas ou mesmo objeto de contemplação. Na região norte do Brasil a quantidade de estudos ainda é mais inferior, quando relacionada ao envolvimento da comunidade científica, caso de Carajás.

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo possui uma das maiores reservas do planeta. Desta forma, destaca-se por apresentar um grande potencial espeleológico para ocorrência de cavernas nessa litologia. É possível comprovar a existência de cavidades no Brasil, através de estudos realizados no Quadrilátero Ferrífero e na Serra dos Carajás nas duas últimas décadas, os quais se encontram, em maior parte, dispersos em relatórios internos de empresas e grupos de espeleologia (PILÓ *et al.*, 2005).

A Constituição Federal Brasileira de 1988, trouxe o meio ambiente para o foco das decisões políticas, reconhecendo a ligação entre o desenvolvimento social e econômico e a qualidade do meio ambiente. Em relação às cavidades naturais subterrâneas, a Constituição em seu Artigo 20, Capítulo II, as determinou bens da união, concebendo novo status às cavernas brasileiras.

No que tange ao crescimento do conhecimento espeleológico cavernas em minério de ferro, Calux (2013), afirma que:

*“O aumento substancial dos estudos espeleológicos em formações ferríferas no Brasil só ocorreu, de fato, a partir de meados de 2005, em função do aumento da demanda pelo consumo da commodity do minério ferro no mercado internacional. Esse fator, somado ao maior rigor imposto pelos órgãos de licenciamento ambiental, levou à necessidade de se estudar o patrimônio espeleológico associado a tais litologias.”*

Quanto à legislação ambiental, com a publicação do Decreto Federal 6.640, em novembro de 2008 que alterou de forma significativa o Decreto Nº 99.556/90 que trata da proteção das cavernas no Brasil. Sinteticamente, o Decreto Nº 6.640/08 prevê a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo, conforme Artigo 2º, que reza:

*“Art. 2º A cavidade natural subterrânea será classificada de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo, determinado pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob enfoque regional e local.”*

Posteriormente, a Instrução Normativa Nº 02 do Ministério do Meio Ambiente, publicada em 20 agosto de 2009, busca-se disciplinar os aspectos metodológicos definidos para a classificação, com base em atributos analisados sobre o enfoque local e regional.

Diante desse contexto de aumento crescente do número de cavidades registradas em formações ferríferas no Brasil, que já somam mais de três mil, associado, evidentemente, ao grande potencial brasileiro para ocorrência dessas feições que foram desenvolvidos diversos estudos espeleológicos na região sul e sudeste do Pará, com destaque para o Mosaico de Carajás.

Por sua vez Piló *et al.* (2005) destacam que:

*“É possível comprovar a existência de cavidades no Brasil, através de estudos realizados no Quadrilátero Ferrífero e na Serra dos Carajás nas duas últimas décadas, os quais se encontram, em maior parte, dispersos em relatórios internos de empresas e grupos de espeleologia .”*

As primeiras referências sobre as ocorrências de cavernas ferríferas em Carajás são do início da década de 1970, citadas no trabalho de (TOLBERT *et al.*, 1971). Os levantamentos de cavidades naturais na região de Carajás ocorreram em meados de 1985 pelo Grupo Espeleológico Paraense (GEP), juntamente com os levantamentos arqueológicos promovidos pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (PINHEIRO *et al.*, 1985).

Em 2004, a Fundação Casa de Cultura de Marabá (FCCM) e o Grupo Espeleológico de Marabá (GEM), realizaram as primeiras prospecções espeleológicas na Serra dos Carajás, onde foram descobertas áreas com alto potencial espeleológico, fato que culminou no descobrimento de diversas cavernas e abrigos em rochas ferríferas nos anos seguintes (ATZINGEN *et al.*, 2009).

Os primeiros registros de atividades espeleológicas na Serra da Bocaina são de 2007, realizados pela FCCM e membros do GEM. O levantamento resultou na identificação 132 feições espeleológicas. Posteriormente, entre os anos de 2012 e 2013, a empresa Carste

Consultores foi contratada pela Vale para prospectar setores do platô que ainda não tinham sido alvo de estudos, identificando outras 103 cavidades. Baseado nos levantamentos acima apresentados, a Serra da Bocaina dispõe de 235 cavernas, pelas quais nos propomos a analisar suas características morfológicas planimétricas e geométricas.

Nos relatórios emitidos, por CARSTE (2012 e 2014) consultores afirmam que existem outras cavidades que não foram estudadas em função da presença de abelhas, vespas, animais peçonhentos ou mesmo condições insalubres (excesso de gases produzidos pela decomposição do guano), e outras pelo impedimento do acesso por parte dos proprietários.

A revisão bibliográfica está pautada nas características fisiogeográficas da Serra da Bocaina, afunilando no processo de formação das feições endocársticas e exocárstica em formações ferríferas e nos padrões morfológicos planimétricos propostos por Palmer (1991; 2003) e geométricos por Calux (2013).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo Geral deste trabalho é fazer uma análise dos padrões morfológicos e geométricos das 235 cavernas identificadas na Serra da Bocaina, correlacionando-as com os processos morfodinâmicos do relevo. Objetiva-se, especificamente:

- Análise das características fisiogeográficas da Serra da Bocaina, no município de Canaã dos Carajás-PA;
- Fazer classificação planimétrica e geométrica para distintos padrões morfológicos de 235 cavernas da Serra da Bocaina;
- Realizar correlações de dados morfológicos planimétricos e geométricos com a hipsometria, litotipos, formas do relevo e espeleometria;
- Fazer preposição Taxonômica planigeométrica para distintos padrões morfológicos de cavidades em ambientes ferríferos;

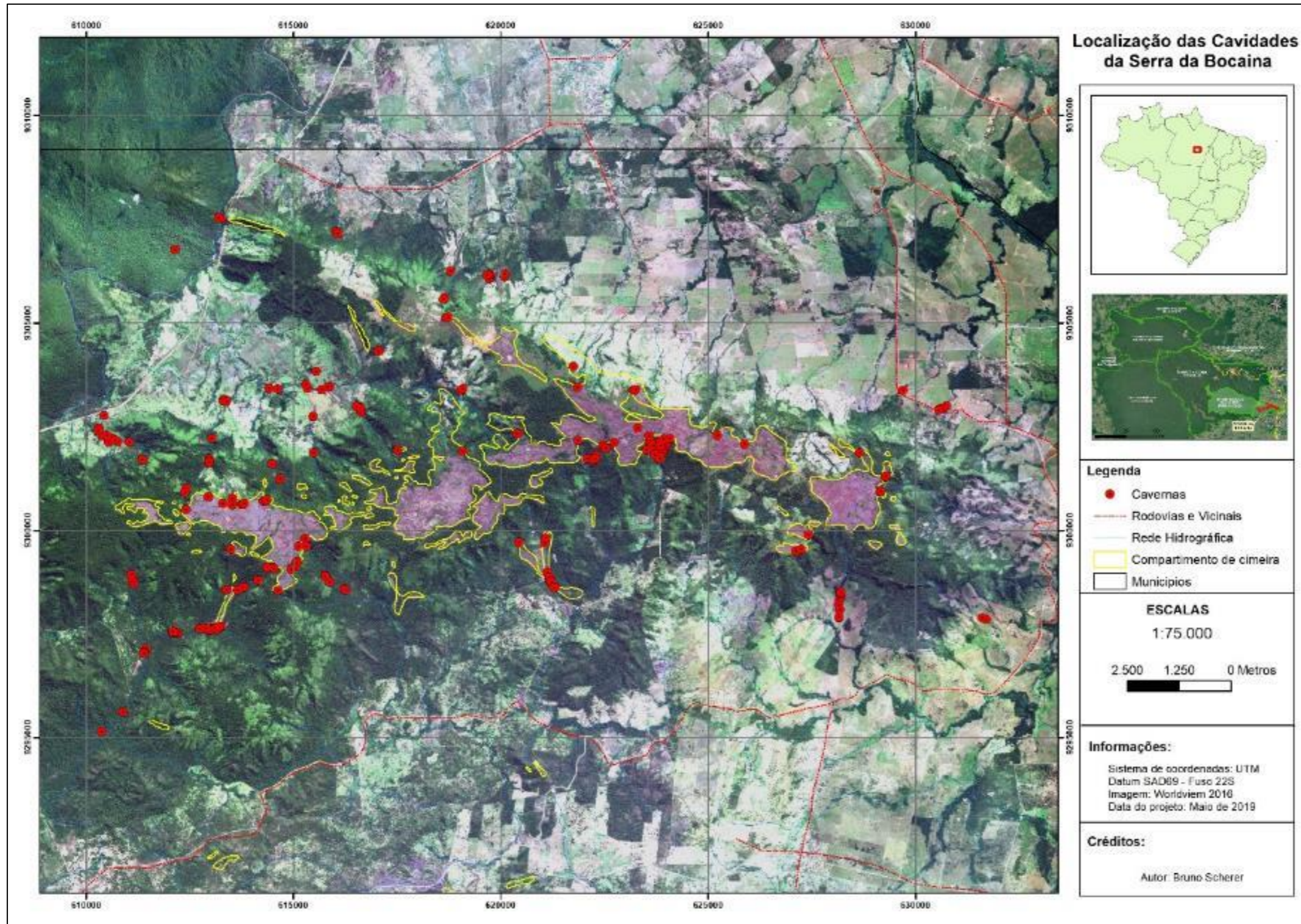
## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O conjunto de corpos da Serra da Bocaina localiza-se na unidade de conservação com *status* de proteção integral, denominada Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, criada



por meio de Decreto sem nº em 5 de junho de 2017. A área em estudo faz parte da província mineral da Serra dos Carajás, município de Canaã dos Carajás, Estado do Pará, na mesorregião do sudeste paraense, na microrregião de Parauapebas e se encontra delimitada pelas coordenadas UTM (617771E/9306579N) ao norte, (617796E/9297581N) ao sul, (632680E/9298850N) ao leste e (608421E/9298096N) a oeste, dispondo de cerca de 257.195.000 m<sup>2</sup>.

**Figura 1** – Mapa de localização das Cavernas da Serra da Bocaina no contexto do mosaico de





unidades de conservação de Carajás, destacando o Parque dos Campos Ferruginosos

**Fonte:** ICMBIO (2017); IBGE (2008); Imagem World View (2016)

**Organização:** Autor (2018)

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1.1 Características Vegetacionais da Área de Estudo

As serranias de Carajás apresentam uma vegetação considerada rara para o ambiente amazônico: os campos rupestres ferruginosos, os quais ocorrem em porções serranas elevadas, em meio à floresta ombrófila, com uma composição florística diferenciada e diretamente influenciada pela adversidade imposta pelos fatores edáficos, pela dinâmica climática e pelos ciclos hidrológicos que esta proporciona (CAMPOS & CASTILHO, 2012).

Inferimos que os primeiros relatos acerca do topo recoberto por canga tenham sido feito por COUDREAU, 1898, como segue:

*“Soudain, à l’extrémité d’un de ces estirões dormants, une assez forte chaîne de montagnes nous apparaît dans l’intérieur. Le sommet central nous présente, sur le flanc, une masse rocheuse noire rappelant Aribarú au Xingú. Cette Serra da Pedra Preta est sur la rive droite du Paraupeba.”*

Assim como, também foi o primeiro a relatar as características da vegetação associadas as serras cobertas por savana metalófila, como no trecho, logo a seguir:

*“Toutefois les campos du Haut Paraupeba ou du Alto Itacayuna ne sont qu’une possibilité, à peine une probabilité, nullement une certitude [...]. On a vu plus haut, dans la lettre du P. Gil, la géographie de ces campos [...]. Les campos de S. José s’étendraient, de l’est à l’ouest, jusqu’au Paraupeba.”*

A cobertura florestal, a Serra da Bocaina faz parte do conjunto das Serras Sul, localiza-se na porção centro-leste da província mineral de Carajás, localizada nos limites da Floresta Nacional de Carajás (FLONA - Carajás).

Vários fatores como a forma do relevo, natureza dos substratos, condições climáticas influenciam na formação das diferentes fitofisionomias na região de Carajás. Em se tratando de cobertura vegetal, mais de 95% da FLONA é coberta por florestas (ombrófilas e estacionais), e os 5% restantes consistem de vegetação herbácea ou arbustiva que ocorre sobre a crosta laterítica em algumas regiões isoladas.

As duas principais fitofisionomias florestais são a Ombrófila Densa e Ombrófila Aberta. A primeira é encontrada de forma esparsa, com manchas localizadas nos platôs úmidos, ambientes planos de solos profundos, argilosos e com alta eficiência na drenagem das águas pluviais. A segunda, por outro lado, é amplamente distribuída pela FLONA e se associa a segmentos das encostas influenciados por deslizamentos ocasionados por influência dos rios.

Os solos deste tipo de formação são formados principalmente por processos de erosão (CAMPOS & CASTILHO, 2012). No entanto, para Schaefer *et al.*, (2018) existem 9 geofácies nativas na área da FLONA Carajás (vegetação rupestre aberta, vegetação rupestre arbustiva, mata baixa, mata alta, campo gramíneo, lajedo, campo brejoso, buritizal e lagoa). Porém, nos tópicos a seguir são apresentadas características das vegetações predominantes.

Na Serra da Bocaina, a cobertura vegetal assemelha-se com características de fitofisionomias que ocorrem em Carajás, porém pouco se observa de vegetação nativa, principalmente nas partes mais baixas, onde predomina a gramíneas (pastagem) para criação de gado e áreas de floresta secundária “capoeira”. Também é possível visualizar em várias áreas da Serra, resquícios de queimadas e extração ilegal de madeira (Figura 2). Com a criação do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, o qual inclui toda a área de estudo (Serra da Bocaina), é provável que a qualidade ambiental do parque venha a melhorar.

**Figura 2** – Foto aérea da cobertura vegetal da Serra da Bocaina: (1) Áreas antropizadas em função das queimadas; (2) Vegetação de Pastagem; (3) Floresta Ombrófila (4) Savana Metalófila e Campo Rupestre



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2018)

#### 2.1.1.1 Floresta Ombrófila Densa

Segundo a classificação de Veloso *et al.*, (1991) a Floresta Ombrófila é um tipo de vegetação que possui como principal característica ecológica a presença de ambientes ombrófilos que marcam muito bem a "região florística florestal". Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°) e de alta precipitação, com índices mais elevados entre os meses de novembro a março.

Essa feição se refere aos aspectos florísticos originais que dominavam regionalmente nas áreas de influência pesquisadas. Entretanto, atualmente, a cobertura vegetal encontra-se descaracterizada de sua fisionomia original, consequência do histórico de ocupação da região e dos diferentes impactos ambientais gerados nesse processo. Algumas espécies ocorrentes: Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Sapucaia (*Lecythis usitata*) e Ipês (*Tabebuia sp.*).

#### 2.1.1.2 Floresta Ombrófila Aberta Submontana (Floresta de Encosta)

Esta vegetação pode ser observada por toda a Amazônia e mesmo fora dela principalmente com a fâcies floresta com palmeiras. Na Amazônia ocorrem quatro faciações florísticas – com palmeiras, cipó, sororoca e bambu – entre os 4° de latitude Norte e os 16° de latitude Sul, situados acima dos 100,0m de altitude e não raras vezes chegando a cerca de 600,0 m.

#### 2.1.1.3 Savana Metalófila

Fisionomicamente a vegetação savana metalófila lembra, até certo ponto, o campo cerrado. Floristicamente constitui um tipo vegetacional bastante particular, ainda a ser classificado. Como elemento dominante nas áreas não florestais, destaca-se *Mimosa acutistipula* espécie cuja variação de tamanho atinge até mais ou menos 4,0 m de altura.

Nota-se que há predomínio de ervas e arbustos lenhosos, cujo aspecto de longe lembra um pouco a vegetação do campo cerrado, embora não se apresentem retorcidos, com folhas fortemente coriáceas e caules rugosos.

Principalmente nas áreas de transição da vegetação densa para mata aberta, encontra-se em destaque: *Norantea sp.*, *Xylopia aromatica* e muitos representantes de Melastomaceae, Compositae, Myrtaceae, Cyperaceae (tiririca), Leguminosae variadas, além da costumeira vegetação dos morros (SECCO & MESQUITA, 1983).

#### 2.1.1.4 Floresta Secundária

É formada a partir da recuperação parcial das florestas originais derrubadas, geralmente florestas densas, floresta de galeria ou floresta mista. As espécies que mais predominam nestas áreas são: Embaúba (*Cecropia sp.*), Babaçu (*Orbygnia martiana*) e Pau-pombo (*Tapirira guianensis*) (ATZINGEN, 2003).

A vegetação da área encontra-se bastante conservada, devido está localizada na FLONACA. A paisagem apresenta diferentes ecossistemas: com predominância de Floresta Ombrófila Aberta Submontana (Floresta de Encosta) decorrentes dos morros, Savana

Metalófila característico em afloramentos rochosos, Floresta de Galeria está associado à existência de drenagens, Pastagem e Roçado.

Observa-se o adensamento da vegetação nas bocas das cavidades localizadas na Savana Metalófila que estão muitas vezes, ligadas às colônias de Quirópteros que se abrigam nas cavidades e ao longo de milhares de anos acumulam guano que fertiliza os arredores da cavidade bem como “plantam” as sementes trazidas por eles (ATZINGEN, 2003).

### **2.1.2 Clima Regional e Padrões de Hidrografia**

A Serra da Bocaina encontra entre os rios Parauapebas e o rio Verde. As estruturas tectônicas do local, que consiste de padrões retangulares e subretangulares, condicionam a rede hidrográfica da bacia do rio Itacaiúnas, na qual está inserida a área estudada. O regime de chuvas, assim como a elevada variação altimétrica influenciam fortemente a rede de drenagens (VALENTIM & OLIVITO, 2011).

A região apresenta dois grandes tipos climáticos predominantes, o equatorial continental e o mesotérmico. O primeiro pode ser observado em áreas formadas por colinas, e em regiões de baixas altitudes. Já nas regiões mais altas da Serra dos Carajás, são observadas características do clima mesotérmico.

O clima local é do tipo tropical chuvoso ("AWi" - segundo a classificação de Köopen). Tal classificação é definida pela presença de um longo período de seca (estiagem), altos níveis médios de precipitação de chuva anuais e temperatura mensais acima de 18°C. Nesta região também podemos encontrar outras dois sub-tipos climáticos, o de Encostas, situado em regiões abaixo de 300m ao nível do mar, com temperaturas médias anuais que variam de 25°C a 26°C, baixa iluminação, fraca ventilação e médias anuais de precipitação de chuva que variam de 1.900 a 2.000mm; e o dos Topos, localizado em regiões acima de 700m em relação ao nível do mar, definido por temperaturas médias que variam entre 23 °C e 25 °C, baixa luminosidade, média circulação de ventos e precipitações anuais que variam entre 2.000 e 2.400 mm (ICMBio, 2003).

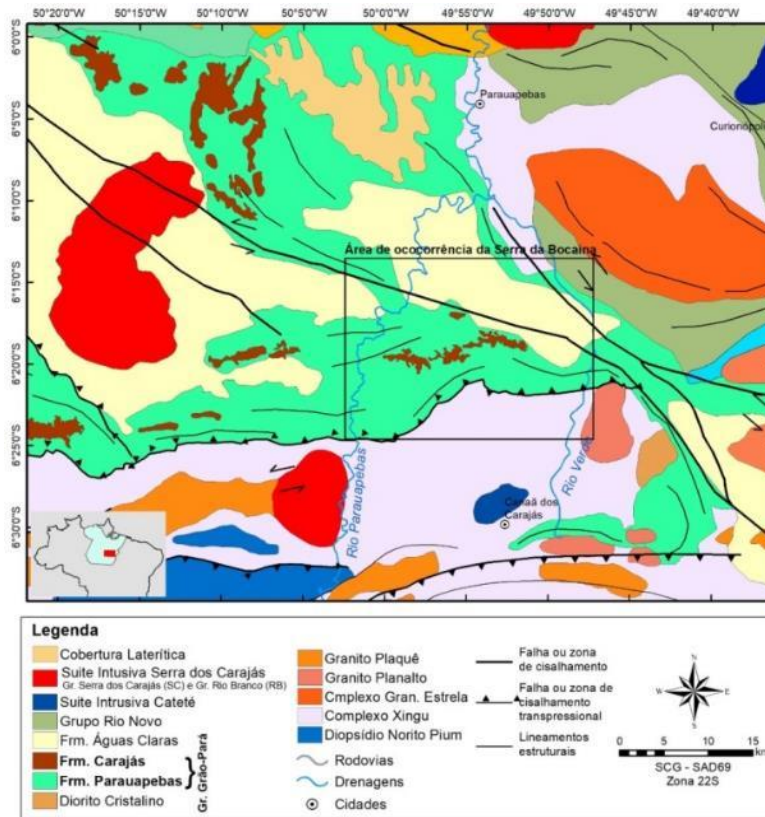
O período chuvoso na região ocorre entre os meses de dezembro e abril, com períodos de transição em novembro (seco-chuvoso) e maio (chuvoso-seco). Já o período de seca ocorre entre os meses de junho e outubro (ICMBio, 2003).

Souza-Filho *et al.* (2016) analisou um conjunto de dados multivariáveis que envolveram imagens de satélite - Landsat de 1973, 1984, 1994, 2004 e 2013 e uma série de 40 anos de descarga do rio Itacaiúnas, além da temperatura do ar e umidade relativa para a mesma área e o mesmo período. Utilizando técnicas de processamento de imagem Landsat em conjunto com imagens de análise do objeto geográfico e abordagem de classificação multi-resolução constatou que o desmatamento atingiu 52% da área da bacia, e que essa mudança na cobertura é aparentemente responsável por um aumento de 1.70 C na temperatura, redução de quase 10% umidade relativa do ar e aumento de 85% no fluxo de água observada em 2013 em comparação com a linha de base de 1973.

### 3.1.3 Características litológicas e Geológicas da Área de Estudo

A Serra da Bocaina é sustentada essencialmente pelas rochas metassedimentares químicas da Formação Carajás e por uma espessa sequência de rochas vulcânicas da Formação Parauapebas (MEIRELES *et al.*, 1986), que, em conjunto, constituem o Grupo Grão-Pará (CVRD/CMM, 1972). Segundo o “Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará” (VASQUEZ *et al.*, 2008), a Formação Parauapebas corresponde às rochas vulcânicas máficas que ocorrem na base e topo da Formação Carajás, representando derrames basálticos, além de rochas vulcânicas félsicas subordinadas e intrusões máficas (*sills* e diques). Esta denominação foi utilizada inicialmente por (Meireles *et al.* 1986) apenas para a unidade basáltica inferior e, posteriormente, adotada para toda a sequência vulcânica do Grupo Grão-Pará, a exemplo de Araújo & Maia (1991) e Pinheiro (1997) (Figura 3).

**Figura 3** - Mapa litológico da região entre as cidades de Parauapebas e Canaã dos Carajás



**Fonte:** Modificado de Vasquez et al. (2008)

Em geral, a unidade basáltica inferior é descrita por corpos estratiformes dispostos concordantemente sob a Formação Carajás, o que sugere uma contemporaneidade entre estas duas formações (BEISIEGEL *et al.*, 1973; GIBBS & WIRTH, 1990; MACAMBIRA, 2003). As rochas máficas exibem granulação fina a grossa, com texturas e mineralogias primárias preservadas, exceto nas áreas mais deformadas, onde um leve metamorfismo pode ser observado, ocorrendo ainda evidências de dois eventos de alteração hidrotermal, um associado à extrusão vulcânica submarina (BEISIEGEL *et al.*, 1973; MEIRELLES, 1986; TEIXEIRA *et al.*, 1997; ZUCCHETTI, 2007), e outro posterior, associado à intrusão do granito Serra dos Carajás (TEIXEIRA *et al.*, 1997).

A Formação Carajás hospeda o protominério das jazidas de ferro de Carajás, descoberto em 1967 pelos geólogos da Companhia Meridional de Mineração (CMM), e que sustenta vários platôs ao longo da Serra dos Carajás. Encontra-se melhor estudada na serra Norte, sendo constituída por jaspilitos com bandamento definido pela alternância de micro e mesobandas de óxidos de ferro (hematita, magnetita e martita), jaspe (*chert* impregnado por hematita fina) e/ou *chert* branco, além de carbonatos subordinados, com espessuras estimadas

em torno de 200 a 300 m. Estas rochas são interpretadas como formadas por precipitação química em plataforma submarina rasa, ampla e tectonicamente estável, com contribuição de fontes hidrotermais (LINDENMAYER *et al.*, 2001; MACAMBIRA & SCHRANK, 2002). Várias estruturas sedimentares deposicionais e pós-deposicionais foram descritas (MEIRELLES, 1986; MACAMBIRA & SILVA, 1995; LINDENMAYER *et al.*, 2001; MACAMBIRA, 2003), tais como laminação plano-paralela, esferulitos de provável origem orgânica, estruturas de escavação e preenchimento, escorregamento, marcas de sobrecarga, estruturas em chama e brechas de dissolução. Na região da Serra Sul, (LINDENMAYER *et al.*, 2001) descreveram um metamorfismo de contato de um *sill* máfico, onde as estruturas primárias foram destruídas.

No geral, esta formação apresenta feições de deformação rúptil a rúptil-dúctil, como falhas, zonas de cisalhamento e um complexo padrão de dobras delineado pelo acamamento primário, sendo que a continuidade dos corpos de jaspilito na região da Serra Norte é interrompida por transcorrências e cavalgamentos ligados a Falha Carajás (LADEIRA & CORDEIRO, 1988; PINHEIRO, 1997; MACAMBIRA, 2003).

### **3.1.4 Características Geomorfológica Regional e local (área de estudo)**

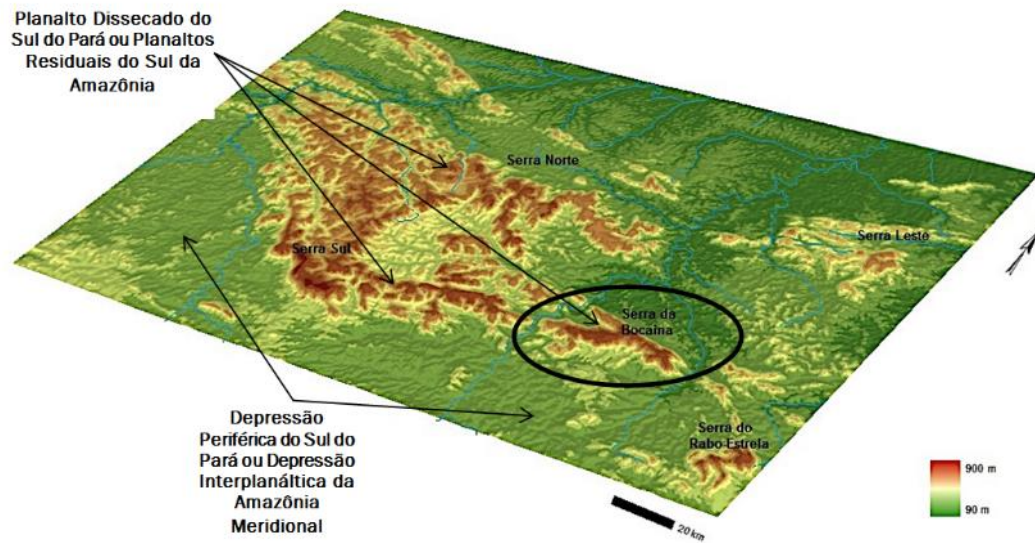
O domínio dos Planaltos Residuais do Sul da Amazônia é representado pelas Serras de Carajás, Leste, Cristalino, Arqueada, dentre outras que irão definir as unidades geomorfológicas. Os topos destas serras são comumente sustentados por litotipos mais resistentes, tais como meta-arenitos da Formação Águas Claras, formações ferríferas, jaspilitos e rochas vulcânicas do Grupo Grão Pará, além de crostas lateríticas ferruginosas (VALENTIM & OLIVITO, 2011).

Do ponto de vista geomorfológico, segundo Boaventura (1974), a Serra dos Carajás está inserida em duas Unidades Morfoestruturais e Morfoclimáticas: o *Planalto Dissecado do Sul do Pará*; e a *Depressão Periférica do Sul do Pará*. Valentim & Olivito (2011), em proposta bastante semelhante à Boaventura (*op. cit.*), sugerem as terminologias: i) *Planaltos Residuais do Sul da Amazônia*; e *Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional*. No âmbito deste trabalho, serão tratados como sinônimos. (3). A Serra da Bocaina localiza-se na



porção centro-leste da província mineral de Carajás, apresentando os dois compartimentos geomorfológicos (Figura 4).

**Figura 4** - Modelo digital de elevação da província mineral de Carajás, destacando localização da serra da bocaina.



**Fonte:** Relatório inédito: CARSTE (2014)

Os *planaltos* são caracterizados por maciços residuais de topo aplainado a ondulado e conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados, com altitudes em torno de 300 a 250 metros. O topo dos maciços residuais varia de 600 a 700 metros, com trechos que chegam a atingir mais de 800 metros de altitude. São comumente sustentados por litotipos mais resistentes tais como jaspilitos e couraças ferruginosas.

Em relação aos padrões de dissecção, os planaltos são ora condicionados por fatores estruturais, ora pela morfologia dominante (VALENTIM & OLIVITO, 2011). As formas de dissecção mais comuns são:

- Dissecção em interflúvios tabulares: forma de dissecção determinada pelo aprofundamento de talwegues em relevos tabulares, geralmente formando um padrão de drenagem retangular. Estas áreas são caracterizadas pela presença de encostas muito abruptas marcando o contorno dos domínios planos.

Nestas ocorrem escarpas erosivas, a partir de onde a erosão regressiva desmantela as superfícies tabulares;

- Dissecação em cristas: forma de dissecação de maciços residuais, por vales profundos, geralmente adaptados a uma rede de fraturas que apresenta uma ou duas direções preferenciais. Destacam-se duas formas de relevo desenvolvidas por este tipo de dissecação, as cristas estruturais e os interflúvios tabulares, com predomínio dos primeiros;
- Dissecação em cristas com ravinamentos: formas resultantes da dissecação de relevos bem pronunciados por uma rede de drenagem orientada, cujos afluentes apresentam ramificações.

A *depressão Araguaia-Tocantins* é caracterizada por extensa unidade de relevo rebaixado, com colinas de topo aplainado e cobertura sedimentar inconsolidada que circunda os compartimentos planálticos. Apresenta um conjunto de morros e colinas arrasadas, modeladas principalmente sobre terrenos granito-gnáissicos arqueanos e subordinadamente em rochas metavulcânicas e metassedimentares pré-cambrianas.

A topografia é suave ondulada e a rede de drenagem tem dissecação fraca, com desníveis entre topo e fundo de vale tipicamente entre 20 e 10 metros, mas em alguns casos entre 75 e 25 metros. A declividade varia de 8 a 45% (VALENTIM & OLIVITO, 2011).

Para a resistência estrutural da canga formou serras de topos tabuliformes, de geoformas mais suaves que o entorno rebaixado de florestas em relevo dissecado. Possui inúmeras depressões fechadas, de colapso, parecidas com dolinas calcárias, além de lagoas, cavidades, encostas desnudas, platôs e terraços.

#### **4. FEIÇÕES PSEUDOCÁRSTICAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS**

O que identifica um carste é um conjunto de formas de relevo distintas, estudados cientificamente pela primeira vez na região de *Kras*, nos limites da Eslovênia com a Itália, onde tal relevo é denominado *carso*, incluindo ainda porções da Áustria e Croácia atuais. A palavra eslovena *kras*, deu origem nas línguas germânicas a palavra *karst*, nome pelo qual é

conhecida a região, e nome que acabou definindo o tipo de relevo mundialmente (SWEETING, 1973; FORD & WILLIAMS, 1987).

Apesar de constituírem objeto de estudo sistemático no Brasil muito recentemente, as feições desenvolvidas em rochas ferríferas são reportadas na literatura internacional desde o início do século passado (GAUTIER, 1902; JUTSON, 1914; DIXEY, 1920; DE CHÉLETAT, 1938). A maior parte das referências sobre o assunto está associada ao continente africano, embora existam descrições de feições deste tipo em várias partes do mundo (AULER & PILÓ, 2005).

Feições cársticas são caracterizadas como produto da interação entre os subsistemas hidrológico e geoquímico por meio da ocorrência da dissolução ou corrosão da rocha. Para Jennings (1985) e Ford & Williams (2007) uma geoforma pode ser chamada de cárstica desde que esta dissolução constitua o processo mais importante na sua configuração morfológica, embora não seja necessariamente o dominante. Para Jennings (1985) uma geoforma pode ser chamada de cárstica desde que esta dissolução constitua o processo mais importante na sua configuração morfológica, embora não seja necessariamente o dominante. Desta forma, feições cársticas podem se desenvolver em rochas não carbonáticas, desde que a dissolução tenha sido um processo importante para a sua gênese (Hardt & Pinto, 2009).

O trabalho clássico de Simmons (1963) contempla diversas cavidades na Serra do Batateiro, na Serra do Tamanduá, no Morro da Queimada e na Serra do Curral. Os estudos resultaram na elaboração de um modelo genético e também no detalhamento da mineralogia das cavernas, sendo o primeiro pesquisador a sugerir hipóteses para a espeleogênese de cavernas ferríferas. Para o autor, as cavernas em formação ferrífera e canga poderiam ser divididas em dois tipos genéticos: as cavernas de erosão, formadas por processos de erosão diferencial no contato entre a canga e as rochas subjacentes; e as cavernas de dissolução, formadas nos itabiritos sob a canga, relacionadas ou próximas as cristas de serras ou topo dos platôs.

Segundo Simmons (1963), cavernas de erosão estão em posição topográfica mais baixa, imediatamente abaixo do manto de canga que sustentam as bordas dos vales, apresentando, de modo geral, uma única galeria. Enquanto, cavernas formadas por dissolução são maiores e compostas por vários compartimentos internos, tendo sua forma e dimensões

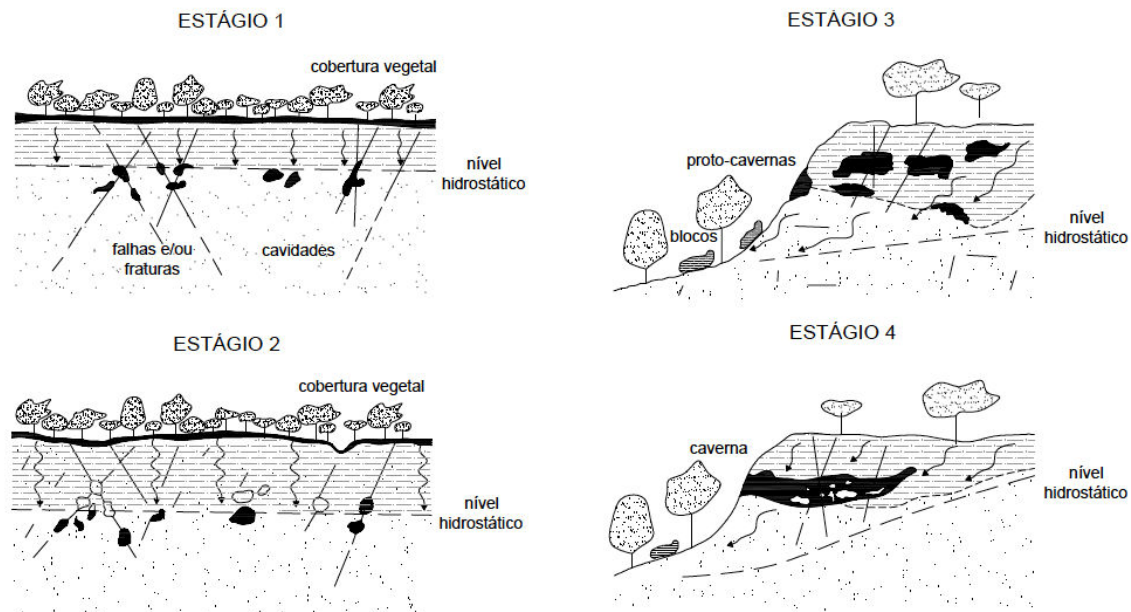
são provavelmente controladas pelo teor de minerais solúveis e pela disposição do acamamento do itabirito.

Diversos outros trabalhos associam o processo de formação das cavernas ao profundo intemperismo dos terrenos lateríticos, em função dos processos de dissolução e lixiviação da sílica presente no jaspelito (formação ferrífera bandada) (PINHEIRO & MAURITY, 1988; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1992, 1994, 1995, 2005; MAURITY, 1995; PILÓ & AULER, 2009; AULER & PILÓ, 2005; CARMO *et al.*, 2011; AULER *et al.*, 2014; PILÓ *et al.*, 2015; CABRAL *et al.*, 2016).

No Brasil, vários estudos sobre espeleogênese em terrenos lateríticos foram realizados na última década, especialmente no Quadrilátero Ferrífero e em Carajás (SIMMONS, 1963; TOLBERT *et al.*, 1971; VILELA & SANTOS, 1983; PINHEIRO *et al.*, 1985; PINHEIRO & MAURITY, 1988; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1992, 1994, 1995, 2005; MAURITY, 1995; AULER & PILÓ, 2005; DUTRA, 2013; PILÓ & AULER, 2009; CARMO *et al.*, 2011; CALUX, 2013; AULER *et al.*, 2014; PILÓ *et al.*, 2015; CABRAL *et al.*, 2016, BRAGA *et al.*, 2017).

Pinheiro *et al.*, (1985) em trabalhos pioneiros em quatro cavernas de Serra Norte, fez descrições detalhadas das morfologias das cavernas e apresentou hipóteses espeleogenéticas que resultaram em um modelo genético geral para as cavernas da Serra dos Carajás (Figura 5).

**Figura 5** - Quadro espeleogenético esquemático para as cavernas da Serra dos Carajás (PA)



**Fonte:** Pinheiro *et al.*, (1985)

Maurity & Kotschoubey (1995), posteriormente, produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também sua mineralogia. Neste trabalho, o desenvolvimento das cavernas e demais feições cársticas, definidas pelos autores como pseudocársticas, foi controlado por fatores estruturais e pela existência de zonas de baixa densidade no substrato rochoso. Em síntese, o modelo espeleogenético estabelece uma evolução em três estágios (Figura 6).

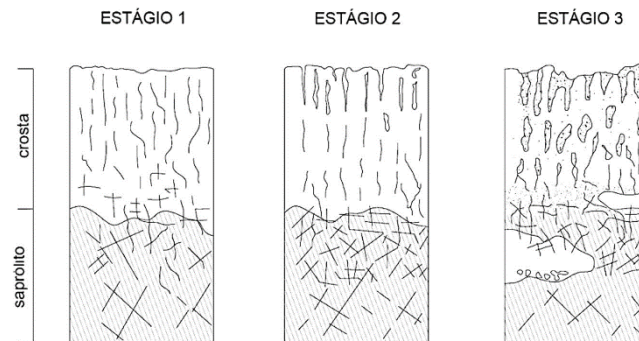
No primeiro estágio há percolação de soluções aquosas ao longo de discontinuidades estruturais tais quais fissuras e fraturas de toda ordem, e conseqüente desenvolvimento de um sistema reticulado de vazios. Ainda nesta etapa, ferro e alumínio em parte mobilizados migram para zonas mais profundas do manto de alteração.

No segundo estágio o preenchimento de fissuras e fraturas na interface crosta-saprólito por óxi-hidróxido de ferro e alumínio gera estruturas do tipo boxwork<sup>1</sup>. Por fim, no terceiro estágio, a dissolução e eluviação lateral da matriz argilosa resulta no

<sup>1</sup> são feições em alto relevo que se projetam da rocha das paredes, do teto, espeleotemas ou de pisos argilosos, forma de lâminas ou placas em estrutura reticulada. Pode ser composto por qualquer mineral que seja mais resistente que o meio circundante (Hill & Forti, 1997).

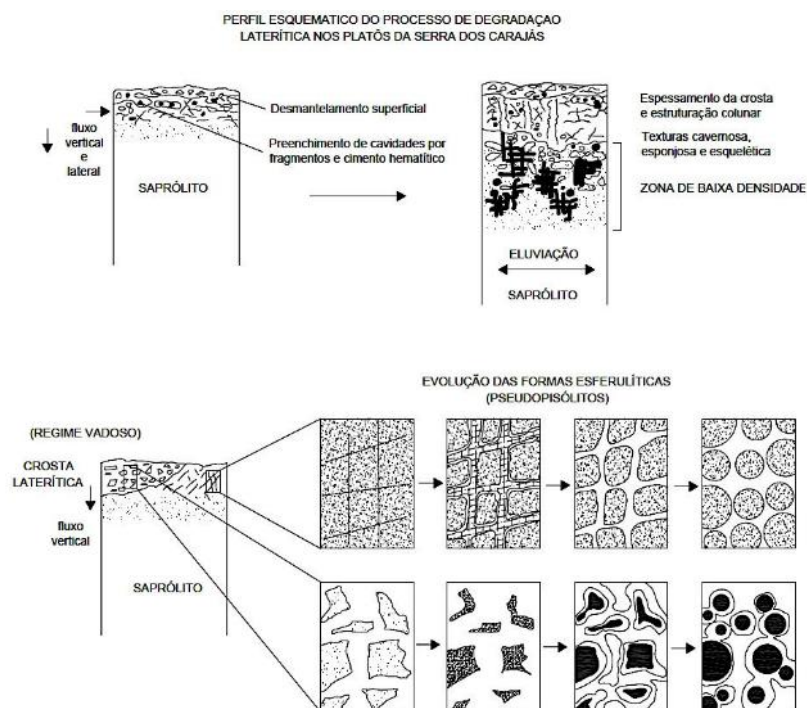
desenvolvimento de zonas de baixa densidade (Figura 7). Por conseguinte, há colapso parcial desta zona de baixa densidade e formação de cavernas.

**Figura 6** - Evolução da zona de baixa densidade na interface crosta- saprólito e formação de cavernas: Estágio 1 – Percolação de soluções aquosas ao longo de fissuras e fraturas, e desenvolvimento de um sistema reticulado de vazios. Mobilização de ferro e alumínio; Estágio 2 – Preenchimento de fissuras e fraturas na interface crosta-saprolito por óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, gerando estruturas do tipo boxwork<sup>1</sup>; Estágio 3 – Desenvolvimento da zona de baixa densidade através da dissolução e da eluviação lateral da matriz argilosa. Colapso parcial desta zona e formação de cavidades



Fonte: Modificado de Maurity; Kotschoubey (1995)

**Figura 7** - Perfis esquemáticos mostrando o processo de degradação laterítica nos platôs da Serra Norte, Serra dos Carajás, Pará. Modificado de Maurity e Kotschoubey (1994)



Fonte: Modificado de Maurity e Kotschoubey (1994)



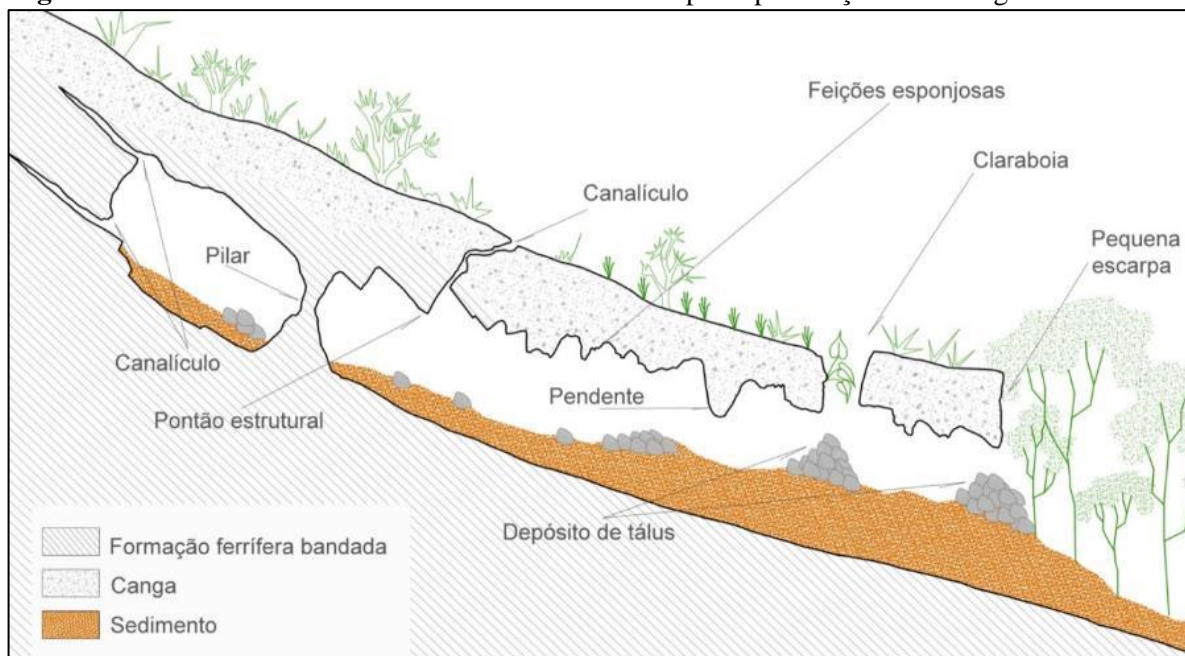
Nesta região são conhecidos um grande número de cavernas, formadas preferencialmente em bordas de ruptura dos platôs (PILÓ & AULER, 2009). A grande maioria se encontra inserida em rochas ferruginosas, embora algumas foram encontradas em rochas meta-areníticas e rochas vulcânicas alteradas.

Segundo Piló *et al.*, (2015), as cavidades de Carajás apresentam projeções horizontais pequenas, com apenas um salão, ou apenas alguns anexos que se estreitam em canalículos. Podendo ser identificados a padrões morfológicos: cavernas de câmaras irregulares e cavernas retilíneas.

As cavernas de câmaras irregulares se caracterizam por condutos irregulares, normalmente globulares, de tamanho variado que se interconectam. A conexão entre câmaras maiores é feita, muitas vezes, por meio de condutos estreitos.

As maiores cavernas da região apresentam esse padrão. Assemelha-se ao padrão esponjiforme definido por Palmer (1991). A partir da figura 8 pode-se verificar algumas feições morfológicas comuns em cavernas ferríferas.

**Figura 8** - Perfil síntese de uma caverna ferrífera com as principais feições morfológicas



Fonte: Piló *et al.*, (2015)

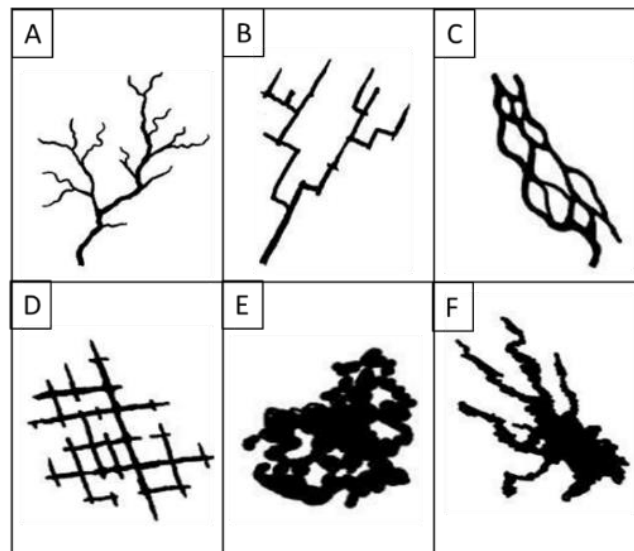
Nas cavernas carbonáticas, as diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha, a direção de escoamento da água subterrânea irá influenciar fortemente o padrão

planimétrico das cavernas. Nesses tipos de cavernas, após o levantamento topográfico, é possível observar que a configuração espacial das cavernas segue determinados padrões, tais como dentrítico, reticulado, ramiforme, etc. (Palmer, 1991).

Conforme afirma Auler & Piló (2009), a grande maioria das cavernas inseridas na formação ferrífera e na canga são em geral de pequenas dimensões. Em torno de 70% das cavidades de Carajás estão no intervalo entre 20-30 m de projeção horizontal. Em função dessas pequenas projeções horizontais que se configuram nas plantas baixas, dificulta-se a análise e classificação dos padrões morfológicos das cavernas.

Palmer (1991) foi o primeiro a apresentar uma síntese sobre a origem das morfologias das cavernas em rochas carbonáticas (Figura 9). Seus estudos objetivaram inter-relacionar os tipos de recarga hídrica, as estruturas da rocha (porosidade) e as direções de escoamento da água subterrânea. A classificação planimétrica feita por Palmer (1991; 2003) com base na planta baixa das cavernas criou padrões morfológicos até então consagrados (espongiforme, retilíneo, reticulado, labiríntico, anastomótico, etc.)

**Figura 9** - Padrões Planimétricos encontrados em Cavernas (a) Curvilíneo/ramificado; (b) retilíneo/ramificado; (c) anastomótico; (d) network ou reticulado/labiríntico; (e) espongiforme/labiríntico; (f) ramiforme.



Fonte: Modificado de Palmer (2003)

No caso das cavernas ferríferas, essas são geralmente de pequenas dimensões, o que dificulta uma melhor avaliação dos possíveis padrões planimétricos das cavernas. Desta

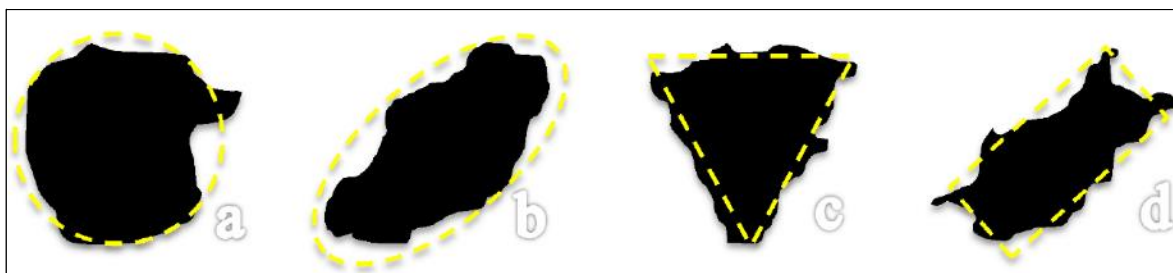


forma, não é possível aplicar de forma direta a proposta de Palmer (1991, 2003), desenvolvida especificamente para rochas carbonáticas.

Essa análise, na busca de padrões em cavernas de pequenas dimensões, como nas ferríferas, encontra-se em fase inicial de aplicação e tem um caráter, eminentemente, morfológico. Ainda é necessário avançar muito sobre o tema, o qual está acoplado a própria compreensão da gênese dessas cavernas.

Calux (2013) ao frisar que a classificação de Palmer elaborada para cavernas carbonáticas, propõe uma classificação geométrica com base em figuras geométricas elementares, tais quais círculo, elipse, triângulo e retângulo, para em cavernas ferríferas, com intuito de adequar a escala e definir padrões mais coerentes com as cavernas nesta litologia (Figura 10).

**Figura 10** – Figuras geométricas elementares utilizados na classificação do padrão geométrico: (a) circular; (b) elíptico; (c) triangular; (d) retangular



Fonte: Calux (2013)

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento e revisão bibliográfica procurou abordar aspectos da formação ferrífera, do carste/pseudocarste ferrífero e das cavernas não carbonáticas e padrões morfológicos das cavernas, envolvendo temas como geologia, geomorfologia, espeleologia, entre outros, importantes para um adequado embasamento teórico deste trabalho. Além de trabalhos acadêmicos, foram consultados também relatórios técnicos e estudos relacionados a processos de licenciamento, tendo em vista que a grande maioria dos dados espeleológicos neste tema foi gerada por estes trabalhos.

## 5.2 LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E GEOPROCESSAMENTO

Está etapa foi subdividida em 3 fases. A primeira é realizada por meio do levantamento secundário de documentos cartográficos e *shapefiles* da área, mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos, dados geográficos do relevo, hidrografia e vegetação, curvas de nível, dentre outros, disponibilizados pelo SISCOM (Sistema de Compartilhamento de Informações Ambientais) pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), além de *shapefiles* e imagens de satélite fornecidas pela FCCM e VALE.

Esta primeira etapa também consisti na sistematização de dados cartográficos, tais como, os mapas das cavernas, *shapefile* de trilhas de caminhada georreferenciadas, mapas das cavernas amostradas, além da base de dados geográfica para criação do Sistema de informações Geográficas (SIG).

A segunda fase consistiu na elaboração dos mapas temáticos. Para realização da caracterização geomorfológica da área de estudo utilizou-se os softwares *Track Maker PRO 4.9* para tratamento dos dados primários, secundários e criação de *shapefiles*. Posteriormente, através do software ArcGis 10®, na extensão ArcMap 10.3, foram elaborados os mapas deste trabalho (Mapa de localização, geomorfológico e hipsométrico). A partir das imagens de satélite Wordview 4 de 2016, que apresenta órbita circular, heliossíncrona, descendente resolução espacial pancromático de P&B de 0,3m e multiespectral de 1,24m, com sistema de coordenadas UTM, zona 22 S, SAD' 69<sup>2</sup>. Utilizou-se *shapefiles* do IBGE, (2012) para suporte da hidrografia, rodovias, cidades e limites territoriais geopolíticos da federação (estados e municípios).

Para elaboração das curvas de níveis, utilizou-se a cena da missão SRTM para gerar as curvas de nível com equidistância de 20 em 20 metros, em seguida para gerar a hipsometria foi necessária a utilização de um MDT (Modelo Digital de Terreno) que foi gerado por triangulação irregular da grade (TIN) na ferramenta Tin Management > Create Tin, localizado no item 3D Analyst tools do ArcGis® 10.3.

O uso do software Autocad 2018, foi necessário para fazer a extração das plantas baixas e classificação dos padrões planimétricos e geométricos.

### 5.3 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

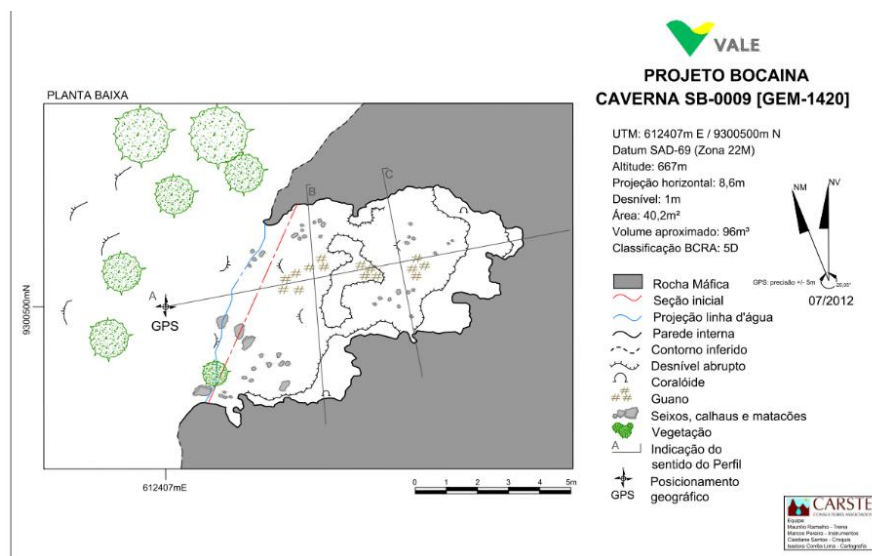
As fotografias digitais das apresentadas neste trabalho tiveram fontes secundárias e primárias, para representar as características internas das cavernas. As secundárias foram obtidas, principalmente por meio dos os inventários fotográficos dos estudos desenvolvidos pela FCCM (2007) e CARSTE (2012), além de algumas fotografias de Scherer (2012) e (2019). As fotografias primárias foram levantadas em campo com a Câmera fotográfica Sony Power-shot (modelo SX50-HS), com 12.1 megapixels e 50x de zoom óptico.

Para complementar a caracterização da paisagem, foram realizadas fotografias com o drone Phantom 4 Pro da DJI, câmera do Phantom<sup>2</sup>, com sensor CMOS de 20MP por polegada.

### 5.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CAVERNAS

As análises das características morfológicas das cavernas foram obtidas de plantas topográficas realizadas pela FCCM (2007) modificados pela CARSTE em (2011) e CARSTE (2012; 2013) (Figura 11).

**Figura 11** – Mapa Topográfico da Caverna SB-0009



**Fonte:** Relatório inédito, CARSTE (2012)

<sup>2</sup> Equipamento cedido pelo laboratório de Geografia Física da Unifesspa, junto ao Projeto de pesquisa realizado na Unidade de Conservação Parques Ferruginosos sobre a coordenação da Profa. Dra. Maria Rita Vidal e do Professor Me. Abraão Mascarenhas.

No que tange a precisão do levantamento topográfico das cavidades, foi realizado com instrumentos da marca *suunto*: bússola (KB-14/360R) e clinômetro (PM-5/360PC); além de trena laser *Leica*, modelo *Disto D2*. O grau de precisão dos mapas atingiu 5D, com base no sistema BCRA (*British Cave Research Association*). Esse grau prevê medidas de ângulo na linha central de topografia com precisão de  $\pm 1^\circ$ , medidas de distância com precisão de 1 cm e posicionamento das bases com erro menor do que 10 cm. Medidas entre as bases topográficas devem ocorrer sempre que houver alterações na morfologia da caverna. O caminhamento da topografia seguiu o método de bases fixas.

Os dados da topografia foram inseridos no software *On Station*, permitindo assim a visualização dos dados da linha de trena de forma tridimensional. A cartografia foi realizada em plataforma georreferenciada (software AutoCAD 2012). Nesse programa foram elaboradas a planta baixa como contorno de paredes e linha d'água. As seções foram anexadas contendo escalas altimétricas além de referências à escala humana, de modo a permitir uma melhor noção das dimensões dos condutos. A altitude da entrada da caverna e os grids de coordenadas UTM do mapa foram gerados a partir das coordenadas coletadas por aparelhos GPS<sup>3</sup>.

A cartografia gerada também possibilitou a elaboração de cálculos espeleométricos. A CARSTE utilizou, para o cálculo da projeção horizontal, o princípio da descontinuidade (RUBBIOLI & MOURA, 2005). A declinação magnética foi obtida no site do Observatório Nacional ([www.on.br](http://www.on.br)).

## **6. RESULTADOS E DISCURSÕES**

### **6.1 INSERÇÃO NA PAISAGEM**

A superfície do planalto dissecado possui relevo ondulado sustentado por cobertura laterítica, com altitudes entre 600 e 755 m. No topo, colinas com vertentes côncavas e convexas são frequentemente interrompidas por rupturas da cobertura laterítica. Essas

---

<sup>3</sup> Optou-se pelo uso do DATUM sad'69 devido à base de dados SIG está em sua maioria produzida neste DATUM.

rupturas, em geral menos expressivas no interior, marcam bem os limites do planalto residual na forma de imponentes escarpas erosivas, as quais muitas vezes abrigam cavernas. Esses limites da borda do planalto são bem reconhecíveis em imagens orbitais devido à brusca mudança da cobertura vegetal. O caráter xerófilo da vegetação sobre a cobertura laterítica, cede lugar à floresta ombrófila nas encostas do planalto e em capões de mata no topo, onde a cobertura laterítica foi parcialmente desmantelada, mais concentrados nas regiões NW e SW da Serra da Bocaina (Figura 12).

**Figura 12** – A) Vista aérea da paisagem destacando as vertentes. B) Vista de uma drenagem perene na vegetação densa. C) Escarpa gerada pela ruptura da cobertura de canga na entrada da caverna SB-0010, localizada na borda do planalto residual. D) Vista do contato abrupto que marca a transição vegetação de campo rupestre com a florestas densas.

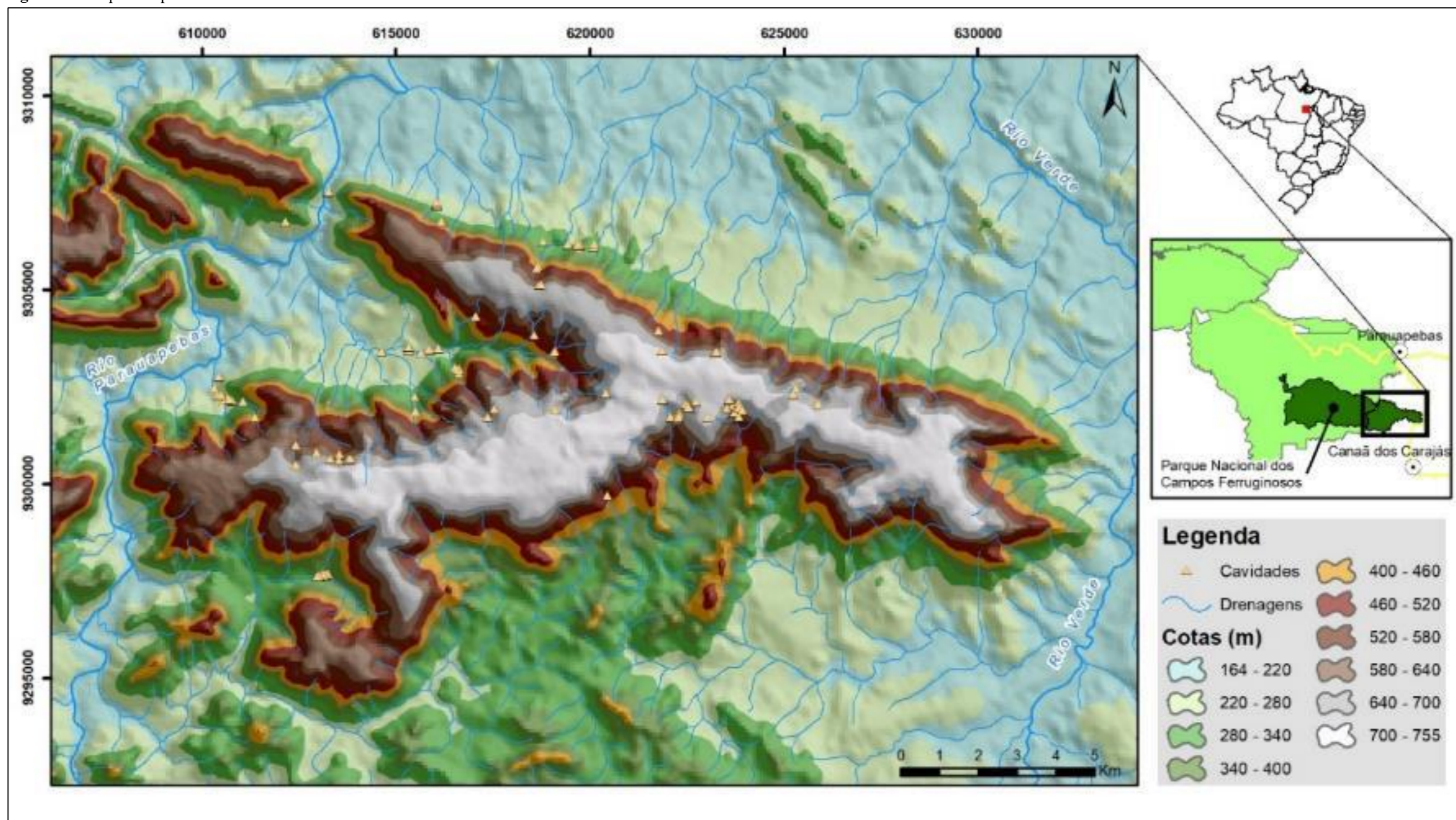


**Fonte:** A) e D) próprio autor (2019); B) FCCM (2007); C) CARSTE 2012



Sob o ponto de vista geomorfológico, as cavernas da Serra da Bocaina podem ser agrupadas em três compartimentos principais: i) Cavernas do Topo do Planalto Residual (com 90 cavernas, 38%); ii) Cavernas das encostas do Planalto Residual (com 35 cavernas, 15%) e Cavernas na Depressão periférica 110 (47%). Entre as Cavernas do Topo do Planalto Residual, 67 (74%) encontram-se nas bordas deste, em escarpas erosivas que limitam a cobertura laterítica ou próximas a estas (Figura 13).

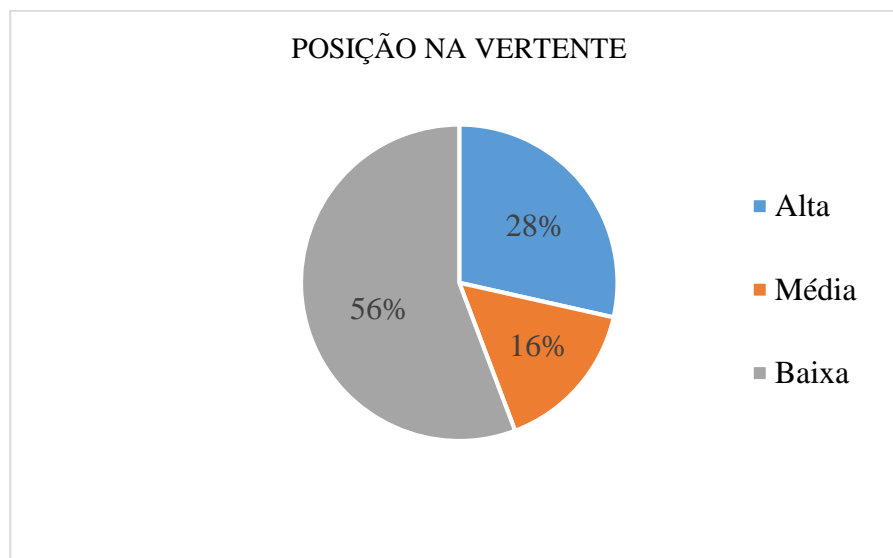
**Figura 13** - Mapa de hipsométrico da área de estudo.



Fonte: Vale (2018); IBGE (2008); Imagem World view (2016)  
Organização: Autor, 2019

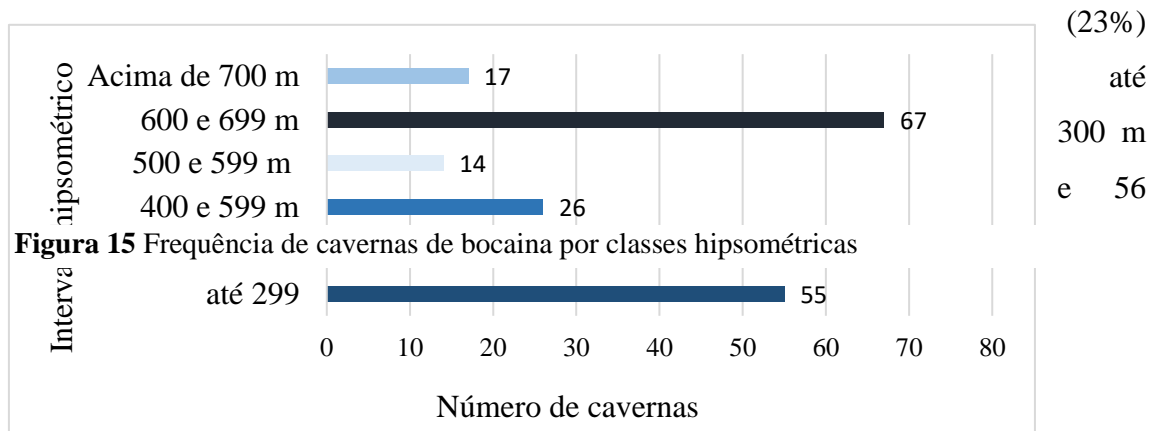
As cavidades estudadas estão inseridas principalmente na baixa vertente (em relação ao nível de base local – talvez mais próximo), ou seja, 56% (131) das cavernas estão nessa posição da vertente. Na alta vertente também foi registrado um número importante de cavernas: 67, representando 29% da amostra. Na média vertente foram identificadas 37 cavernas (16%) (Figura 14).

**Figura 14** – Distribuição das cavidades em relação a posição na vertente



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Diante da distribuição das cavernas por classes hipsométricas na Serra da Bocaina foi possível registrar que a maioria (67 – 29%) das cavernas está inserida na classe 600-700 m de altitude. Essa classe abrange principalmente a borda superior do platô. As classes 200-300 m e 300-400m também registraram números importantes de cavernas, sendo 55 cavernas





cavernas (24%) entre 300 e 400 m. Esse intervalo altimétrico corresponde ao sopé e as partes mais baixas das vertentes do planalto residual. Nas classes intermediárias, que correspondem às encostas do planalto, foi registrada uma diminuição da ocorrência de caverna (Figura 15).

**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor

Os paredões rochosos onde se inserem as cavernas estão distribuídos de forma escalonada ao longo das vertentes inclinadas que limitam o planalto residual. Estes paredões são muitas vezes representados por afloramentos da formação ferrífera bandada encimados por uma cobertura de canga (Figura 16).

**Figura 16** – Vista da borda da superfície aplainada, onde o escarpamento abrupto marca a transição da superfície aplainada e as vertentes inclinadas do planalto dissecado.



**Fonte:** Scherer (2012)

No sopé do planalto e nas áreas mais rebaixadas, as cavidades estão inseridas principalmente na borda de calhas de drenagem. Neste compartimento a superfície ligeiramente inclinada ou aplainada recoberta pelos crosta lateríticas foi entalhada, expondo



as entradas das cavernas. As cavernas SB-0146, SB-0147 e SB-0151 são bons exemplos desse tipo de inserção (Figura 17).

**Figura 17** - Vista da entrada de uma caverna na depressão periférica.



**Fonte:** Adaptado de CARSTE (2012)

Além as cavernas inseridas nas escarpas e canais de drenagem, as cavernas da Serra da Bocaina ocorrem em distintas feições do relevo. Cerca de 32 cavernas inseridas em anfiteatros. Há registro de cavernas com entradas em pequenos dolinamentos, gerados por colapso de parte do vazio subterrâneo (Figura 18). Essas cavernas são poucas, apenas 3 e existem ainda, 7 cavernas em depósitos de tálus, como pode ser visto na Caverna SB-0041.

**Figura 18** – A) Vista de dolinamento a 710 m de altitude no flanco norte, com cerca de 100m de diâmetro. B) Entrada da caverna as margens do colapso de canga.



**Fonte:** próprio autor (2019); Scherer (2012)

## 6.2 PADRÕES MORFOLÓGICOS PLANIMÉTRICOS E GEOMÉTRICOS DAS CAVERNAS FERRÍFERAS DA SERRA DA BOCAINA.

A partir da análise das plantas das 235 cavernas estudadas, tendo premissa os modelos propostos por Palmer (2003) e Calux (2013), foi possíveis identificar e definir 14 padrões morfológicos planimétricos e geométricos (Simple Retilínea Retangular, Simple Retilínea

Triangular, Simples Esférica, Simples Disforme, Simples Curvilínea Bifurcada, Simples Curvilínea, Simples Bifurcada, Simples Semicircular, Composta Bifurcada, Simples Afunilada, Composta Ramiforme, Composta Mista, Composta Disforme e Composta Espongiforme), (Quadro 1).

**Quadro 1** - Exemplos de formas planimétricas das cavernas da Serra da Bocaina

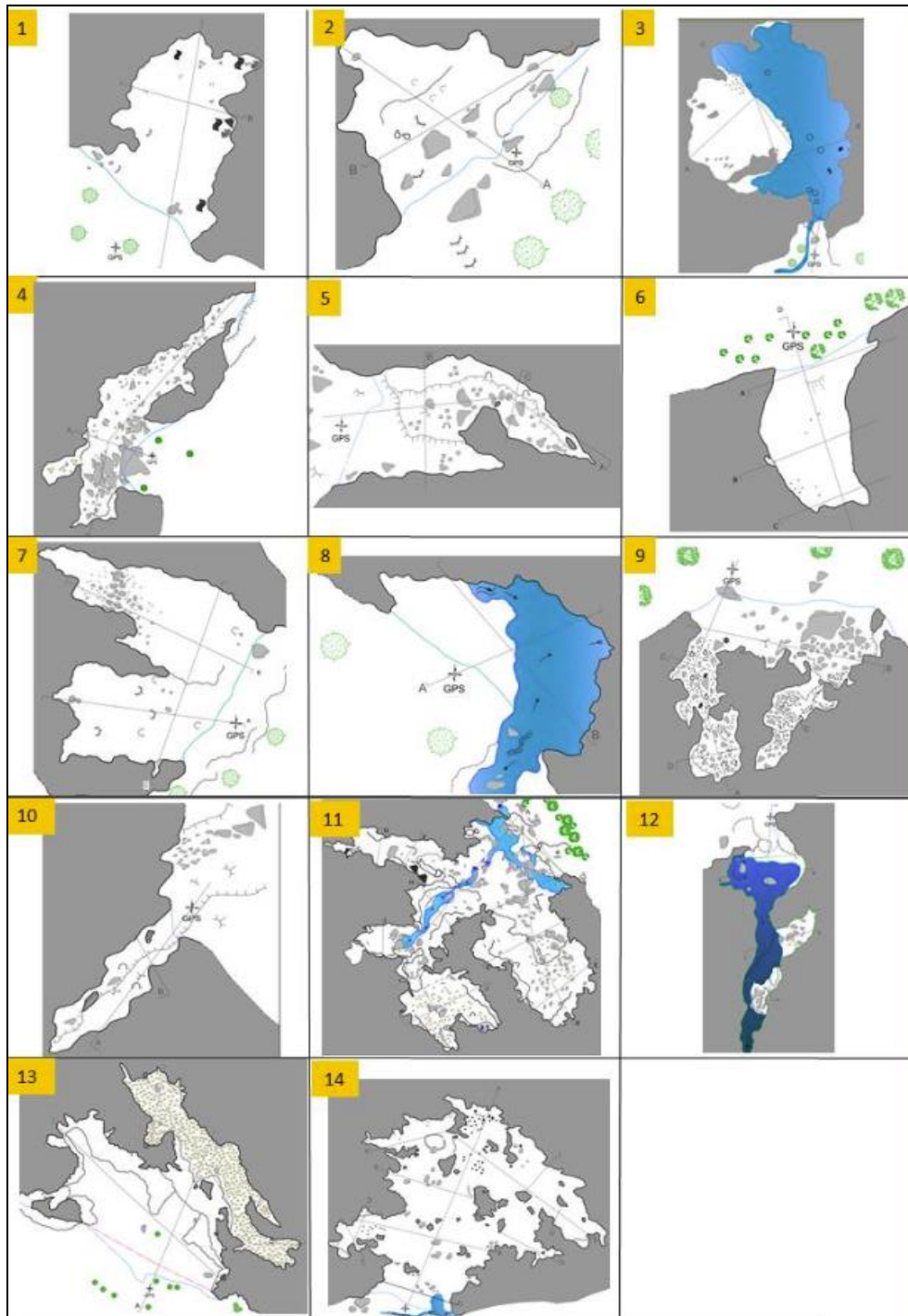
Item	Padrões planimétricos e geométricos	Características das câmaras
1	<b>Simples Retilínea retangular</b>	Segue uma única direção, geralmente condicionada por fratura ou pelo plano inclinado do bandamento da rocha. Ângulos aproximadamente retos, geralmente controlados por fraturas ou outra estrutura, apresentando forma retangular.
2	<b>Simples Relilínea Triangular</b>	As paredes seguem direções transversais se conectando no eixo de desenvolvimento.
3	<b>Simples Esférica (Circular)</b>	Apresenta uma única câmara, na forma esférica. Geralmente não se verifica fraturas ou famílias de fraturas que condicionam sua forma.
4	<b>Simples Disforme</b>	Não apresenta nenhuma configuração assemelhada com formas geométricas planas ou planimétricas.
5	<b>Simples Curvilínea Bifurcada</b>	Apresenta curvatura em seus dois eixos de desenvolvimento. Essa curvatura pode estar condicionada ao encontro entre diferentes planos de fraturas ou juntas, ou mesmo pelo contato entre o plano de fratura e o bandamento.
6	<b>Simples Curvilínea</b>	Apresenta curvatura em seu eixo de desenvolvimento. Essa curvatura pode estar condicionada ao encontro entre diferentes planos de fraturas ou juntas, ou mesmo pelo contato entre o plano de fratura e o bandamento.
7	<b>Simples Bifurcada</b>	Divide-se em duas direções ou braços, a partir de um salão.
8	<b>Simples Semicircular</b>	Apresenta aproximadamente na forma semicircular, geralmente apresentando um único salão.
9	<b>Composta Bifurcada</b>	Apresenta-se com mais de um salão que se dividem em duas direções ou braços preferenciais.
10	<b>Simples Afunilada</b>	Estreita-se na direção distal e adquire a forma de funil.
11	<b>Composta Ramiforme</b>	Caracteriza-se por apresentar condutos de tamanho variado, que se desenvolvem em diversas direções e normalmente não se interconectam.
12	<b>Composta Mista</b>	Composto pela mistura de mais de uma configuração a partir de vários salões, condutos e canalículos.
13	<b>Disforme (câmara composta)</b>	Não apresenta nenhuma configuração assemelhada com formas geométricas planas ou apresenta várias formas.
14	<b>Composta Espongiforme</b>	Caracteriza-se por apresentar condutos de tamanho variado, que se interconectam normalmente por passagens mais estreitas, com ocorrência de diversos pilares.

A figura 19, apresenta as imagens das plantas baixas das cavidades que melhor representam os padrões morfológicos e planimétricos identificadas.





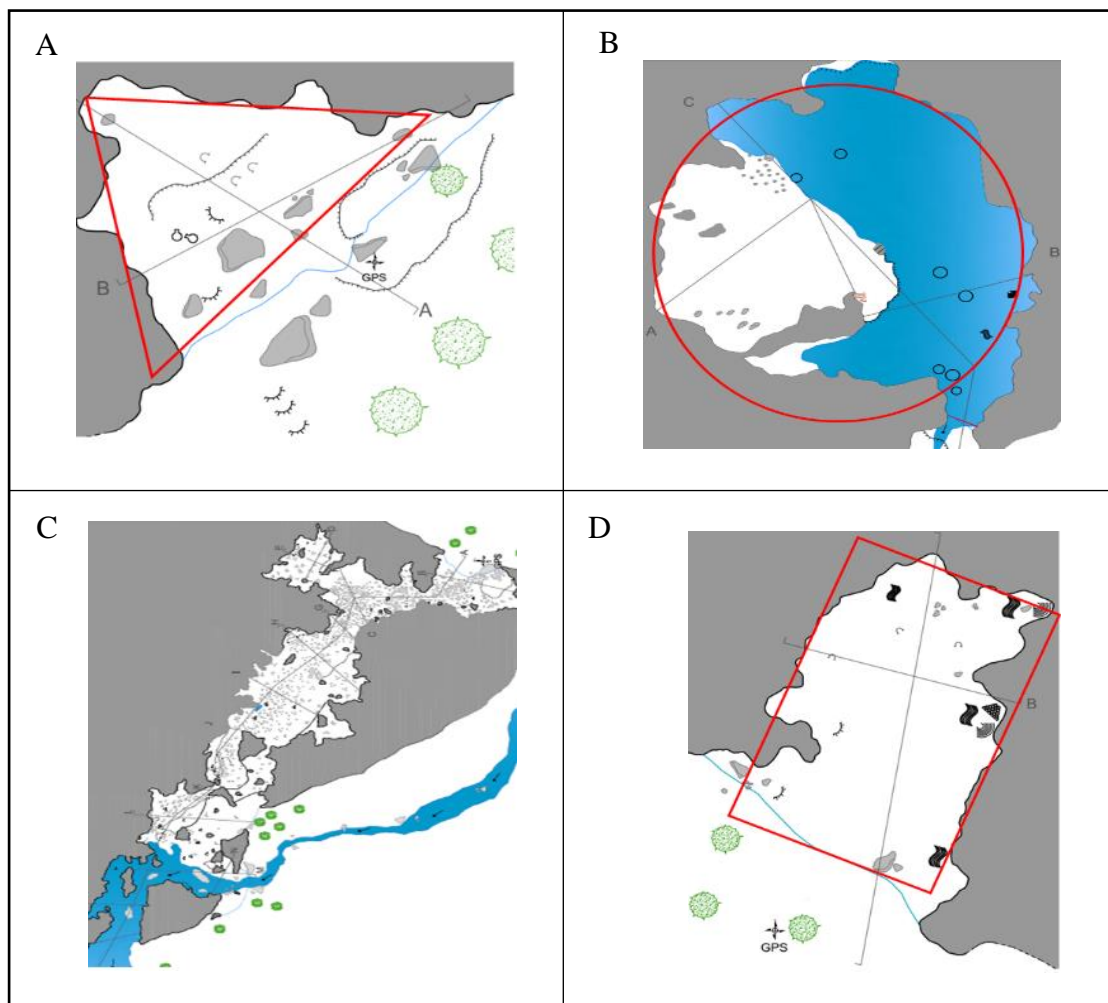
**Figura 19** – 1) Simples Retilínea Retangular; 2) Simples Retilínea Triangular; 3) Simples Esférica; 4) Simples Disforme, 5) Simples Curvilínea Bifurcada; 6) Simples Curvilínea; 7) Simples Bifurcada; 8) Simples Semicircular; 9) Composta Bifurcada; 10) Simples Afunilada; 11) Composta Ramiforme; 12) Composta Mista; 13) Composta Disforme; e 14) Composta Espongiforme



Fonte: Próprio autor (2019)

Cabe ressaltar que a classificação conjunta dos padrões, as quais denominamos planigeométricos foram consagrados em apenas 3 padrões (Simples Retilínea Retangular, Simples Retilínea Triangular e Simples Esférica), tendo por base que a classificação geométrica se baseia nas paredes e linha d'água, os seja, compreende as partes mais limítrofes das cavidades, porém não foram abordadas nessa pesquisa (Figura 20). Grande maioria apresentando padrão morfológico e geométrico disforme.

**Figura 20** – Padrões planimétricos e geométricos observados a partir da planta baixa. a) Simples Retilínea Triangular. b) Simples Esférica. c) Composta disforme. d) Simples Retilínea Retangular

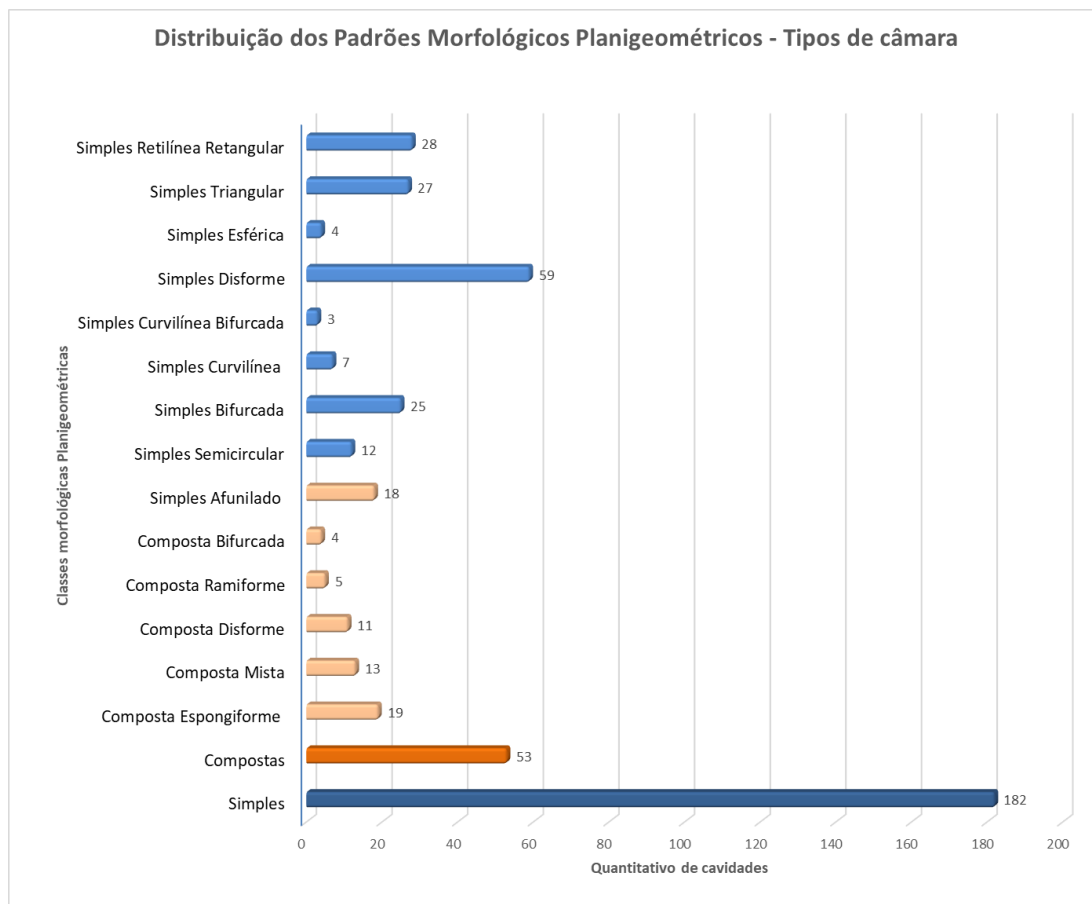


**Fonte:** Próprio autor (2019)

O padrão planimétrico das 235 cavernas da Serra da Bocaina pode, de modo geral, serem divididos em duas tipologias principais: câmaras simples 182 (77,5%), formadas por compartimento único e, câmaras compostas 76 (22,5%), constituídas por mais de um compartimento. Com relação às câmaras simples, foi possível identificar 12 padrões: retilínea retangular, triangular, esférica, disforme, curvilínea bifurcada, curvilínea, bifurcada, semicircular, afunilado e disforme. Por sua vez, foram identificados três padrões de câmaras compostas: ramiforme, mista, disforme e espongiiforme (Figura 21).

Em 59 cavernas de câmaras simples e 13 de câmaras compostas não foi possível identificar com clareza a forma planimétrica ou mesmo geométrica. Em vista disso, 72 cavernas foram denominadas como disforme.

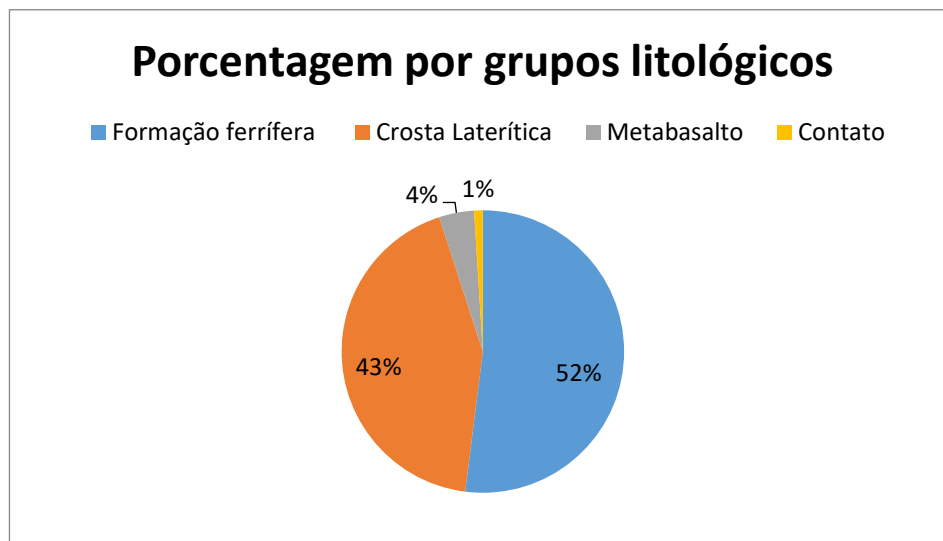
**Figura 21** - Distribuição das cavernas da Serra da Bocaina por padrão morfológico planigeométricos



**Fonte:** Próprio autor (2019)

As cavernas da Serra da Bocaina apresentam três principais grupos tipológicos: formação ferrífera, crosta laterítica e metabasalto. Na formação ferrífera, foram registradas 123 (52%), cavernas que 58 (25%) cavernas estão inseridas em jaspilito, 48 (20%) em canga, 15 (6%) no contato entre essas duas rochas, e no contato entre essas e a rocha máfica 2 (1%). No crosta laterítica, 102 cavernas (43%) inseridas exclusivamente em crosta laterítica e três cavernas (1%) no contato entre o crosta laterítica e a rocha máfica. O Metabasalto, grupo com menor número de cavernas, é composto por nove cavernas (4%) totalmente inseridas em rochas máficas decompostas e uma caverna no contato entre a máfica e o crosta laterítica (Figura 22).

**Figura 22** - Distribuição das cavernas por grupos litológicos.



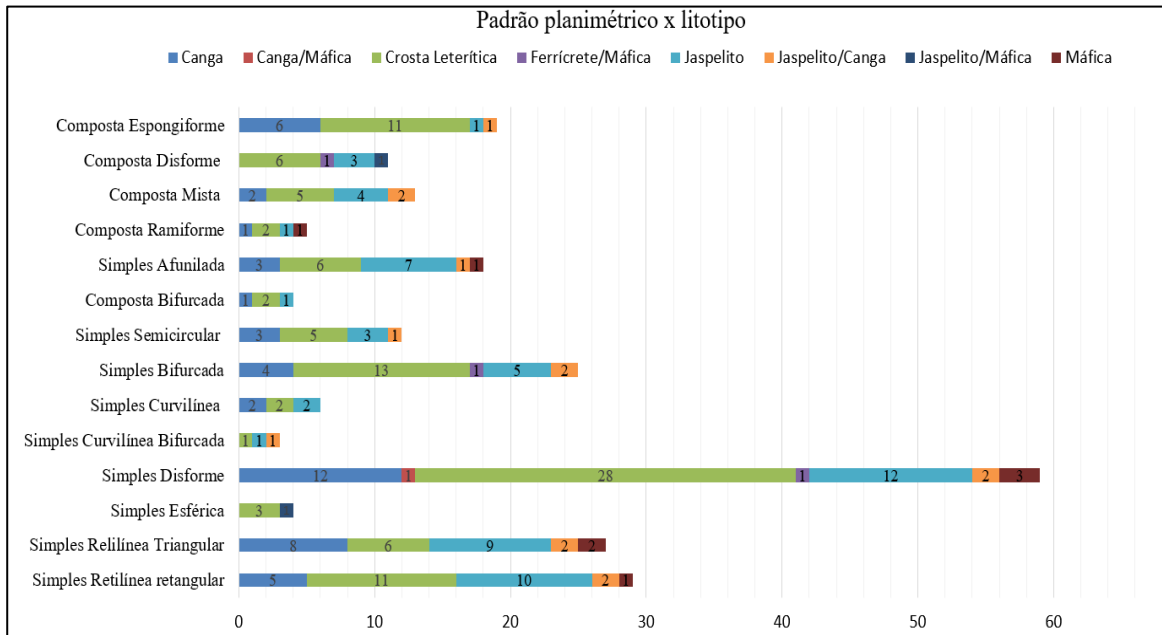
**Fonte:** Próprio autor (2019)

Em relação a planigeometria e os litotipos, foi possível identificar o padrão planimétrico simples disforme apresenta a maior diversidade de litotipos e também o maior número de cavernas. As cavernas de tipologia composta ocorrem predominantemente em crosta laterítica. Por sua vez, a maior parte das cavernas com tipologia simples estão inseridas em Jaspelito e canga. Ao passo que, as cavernas que ocorrem entre os contatos litológicos estão dispersas entre os padrões. Cabe ressaltar que dentre os padrões com formas definidas, as cavernas em canga ocorrem principalmente no padrão composto espongiforme e simples



retilíneo triangular. Enquanto, as cavernas em crosta laterítica destacam-se no padrão composto espongiforme, simples bifurcado e simples retilíneo retangular (Figura 23).

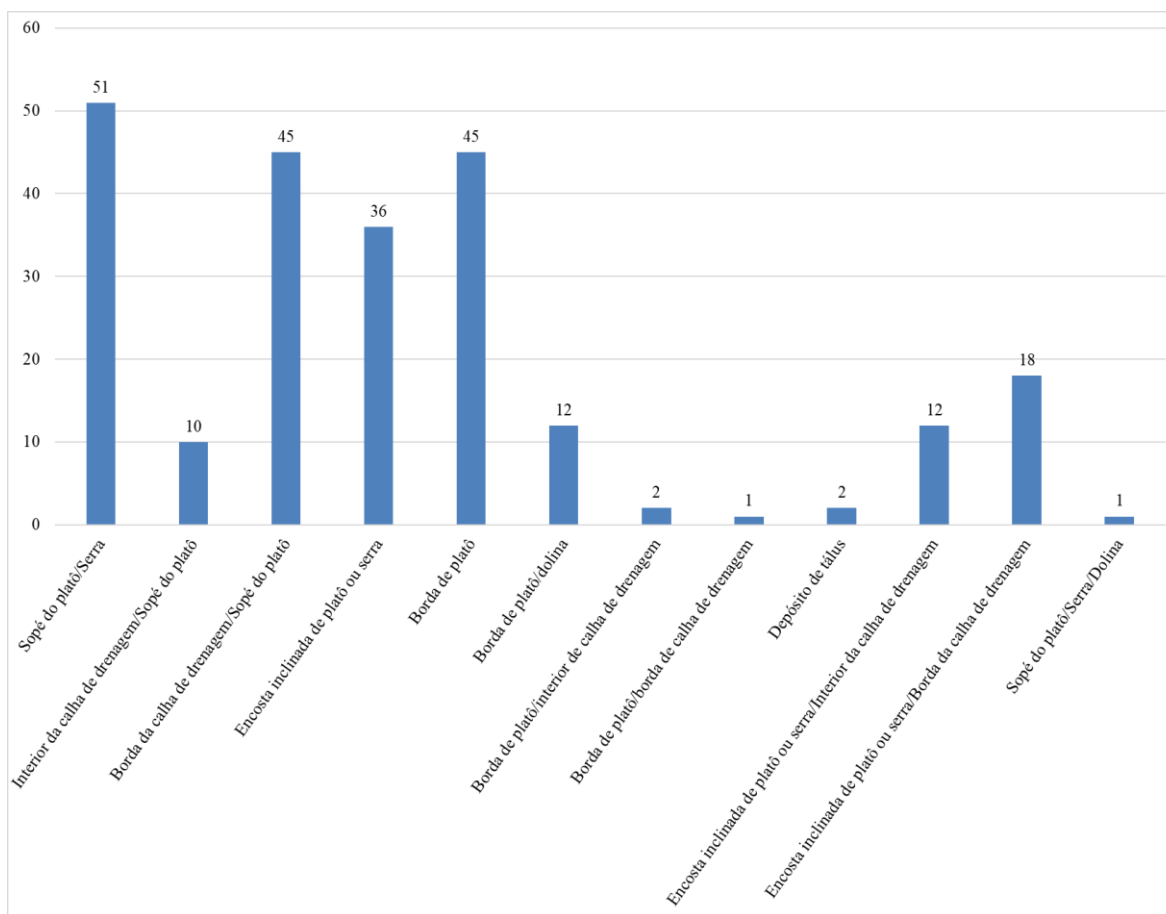
**Figura 23** - Distribuição do padrão planimétrico por litologia na amostra de cavernas da Serra da Bocaina



Fonte: Próprio autor (2019)

É possível notar que a presença do jaspelito está associada de certo modo à presença de rupturas de relevo mais expressivas, uma vez que esse litotipo é mais frequente em cavernas localizadas nas bordas do planalto residual e das depressões fechadas, locais mais suscetíveis a processos de recuo erosivo e desmantelamento da cobertura laterítica.

A maior parte das cavernas ocorrem em carapaças ferruginosas no sopé do platô 51 (23%). Também ocorrem cavernas no sopé do platô encaixadas na borda (4%), no interior da calha de drenagem (21%) e uma em dolina. Outro montante significativo de cavernas se encontra na alta vertente, especificamente nas bordas dos platôs (21%), podendo ainda está apresentar-se no interior calha de drenagem, na borda da calha de drenagem ou em dolinas (Figura 24).

**Figura 24** – Distribuição das cavidades por tipo de forma do relevo.

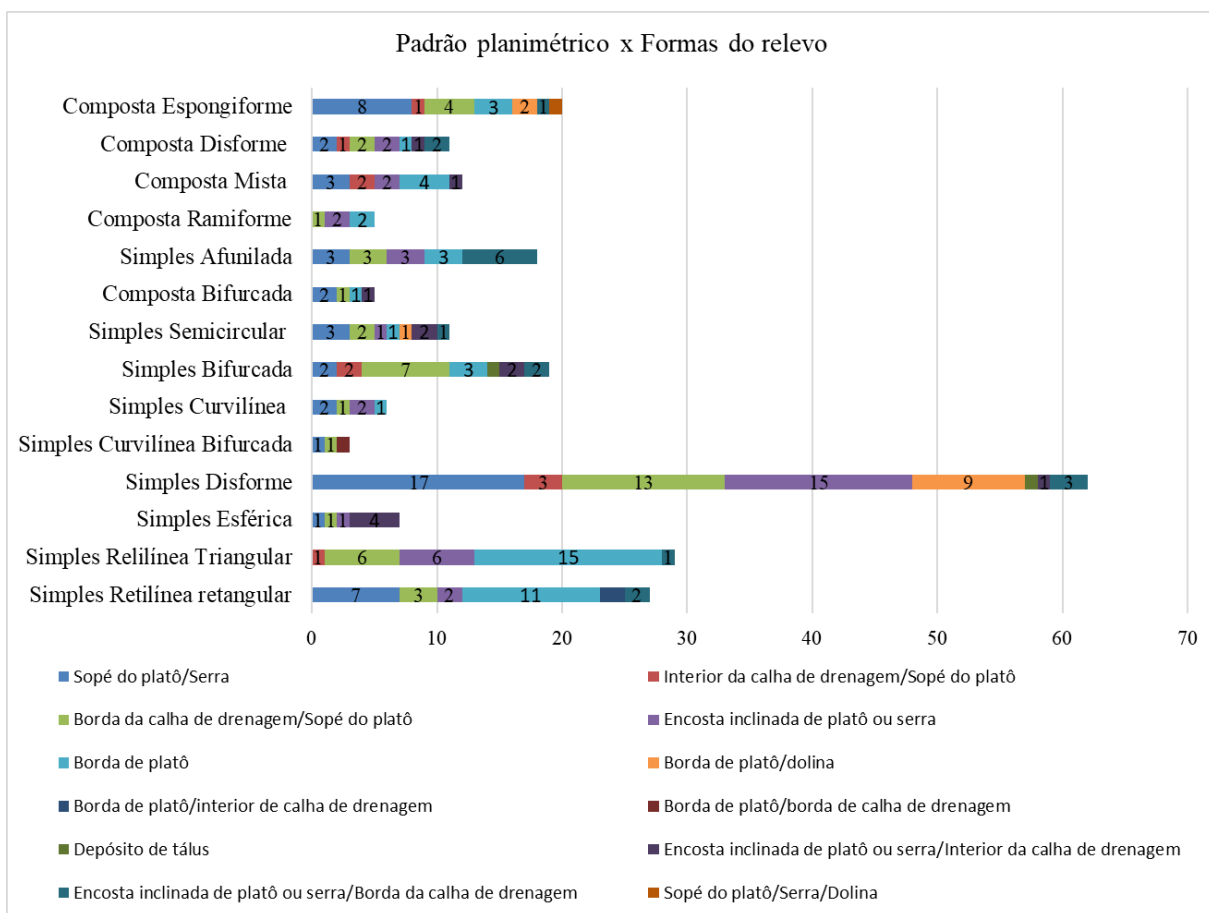
**Fonte:** Próprio autor (2019)

As cavernas estudadas estão inseridas em diversas formas do relevo, tais como: Sopé do platô, borda da calha de drenagem do sopé do platô, interior da calha de drenagem do sopé do platô, borda do platô, depósito de talus, na encosta inclinada do platô, dolinas na borda ou sopé do platô, entre outras. Na figura 25, é apresentado uma correlação entre os padrões morfológicos e geométricos e as formas do relevo em que as feições estão inseridas. De modo geral, verifica-se que há uma ampla distribuição dos padrões morfológicos e geométricos das cavernas nas formas do relevo, porém é possível constatar algumas tendências, tais como:

- As cavernas com padrão planimétrico espongiiforme estão predominantemente no sopé do platô;

- As cavernas de tipologia simples, ou seja, que apresentam apenas uma câmara ocorrem predominantemente no sopé do platô, em parte, inseridas na borda da calha de drenagem e apresentam maior diversidade taxinômica morfológica e geométrica;
- As cavernas com padrão retilíneo retangular estão inseridas meio a meio, entre a borda do platô e sopé do platô;
- Os padrões disformes simples e composto estão distribuídos em praticamente todas as formas do relevo;
- As cavernas em dolinas são predominantemente disformes e espongiiformes.

**Figura 25** - Distribuição do padrão planimétrico pela forma do relevo na amostra de cavernas da Serra da Bocaina

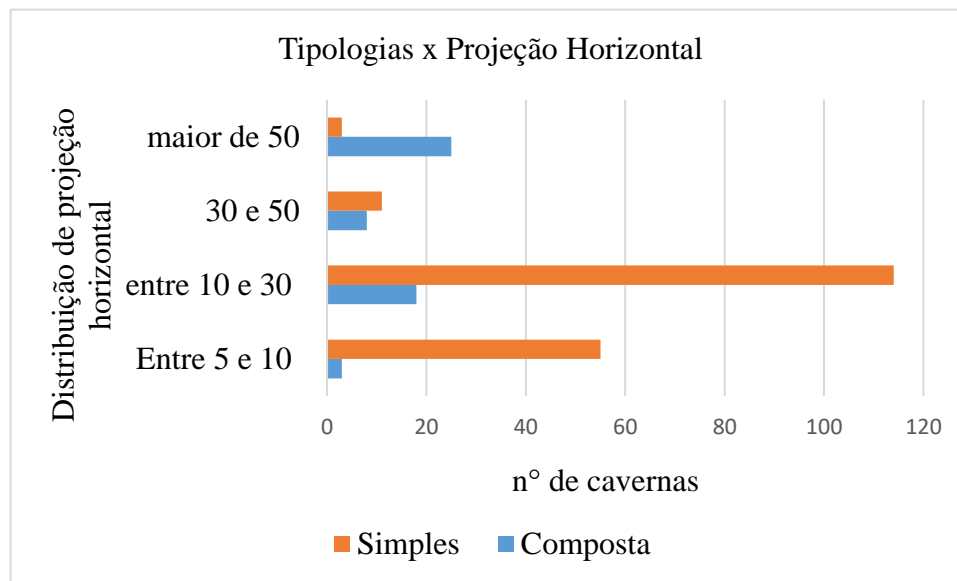


Fonte: Próprio autor (2019)

No que tange aos dados dimensionais de projeção horizontal das cavernas da Serra da Bocaina em relação tipologias morfológicas. A média de PH das cavernas de 25,3 m, com valor máximo e mínimo de 188,7 e 6,1 m, respectivamente.

A distribuição das cavernas por classes de PH demonstrou que 60% (132) cavernas encontra-se na classe de 10 e 30 m, sendo que 95 % deste montante apresentam tipologia simples. As cavernas com PH acima de 50m apresentam tipologia composta em mais de 95% dos casos. Enquanto a tipologia simples predomina entre 5 e 30m (Figura 26).

**Figura 26** - Distribuição das cavernas por classes de projeção horizontal por tipologia das cavernas



Fonte: Próprio autor (2019)

### 6.3 MORFOLOGIA DAS FEIÇÕES

Diversos fatores podem influenciar na morfologia das cavernas. Muitas das vezes as fraturas e fissuras do maciço podem exercer influência na espeleogênese das cavidades, comum em cavernas em formação ferrífera. Na caverna SB-0010 essas discontinuidades facilitam o fluxo da água no interior do maciço rochoso, fato que pode ser comprovado pelo intenso gotejamento nas cavernas períodos chuvosos (Figura 27).

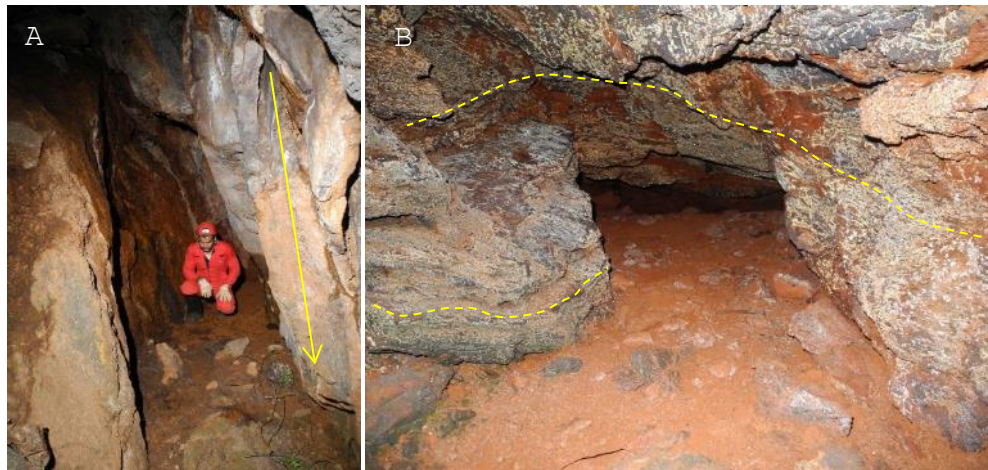
**Figura 27** – a) Descontinuidade na parede da caverna. b) Vista aproximada da percolação de água através da fratura subvertical na caverna SB-0010



**Fonte:** Próprio autor (2019)

O bandamento também exerce influência no condicionamento morfológico das cavernas, a exemplo das cavernas SB-0077, SB-0067, SB-0054. Ângulos maiores do mergulho das bandas composicionais favorecem condutos mais estreitos e altos, enquanto que planos menos inclinados tendem a condicionar formas mais largas com teto relativamente mais baixo e formas retilíneas. Através da observação direta dos inventários fotográficos, é possível registrar que 65 cavernas (28%) apresentaram algum tipo de controle morfológico em função da estrutura, seja ela fratura ou mesmo o bandamento. Controle morfológico através de fraturas pode ser observado nas cavernas, SB-0188 e SB-0106, dentre outras (Figura 28).

**Figura 28** – a) Conduto em formato retilíneo afunilado com fraturas subverticais que condicionaram essa morfologia (destacado em amarelo). b) Bandamento com ângulo de mergulho inclinado e abatimentos com dinâmica associada a presença de fraturas atectônicas (juntas de alívio) (destacado em amarelo).



**Fonte:** a) Adaptado de CARSTE (2012)

A crosta laterítica apresenta-se em geral com coloração vermelha e/ou amarela. Em alguns casos, como registrado nas cavernas SB-0164, SB-0169 e SB-235, a crosta laterítica é constituído por matriz ferruginosa onde verifica-se uma variação na quantidade de clastos presentes. Em geral a rocha se mostra bastante alterada e friável, com porosidade elevada, na forma de furos tubulares com dimensão centimétricas (Figura 29).

**Figura 29** – Vista ampla da câmara da caverna SB-0169 demonstrando de cor amarela com alteração apenas superficial com predomínio de goethita



**Fonte:** CARSTE (2012)



A morfologia do teto varia de regular, nos setores onde predomina a formação ferrífera bandada, à irregular, onde predomina a canga detrítica (Figura 30). As paredes são em geral irregulares e apresentam diversas reentrâncias, resultado do alargamento de fraturas e/ou microcanais de drenagem.

**Figura 30** – Teto com pendentes e pontões estruturais destacando a irregularidade do teto da cavidade SB-0067



**Fonte:** CARSTE (2012)

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As 235 cavernas da Serra Bocaina estão inseridas principalmente na baixa vertente 56% (131) das cavernas estão nessa posição da vertente, 29% alta vertente e 16% na média vertente.

A metodologia para classificação dos padrões morfológico baseada em Palmer 2003 e dos padrões geométricos de Calux 2013, nos permitiu fazer a análise dos padrões morfológicos e geométricos, e concluir que podem ser definidos novos padrões taxinômicos morfológicos e geométricos e podendo serem definidos de forma conjunta em uma amostragem.

Os levantamentos de imagens áreas com uso de Drone realizando levantamentos sistemáticos em bordas de platô, *talus*, feições de dolinas se mostrou bastante útil na

definição de feições geomorfológicas, dando base para a taxonomia morfométricas das cavidades naturais. As imagens de satélites e aerofotos prestaram-se a esse fim.

O uso de software de geoprocessamento e, de desenho assistido por computadores (vetores, desenhos, etc.) facilitam o processo cartográfico, dando agilidade para tarefa que prescindem e preside as tarefas de campo e nas questões de pós-processamento das informações.

Neste trabalho, denominamos essa junção de padrões planigeométricos, pelos quais foram definidos 3 padrões (Simples Retilínea Retangular, Simples Retilínea Triangular e Simples Esférica) e classificação geométrica não é possível em grande parte das cavidades estudadas e certamente isso deve-se repetir para outras cavernas em rochas ferríferas.

A análise correlacional entre os padrões geometria e planimetria das 235 cavernas foi possível concluir que existe correlação entre os padrões morfológicos e o com o litotipo das cavernas, com as formas do relevo ao qual estão inseridas e com suas dimensões (PH), cabe destacar as principais tendências identificadas:

- O padrão planimétrico simples disforme apresenta a maior diversidade de litotipos e o maior número de cavernas;
- As cavernas de tipologia composta ocorrem predominantemente em crosta laterítica. Por sua vez, a maior parte das cavernas com tipologia simples estão inseridas em Jaspelito e canga;
- Cavernas hospedadas entre contatos litológicos apresentam diversos padrões;
- As cavernas com padrão planimétrico esponjiforme estão predominantemente no sopé do platô;
- As cavernas de tipologia simples, ou seja, que apresentam apenas uma câmara ocorrem predominantemente no sopé do platô, em parte, inseridas na borda da calha de drenagem e apresentam maior diversidade taxinômica morfológica e geométrica;
- As cavernas com padrão retilíneo retangular estão inseridas meio a meio, entre a borda do platô e sopé do platô;
- Os padrões disformes simples e composto estão distribuídos em praticamente todas as formas do relevo;
- As cavernas em dolinas são predominantemente disformes e esponjiformes.



- Cavernas com PH entre 10 e 30 m, tipologia simples.
- As cavernas com PH acima de 50m apresentam tipologia composta. Enquanto a tipologia simples predomina entre 5 e 30m.

Em termos de gênese, da grande maioria das cavidades da Serra da Bocaina se está associada a processos endógenos, geradas pelo fluxo d'água a partir de zonas de recarga na superfície. Estas cavernas foram influenciadas em diferentes graus por agentes exógenos durante sua evolução, destacando-se a ação erosiva de águas pluviais que ainda atua (através da percolação) na ampliação de canalículos, de condutos e em processos de abatimento. Estes processos mais recentes alteram significativamente a forma original da caverna. Condutos afunilados terminados em canalículos, declives concordantes com a vertente, entre outras, são formas típicas de cavernas que sofreram alterações por processos erosivos tardios.

Desta forma, é evidente que as tendências de concentração de padrões certamente estão condicionadas pelos elementos de arranjo textural e estrutural de cada substrato geológico, bem como seu comportamento frente a ação intempérica e hidrodinâmica. Essa geomorfologia apresenta ligação pretérita com os paleoclimas que moldaram feições cársticas atuais.

A província espeleológica da Serra da Bocaina ainda é um espaço natural possível de aprofundar os estudos planigeométricos das cavidades, dos quais a Geomorfologia climática pode contribuir com o desvendamento das formas subsuperficiais e subterrâneas das paisagens de ferros.

Os mapeamentos geomorfométricos, biogeográficos devem se somar as questões da evolução natural das cavernas, e que em médio prazo definiram zoneamento para o uso público da Unidade de conservação.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATZINGEN, 1999; Paleocanal do Tocantins: ATZINGEN & RODRIGUES, 1999; Serra do Cachimbo: ATZINGEN, 2003.

ATZINGEN, V. N.; CRESCÊNCIO, G. Estudos espeleológicos em Serra Pelada, Curionópolis – PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*, p. 63-72, 2009.

ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. Serra dos Carajás: folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Texto explicativo. Brasília: DNPM/CPRM, il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). 1991. 164 p.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *In: O Carste*, V.17, N.03: p. 70-72. 2005.

AULER, A. S. et al. Hypogene cave patterns in iron ore caves: convergence of forms or processes? *Karst Waters Institute Special*, v. 18, p. 15-19, 2014.

BEISIEGEL, V.R. et al. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 3, n. 4, p. 215-242, 1973.

BOAVENTURA, R. S. Geomorfologia da Folha Tocantins.... *In: Brasil*. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1974.

BRASIL. Decreto Federal Nr. 6.640, de 07 de novembro de 2008. Dá nova redação aos Decreto Nr. 99.556, de outubro de 1990, e estabelece critérios para a análise da relevância das cavidades naturais subterrâneas.

BRASIL. Decreto Federal Nr. 99.556 de 01 de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional e dá outras providências.

Brasil. Instrução Normativa MMA Nº 2, DE 20 DE AGOSTO DE 2009. Dispões sobre a metodologia e critérios para classificação de cavidades naturais subterrâneas e dá outras providências.

BRAGA, A. et al. Influência Estrutural Sobre Cavernas em Formações Ferríferas, Carajás-Pa. *Revista Geonomos*, v. 25, p. 24-39, 2017.

CABRAL, E. S.; MACAMBIRA, J. B. M.; ABREU, S. S. Geologia e Petrografia de Formações Ferríferas Bandadas em Cavernas da Serra Sul, Carajás-Pa. *Espeleo-Tema*, v. 27, n. 1, p. 45-56, 2016.

CARSTE. Diagnóstico e análise de relevância das cavernas da Serra da Bocaina. Canaã dos Carajás. Relatório inédito. 2012

CARSTE. Diagnóstico e análise de relevância das cavernas da Serra da Bocaina. Canaã dos Carajás. Relatório inédito. 2014

CAMPOS, J.F. & CASTILHO, A.F. Uma visao geográfica da regio da Flona de Carajás. In: Martins, F.D.; Castilho, A.F.; Campos, J.; Hatano, F.M. & Rolim, S.G. Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. Sao Paulo: Nitro Imagens. p. 16-27.7. 2012.

CALUX A.S. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Geografia) - 2013. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 220 pp.

CARMO, F. F.; SALGADO, A. A. R.; JACOBI, C. M. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos no Vale do Rio Peixe Bravo, Norte de Minas Gerais, Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 22, p. 79-93, 2011.

DE CHÈLETAT, E. Le modele latéritique de l'ouest de la Guinée française. *Revue Geographie Physique et Geologie Dynamique* 11: p. 5-120. 1938.

CVRD/CMM. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Belém. Resumos das Comunicações... Belém: SBG-Núcleo Norte, v. 2, p. 78-80. 1972.

COUDREAU, H. *Vouyage à Itaboca et à L'Itacayuna*: ler juillet 1897-11 octobre 1897. A. Lahure, Imprimellr-Editeur, Paris, p. 75. 1898.

DIXEY, F. Laterization in Sierra Leone. *Geological Magazine* 57: 211. 1920.

Dutra, G. M. Síntese dos Processos de Gênese de Cavidades em Litologias de Ferro. *XXXII Congresso Brasileiro de Espeleologia*, Anais, Barreiras: SBE. p. 415-426. 2013

FUNDAÇÃO CASA DE CULTURA DE MARABÁ – FCCM. Relatório Complementar de Caracterização e Documentação Básica de Cavidades Naturais em Carajás – Serra da Bocaina Corpo S29 – Canaã dos Carajás/PA. Relatório Inédito. 2007.

FORD, D.; WILLIAMS, P. *Karst Hydrology and Geomorphology*. Wiley, England, 562p. 2007.

GAUTIER, E. F. *Madagascar-Essai de Geographie Physique*. Paris, Colin. 1902.

GIBBS, A.K. et al. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 2, p. 201-211, 1986.

GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R. Geologic setting of the Serra dos Carajás iron deposits. In: CHAUVEL, J.J. et al. (Ed.). Ancient Banded Iron Formations (Regional Presentations). Athens, Greece: Theophrastus Publications, S.A., p. 83-102. 1990.

HARDT, R; PINTO, S. A. F. Carste em Litologias não Carbonáticas. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 10, p. 99-105, 2009.

HILL, C.; FORTI, P. Cave Minerals of the World. USA: National Speleological Society. 463p. 1997.

ICMBIO. Plano de Manejo para Uso Múltiplo da Floresta Nacional De Carajás. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidadescoservacao/flona\\_carajas.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidadescoservacao/flona_carajas.pdf) . 2003.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES. Regiões Carsticas do Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>

JENNINGS, J. N. Karst Geomorphology. Basil Blackwell, Oxford, 293p. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 4., 1993, Brasília. Resumos expandidos... Brasília: SBGq, 1993. p. 20-22. 1985.

JUTSON, J.T. An outline of the physiographic geology (physiography) of Western Australia. Geological Survey of Western Australia Bulletin 61. 1914.

LADEIRA, E.A.; CORDEIRO, J.R.C. Jazida N4E: reavaliação dos corpos de hematita dura e jaspilitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. Anexo aos anais... Belém: SBG, Província Mineral de Carajás – Litoestratigrafia e principais depósitos minerais. p. 55-69. 1988.

LINDENMAYER, Z.G.; LAUX, J.H.; TEIXEIRA, J.B.G. Considerações sobre a origem das Formações Ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 1, p. 21-28, 2001.

MAURITY, C. W. Evolução Recente da Cobertura de Alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás. Orientador: Basile Kotschoubey. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

Maurity, C.W. & Kotschoubey, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocartificação, espeleotemas. O Carste, 17 (3): p. 78-91. 2005.

MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Efeitos da alteração intemperica recente e feições pseudocárticas na cobertura laterítica da aba norte da Serra dos Carajás-PA. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, p. 582-583, 1992.

MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Caracterização e gênese dos minerais de espeleotemas das cavernas do platô N1 - Serra dos Carajás-PA. In: Simpósio da Amazônia, 4., Belém, p. 356-357, 1994. 76

MAURITY, C. W.; KOTSCHUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1- Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p. 331-362, 1995. (Série Ciências da Terra).

MACAMBIRA, J.B. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão-Pará. 217 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

MACAMBIRA, J.B.; SCHRANK, A. Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). Revista Brasileira de Geociências, v. 32, n. 4, p. 567-578, 2002.

MACAMBIRA, J.B.; SILVA, V.F. Estudo petrológico, mineralógico e caracterização das estruturas sedimentares e diagenéticas preservadas na Formação Carajás, Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 7, (Série Ciências da Terra). p. 363-387, 1995.

MEIRELLES, M.R. Geoquímica e Petrologia dos jaspilitos e rochas vulcânicas associadas, Grupo Grão Pará, Serra dos Carajás-PA. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1986.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, Decreto nº 6.640 de 07 de novembro de 2008.--

PILÓ, L. B.; AULER, A. S.; FERREIRA, R. L.; BAETA, A. M.; PILÓ, H. M. D. Estudo espeleológico na área da mina de minério de ferro de Capão Xavier – MBR, Nova Lima, MG. Relatório Técnico. 269p. 2005.

PILO, L.B. & Auler, A.S. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 30, Montes Claros. SBE. Anais... p. 181-186. 2009.

PILÓ L.B., AULER A.S. & MARTINS F. Carajás National Forest: Iron ore plateaus and caves in southeastern Amazon. In: VIEIRA B.C., SALGADO A.A.R. & DOS SANTOS L.J.C. (Eds.). Landscapes and Landforms of Brazil. Springer Netherlands, 273-283. 2015.

PINHEIRO, R.V.L. Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil. 1997. 408 f. Tese (Doutorado) - University of Durham, England, 1997.

PINHEIRO, R.V.L.; HENRIQUES, A.L.; SILVEIRA, L.T.; MAURITY, C.W. Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA). Grupo Espeleológico Paraense. Relatório inédito, 38p. 1985.

PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás Brasil. In: CONGRESSO ESPELEOLOGICO AMÉRICA LATINA/CARIBE, 1., Belo Horizonte, 1988. Anais... Belo Horizonte: SBE, p. 179-186. 1988.

PALMER, A. N. Cave Geology. Dayton, Ohio: Cave Books. 454p. 1991.

PALMER, A. N. Speleogenesis in carbonate rocks. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1:1-11. Virtual Journal. recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology* 66: 985-994. 2003.

RUBBIOLI, E.; MOURA, V. 2005. Mapeamento de Cavernas: Guia Prático. São Paulo: Redespeleo Brasil. 92p.

SCHAEFER, C. E.; CÂNDIDO, H. G.; CORRÊA, G. R.; SIMAS, F.; CAMPOS, J. F. Ecossistemas e Geoambientes de Canga Ferruginosa em Carajás: Paisagens Singulares em Risco de Extinção. In: MARTINS, F. F.; KAMINO, L. H. Y.; RIBEIRO, K. T. *Projeto Cenários Conservação de Campos Ferruginosos diante da Mineração em Carajás*. Tubarão: Copiart, p. 39-103. 2018.

SECCO, R.S. & MESQUITA, A.L. *Nota Sobre a Vegetação de Canga da Serra Norte*. I. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Nova Sér. Bot., 59:1-13. il. 1983.

SIMMONS, G.C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin* 25: 66-72. 1963.

SWEETING, M. M. Karst Landforms. Columbia University Press, New York, 362p. 1973.

TEIXEIRA J.B.G. Geochemistry, petrology, and tectonic setting of archean basaltic and dioritic rocks from the N4 Iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. 161 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - Department of Geosciences, Penn State University, 1994.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology* 66: 985-94. 1971.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. Unidade espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. *Espeleotema*. v.22, n. 1, p.41-60, 2011.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; SILVA, C. M. G.; RICCI, P. S. F.; BARBOSA, J. P. O.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S.; MACAMBIRA, E. M. B.; CHAVES, C. L.; CARVALHO, J. M. A.; OLIVEIRA, J. G. F.; ANJOS, G. C.; SILVA, H. R. Unidades Litoestratigráficas. In: *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará. Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Organizadores: Vasquez, M. L. & Rosa-Costa, L. T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. 2008.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. p. 124 1991.

VILELA, O. V.; SANTOS, O. M. Dados preliminares sobre o depósito de minério de ferro da Serra da Serpentina, Conceição do Mato Dentro, MG. Anais... Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Soc. Bras. Geologia, Núcleo MG, 2., Belo Horizonte, p. 333-346, 1983.

ZUCCHETTI, M. Rochas máficas do Grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização dos depósitos de ferro N4 e N5, Carajás, PA. Tese (Doutorado em Geologia Econômica Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

## ANEXO I - Lista das cavernas estudadas

seguencial	NOME	COORDENADA		ALTITUDE		ESPELEOMETRIA		
	SINONÍMIA	DATUM: SAD' 69		Altitude	PH (m)	Desnível (m)	Área (m²)	Volume (m³)
SB-0001	GEM-1252	616026	9307204	259	5,1	0,3	14,9	22,0
SB-0002	GEM-1342	616055	9307178	259	27,7	1,5	76,5	88,0
SB-0003	GEM-1344	616073	9307147	258	15,3	0,7	65,9	56,0
SB-0004	GEM-1378	618787	9306244	316	38,5	1,6	182,6	166,0
SB-0005	GEM-1410	613253	9307514	201	7,6	1,3	10,8	6,0
SB-0006	GEM-1417	611044	9302118	294	5,5	0,9	20,2	13,0
SB-0007	GEM-1418	611383	9301690	415	107,3	7,9	452,0	1112,0
SB-0008	GEM-1419	613301	9300640	680	7,1	1,9	18,6	10,0
SB-0009	GEM-1420	612407	9300500	667	8,6	1,0	40,2	96,0
SB-0010	GEM-1421	618675	9305118	642	49,7	8,0	209,1	184,0
SB-0011	GEM-1422	618735	9305126	658	40,6	3,4	143,1	183,0
SB-0012	GEM-1423	622488	9302030	667	59,2	2,0	442,1	577,0
SB-0013	GEM-1424	622485	9302040	670	8,7	0,2	26,3	24,0
SB-0014	GEM-1425	622474	9302048	664	11,9	0,7	23,5	17,0
SB-0015	GEM-1426	622525	9301998	665	14,6	0,5	72,3	102,0
SB-0016	GEM-1427	610644	9302210	249	89,0	2,3	749,6	666,0
SB-0017	GEM-1428	610555	9302132	251	20,2	1,4	63,7	101,0
SB-0018	GEM-1429	610554	9302114	243	22,6	1,0	68,0	77,0
SB-0019	GEM-1430	610402	9302285	233	11,6	0,7	18,9	18,0
SB-0020	GEM-1431	611354	9301712	420	18,8	3,2	71,2	214,0
SB-0021	GEM-1432	613534	9300764	594	9,8	1,3	44,1	84,0
SB-0022	GEM-1433	613529	9300616	652	6,5	1,5	27,6	39,0
SB-0023	GEM-1434	613764	9300624	711	19,8	3,6	73,0	343,0
SB-0024	GEM-1435	613783	9300624	672	11,4	0,8	22,1	29,0
SB-0025	GEM-1436	613820	9300642	673	87,3	3,2	406,5	600,0
SB-0026	GEM-1437	610771	9302138	254	189,6	6,3	750,8	881,0
SB-0027	GEM-1438	610691	9302172	249	11,2	1,0	24,4	20,0
SB-0028	GEM-1439	610491	9302289	241	18,8	0,3	43,1	25,0
SB-0029	GEM-1440	613495	9299532	729	14,1	2,1	81,1	108,0
SB-0030	GEM-1441	610316	9302466	225	11,3	1,0	73,0	190,0
SB-0031	GEM-1442	610435	9302764	211	23,7	1,7	132,4	196,0
SB-0032	GEM-1443	622534	9301980	665	14,5	1,3	90,7	125,0
SB-0033	GEM-1444	621846	9303440	699	9,6	0,9	18,2	24,0
SB-0034	GEM-1445	622735	9302113	699	12,0	1,7	54,5	85,0
SB-0035	GEM-1446	621863	9302164	687	10,8	1,0	42,1	66,0
SB-0036	GEM-1447	612415	9301000	590	6,9	0,9	25,0	25,0



SB-0037	GEM-1448	612962	9300802	669	7,3	1,8	30,1	165,0
SB-0038	GEM-1449	612943	9300802	661	6,9	0,8	21,1	16,0
SB-0039	GEM-1450	622192	9301694	600	16,6	5,6	146,8	375,0
SB-0040	GEM-1451	622077	9301726	602	10,2	1,4	70,2	94,0
SB-0041	GEM-1452	622258	9301678	596	11,7	1,7	67,3	68,0
SB-0042	GEM-1453	622240	9301678	590	6,4	1,9	17,4	12,0
SB-0043	GEM-1454	623521	9301940	603	14,0	3,8	39,6	57,0
SB-0044	GEM-1455	623691	9302028	623	10,8	0,8	27,9	66,0
SB-0045	GEM-1456	623809	9301718	531	35,5	3,2	192,4	453,0
SB-0046	GEM-1457	623717	9301815	600	63,9	2,6	191,3	440,0
SB-0047	GEM-1458	622294	9301816	643	12,2	0,8	51,5	60,0
SB-0048	GEM-1459	622297	9301762	609	26,9	4,9	138,9	159,0
SB-0049	GEM-1460	622253	9301707	624	97,7	1,8	354,4	580,0
SB-0050	GEM-1461	623203	9303376	689	14,5	2,8	56,8	36,0
SB-0051	GEM-1462	622283	9301726	606	57,8	1,8	421,0	1035,0
SB-0052	GEM-1463	623838	9302072	646	25,5	2,1	60,3	70,0
SB-0053	GEM-1464	623852	9301983	605	10,8	0,3	19,6	26,0
SB-0054	GEM-1465	623843	9301972	618	14,1	0,9	64,0	109,0
SB-0055	GEM-1466	623827	9301956	612	11,8	0,8	51,9	96,0
SB-0056	GEM-1467	623920	9301908	595	9,7	0,8	36,4	105,0
SB-0057	GEM-1468	623920	9301896	590	12,8	1,5	24,3	38,0
SB-0058	GEM-1469	623838	9301720	550	5,1	0,4	8,6	5,0
SB-0059	GEM-1470	623305	9302466	643	7,5	1,0	20,8	19,0
SB-0060	GEM-1471	620096	9306129	306	15,5	0,8	62,1	59,0
SB-0061	GEM-1472	620086	9306110	323	6,4	0,7	20,0	34,0
SB-0063	GEM-1474	619738	9306127	320	7,5	0,4	32,0	31,0
SB-0064	GEM-1475	619722	9306064	342	29,8	4,0	93,9	118,0
SB-0065	GEM-1476	623586	9302170	644	37,1	2,2	233,4	817,0
SB-0066	GEM-1477	623603	9302152	677	8,1	0,6	29,6	61,0
SB-0067	GEM-1478	623571	9302279	706	9,9	0,8	38,0	27,0
SB-0068	GEM-1479	619727	9306070	328	5,2	0,9	64,9	51,0
SB-0069	GEM-1480	620093	9306174	301	78,2	1,3	405,4	449,0
SB-0070	GEM-1481	623226	9303372	710	150,8	10,5	661,1	757,0
SB-0071	GEM-1482	623258	9303398	702	50,8	3,7	411,1	812,0
SB-0072	GEM-1483	619746	9306162	325	30,5	0,7	161,6	262,0
SB-0073	GEM-1484	619722	9306157	312	8,0	1,7	60,3	106,0
SB-0074	GEM-1485	619719	9306140	311	14,6	1,2	56,1	68,0
SB-0075	GEM-1486	619708	9306157	314	16,0	0,6	39,0	23,0
SB-0076	GEM-1487	619665	9306150	320	100,0	2,1	378,8	375,0
SB-0077	GEM-1488	625225	9302294	688	27,4	2,9	97,6	158,0

SB-0078	GEM-1489	621753	9303946	529	29,9	5,9	102,1	302,0
SB-0079	GEM-1490	625883	9302068	671	13,9	0,3	58,8	82,0
SB-0080	GEM-1491	615556	9303830	498	10,4	1,1	37,9	50,0
SB-0081	GEM-1492	620439	9299698	472	8,4	0,5	31,9	72,0
SB-0082	GEM-1493	617068	9304334	463	6,4	0,6	38,3	34,0
SB-0083	GEM-1494	616627	9302841	369	12,3	3,5	58,1	161,0
SB-0084	GEM-1495	615881	9303460	253	33,6	1,8	151,0	167,0
SB-0085	GEM-1496	618649	9305607	485	97,7	9,7	655,3	814,0
SB-0086	GEM-1497	618620	9305564	480	13,8	0,8	48,1	64,0
SB-0087	GEM-1498	619047	9303372	444	15,9	1,1	39,7	46,0
SB-0088	GEM-1499	619087	9303408	452	26,0	1,4	129,7	84,0
SB-0089	GEM-1500	619089	9301902	692	18,9	3,8	39,2	45,0
SB-0090	GEM-1501	620414	9302334	678	89,4	1,5	211,0	238,0
SB-0091	GEM-1502	620392	9302326	679	6,6	0,5	8,1	7,0
SB-0092	GEM-1503	617047	9304308	452	8,5	0,6	41,1	45,0
SB-0094	GEM-1505	615839	9303454	263	55,3	2,4	207,0	383,0
SB-0095	GEM-1506	615339	9303411	251	50,3	2,5	259,1	293,0
SB-0096	GEM-1507	614618	9303404	231	13,4	0,9	77,5	74,0
SB-0097	GEM-1508	615494	9301870	335	15,0	1,3	55,6	131,0
SB-0098	GEM-1509	615477	9302741	269	6,4	1,3	25,0	35,0
SB-0099	GEM-1510	615303	9303508	244	12,5	0,7	54,4	73,0
SB-0100	GEM-1511	615683	9303395	237	15,6	1,0	60,9	35,0
SB-0101	GEM-1512	612147	9306766	322	9,3	1,6	34,6	34,0
SB-0102	GEM-1513	616621	9302964	369	19,0	2,0	88,5	215,0
SB-0103	GEM-1514	616605	9302940	379	13,2	5,9	103,7	319,0
SB-0104	GEM-1515	616522	9302990	329	6,6	2,9	15,6	11,0
SB-0106	GEM-1517	613196	9307544	205	16,9	2,8	38,1	88,0
SB-0107	GEM-1518	617517	9301924	651	23,7	3,0	153,7	352,0
SB-0110	GEM-1523	613254	9297678	340	29,4	1,5	142,0	190,0
SB-0111	GEM-1524	613206	9297654	322	32,3	2,0	136,1	166,0
SB-0112	GEM-1525	613211	9297646	331	16,1	3,3	51,3	36,0
SB-0113	GEM-1526	613151	9297642	335	30,5	2,0	89,0	95,0
SB-0114	GEM-1527	613141	9297674	326	89,0	3,7	749,6	708,0
SB-0115	GEM-1528	613141	9297604	310	10,5	0,4	22,6	41,0
SB-0116	GEM-1529	613025	9297630	321	26,9	1,1	148,1	216,0
SB-0117	GEM-1537	613025	9297630	321	21,5	1,9	80,9	71,0
SB-0118	GEM-1538	613007	9297604	322	22,4	0,7	70,4	100,0
SB-0119	GEM-1539	612960	9297606	338	16,2	0,7	65,2	91,0
SB-0120	GEM-1566	612900	9297628	322	11,2	1,2	59,2	79,0
SB-0122	GEM-1568	612738	9297631	313	10,2	0,8	43,5	33,0

SB-0123	GEM-1569	612227	9297521	305	13,7	0,9	28,6	38,0
SB-0124	GEM-1592	612194	9297527	328	50,3	1,4	130,5	117,0
SB-0125	GEM-1593	612146	9297542	315	17,0	1,4	73,8	140,0
SB-0126	GEM-1594	612142	9297528	310	11,3	0,8	79,0	111,0
SB-0127	GEM-1595	612131	9297540	300	17,3	2,5	130,9	257,0
SB-0128	GEM-1596	612101	9297540	305	15,1	2,5	75,2	129,0
SB-0129	GEM-1597	612101	9297537	306	37,9	2,9	245,2	344,0
SB-0130	GEM-1598	612098	9297538	269	9,4	2,9	99,6	249,0
SB-0131	GEM-1599	612132	9297538	300	7,2	1,0	26,4	45,0
SB-0132	GEM-1600	612091	9297554	327	11,7	1,5	40,1	16,7
SB-0133	SB-133	628651	9301875	712	7,5	1,8	22,2	19,0
SB-0134	SB-134	627411	9299885	721	24,5	4,2	232,7	290,0
SB-0135	SB-135	629161	9300926	733	9,5	1,6	21,8	14,0
SB-0136	SB-136	629167	9300950	738	8,8	0,7	42,5	38,0
SB-0137	SB-137	629274	9301283	727	29,4	5,3	372,0	354,0
SB-0138	SB-138	629288	9301291	722	68,7	4,1	137,6	167,0
SB-0139	SB-139	629294	9301295	702	14,0	3,1	55,9	83,0
SB-0140	SB-140	631715	9297846	259	18,5	2,0	202,7	365,0
SB-0141	SB-141	631616	9297893	250	17,6	0,1	28,4	57,0
SB-0142	SB-142	630749	9302996	230	16,4	0,7	42,7	34,0
SB-0143	SB-143	630661	9302932	241	9,8	1,6	58,8	33,0
SB-0144	SB-144	630673	9302949	241	5,6	1,4	25,2	14,0
SB-0145	SB-145	630587	9302923	241	11,3	0,8	83,5	112,0
SB-0146	SB-146	630557	9302902	243	9,4	1,3	44,8	24,0
SB-0147	SB-147	629704	9303379	251	90,5	2,3	453,0	379,0
SB-0149	SB-149	628157	9297886	270	21,5	1,4	101,8	111,0
SB-0150	SB-150	628157	9297909	270	11,9	2,8	181,9	326,0
SB-0151	SB-151	628189	9298076	272	10,0	0,6	16,7	64,2
SB-0152	SB-152	628159	9298189	273	49,1	4,4	440,9	422,0
SB-0153	SB-153	628178	9298304	283	9,0	1,3	40,3	39,0
SB-0154	SB-154	628200	9298405	303	8,4	1,4	22,3	15,0
SB-0155	SB-155	628201	9298428	295	10,1	1,0	29,0	20,0
SB-0156	SB-156	628187	9298475	273	10,7	1,6	44,6	58,0
SB-0157	SB-157	628192	9298486	273	16,7	2,3	38,2	165,0
SB-0159	SB-159	628207	9298510	280	12,2	1,6	43,0	26,0
SB-0160	SB-160	627116	9299494	710	8,5	1,2	20,2	25,0
SB-0161	SB-161	627241	9299533	700	31,6	0,2	61,3	134,0
SB-0162	SB-162	613525	9300611	659	6,5	0,9	16,8	8,0
SB-0163	SB-163	613028	9302214	347	14,6	6,5	18,6	19,0
SB-0164	SB-164	612974	9301623	513	26,2	4,3	57,2	82,0

SB-0165	SB-165	612379	9300919	560	11,5	0,8	20,5	54,0
SB-0166	SB-166	612962	9301724	460	11,4	1,7	28,0	38,0
SB-0167	SB-167	612970	9301703	482	13,2	5,6	44,8	57,0
SB-0168	SB-168	612957	9301666	494	62,4	6,3	286,2	337,0
SB-0169	SB-169	612975	9301643	483	62,3	10,9	184,2	329,0
SB-0170	SB-170	610294	9302400	228	51,6	4,3	151,7	205,0
SB-0171	SB-171	624075	9302213	696	16,6	2,3	31,7	109,0
SB-0172	SB-172	623996	9302018	655	35,7	1,5	113,5	224,0
SB-0173	SB-173	623944	9301959	635	9,3	1,0	17,4	93,0
SB-0174	SB-174	623923	9301967	632	30,0	2,7	42,4	208,0
SB-0175	SB-175	623903	9301960	623	24,2	1,7	38,7	76,0
SB-0176	SB-176	623882	9301962	617	11,7	1,7	21,9	29,0
SB-0177	SB-177	623851	9302014	643	46,4	5,8	207,8	463,0
SB-0178	SB-178	623854	9302030	640	17,6	0,8	38,9	104,0
SB-0179	SB-179	623867	9302151	665	28,0	1,0	93,6	309,0
SB-0180	SB-180	623925	9302191	679	8,0	0,9	20,9	15,0
SB-0181	SB-181	614272	9300700	674	10,7	3,2	33,5	113,0
SB-0182	SB-182	614665	9301232	563	14,0	0,7	44,1	150,0
SB-0183	SB-183	614487	9301595	547	14,4	2,1	46,2	146,0
SB-0184	SB-184	614139	9298793	524	21,9	2,3	71,2	79,0
SB-0185	SB-185	613822	9298630	469	12,0	2,2	68,8	223,0
SB-0186	SB-186	613784	9298631	471	12,4	2,2	35,6	33,0
SB-0187	SB-187	613654	9298556	444	7,9	0,4	17,3	10,0
SB-0188	SB-188	614482	9299108	662	18,5	1,0	42,7	29,0
SB-0189	SB-189	614511	9299098	683	9,7	1,0	17,9	17,0
SB-0190	SB-190	614512	9299081	682	16,7	3,6	27,1	19,0
SB-0191	SB-191	614525	9299078	687	10,1	1,6	26,1	26,0
SB-0192	SB-192	615289	9299792	692	6,1	1,2	16,0	15,0
SB-0193	SB-193	615314	9299617	605	13,2	4,9	95,5	195,0
SB-0194	SB-194	615764	9298920	478	24,4	3,6	138,6	258,0
SB-0195	SB-195	615767	9298896	473	20,6	2,2	57,7	95,0
SB-0196	SB-196	615767	9298888	471	7,4	1,3	12,1	12,0
SB-0197	SB-197	615876	9298748	443	20,0	1,0	40,2	40,0
SB-0198	SB-198	616228	9298580	407	8,7	2,9	24,7	32,0
SB-0199	SB-199	616257	9298556	405	188,7	6,4	828,5	1220,0
SB-0200	SB-200	614628	9298549	688	12,3	0,9	21,4	41,0
SB-0201	SB-201	614365	9299109	662	6,5	0,4	16,0	22,0
SB-0202	SB-202	614322	9300706	680	13,1	0,7	26,6	28,0
SB-0203	SB-203	614354	9300711	685	13,9	0,8	30,3	55,0
SB-0204	SB-204	614362	9300727	690	14,8	0,3	33,7	45,0

SB-0206	SB-206	615480	9302749	267	8,1	0,7	12,7	7,0
SB-0207	SB-207	615121	9299611	713	39,7	4,2	79,1	110,0
SB-0208	SB-208	615067	9299223	686	9,2	0,5	18,8	16,0
SB-0209	SB-209	615082	9299237	702	11,7	2,3	32,7	22,0
SB-0210	SB-210	615081	9299207	692	21,1	1,8	57,2	46,0
SB-0211	SB-211	615034	9299107	686	13,1	2,2	60,7	115,0
SB-0212	SB-212	614976	9299097	685	176,2	11,2	578,8	888,0
SB-0213	SB-213	614949	9299052	701	28,4	5,7	97,2	130,0
SB-0214	SB-214	613327	9303147	240	30,0	1,3	106,2	68,0
SB-0215	SB-215	613318	9303121	255	10,3	1,1	21,1	16,0
SB-0216	SB-216	613319	9303119	254	10,4	0,7	17,5	13,0
SB-0217	SB-217	613398	9298564	406	12,1	0,8	23,0	12,0
SB-0218	SB-218	613393	9298565	406	23,8	0,9	58,0	52,0
SB-0219	SB-219	613393	9303108	250	89,5	2,1	154,0	98,0
SB-0220	SB-220	614416	9303422	233	7,6	1,8	17,8	19,0
SB-0221	SB-221	610891	9295625	239	11,8	1,3	22,2	18,0
SB-0222	SB-222	611394	9297110	273	16,5	1,2	68,9	100,0
SB-0223	SB-223	611446	9297141	289	12,3	0,7	18,2	17,0
SB-0224	SB-224	611406	9297071	289	9,5	1,7	37,1	34,0
SB-0225	SB-225	610381	9295147	239	10,0	1,8	41,2	79,0
SB-0226	SB-226	611396	9297061	279	29,1	1,8	51,1	129,0
SB-0227	SB-227	611405	9297036	280	9,0	2,8	18,3	26,0
SB-0228	SB-228	611401	9297028	279	28,1	2,4	24,8	26,0
SB-0229	SB-229	611140	9298707	335	122,5	4,4	343,9	362,0
SB-0230	SB-230	611128	9298781	347	17,7	2,3	35,6	29,0
SB-0231	SB-231	611100	9298861	347	22,1	1,2	59,9	36,0
SB-0232	SB-232	611107	9298935	363	12,4	2,8	36,1	32,0
SB-0233	SB-233	621127	9298985	364	42,0	2,8	260,1	460,0
SB-0234	SB-234	621136	9298982	367	22,0	1,9	107,5	132,0
SB-0235	SB-235	621169	9298864	358	13,8	0,4	39,4	42,0
SB-0236	SB-236	621179	9298765	365	12,9	1,9	43,3	51,0
SB-0237	SB-237	621190	9298766	360	13,5	1,4	56,3	99,0
SB-0238	SB-238	621229	9298748	360	8,9	0,9	29,0	40,0
SB-0239	SB-239	621299	9298628	355	68,5	3,0	174,7	224,0
SB-0240	SB-240	621303	9298631	355	23,7	1,8	49,6	54,0
SB-0241	SB-241	621289	9298614	351	24,7	2,7	81,7	64,0
SB-0242	SB-242	621056	9299688	395	21,5	1,0	25,1	33,0
SB-0243	SB-243	621087	9299815	418	7,7	0,5	13,5	11,0
SB-0244	GEM-1525A	613209	9297666	334	32,4	2,2	179,6	210,4