

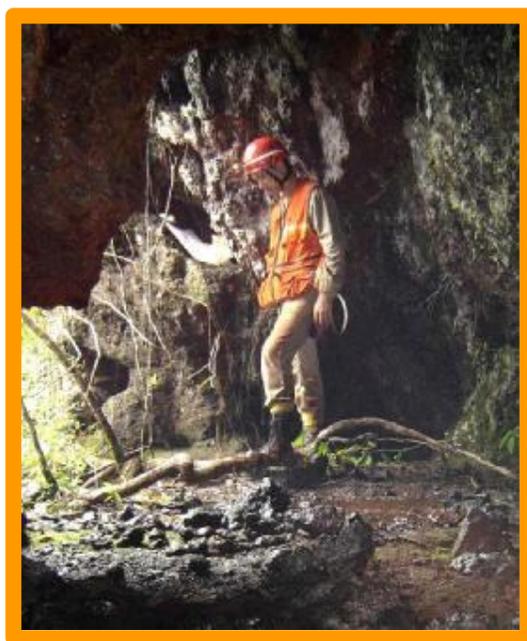


**Companhia
Vale do Rio Doce**



ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS NA ÁREA DA MINA N5E

**COMPLEXO MINERÁRIO DA SERRA DOS CARAJÁS
FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS**



por

Dr. LUÍS B. PILÓ & Dra. RENATA ANDRADE

Fevereiro de 2007

1	INTRODUÇÃO	5
2	MÉTODOS E TÉCNICAS	6
2.1.	Geoespeleologia	6
2.1.1	Levantamento bibliográfico	6
2.1.2	Prospecção e inventário de cavernas	6
2.1.3	Levantamento topográfico das cavernas	7
2.1.4	Análise litológica e estrutural	7
2.1.5	Análise morfológica	8
2.1.6	Hidrologia	8
2.1.7	Depósitos clásticos, químicos e orgânicos	8
2.2	Bioespeleologia	8
2.2.1	Amostragem de invertebrados cavernícolas	9
2.2.2	Amostragem de vertebrados	9
2.2.3	Identificações	10
3	INSERÇÃO DAS CAVERNAS DE N5E NO CONTEXTO NATURAL	10
3.1	Clima	10
3.2	Geologia	11
3.2.1	Estratigrafia	11
3.2.2	Tectônica	13
3.3	Geomorfologia	13
3.4	Solos	15
3.5	Hidrografia	17
3.6	Hidrogeologia	18
3.7	Vegetação	19
4	ESPELEOLOGIA	20
4.1	Trabalhos anteriores	20
4.2	As cavernas de N5E	24
4.3	Geoespeleologia	26
4.4	Biologia Subterrânea	61
4.4.1	Ambiente subterrâneo	61
4.4.2	Comunidade cavernícola	61
4.4.3	Conservação da fauna subterrânea	62
4.4.4	Caracterização geral do ecossistema das cavernas	63
4.4.5	Fauna subterrânea	64
4.5	Síntese dos resultados	91
4.5.1	Geoespeleologia	91
4.5.2	Bioespeleologia	104
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXO – Mapas das cavernas de N5E	114

FIGURAS

Figura 1	Localização do Platô N5E na serra Norte. Fonte: Maurity & Kotschoubey (1995) modificado.	6
Figura 2	Coluna Estratigráfica da região, segundo Macambira (2003).	13
Figura 3	Mapa geológico Regional. Fonte: Golder, 2005.	14
Figura 4	Grandes Unidades Geomorfológicas da região de Carajás.	15

Figura 5	À esquerda, Latossolo Vermelho distrófico típico, de origem coluvionar (Perfil 5); à direita, Latossolo Vermelho fase pedregosa I.	17
Figura 6	Mapa Morfopedológico do Platô N5E/N5S.	18
Figura 7	Transição entre a Vegetação de Canga e a Floresta Ombrófila Aberta na borda W do platô de N5E.	20
Figura 8	Localização das grutas de N5E.	26
Figura 9	Entrada da gruta N5E-01, localizada nas proximidades da cava de N5E.	27
Figura 10	À esquerda, sedimentos clásticos no piso final da caverna de origem autogênica; à direita, cacos cerâmicos no piso do abrigo posicionado ao lado da entrada da caverna.	29
Figura 11	À esquerda, entrada principal da caverna; à direita, pilar de canga no conduto principal.	31
Figura 12	À esquerda, canga detrítica; à direita, FFB apresentando inflexões possivelmente associadas a colapso gravitacional.	32
Figura 13	À esquerda, coralóide branco do tipo couve-flor; à direita, escorrimentos em microtravertinos e pingentes ativos	34
Figura 14	Entrada da caverna N5E-03; conduto que forma o setor principal da pequena caverna.	35
Figura 15	À esquerda, entrada da gruta N5E-04; à direita, conduto principal da caverna.	37
Figura 16	Sedimentos do piso da caverna constituídos por seixos e calhaus de minério subarredondado.	39
Figura 17	Entrada arqueada do compartimento (NW) da gruta N5E-05.	40
Figura 18	À esquerda, pendentes de canga no conduto em alça. À direita, vestígios de canaliculos decimétricos desenvolvidos na formação ferrífera no teto da caverna; essas feições foram preenchidas por brecha cimentada por material goethítico/hematítico.	41
Figura 19	À esquerda, canal de fluxo pluvial temporário no interior da caverna; à direita, cone de sedimentos proveniente do estreito conduto que faz a conexão entre os dois compartimentos da caverna.	42
Figura 20	Crosta recoberta por coralóides localizada no sítio 2, constituída pelos minerais hematita e goethita. À direita, difratograma da amostra.	44
Figura 21	Crosta de escorrimento em parede inclinada sobre biotúbulos; À direita, escorrimentos esbranquiçados constituídos por goethita, gibbsita e basaluminita.	44
Figura 22	À esquerda, entrada da gruta com matacões abatidos; à direita, pequeno conduto lateral na forma de um apêndice.	45
Figura 23	Formação Ferrífera Bandada no teto da caverna. No centro, destaca-se um canaliculo de teto.	46
Figura 24	À esquerda, drenagem temporária penetrando em um canaliculo; à direita, poça de guano sobre crosta química possivelmente contendo minerais fosfáticos.	47
Figura 25	Crostas recobrindo a Formação Ferrífera Bandada-FFB.	48
Figura 26	À esquerda, entrada da caverna N5E-07; à direita, pendente e pilar de canga.	49
Figura 27	À esquerda, canga detrítica, litotipo predominante na caverna; à direita, plano da FFB controlando parede inclinada.	41
Figura 28	Blocos recobertos por crostas avermelhadas de óxidos de ferro; à direita, detalhe de crosta branca, de sulfato de cálcio, que ocorre na borda dos blocos.	51
Figura 29	À esquerda, coralóides constituídos por óxidos de ferro, fosfato e sulfato à direita, espeleotemas denominados de "valvas"; abaixo, difratogramas das amostras.	52
Figura 30	À esquerda, entrada principal da caverna; à direita, teto controlado por plano (N20E/50NW) da FFB.	54
Figura 31	À esquerda, fragmentos de coralóides (AM-09) do sítio 2, constituídos de gipsita; à direita, crostas de hematita e goethita no sítio 3.	56
Figura 32	Crosta recobrindo bloco abatido constituída por óxidos de ferro e fosfatos.	56
Figura 33	À esquerda, entrada W da caverna N5E-09; nota-se a cobertura vegetal da vertente	57

	impactada pelos movimentos de massa decorrentes do decapeamento do topo do platô; à direita, detalhe da entrada W.	
Figura 34	À esquerda, entrada do setor central da caverna; à direita, conduto de teto baixo do setor leste.	58
Figura 35	Blocos decimétricos de hematita compacta.	59
Figura 36	Coralóides sobre bloco abatido de canga (sítio 3), constituídos por hematita e alunita.	61
Figura 37	À esquerda, crosta branca preenchendo juntas da FFB no sítio 5; à direita, coralóides no teto da caverna, no mesmo sítio.	61
Figura 38	Número de morfoespécies agrupadas por táxon, registradas nas grutas do platô N5E.	66
Figura 39	Porcentagem de morfoespécies agrupadas de acordo com o número de cavidades em que foram registradas.	67
Figura 40	Acari sp1 fixado em álcool.	68
Figura 41	À esquerda, amblipígio <i>Heterophrynus</i> sp. adulto sobre parede na gruta N5E 08; à direita, amblipígio jovem sobre parede da gruta N5E 06.	69
Figura 42	Aranha <i>Isoctenus</i> sp (Ctenidae) sobre parede na gruta N5E 06.	69
Figura 43	À esquerda, aranha <i>Mesabolivar eberhardi</i> (Pholcidae), com ooteca segura pelas quelíceras, em região de entrada da gruta N5E 02; à direita, ootecas de <i>Plato</i> sp. (Theridiosomatidae), observadas na gruta N5E 06.	70
Figura 44	À direita, opilião sobre raiz na gruta N5E 07; à direita, pseudo-escorpião Chernetidae, capturado na gruta N5E 05, fixado em álcool.	72
Figura 45	Besouro Carabidae – Zuphiini, troglomórfico, sobre sedimento na gruta N5E 05.	73
Figura 46	Larva de Keroplatidae (Diptera) e fios de seda pendendo do teto (utilizados para captura de presas voadoras), gruta N5E 06.	75
Figura 47	À esquerda, casulo com aspecto de espuma, no interior do qual encontra-se um heteróptero Cixiidae em fase de muda, sobre raiz na gruta N5E 07; à direita, heteróptero Emesinae, em parede, na gruta N5E 05.	76
Figura 48	Cupins da família Termitidae na gruta N5E 06.	77
Figura 49	À esquerda, casulo de larva de Tineoidea sp4 (Lepidoptera), gruta N5E 08; à direita, Glossata sp2 (Lepidoptera), em parede, na entrada da gruta N5E 07.	77
Figura 50	À esquerda, grilo <i>Phalangopsis</i> sp. sobre parede, gruta N5E 06; à direita, grilo do grupo Aclodae, encontrado em zona de entrada da gruta N5E 01, sobre parede.	78
Figura 51	À esquerda, exúvia de quilópodo Scutigermorpha, presa em teto na região de entrada da gruta N5E 01; à direita, diplópodo Pyrgodesmidae sobre parede, gruta N5E 07.	80
Figura 52	À esquerda, verme (Nematoda) sobre piso com seixos e sedimento na gruta N5E 02; à direita, exemplar de <i>Eleutherodactylus cf. fenestratus</i> (Amphibia) no piso, em região de entrada da gruta N5E 02.	81
Figura 53	À esquerda, marsupial <i>Monodelphis</i> sp. capturado na gruta N5E 04; à direita, roedor com ninho abrigado em cavidades na rocha (gruta N5E 06).	82
Figura 54	À esquerda, morcego <i>Cormura brevirostris</i> na gruta N5E 01; à direita, morcego <i>Trachops cirrhosus</i> capturado com rede na gruta N5E 08.	83
Figura 55	Quantidade de morfoespécies registradas em cada uma das cavidades de N5E.	84
Figura 56	À esquerda, raízes penetrando verticalmente na gruta N5E 06; à direita, raízes abundantes no substrato da gruta N5E 07.	85
Figura 57	Distribuição dos litotipos nas cavernas estudadas em N5E (n=9).	93
Figura 58	Projeção horizontal (m) das cavernas (n=9) da área N5E.	97
Figura 59	Média de três parâmetros espeleométricos das cavernas estudadas em N5E, N5S e no Quadrilátero Ferrífero (Q.F.). Nota-se que os dados das cavernas de N5E e N5S são muito semelhantes.	98

TABELAS

Tabela 1	Localização e dados espeleométricos de N5E.	25
Tabela 2	Táxons registrados em grutas de N5E.	85
Tabela 3	Minerais detectados por DRX em 10 amostras de espeleotemas das cavernas de N5E.	102

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo a apresentação de estudos espeleológicos realizados em nove cavernas no platô denominado de N5E (Figura 1), localizado no Complexo Minerário de Carajás (serra Norte) e na Floresta Nacional de Carajás (PA).

A área integra o Projeto 80 Milhões de Toneladas Ano (Mtpa) de minério de ferro, projeto esse com Licença de Operação n. 267/2000. Em decorrência da identificação de cavernas na área, posteriormente ao licenciamento, ficou acordada entre o órgão ambiental (IBAMA) e a CVRD a elaboração de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), acordo esse ainda não concretizado.

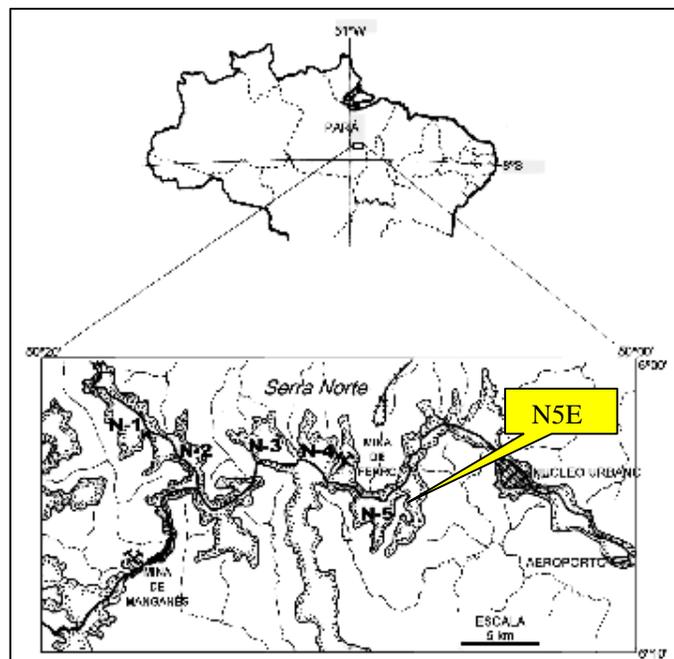


Figura 1. Localização do Platô N5E na serra Norte. Fonte: Maurity & Kotschoubey (1995) modificado.

O relatório está estruturado da seguinte forma. Inicialmente são apresentadas as metodologias utilizadas nos trabalhos de geo e bioespeleologia. Em seguida, é realizada uma síntese de estudos já elaborados em áreas lateríticas, com ênfase nos trabalhos efetuados na serra dos Carajás e do Quadrilátero Ferrífero (MG). Uma breve inserção no contexto natural das cavernas de N5E foi realizada. Posteriormente são apresentados os dados dos levantamentos geo e bioespeleológicos das nove cavernas identificadas na área. Uma síntese

dos resultados obtidos é apresentada em seguida. O relatório é finalizado com a análise de relevância das cavernas.

2. MÉTODOS E TÉCNICAS

2.1. Geoespeleologia

Vale salientar, inicialmente, que as campanhas de campo, em N5E, contaram com a participação do geólogo e espeleólogo do Instituto Ambiental da Vale do Rio Doce (IAVRD) Clóvis Maurity, profissional de referência que contribui decisivamente nas discussões dos aspectos lito-estruturais e, particularmente, geoquímicos das cavernas de N5E.

2.1.1. Levantamento bibliográfico

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o carste e sobre os estudos espeleológicos em cavernas de minério de ferro e canga no mundo e no Brasil, com destaque para as regiões do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e Serra dos Carajás. Parte desse levantamento já se encontra publicado visando maior difusão do conhecimento adquirido (ver Piló & Auler, 2005).

2.1.2. Prospecção e inventário de cavernas

Diante, particularmente, do referencial geológico e morfológico da área foi executada uma prospecção espeleológica visando a identificação e o cadastramento de cavernas na área do Platô N5E. Os trabalhos de prospecção foram realizados pela Empresa Noroeste.

Os estudos já realizados na região de Carajás (Pinheiro *et al.* 1985; Moreira *et al.* 1986; Maurity & Kotschoubey, 1995) destacaram que as vertentes inclinadas dos platôs, onde ocorrem paredões e escarpas rochosas, são os principais locais para a ocorrência de cavernas. Localmente, pequenas escarpas podem aflorar na borda de lagoas, posicionadas no topo do Platô. Nesses locais também podem se formar cavidades, como já observado na Serra Sul.

Segundo o relatório interno da prospecção, os trabalhos foram concentrados na borda do platô, já que a área do topo encontra-se em plena atividade minerária através de decapeamento e abertura de acessos. Os trabalhos foram realizados através de caminhamento de seis espeleólogos, como também um topógrafo.

Foi realizado, junto à prospecção, um caminhamento topográfico (com estação total e GPS) com a marcação de estacas no terreno e nas árvores. Quando era identificada uma caverna, o caminhamento era estendido até a entrada da mesma. Esse procedimento foi fundamental para o retorno às cavernas, após sua identificação, já que a floresta fechada dificultou os trabalhos, e as trilhas de prospecção fechavam muito rapidamente. Os trabalhos de prospecção culminaram com o inventário de nove cavernas na Área de Influência Direta. O mapa de caminhamento da prospecção não foi recuperado com a Empresa responsável pelos trabalhos de prospecção.

2.1.3. Levantamento topográfico das cavernas

Foi realizado o mapeamento das nove cavernas inventariadas. Inicialmente foi realizado um levantamento topográfico geral das cavernas, utilizando-se de estação total (*Leica TC 303*). A partir da confecção de uma planta geral, as cavernas foram detalhadas através de bússola e clinômetro *Silva*, além de trena e telêmetro. O geólogo e espeleólogo Clóvis Maurity, do IAVRD, coordenou os trabalhos topográficos com a estação total. O engenheiro cartógrafo, Marcos Brito, finalizou os trabalhos de topografia de detalhe.

Os cálculos do levantamento foram realizados através do *software Onstation*, que gerou a linha de trena/telêmetro e as localizações das bases de forma tridimensional. Os dados, posteriormente, foram transportados para o *software AutoCAD 2002*, visando a realização das medições das diferenças de nível e o desenho dos contornos da planta e das seções topográficas. No sistema *British Cave Research - BCRA*, o grau de precisão dos mapas atingiu 5D.

O levantamento das cavernas gerou, além da planimetria, seções transversais e longitudinais. Curvas de nível aproximadas do piso das cavernas também foram interpoladas. A altitude da caverna foi obtida através do GPS e controlada por curvas de nível de mapa topográfico fornecido pela CVRD.

2.1.4. Análise litológica e estrutural

A abordagem litológica foi concentrada na caracterização dos diferentes litotipos existentes nas cavernas, utilizando-se como documento base as seções dos condutos.

As estruturas, representadas principalmente por juntas e pelo bandamento composicional, são descontinuidades de grande importância no desenvolvimento de cavernas em minério de ferro e canga de N5E, pois condicionam a circulação da água no interior da rocha, como

também contribuem para a atuação de processos de abatimentos de blocos do teto e paredes. A medição das estruturas foi efetuada utilizando-se bússola *Brunton*.

2.1.5. Análise morfológica

Os estudos morfológicos foram concentrados no padrão planimétrico das cavernas, através da análise da planta baixa e das seções transversais e longitudinais dos condutos, tendo em vista que a forma das galerias pode trazer dados importantes sobre os processos de iniciação e evolução das cavidades. Essa análise foi realizada integrando dados estruturais e litológicos.

2.1.6. Hidrologia

A presença de corpos hídricos nas cavernas foi também avaliada, incluído águas de percolação e condensação, com o objetivo de avaliar a dinâmica hidrológica das cavidades em estudo.

2.1.7. Depósitos clásticos, orgânicos e químicos.

Os depósitos sedimentares clásticos superficiais foram descritos através principalmente da granulometria e de seus constituintes. Os depósitos orgânicos, em geral de pequeno volume quando comparados com os depósitos clásticos, foram objeto de breve descrição.

Os depósitos químicos foram identificados e inventariados em todas as cavernas. Uma descrição sumária de cada depósito foi elaborada. As ocorrências de maior importância foram submetidas à análise mineralógica por Difractometria de Raios X – DRX. O limite de detecção da técnica é variável, de 1-10% em peso. Padrões difratométricos refletem somente a estrutura cristalina, portanto a fórmula química apresentada nos resultados é uma fórmula teórica e/ou geral do padrão do banco de dados, não necessariamente corresponde perfeitamente à química mineral (pode haver substituições de elementos químicos, soluções sólidas etc). As análises foram realizadas no Laboratório da CVRD - Gerência de Mineralogia e Química. A coleta de material foi licenciada pelo IBAMA (Licença 003/2005).

2.2. Bioespeleologia

A amostragem de organismos cavernícolas, localizados em nove cavidades do platô N5E (N5E 01 a 09), foi realizada entre 22 de março e 3 de abril de 2005.

2.2.1. Amostragem de invertebrados cavernícolas

Em campo, o esforço de coleta compreendeu incursões diurnas às nove cavidades. Incursões no período noturno não foram efetuadas por motivos de logística e segurança, referentes ao acesso às cavidades estudadas, passando dentro da área de mineração. Para a realização do levantamento das espécies de invertebrados presentes na área foram utilizados os métodos de procura/captura ativa e captura passiva. A procura ativa envolveu a busca na maior diversidade possível de ambientes encontrados no interior da gruta (substrato rochoso, banco de sedimento, acúmulos de guano, detritos vegetais etc), bem como nos diversos microhabitats, nos quais os espécimes foram capturados manualmente, com o auxílio de pincel e pinças.

A captura passiva foi realizada com o auxílio de armadilhas de queda ("pitfall traps"). Para tanto, foram utilizados potes de plásticos enterrados de modo que suas aberturas ficassem no nível da superfície do solo. No interior de cada armadilha foi colocada formalina (formol a 4%) para fixação e conservação do material, e uma quantidade mínima de detergente para eliminar a tensão superficial, evitando que o animal capturado escapasse das armadilhas. Armadilhas de queda foram colocadas inicialmente nas cavidades N5E 06, 07, 08 e 09 e deixadas por 48 horas. Devido à baixa eficiência de amostragem dessas armadilhas nas cavernas citadas acima, elas não foram instaladas nas demais cavidades. Os animais coletados foram conservados em álcool 70%.

2.2.2. Amostragem de vertebrados

Considerando vertebrados, foi priorizada a captura de morcegos, que utilizam as grutas como abrigo com maior frequência. De acordo com as características de cada gruta com ocorrência de quirópteros foram efetuados um ou mais dos seguintes procedimentos: foram montadas redes de neblina nas entradas ou no interior da mesma, de modo que fechassem a passagem onde os morcegos foram avistados ou estes foram capturados diretamente com o auxílio de um puçá.

Nas cavidades N5E 04, 05, 06, 07, 08 e 09 foram colocadas armadilhas do tipo *sherman* com iscas para averiguar possíveis mamíferos que utilizem a gruta como abrigo ou mesmo passagem. As armadilhas foram montadas durante duas noites consecutivas em cada cavidade. Vestígios e evidências indiretas de vertebrados, como ninhos, penas, pêlos, fezes e pegadas foram registrados.

2.2.3. Identificações

Os organismos foram agrupados por morfoespécies e identificados com o auxílio de chaves para características morfológicas, dentre elas, Adis (2002), Stehr (1987, 1991) e Csiro (1991). Muitas vezes, organismos jovens dificultaram identificações mais precisas. O material foi depositado na coleção do Museu de Zoologia da USP (São Paulo) e, quando necessário e possível, encaminhado a especialistas para confirmação ou refinamento das identificações.

3. INSERÇÃO DAS CAVERNAS DE N5E NO CONTEXTO NATURAL

O presente item foi organizado através de dados secundários obtidos em relatórios ambientais referentes à N5S, tendo em vista que esta área é contígua a N5E. Dados específicos obtidos diretamente na área objeto de análise também foram incluídos.

3.1. Clima

O clima e as condições meteorológicas da região da Floresta Nacional de Carajás são fortemente condicionados pela localização geográfica (latitude) e relevo, que, em ação conjunta com os grandes sistemas atmosféricos (massas de ar), controlam a distribuição pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade do ar e regime de ventos.

Segundo os estudos da Golder (2005), o clima da Amazônia é do tipo **A** (classificação de KÖPPEN), ou seja, tropical úmido com a temperatura média do mês mais frio nunca inferior a 18 °C. KÖPPEN apresenta ainda a seguinte sub-classificação para o clima da região amazônica: **Af** – clima tropical úmido, com precipitação média maior ou igual a 60 mm para o mês mais seco; **Am** – clima tropical úmido de monção, com precipitação excessiva durante alguns meses; **Aw** – clima tropical úmido, com inverno seco e precipitação média menor que 60 mm para o mês mais seco. A região da Serra dos Carajás está incluída na sub-classificação (Aw).

Os dados obtidos para todas as estações mostram um comportamento sazonal da distribuição das chuvas. A estação chuvosa concentra, em média, cerca de 75% do total anual de precipitação durante os meses de novembro a abril. O volume precipitado na região mostra variações significativas entre as áreas posicionadas em topografias elevadas. Para áreas rebaixadas, o volume anual médio de precipitação obtido foi de 1.538 mm. Para as estações localizadas em áreas elevadas como a do Núcleo de Carajás, o volume médio de precipitação

foi de 1.926 mm anuais. O efeito orográfico revela-se importante na distribuição dos índices pluviométricos da região em estudo. É nesse período que os processos hidrológicos são mais expressivos nas cavernas da serra dos Carajás, principalmente através da percolação de águas pluviais através do maciço rochoso.

A estação seca inicia-se em junho e estende-se até setembro. O trimestre mais seco, representado pelos meses de junho, julho e agosto, mostra médias mensais para as estações analisadas de 24 mm. Considerando os valores anuais, a precipitação que ocorre no período de estiagem corresponde a menos de 5% da total.

As variações médias anuais de temperatura na área de estudo são pequenas, permanecendo entre 0,8°C e 1,7°C. O equilíbrio térmico na região é favorecido pela densidade da rede hidrográfica e da massa florestal. Os meses mais amenos correspondem ao período de janeiro a março, coincidindo com os maiores índices pluviométricos e a presença de maior nebulosidade. A temperatura média mensal nesse período é de 24,4°C.

3.2. Geologia

Os litotipos que ocorrem na área de estudo apresentam rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, cujas idades vão desde o Arqueano ao Paleoproterozóico, além de coberturas Paleozóicas e Terciárias. Na Figura 2 está a coluna estratigráfica padrão, proposta por Macambira (1990). Já a Figura 3 apresenta o Mapa Geológico Regional (Golder, 2005).

3.2.1. Estratigrafia

O embasamento da mina de ferro de N5 é composto por gnaisses graníticos, granodioríticos e tonalíticos, migmatitos, anfíbolitos, rochas máficas e ultramáficas, denominado Complexo Xingu.

Sobre este complexo tem-se uma seqüência vulcano-sedimentar que integra as formações ferríferas, juntamente com lentes de rochas ricas em sílica e grandes volumes de rochas basálticas e riolíticas do Grupo Grão Pará.

As jazidas de minério de ferro têm com o protominério (Formação Carajás) um corpo de Jaspilito (17,11 a 43,40% de Fe e 35,10 a 60,84 % de SiO₂) intercalado por uma seqüência de derrames vulcânicos de composição predominantemente básica, pertencentes à Formação Parauapebas (Inferior) e Formação Igarapé Cigarra (Superior). Entre os litotipos presentes no minério, predominam as hematitas macias (HM), além das hematitas duras (HD), em menor quantidade. A distribuição dos contaminantes do minério ocorre de forma heterogênea, mas via

de regra pode-se fazer a seguinte correlação. Na região de contato entre a rocha máfica inferior e o corpo de minério, há enriquecimento de manganês, no contato entre o minério e a rocha máfica superior, alumina e fósforo, em profundidade, sílica e, em faixas de cisalhamento, manganês e fósforo. São freqüentes a presença de diques e *sills* de material máfico (diabásio), com espessura de até 0,5 metros intercalados no minério, principalmente na porção norte da mina. Os principais minerais são a hematita e a martita, com quantidades significativas de magnetita e goethita. As hematitas friáveis constituem a parte mais representativa das reservas, e são resultados de enriquecimento supergênico, com lixiviação preferencial da sílica no protominério jaspilítico, concentrando os óxidos de ferro.

ALTO	TIPO	USAR (M)	SUBSTRATO	CONTATO	FORMAÇÃO	CONTATO	TIPO	CLASSIFICAÇÃO GERAL	PARTE DO CULO
FRAT. SUPERIOR	TIPO	1,20			FR. MÁFICA SUPERIOR				
	MEDIO	1,40						FR. MÁFICA SUPERIOR	
	INFERIOR	1,60				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		1,80				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		2,00				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		2,20				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
	FRAT. INFERIOR	2,40				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		2,60				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		2,80				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
		3,00				FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR
3,20					FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR	
3,40					FR. MÁFICA INFERIOR			FR. MÁFICA INFERIOR	

Figura 2. Coluna Estratigráfica da região, segundo Macambira (2003).

Em superfície se estende uma crosta laterítica sobre as diferentes formações, formando a canga química e uma canga denominada canga do minério. A espessura média deste material oscila entre 2,0 e 5,0 m. Trata-se de um material muito permeável, por apresentar grande volume de vazios.

A lixiviação da sílica do jaspilito ocasionou um incremento da permeabilidade, pois deu origem a uma porosidade secundária na rocha. No entanto, a posterior compactação da massa mineral, em profundidade, promove a diminuição dessa porosidade adquirida.

Segundo Ab'Sáber (1986), a geomorfologia da área oriental da Amazônia, onde se desenvolve o Projeto Carajás, é toda ela constituída por grandes extensões de terras baixas colinosas – tabuleiros, baixos platôs, relevos cuestiformes, colinas ligeiramente mamelonares situadas em terrenos antigos – até 600-800 km para o interior, onde a serra dos Carajás quebra a monotonia relativa das terras baixas, salientando-se na paisagem como restos de antigos divisores dissecados, situados entre os vales do Araguaia e o Xingu.

Segundo a compartimentação proposta pelo Radambrasil (1974), o espaço de inserção da Província Mineral de Carajás, na região sudeste do Pará, é constituído por duas unidades geomorfológicas de expressão regional: o *Planalto do Sul do Pará* e a *Depressão Periférica do Sul do Pará* (Figura 4).



Figura 4. Grandes Unidades Geomorfológicas da região de Carajás.

O planalto dissecado, localmente compartimentados e denominados de platôs, podem ser dividido em duas unidades morfológicas: o *topo residual* do platô, ou melhor, testemunhos de uma provável superfície pretérita posicionada a aproximadamente 750 m de altitude; e as vertentes inclinadas que entalham, de forma muito irregular, a borda do platô.

O contato das duas unidades é feito por uma ruptura de declive, ocasionada muitas vezes pela quebra da cobertura de canga ou pelo afloramento da Formação Ferrífera Bandada - FFB. Após a ruptura, a topografia torna-se mais acidentada. Destaca-se um conjunto de vertentes inclinadas, que fazem a conexão morfológica entre o topo do planalto dissecado e as planícies aluviais ou áreas rebaixadas marginais. As cavernas de N5E encontram-se inseridas na base de paredões e pequenas escarpas de ruptura da canga ou da FFB. Esses afloramentos podem ocorrer em diversos pontos das altas e médias vertentes inclinadas.

3.4. Solos

A caracterização pedológica do Complexo Minerador de Carajás foi realizada inicialmente pelo projeto Radambrasil (1974). O ambiente ecológico diversificado da região, caracterizado pelos diversos períodos geológicos, com ocorrência desde terrenos holocênicos, ou atuais, até os mais antigos, influenciados pela ação do clima tropical em diferentes situações de relevo, resultou na evolução diagenética de várias classes de solos. Destacam-se na região, segundo o referido Projeto, os Latossolos, os Podzólicos e as Areias Quartzosas álicas, além da presença de Cambissolos, Plintossolos e Solos Concrecionados Lateríticos.

O Plano de Manejo Para Uso Múltiplo da Floresta Nacional de Carajás (CVRD/IBAMA, 2003) também caracterizou diversos tipos de solos, dentre os quais: Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos. Particularmente nas AID e ADA de expansão da mina N5 foram mapeados, no topo do planalto dissecado, a Formação Ferrífera e, nas vertentes inclinadas, os Cambissolos.

Apesar da ocorrência de afloramentos da rocha ferrífera e da canga no topo do platô, nas vertentes inclinadas de N5E e N5S foram observadas uma espessa cobertura de solos vermelhos. Para a caracterização dos materiais pedológicos foram descritos quatro perfis representativos para a área: P2, P3, P4 e P5. O Mapa Morfopedológico apresentado na Figura 6 sintetiza as relações entre formas e os materiais da área de estudo.

Os perfis de solos analisados demonstraram, inicialmente, horizontes superficiais do tipo O1 e O2, ou seja, detritos orgânicos por decompor e decompostos ou em fermentação (SBCS, 1976). Segundo a classificação de decomposição de material orgânico de *von Post*, esses horizontes podem ser denominados de *fíbricos* (Embrapa, 1999).

Em seguida, ocorrem horizontes *A Moderado*, que podem atingir até 30 cm de espessura. A cor desses horizontes superficiais varia do bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4), identificado no Perfil 3, ao vermelho (2.5YR 4/6), registrado no Perfil 2. A classe textural desses horizontes é *Argilosa*, ou seja, todos os horizontes apresentam valores de argila entre 35% a 60%. A participação do silte é baixa, variando entre 12% e 17%. A areia total pode atingir até 35% da composição granulométrica. Salienta-se, ainda, que no Perfil 5, foi identificada uma fase pedregosa, constituída por seixos e matações de canga. No conjunto, os horizontes superficiais apresentam uma alta porosidade global (principalmente bioporos), sendo acentuadamente drenados.

Quanto ao pH, os horizontes superficiais apresentaram solos nas classes extremamente ácidos (pH 4, no Perfil 2) a moderadamente ácidos (pH 5,4), no Perfil 5. A matéria orgânica (MO), por sua vez, variou entre 3,43 a 5,03 dag/kg.

A transição dos horizontes superficiais para os horizontes B é gradual, difusa. O Perfil 2 atingiu 70 cm de profundidade. Matações e seixos de canga impediram o aprofundamento do trado. Os perfis 3 e 4 atingiram 100 cm, ou seja, a extensão máxima do trado. Já o Perfil 5, executado em um barranco, atingiu 300 cm de profundidade.

A cor desses horizontes minerais subsuperficiais (horizonte B) varia do bruno avermelhado escuro ao vermelho escuro (2.5YR 3/4 e 3/6, respectivamente). A classe textural desses horizontes é *Argilosa*, nos perfis 2, 4 e 5, e *Muito Argilosa*, no Perfil 3 (64% de argila). A participação do silte é pequena (entre 11% e 17%), a exceção do Perfil 5, que apresentou 33% de silte. A areia total, à semelhança dos horizontes superficiais, variou entre 28% e 33%. Como no horizonte superficial, também foi constatado uma fase pedregosa (I) no horizonte B do Perfil 2. Os dados granulométricos não indicaram incremento de argila no horizonte B.

O pH desses horizontes, também indicou solos nas classes extremamente ácidos (pH 4,3 no Perfil 2), a moderadamente ácidos (pH 5,0 no Perfil 4). A matéria orgânica variou entre 5,89 a 1,55 dag/kg. Verticalmente, há uma clara diminuição da MO em relação aos horizontes superficiais. Os valores da Soma de Bases Trocáveis (SB) são muito baixos (0,20 a 1,12 cmolc/dm³), o mesmo acontecendo com a Capacidade de Troca de Cátions (CTC). A grau de extensão na qual o complexo adsortivo do solo está preenchido com bases (Saturação em Bases - V) também é muito baixo, com média de 6,5%.

As características morfológicas, texturais e químicas colocam os solos analisados na classe (3º nível) dos LATOSSOLOS VERMELHOS distróficos típicos – LVd (Figura 5). Esses solos evidenciam avançado estágio de intemperização, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos. Geralmente são espessos (>50 cm) e ácidos, sendo a diferenciação entre seus subhorizontes difusa. A estrutura dos agregados é geralmente bem desenvolvida (granular e blocos pequena).



Figura 5. À esquerda, Latossolo Vermelho distrófico típico, de origem coluvionar (Perfil 5); à direita, Latossolo Vermelho fase pedregosa I.

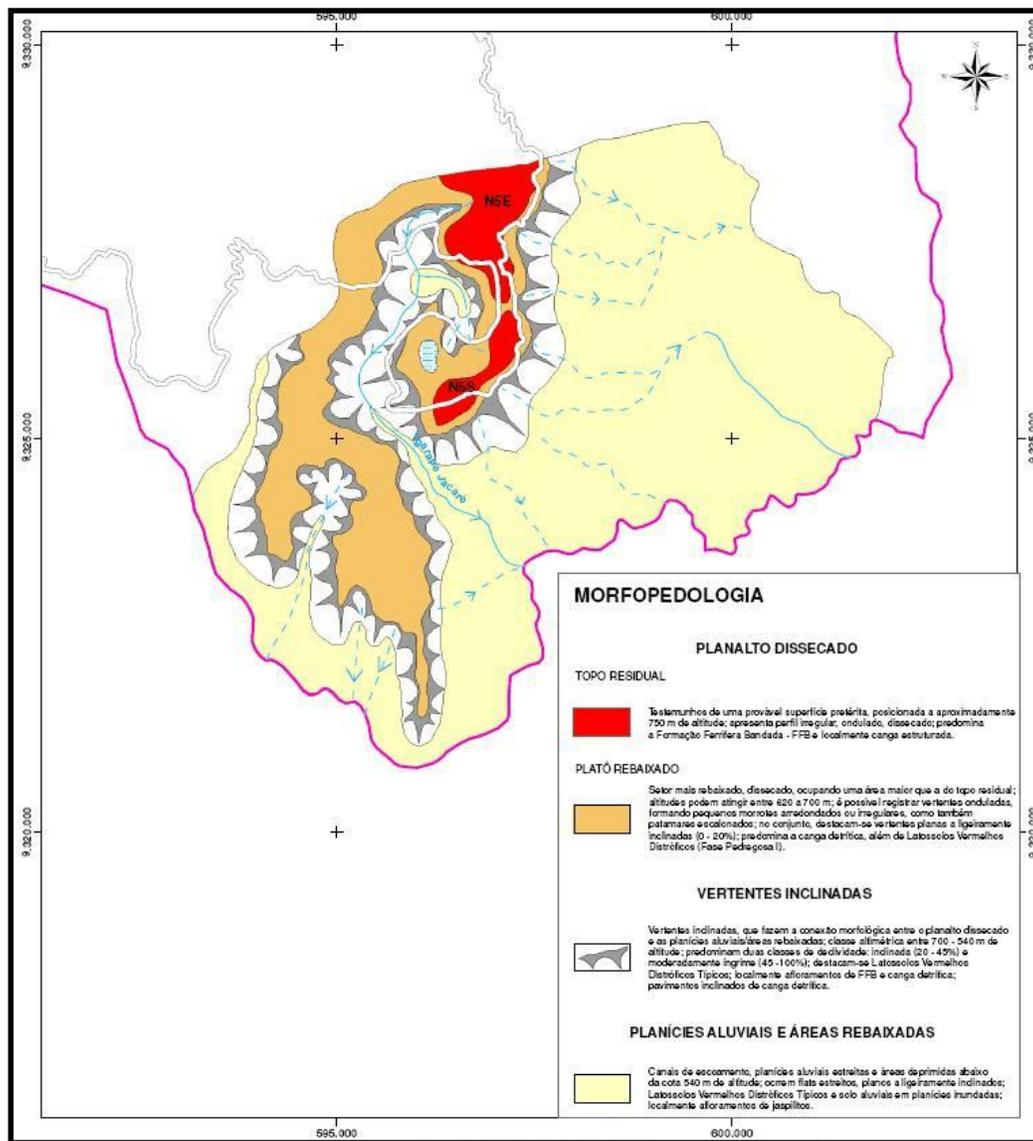


Figura 6. Mapa Morfopedológico do Platô N5E/N5S.

3.5. Hidrografia

Situada no interflúvio Xingu - Araguaia/Tocantins, o conjunto da serra dos Carajás tem sua rede de drenagem vinculada a esses dois grandes sistemas hidrográficos. A sub-bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas drena a porção leste da Província Mineral de Carajás, pertencendo ao sistema Araguaia/Tocantins. Trata-se de um rio sinuoso, de 80 a 200 m de largura, com desenvolvimento de 400 km entre o ponto em que entra na área da Serra dos

Carajás e sua foz em Marabá. Foi classificado como pertencente à classe 2, conforme CONAMA 020/86.

Na AID de N5E o sistema de drenagem é tributário da margem esquerda do rio Itacaiúnas. O canal de drenagem mais próximo a ADA, denominado de Igarapé Jacaré, localiza-se no sopé das vertentes do platô voltadas para W e E. A direção geral desse escoamento é de norte para sul, como também de W para E.

3.6. Hidrogeologia

Dois sistemas aquíferos principais podem ser identificados na serra dos Carajás (Golder, 2005). Um deles é constituído pela área de domínio da Formação Carajás (Grupo Grão Pará), principal aquífero regional. O outro sistema aquífero é constituído pelas rochas basálticas da Formação Parauapebas, que constitui um sistema aquífero pobre e onde a circulação de água ocorre principalmente através de suas descontinuidades rochosas, caracterizando um sistema aquífero fissural.

A análise das condições geoestruturais dos corpos de minério de ferro indicam que esses aquíferos constituem corpos isolados entre si pelas rochas basálticas sãs ou decompostas que ocorrem estratigraficamente tanto na sua base (Formação Parauapebas) como no seu topo (Formação Igarapé-Cigarras).

Em função de seu comportamento hidrogeológico e de acordo com as suas propriedades como meio de circulação de água subterrânea, pode-se identificar, no platô de N5E, dois tipos litológicos:

- Materiais aquíferos (armazenam água que transmitem lentamente) - conjuntos litoquímicos que mantêm certa porosidade, mas que não oferecem internamente boa conexão hidrológica. Neste grupo têm sido englobados tipos como a canga do minério, canga química e laterita;
- Materiais aquíferos (armazenam água e a podem transmitir) – destacam-se as hematitas, tanto a hematita compacta e a friável. Neste grupo foram diferenciados quatro subgrupos: baixa permeabilidade – canga e lateritas; média permeabilidade - hematitas silicosas e minérios teor; alta permeabilidade - hematitas friáveis; muito alta permeabilidade – hematitas compactas fraturadas e hematitas semifriáveis fraturadas.

A faixa de variação da condutividade hidráulica é extensa, com valores muito baixos, no caso das rochas máficas e do jaspilito (protominério de ferro) com uma ordem de grandeza de 10^{-6} a 10^{-8} m/s, comparável a terrenos sedimentares compostos por seqüências silto-argilosas. Os valores mais elevados foram obtidos para os corpos de minério (hematita), onde a variação da condutividade hidráulica nas zonas mais permeáveis, varia de 10^{-3} a 10^{-5} cm/s e pode ser comparado a depósitos arenosos bem selecionados.

3.7. Vegetação

Na alta vertente e no topo do platô destaca-se a Vegetação sobre Canga (Figura 7). Neste ambiente predominam as formas savânicas arbustivas com variada densidade de plantas, podendo atingir uma altura maior que 3 m. Em alguns locais, a vegetação pode se apresentar mais baixa. Quando a crosta maciça de canga aflora, predominam as canelas-de-emas. À medida que a canga vai sendo dismantelada, o solo vermelho cascalhento torna-se mais espesso, aumentando o porte arbustivo-arbóreo.

Nas vertentes inclinadas, ou seja, no entorno das cavernas, destaca-se a floresta Ombrófila Aberta Submontana, constituída por uma formação de floresta aberta com abundância de cipó. Apresenta poucas árvores emergentes, um estrato dominante de aproximadamente 10 a 15 m de altura, onde se destaca a presença expressiva de cipó e bambu no sub-bosque. Essa fisionomia pode estar ligada à instabilidade do terreno. Em áreas pouco estáveis, a probabilidade de queda de árvores é maior, ocasionando a abertura de clareiras.



Figura 7. Transição entre a Vegetação de Canga e a Floresta Ombrófila Aberta na borda W do platô de N5E.

4. ESPELEOLOGIA

4.1. Trabalhos anteriores

● Feições cársticas/pseudocársticas em minério de ferro

A ocorrência de feições cársticas e/ou pseudocársticas em minério de ferro tem sido mencionada há mais de um século na literatura nacional e internacional. A maior parte das referências provém da África, embora tenhamos também descrições de feições em quase todos os continentes.

Dixey (1920) descreveu sumidouros e ressurgências – denotando, pois, uma drenagem subterrânea e a existência de cavidades – em Sierra Leone, África. Neste mesmo país Gwynne-Jones (1973) menciona a ocorrência de dolinas nos Montes Loma e Thomas (1974) descreve feições pseudocársticas nos Montes Sula e Tingi. Ainda em Sierra Leone, Bowden (1980) descreve cânions gerados pelo colapso de cavidades e também depressões nos Montes Kasewe. De Cheletat (1938) estudou a formação de feições cársticas em crostas lateríticas (canga) na República da Guiné, oeste africano. Avenard (1971) comenta sobre a existência de feições pseudocársticas diversas na Costa do Marfim. Em Uganda, McFarlane & Twidale (1987) descreveram depressões no terreno, além de mencionar a ocorrência deste tipo de dolinas em regiões de laterita em outras partes do globo. Sponholz (1994) também realizou um trabalho em feições cársticas em material ferruginoso de Níger, mencionando depressões verticalizadas do tipo abismos, depressões suaves e a presença de estalactites de óxido de ferro.

Na Austrália Twidale (1987) descreve em pormenor a morfologia e gênese de dolinas, algumas de grande diâmetro e profundidade, sobre laterita no Platô Stuart na Austrália. Goudie (1973) também menciona a ocorrência de carste em ferricrete nos Montes Panchandi no oeste da Índia e também no sudeste asiático. Na América do Sul, é importante lembrar a descrição de dolinas em laterita sobre minério de ferro nos Montes Iron e Wamarra na Guiana por McBeath & Barron (1954).

● Cavernas

Cavidades naturais subterrâneas em canga e minério de ferro são relativamente pouco estudadas, tanto no Brasil como no restante do mundo. Isto se deve provavelmente ao fato de serem cavernas de pequenas dimensões, que não chegam a constituir um desafio esportivo de

forma a motivar exploradores e nem tampouco possuem a beleza e o espaço interno freqüentes em cavernas em rocha calcária.

No entanto, ao longo de pesquisas geomorfológicas em feições cársticas em minério de ferro, a existência de cavidades foi assinalada por diversos autores em muitos locais do planeta (ver listagens em Chabert & Courbon, 1997). Jutson (1914) observou pipes (cavidades de pequeno diâmetro) na região de Yilgam no oeste australiano, sendo que em trabalho posterior (Jutson, 1934) foram assinalados buracos com fluxo de ar (blow-holes) e pontes naturais. Ainda no oeste australiano, Campana et al. (1964) observaram a existência de pequenas cavidades desenvolvidas em canga na região de Hamersley. Twidale et al. (1985), ainda em Hamersley, efetuou um estudo nestas mesmas feições.

Na África, a descrição de cavidades tem ocorrido com relativa freqüência. Em Sierra Leone, Dixey (1920) estudou pequenas cavernas sob manto de canga que comportam drenagens ativas. Gwynne-Jones (1973) também descreve cavernas e drenagem subterrânea nos Montes Loma também em Sierra Leone. Neste mesmo país, o trabalho de Bowden (1980) nos Montes Kasewe descreve cavernas por sob o manto de laterita e também cavernas com entradas verticalizadas que dão acesso à drenagens subterrâneas. Na Libéria, Axelrod et al. (1952) apresentam uma descrição da mineralogia de cavernas de dissolução em minério de ferro nos Montes Bomi. Uma fotografia à p. 887 (Axelrod et al., 1952) mostra uma ampla entrada de caverna apresentando perfil similar à de cavernas em rochas calcárias. Maignien (1966) estudou a relação entre cavernas e a regressão das capas de laterita na República da Guiné. Neste mesmo país Tricart (1972) descreve túneis (pipes) próximos a Fouta Djallon. Na República dos Camarões, a gruta Mbilibekon desenvolve-se em lateritas e atinge 220 m de extensão (Lips & Lips, 1996), uma das maiores cavidades neste tipo de litologia no mundo.

Na Guiana Francesa, uma caverna em laterita já foi assinalada (Chabert e Courbon, 1997). Também na Venezuela, este tipo de cavidade tem sido reportado (Urbani, 1975). Uma das maiores cavernas da América do Sul neste tipo de litologia é, segundo Chabert e Courbon (1997), a gruta de Conejero, na Venezuela, que atinge 190 m de extensão.

• **Carste e cavernas em minério de ferro no Brasil**

O Brasil, possuidor de algumas das maiores reservas de minério de ferro do mundo é, portanto, candidato natural a apresentar um grande potencial espeleológico em cavidades nessa litologia. De fato, as duas maiores áreas de exploração de minério de ferro no país (Quadrilátero Ferrífero e Carajás) têm revelado uma série de cavernas desse tipo. Uma introdução às ocorrências espeleológicas em minério de ferro e canga é apresentada por Auler & Piló (2005).

Apesar da existência de um breve estudo sobre depressões em terrenos lateríticos no Amapá por Vann (1963), são as cavernas que tem merecido a maior atenção na literatura especializada, sendo a maior parte das referências provindas do Quadrilátero Ferrífero (MG) e Serra dos Carajás e arredores (PA). Provavelmente a primeira menção a cavidades em minério de ferro no Brasil seja devida ao francês Noël Aimé Pissis que, em 1842, descreveu cavidades e estalactites no itabirito do Quadrilátero Ferrífero: “*Dans les cavités qui accompagnent souvent les couches de quartz, on trouve de petites stalactites de sous-sulfate de fer et des cristaux de néoctèse*” (Pissis, 1842, p. 380). Em 1871 o mineralogista inglês William Jory Henwood (1871, p.225) descreveu a existência de estreitas fendas em itabirito na região de Água Quente, Quadrilátero Ferrífero: “*...crevices are numerous; some of these are several fathoms in length and height, but few are more than a couple of lines and none exceed two inches in width*”. No mesmo estudo, Henwood (1871) menciona estalactites e crostas de minério de ferro no mesmo local: “*...the hydrous oxide of iron hangs in stalactites from the roofs and forms tuberculated crusts on the floors of others...*”

Após as descrições pioneiras de Pissis e Henwood, observa-se menções esparsas sobre cavernas, como a de Tassini (1947), que descreve uma cavidade em minério de ferro na Serra do Curral, Belo Horizonte. Com a atuação sistemática dos geólogos do United States Geological Survey (USGS) a partir do final da década de 1950, passamos a ter estudos mais detalhados sobre as cavidades. Guild (1957) descreveu uma cavidade denominada Casa de Pedra, na atual mineração de mesmo nome da CSN. Deve-se ao geólogo norte americano George Simmons os estudos mais detalhados sobre as cavernas em minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero (Auler, 2005). 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. Além da descrição, Simmons elabora um interessante modelo genético e detalha a mineralogia das grutas. Simmons (1963) apresenta, ainda, uma breve compilação de cavidades observadas por colegas geólogos do USGS, como J.V.N. Dorr II, que reportou cavidades no distrito de Itabira e C.H. Maxwell, que visitou uma grande caverna (já destruída pela atividade minerária) na Fazenda Alegria, próxima à Serra do Caraça. O trabalho de Simmons (1963) foi recentemente traduzido e comentado em publicação dedicada à cavernas em minério de ferro (revista *O Carste*, vol. 17, n. 3). Em trabalho complementar, Simmons (1964) detalha a mineralogia de fosfatos encontrados em caverna na Serra do Tamanduá. Breves menções são também efetuadas em trabalhos de síntese como o de Dorr (1969). Recentemente houve uma retomada dos estudos espeleológicos nas cavernas em minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero. Piló & Auler (2005) apresentaram uma revisão sobre o tema, com ênfase nas cavidades da mina de Capão Xavier.

Na região da Serra dos Carajás (PA), a primeira referência a cavernas deve-se a Tolbert et al. (1971), que comenta sobre as grandes cavernas encontradas sob o manto de canga. Os estudos espeleológicos na Serra dos Carajás tiveram um grande avanço a partir dos trabalhos de elementos ligados ao Grupo Espeleológico Paraense, notadamente Clóvis W. Maurity e Roberto Vizeu L. Pinheiro. Em seu primeiro relatório Pinheiro et al. (1985) detalham 4 cavernas, além de discorrerem sobre as feições encontradas e sua possível gênese. Este trabalho foi detalhado em Pinheiro & Maurity (1988) onde a interpretação espeleogenética é aprimorada. Maurity & Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também sua mineralogia, trabalho este reproduzido recentemente (Maurity & Kotschoubey, 2005). Nos arredores da Serra dos Carajás, Von Atzingen & Crescêncio (1999) apresentaram uma descrição com mapas de algumas cavernas na região do garimpo de Serra Pelada (ver trabalhos no boletim mais recente da casa de Cultura). Várias outras cavernas não mencionadas nos trabalhos acima citados já foram exploradas tanto no Quadrilátero Ferrífero quanto no Pará. Estes dados encontram-se em relatórios internos, em mapeamentos realizados por grupos de espeleologia ou mesmo em anotações esparsas ainda inéditas. É possível supor que, atualmente, o número de cavernas conhecidas em minério de ferro no Brasil esteja entre 600 e 700 cavidades, sendo que apenas uma ínfima parcela foi reportada na literatura especializada. Em outras partes do Brasil, ocorrências de cavernas em canga já foram reportadas nos arredores de Palmas (TO) (Ferreira, 2005) e também em morrotes lateríticos próximos a Cocalinho (MT).

• Fauna subterrânea brasileira

Poucos estudos faunísticos foram realizados em cavidades subterrâneas naturais presentes em laterita no mundo como um todo, em grande parte devido à sua pequena dimensão, não despertando a atenção de pesquisadores. No Brasil, a maioria dos estudos bioespeleológicos foi conduzida em cavernas carbonáticas (Dessen *et al.*, 1980; Trajano, 1987; Trajano & Gnaspini-Netto, 1991; Gnaspini & Trajano, 1994; Rheims & Pellegatti-Franco, 2003), e, em menor quantidade, em rochas areníticas e quartzíticas (Trajano & Moreira, 1991; Pinto-da-Rocha, 1995; Zeppelini-Filho *et al.*, 2003; Trajano *et al.*, 2004). Levantamentos faunísticos em cavidades presentes em lateritas foram efetuados inicialmente no Pará (Moreira & Paiva, 1988; Paiva & Moreira, 1988; Pinheiro *et al.*, 2001), entretanto, com pouco refinamento nas identificações e sem menção aos aspectos ecológico-evolutivos dos organismos registrados. Levantamentos mais recentes, efetuados principalmente em cavidades de canga e minério de

ferro na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), têm revelado uma fauna diversificada e interessante, inclusive com organismos troglomórficos (Ferreira, 2005).

4.2. As cavernas de N5E

Durante os trabalhos de prospecção foram identificadas 9 cavernas na área de influência direta da mina N5E. Dados geográficos e espeleométricos das cavernas estão representados na Tabela 1. Essas ocorrências, por sua vez, estão localizadas na Figura 8.

Tabela 1. Localização e dados espeleométricos de N5E.

Cavernas	UTM Zona 22 SAD 69	Altitude (m)	Projeção horizontal (m)	Desnível (m)	Área (m²)
N5E-01	597593E 9328571N	712	13	1,0	27
N5E-02	597594E 9328450N	715	100	6,0	289
N5E-03	597245E 9327356N	680	12,5	0,2	20
N5E-04	596354E 9327199N	666	15,5	0,3	28
N5E-05	596329E 9327242N	667	126	13,0	643
N5E-06	596244E 9327386N	690	60	4,0	230
N5E-07	596254E 9327511N	697	77	9,0	157
N5E-08	596262E 9327719N	712	80	11,0	307
N5E-09	596456E 9327810N	680	81	7,0	362

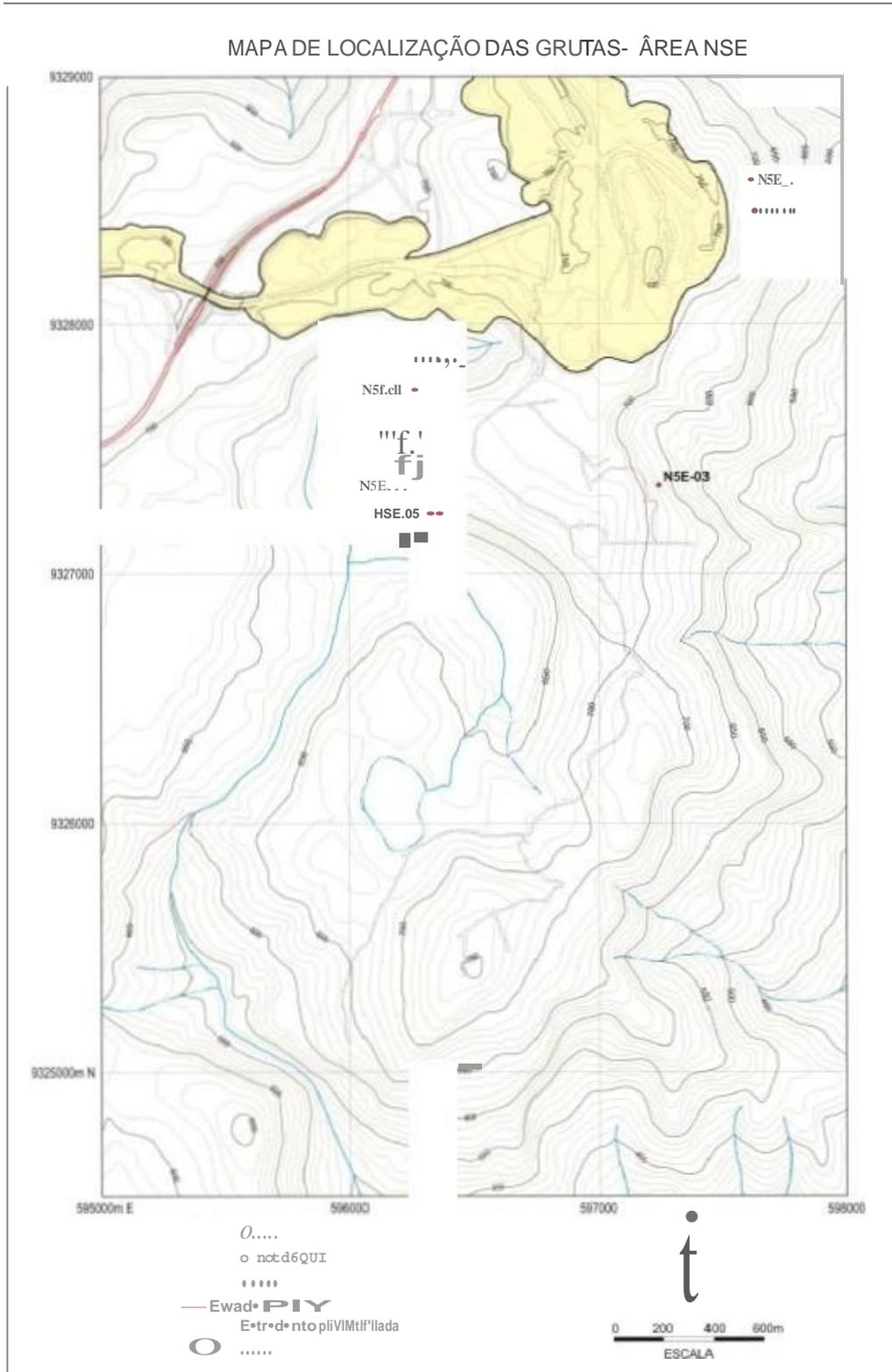


Figura8. Localização das grutas de N5E.

4.3. Geoespeleologia das cavernas de N5E

Neste item serão apresentadas as características geoespeleológicas das cavernas de N5E, incluindo inserção na paisagem, litologia, estruturas, morfologia, hidrologia, sedimentos clásticos e químicos.

Gruta N5E-01

A gruta N5E-01 (UTM 597593E - 9328571N) está situada a aproximadamente 100 m do limite leste da cava de N5E, a 720 m de altitude. A entrada da caverna situa-se na base de uma ruptura de declive, constituída por um afloramento de canga de aproximadamente 6 m de altura situado no terço superior de vertente inclinada.

O entorno imediato encontra-se em bom estado de conservação, destacando campos ferruginosos no topo, em contato com Floresta Ombrófila Aberta Submontana, com abundância de cipó, após a ruptura de declive. Na porção oeste, dentro do limite de proteção de 250 m da caverna, a área encontra-se impactada pela atividade minerária (cava de N5E).

• Morfologia

A caverna N5E-01 (Figura 9) compõe-se de um conduto principal de aproximadamente 6 m de extensão e 3 m de largura média. A direita da entrada da caverna destaca-se um pequeno abrigo de teto baixo. O conduto da caverna segue a direção preferencial NE-SW. No terço médio da parede esquerda, ocorre um apêndice formado por um canalículo, mas que não chega a esboçar um conduto lateral.

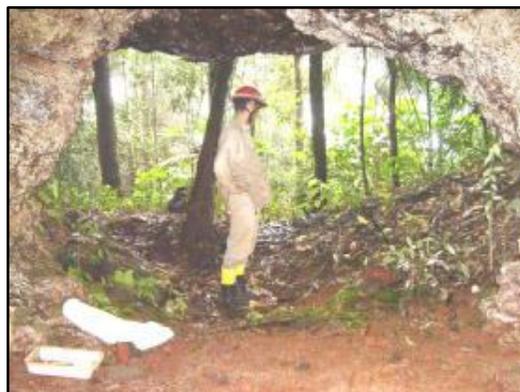


Figura 9. Entrada da gruta N5E-01, localizada nas proximidades da cava de N5E.

No terço final do conduto principal há uma inflexão para sul que se prolonga por mais 2 m. Na extremidade desse prolongamento destaca-se um canalículo, configurando o término da caverna. No piso da entrada, no alinhamento da linha d'água, é possível observar uma pequena depressão, possivelmente ocasionada pelo gotejamento. No restante da caverna o piso é subhorizontal.

As seções transversais indicam geometrias retangulares que atingem em torno de 2 m de altura média. No final da caverna há uma pequena diminuição da altura do teto. Na seção longitudinal, nota-se um teto com perfil escalonado.

A gruta N5E-01 totalizou 13 m de projeção horizontal e um desnível de 1 m. A área de abrangência da caverna apresentou 27 m². Em síntese, a caverna não apresenta câmaras ou salões de dimensões significativas.

• **Litologia**

A gruta é formada pela canga detrítica, constituída principalmente por grânulos de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por lama ferruginosa. Essa lama é constituída de agregados micro ou cripto-cristalinos de óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goetita) com certo número de moléculas de água. Também foi identificada, na caverna, a canga contendo muito pouco material detrítico e muita matriz.

• **Estruturas**

As principais estruturas presentes na caverna são constituídas por juntas E-W/SV e N50E/70 SE, as quais guiaram o maior prolongamento da caverna. Juntas subhorizontais também estão presentes na canga. Essas descontinuidades, provavelmente, derivam de alívio de tensões causado pelas remoções ou alterações no maciço sobrejacente.

• **Hidrologia**

Esta caverna não apresenta drenagem. Quando da visita ao local (abril de 2005) foram observadas percolações e gotejamento somente na linha d'água. A ocorrência de águas de condensação e exsudação também é improvável devido à ausência de ambientes isolados do meio exterior. A já mencionada depressão localizada na entrada aparenta ser causada por gotejamento. Devido a pouca profundidade da caverna é de se supor que, durante eventos pluviométricos, a maior parte da zona abrigada seja atingida pela chuva.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Os depósitos clásticos são de caráter autogênico, gerados a partir de material da própria rocha encaixante, ou seja, a canga detrítica com importante participação de matriz lamosa (Figura 10). Destacam-se, nesse contexto, clastos líticos (principalmente grânulos e seixos subordinados) de hematita. Calhaus podem ser identificados, mas de forma dispersa sobre o piso.

Estão presentes no piso, portanto, material relacionado a canga e também à fácies alterada e friabilizada da mesma, que é facilmente convertido em lama ferruginosa vermelha (2.5YR), material predominante no piso da caverna. Escavações no piso de um canalículo localizado no final da caverna atestam o uso da cavidade por pequenos mamíferos.

No setor inicial do salão foi identificado um artefato lítico (possível batedor). Foram localizados, no abrigo situado à direita da entrada da caverna, alguns cacos cerâmicos, configurando um sítio arqueológico.

Os depósitos orgânicos estão presentes principalmente na entrada da caverna, sendo representados pela serrapilheira. Fragmentos de carvão foram identificados no piso final da caverna e são muito provavelmente de origem antropogênica.



Figura 10. À esquerda, sedimentos clásticos no piso final da caverna de origem autogênica; à direita, cacos cerâmicos no piso do abrigo posicionado ao lado da entrada da caverna.

• Depósitos químicos

Os depósitos químicos da gruta N5E-01 estão representados, principalmente, por crostas milimétricas de cor branca e consistência macia, que ocupam importantes porções do teto e

das paredes da pequena cavidade. Crostas semelhantes identificadas no platô N5S acusaram a presença de sulfatos (Aluminita - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e Basaluminita - $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Essas crostas também são freqüentes nas cavernas do Quadrilátero Ferrífero (MG).

Gruta N5E-02

A gruta N5E-02 (UTM 597594E - 9328450N) está localizada a aproximadamente 100 m ao sul da gruta N5E-01. A caverna está inserida na base de um afloramento na forma de um paredão de canga com aproximadamente 9 m de altura, situado no terço superior de vertente inclinada da borda do platô (720 m de altitude). O alinhamento do paredão, que tem continuidade lateral, está orientado segundo uma fratura N70E/SV.

A entorno imediato da caverna encontra-se bem conservado, onde se destaca uma transição savana metalófila - floresta ombrófila. Na porção oeste, como na gruta anterior, dentro do perímetro de proteção de 250 m, temos a cava de N5E, configurando uma área impactada pela atividade minerária.

• Morfologia

A caverna N5E-02 apresenta três entradas, sendo uma superior e de difícil acesso. Destaca-se uma morfologia complexa com várias galerias se interligando por corredores e passagens mais estreitas (vide mapa em Anexo). A morfologia é extremamente irregular, consistindo em um ótimo exemplo de padrão esponjiforme, em que galerias maiores encontram-se conectadas por passagens mais estreitas.

Da entrada principal (Figura 11) segue-se para o conduto mais extenso, com aproximadamente 25 m. Essa passagem segue uma fratura N30E/SV. A largura varia de 2 m, nos setores mais estreitos, a mais de 10 m, onde o conduto se amplia lateralmente.

No terço inicial e médio desse conduto, mais especificamente na parede direita, ocorrem dois condutos laterais. O primeiro, o mais próximo da entrada, se prolonga por aproximadamente 7 m na forma de alça. O final desse conduto é a entrada superior da caverna. O outro conduto lateral, posicionado no terço médio, é mais extenso e segue por aproximadamente 15 m no sentido leste, onde ocorre a outra entrada da caverna.

Na extremidade do conduto principal ocorre uma bifurcação em "T", criando dois ramos laterais sem prolongamento importante. No prolongamento da direita ocorre uma pequena clarabóia.

Canalículos podem formar apêndices laterais (reentrâncias) nas paredes da caverna, mas que não chegam a formar condutos. As paredes são muito irregulares, como normalmente registrado nas cavernas com o predomínio de canga. A caverna totalizou 100 m de projeção horizontal, sendo a segunda maior caverna de N5E. O desnível da caverna foi de 6 m e a área de 289 m².

Um aspecto interessante desta caverna é a ocorrência de “degraus” abruptos na rocha em pontos de conexão entre câmaras. Nestes degraus é possível observar o minério de ferro, denotando não se tratar de feição derivada de mobilização diferencial de sedimentos.

O padrão globular de alguns salões e a conexão entre câmaras por passagens estreitas e via degraus faz supor que esta caverna possa ter evoluído através de câmaras independentes, tendo sido posteriormente conectadas. Bons exemplos de pilares foram observados na caverna (Figura 11).



Figura 11. À esquerda, entrada principal da caverna; à direita, pilar de canga no conduto principal.

● **Litologia**

Nessa caverna foram identificados três tipos litológicos, ou seja, a canga detrítica, a canga estruturada e a FFB. A canga detrítica é o litotipo mais freqüente na caverna, sendo constituída por clastos subangulares (tamanho seixo e calhau) de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por lama ferruginosa (Figura 12).

Na caverna também é possível identificar a canga estruturada, constituída por clastos de minério de ferro do tamanho seixo até calhau. A canga estruturada é constituída por clastos de minério de ferro do tamanho seixo, cimentados por material ferruginoso. Esses clastos foram, inicialmente, destacados do minério. Em seguida, sofreram pequeno transporte e foram

cimentados. Diante do pequeno transporte, os clastos foram reorientados, mas ainda guardam uma certa filiação com a orientação preferencial da rocha bandada.

A FFB ocorre em pontos localizados da caverna (vide seção 11 do mapa em anexo). O bandamento composicional do minério é dado por uma alternância entre camadas de poucos milímetros até 2 cm de espessura de hematita, separadas por espaços vazios. Nota-se, também, o preenchimento dos vazios entre as bandas por material goethítico hematítico neoformado.



Figura 12. À esquerda, canga detrítica; à direita, FFB apresentando inflexões possivelmente associadas a colapso gravitacional.

● Estruturas

As estruturas mais marcantes da caverna são compostas por um conjunto de fraturas, destacando: N30E/SV e N70-80E-55/NW, que condiciona de forma clara o maior desenvolvimento da caverna. A atitude preferencial dos planos do bandamento – N15E/50NW também participou da abertura da caverna.

Localmente, a FFB encontra-se deformada, com dobras e kinks (Figura 12). Segundo Ribeiro (2003), algumas estruturas do tipo kinks estão relacionadas à deformação por colapso gravitacional. Notou-se que a friabilidade do substrato não está associada apenas a um processo químico de corrosão de partículas instáveis, mas também a movimentação do maciço e à quebra das partículas.

• Hidrologia

Esta caverna foi visitada durante dias de forte chuva (março 2005) e, com exceção de gotejamentos em algumas das câmaras, a caverna apresentou-se essencialmente seca, possivelmente em função da espessura do maciço, que dificulta a infiltração. Há pouca percolação e exsudação de água e a condensação aparenta ser pouco marcante. Não há drenagem permanente e não foram observadas evidências de drenagens intermitentes.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Na caverna predominam seixos e calhaus líticos originados do colapso de material originado da canga detrítica, ou seja, há uma relação direta entre os sedimentos de piso e a rocha encaixante. De forma subordinada, ocorrem matacões esparsos, em decorrência de abatimentos. Localmente pode ser observada uma maior contribuição de material lamoso originado de canaliculos desenvolvidos nas paredes laterais.

Em alguns locais, é nítida cicatrizes (marcas no teto e paredes com ausência de concrecionamento e onde se expõe a rocha fresca não alterada) denotando que o abatimento ocorreu recentemente. Estes abatimentos alteraram o aspecto de alguns setores da caverna.

Na entrada leste da caverna foram identificados fragmentos cerâmicos, atestando o uso da caverna por grupos humanos ceramistas, ou seja, a caverna é um sítio arqueológico. Quanto aos sedimentos orgânicos, podemos destacar a presença da serrapilheira nas entradas.

• Depósitos químicos

A caverna N5E-02 apresentou três sítios deposicionais principais. O Sítio 1, localizado na interseção entre o conduto principal e o conduto lateral maior (vide mapa), apresenta um conjunto importante de coralóides brancos (Figura 13) do tipo couve-flor. Também foram identificados coralóides de cor escura. A ocorrência de coralóides nesse setor da caverna reforça a tese que esses espeleotemas são mais freqüentes em ambientes mais bem ventilados.

Os sítios 2 e 3 estão situados no final da caverna, onde há uma percolação ativa de águas pluviais, provinda de fratura alargada. Podemos destacar escorrimentos de material ferruginoso do tipo microtravertinos, como também pequenos pingentes nas extremidades do escorrimento. Esses depósitos possuem textura plástica, de aparência gelatinosa.



Figura 13. À esquerda, coralóide branco do tipo couve-flor; à direita, escorrimentos em microtravertinos e pingentes ativos.

Gruta N5E-03

A gruta N5E-03 (UTM 597245E - 9327356N) está situada a aproximadamente 1,1 km ao sul da caverna N5E-02, na mesma vertente (terço superior) voltada para leste. A caverna está posicionada na base de um paredão de canga com continuidade lateral.

O entorno imediato e o perímetro de 250 m da caverna encontram-se em bom estado de conservação, destacando-se, no topo, a savana metalófila. Após a ruptura de declive, representada pelo referido afloramento, ocorre uma vegetação mais fechada, onde há um adensamento da vegetação arbustiva (Floresta Ombrófila Aberta). A altitude da entrada está em torno de 670 m

• Morfologia

A caverna N5E-03 é a menor cavidade repertoriada na área. Compreende um conduto perpendicular ao paredão de canga com aproximadamente 9 m de extensão. A entrada da caverna é relativamente ampla, com 3 m de largura e 2 m de altura (Figura 14). Em seguida ocorre um pilar de canga que bifurca o conduto em duas passagens, sendo o da direita de teto baixo. Após o pilar, o conduto se prolonga por mais 3 m com teto baixo. A planimetria dessa caverna pode ser enquadrada no padrão retilíneo, ou seja, cavernas formadas por condutos simples, seguindo normalmente uma única direção preferencial.

As seções (transversais e longitudinais) apresentam geometrias retangulares, mas muito irregulares. A caverna possui 12,5 m de projeção horizontal, 0,20 m de desnível e 20 m² de área, representando a caverna com os menores valores espeleométricos da área de estudo.



Figura 14. Entrada da caverna N5E-03; conduto que forma o setor principal da pequena caverna.

• **Litologia**

A caverna é constituída de canga, predominando uma matriz fina sobre os clastos líticos de minério (matriz suportada). Localmente, a canga está alterada, friável, composta principalmente por oxihidróxido goethita (argila amarelada). Localmente é possível identificar pequenas cavidades desenvolvidas na canga, gerando setores de paredes alveolares.

No interior da massa argilosa é possível identificar lâminas descontínuas, finas camadas e nódulos irregulares de material cristalizado, de aspecto vítreo, na forma de crostas ferruginosas. Trata-se, possivelmente, de material neoforado.

• **Estruturas**

As juntas N-S/55W e N20E/SV são as principais estruturas presentes na caverna e muito provavelmente guiaram o desenvolvimento do conduto. Esse sistema de fraturas apresenta superfícies irregulares e baixa persistência.

• **Hidrologia**

Esta caverna não apresenta aspectos hidrológicos dignos de nota. Quando da visita ao local, em março de 2005, não foi observada percolação de água. A existência de águas de

condensação e exsudação também não foi observada, em função da pequena projeção horizontal da caverna. Um gotejamento incipiente foi identificado na linha d'água.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Os depósitos clásticos da caverna são constituídos predominantemente por clastos líticos de tamanho seixo e calhaus, originados da rocha encaixante, através do abatimento de blocos. Matacões, por sua vez, estão concentrados principalmente na entrada da caverna. Sedimentos lamosos vermelhos (matize 2,5YR) podem ocorrer de forma esparsa, em consequência da desagregação dos clastos alterados.

Também foi observado um depósito de material fino, possivelmente originado de trabalhos de sondagem (bentonita?), que alterou localmente as características naturais do piso da caverna.

• Depósitos químicos

Os depósitos químicos da gruta N5E-03 são incipientes, sendo representados por alguns escorrimentos de material ferruginoso, como também por crostas milimétricas de cor branca e consistência macia.

Gruta N5E-04

A gruta N5E-04 (UTM 596354E - 9327199N), diferentemente das três primeiras cavernas descritas, está posicionada na vertente inclinada voltada para oeste, ou seja, para o vale do igarapé Jacaré.

A caverna está inserida na base de um pequeno afloramento da FBB que integra uma vertente muito íngreme da borda do platô de N5E, de difícil acesso (altitude aproximada de 670 m). O entorno de 250 m da caverna encontra-se bem conservado, não sendo identificados impactos adversos causados pela atividade minerária.

• Morfologia

A caverna N5E-04 é de pequenas dimensões, consistindo em um conduto único de aproximadamente 12 m de extensão direcionado no sentido E-W. Não possui ramificações nem

subdivisões internas que resultem em salas ou ambientes compartimentados. As paredes, no entanto, apresentam certa sinuosidade.

A entrada, voltada para sul, apresenta 2 m de largura e um pouco mais de 2 m de altura (Figura 15). Após a entrada, a caverna sofre uma inflexão para leste, seguindo de forma retilínea até o final. A largura do conduto no setor médio é de 3 m. No terço final, ocorre um estreitamento do conduto para 1 m, como também um rebaixamento do teto (vide seção 5). As seções indicaram geometrias retangulares (entrada), abobadadas e de perfil escalonado. O piso da caverna é sub-horizontalizado. O seu desenvolvimento atinge cerca de 15,5 m e um desnível quase inexistente (0,30 m). A área da caverna também é pouco expressiva, com 28 m².



Figura 15. À esquerda, entrada da gruta N5E-04; à direita, conduto principal da caverna.

● Litologia

A caverna é constituída pela FFB. O bandamento composicional do minério é dado por uma alternância entre camadas de poucos milímetros até 2 cm de espessura de hematita, separadas por espaços vazios ou, mais frequentemente, por material ferruginoso neoformado.

Localmente foi identificada hematita compacta, ou seja, blocos de hematita cujo bandamento encontra-se obliterado (apagado). Segundo Ribeiro (2003), os hematíticos compactos, no Quadrilátero Ferrífero (MG), são de origem hipogênica, e se apresentam na forma de lentes que podem atingir dezenas de metros.

• Estruturas

O bandamento da formação ferrífera é muito bem marcado na caverna. Sua direção preferencial está em torno de N70W/SV. A superfície do bandamento controla fortemente o eixo principal de desenvolvimento da caverna, como também a geometria das seções, como pode ser observada nas seções 3 e 4 (vide mapa em anexo).

Destacam-se, também, estruturas rúpteis subverticais e paralelas à direção do bandamento preferencial. Essas juntas são persistentes e podem apresentar um espaçamento maior que 5 cm.

• Hidrologia

No momento de nossa visita à caverna, durante forte chuva, a caverna apresentava uma percolação intensa, principalmente na entrada da caverna, onde se destacava um forte gotejamento (chuveirinho) originado de um canalículo no teto da caverna. Pequenas poças também foram constatadas no setor inicial da caverna. No interior do conduto, canalículos de paredes também forneciam pequenos fluxos de águas pluviais para o piso da caverna, que se apresentou muito úmido em todo seu desenvolvimento.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Os depósitos clásticos da caverna são constituídos por clastos (principalmente seixos) de minério de ferro subarredondado. Calhaus de minério também ocorrem, mas de forma subordinada. Interessante é o arredondamento parcial dos clastos líticos, que parece estar associado ao gotejamento intenso que esses depósitos de piso são submetidos (Figura 16). Não há evidências de transporte desses sedimentos via fluxo concentrado. Nota-se também que não há registro de abatimentos recentes no piso da caverna, o que pode ter aumentado o tempo de exposição dos seixos ao gotejamento, ocasionando assim o arredondamento das arestas.

Localmente, esses seixos de minério encontram-se cimentados por material ferruginoso. A presença de material lamoso é incipiente no piso da caverna. Finas raízes podem ser identificadas entre os clastos, como também no teto da caverna.



Figura 16. Sedimentos do piso da caverna constituídos por seixos e calhaus de minério subarredondado.

- **Depósitos químicos**

A caverna N5E-04 é pouco provida de espeleotemas, destacando somente escorrimentos ferruginosos (finas crostas) que cimentaram parcialmente os seixos de minério de ferro.

Gruta N5E-05

A gruta N5E-05 (UTM 596329E - 9327242N) está localizada na média vertente do platô N5E, em posição topográfica inferior a gruta N5E-04. Apresenta duas entradas. A entrada NW, encontra-se inserida na base de um pequeno afloramento de 3 m de altura, sem continuidade lateral. A entrada SE, situada em nível mais baixo da vertente, está posicionada na base de um afloramento de canga de aproximadamente 4 m de altura.

O entorno da caverna é constituído por uma Floresta Ombrófila Aberta Submontana, formada por uma vegetação com abundância de cipó em bom estado de conservação. No fundo do vale do igarapé Jacaré destaca-se um buritizal.

- **Morfologia**

O padrão planimétrico da gruta N5E pode ser dividido em dois compartimentos distintos. O compartimento superior (entrada NW) é constituído, inicialmente, por um salão retangular orientado para NE, com 17 m de extensão por 7 m de largura média. A entrada apresenta um

perfil arqueado, bem regular (Figura 17). No terço médio da parede lateral direita, na altura do piso, pode ser observado um estreito conduto (canalículo) descendente, que se comunica com o outro compartimento da caverna, sendo, no entanto, impenetrável (ver seção 2 no mapa da caverna em anexo). Esse salão apresenta, na sua extremidade NE, uma diminuição na largura e na altura, mas possibilita o acesso ao outro setor desse compartimento.

Após o teto baixo, é possível penetrar em duas direções. Na direção NE ocorre um pequeno salão, que se prolonga localmente através de um pequeno e estreito conduto na forma de um apêndice. Na direção leste, ocorre um conduto na forma de alça, com largura variando entre 2 m e 4 m, gerado particularmente pela ocorrência de um pilar de minério de ferro. As seções dos condutos apresentam perfis arqueados, retangulares e, localmente, irregulares. Pendentes foram observados no conduto em alça. Canalículos de teto e paredes também foram identificados. O piso desse setor apresenta um pequeno declive em direção a entrada.



Figura 17. Entrada arqueada do compartimento (NW) da gruta N5E-05.

A entrada SE, mais rebaixada topograficamente, permite o acesso ao outro compartimento da caverna. Esse setor, inicialmente, apresenta uma entrada mais larga, com 14 m de comprimento, mas com altura sempre inferior a dois metros. Em seguida, ocorre um salão mais amplo, com teto regular em consequência de processos de abatimento nos planos formados pelo bandamento da rocha ferrífera.

A caverna segue a direção NW, através de um amplo conduto com mais de 30 m de comprimento, podendo atingir mais de 8 m de largura e 3 m de altura. Esse conduto está fortemente controlado pela atitude da formação ferrífera. No terço final ocorre um estreitamento do conduto, que passa a ter 3 m de largura. O setor terminal da caverna é formado por um canalículo que conecta com o outro compartimento da caverna, mas apresenta-se muito estreito, sendo impenetrável.

As seções, nesse compartimento, registraram a ocorrência de pontões estruturais, constituídos por saliências retangulares limitadas por planos da rocha (juntas e bandamento – ver seção 2 no mapa).

A caverna totalizou 126 m de projeção horizontal, sendo a maior caverna do platô N5E. Também apresentou o maior desnível dentre as cavernas da área, com 13 m, como também a maior área, com 643 m².

• Litologia

No compartimento mais elevado (NW), predominam as cangas detrítica e estruturada. Localmente a formação ferrífera bandada pode ser identificada, no entanto esta se encontra em estágio avançado de alteração. Feições alveolares estão associadas com a rocha alterada.

No outro compartimento da caverna, por sua vez, predomina a Formação Ferrífera Bandada – FFB. O bandamento composicional do minério é dado por uma alternância entre camadas de até 2 cm de espessura e lâminas milimétricas a submilimétricas de hematita, ambas separadas por espaços vazios de morfologia tabular/laminar, deixados pela remoção da sílica. Esses vazios podem estar preenchidos por material argiloso goethítico e/ou hematítico. Merece destaque canalículos no teto da caverna preenchidos por uma brecha muito semelhante à canga detrítica (Figura 18).



Figura 18. À esquerda, pendentes de canga no conduto em alça. À direita, vestígios de canalículos decimétricos desenvolvidos na formação ferrífera no teto da caverna; essas feições foram preenchidas por brecha cimentada por material goethítico/hematítico.

• Estruturas

No setor NW, as principais estruturas identificadas foram as juntas, que são bem visíveis no teto do salão da entrada. Em razão da altura das feições estruturais, não foi possível a feita

de medidas. Grosso modo, foram registradas juntas orientadas preferencialmente para E-W/40S e N15E/65 SE.

No setor SE, a principal estrutura identificada foi o bandamento da rocha, cuja orientação preferencial local é N40-50W. Ou seja, a orientação dos planos do bandamento segue a direção preferencial desse setor mais desenvolvido da caverna. Os planos do bandamento estão bem inclinados, alterando entre 65SW até subvertical.

• Hidrologia

Na gruta N5E-05, a questão hidrológica merece destaque, pois foi identificada uma drenagem temporário no interior da caverna. Esse fluxo tem início na extremidade norte do compartimento NW da caverna, através da infiltração, percolação e acumulação de águas pluviais (vide mapa em anexo).

Após a formação de pequenas poças, o fluxo hídrico se concentra em um canal de pequenas dimensões e passa a percorrer o salão principal, onde penetra em um estreito conduto descendente impenetrável. Em seguida, o canal percorre todo o compartimento SE (Figura 19), até a saída da caverna, onde se dispersa vertente abaixo.

O gotejamento também foi identificado em vários pontos da caverna, como também pequenas poças de acumulação.



Figura 19. À esquerda, canal de fluxo pluvial temporário no interior da caverna; à direita, cone de sedimentos proveniente do estreito conduto que faz a conexão entre os dois compartimentos da caverna.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Esta caverna apresenta vários tipos de sedimentos clásticos. No setor inicial das duas entradas, destacam-se calhaus e matações de canga e minério de ferro, originados de processos de abatimentos de teto e paredes.

No compartimento NW estão presentes materiais relacionados à canga e ao minério de ferro, e também à fácies altamente alterada e friabilizada do mesmo, que é facilmente convertido em argila ferruginosa com clastos líticos, material predominante no piso desse setor.

No compartimento SE, destaca-se na extremidade do conduto afunilado, um expressivo cone de sedimentos (Figura 19). No setor inicial do cone predomina material lamoso, passando para seixos líticos de minério de ferro. Na saída desse compartimento da caverna também foi registrado um cone de sedimentos lamosos, originados da descarga final do canal pluvial existente na caverna. Nas entradas da caverna a serrapilheira está presente. Pequenos depósitos de guano também foram identificados.

• Depósitos químicos

O inventário permitiu a identificação de sete sítios mais expressivos de espeleotemas (vide mapa), descritos a seguir.

Os sítios 1, 2 e 3 estão localizados no compartimento NW da caverna. Os sítios 1 e 2 são constituídos por crostas avermelhadas de material ferruginoso, de aspecto porcelanizado, muito freqüente nas cavernas de Carajás. Esses depósitos recobrem blocos como também projeções inclinadas na parede. Sobre as crostas ocorrem coralóides, possivelmente originados de respingos do gotejamento. Amostra (AM-22) retirada do sítio 2 (Figura 20) e submetida a Difração de Raios X (DRX), detectou a presença do óxido de ferro do tipo **hematita** (Fe_2O_3) e o hidróxido **goethita** ($\text{FeO}(\text{OH})$). A hematita e a goethita são minerais freqüentes nas cavernas de Carajás, no Quadrilátero Ferrífero (MG), como também em outras partes do mundo (Hill & Forti, 1997).

O sítio 3 está localizado na extremidade norte da caverna (vide mapa da caverna em anexo), sendo formado por uma crosta de escorrimento em teto inclinado. Interessante é que essa crosta recobriu e litificou biotúbulos de cupins e/ou raízes, dando um aspecto diferenciado ao escorrimento (Figura 21).



Figura 20. Crosta recoberta por coralóides localizada no sítio 2, constituída pelos minerais hematita e goethita. À direita, difratograma da amostra.

No setor SE, foram identificados 4 sítios com espeleotemas. O sítio 4 é constituído por crostas incipientes recobrimdo matacão de minério de ferro. O sítio 5 também é composto por crostas de material ferruginoso. Já o sítio 6 é formado por escorrimentos que esboçam formações tipo cortinas em parede inclinada, além de crostas laminadas envolvendo hematita e goethita.



Figura 21. Crosta de escorrimento em parede inclinada sobre biotúbulos; À direita, escorrimentos esbranquiçados constituídos por goethita, gibbsita e basaluminita.

O sítio 7 é constituído por escorrimento esbranquiçado formando, grosso modo, microtravertinos em parede inclinada (Figura 21). Localmente esse depósito apresenta consistência pastosa. No entanto, algumas partes já estão consolidadas. Análise por DRX em pequena amostra (AM-23) desse depósito detectou os seguintes minerais: goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) e basaluminita ($\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})10.4\text{H}_2\text{O}$). Os hidróxidos goethita e gibbsita são comuns em cavernas. O sulfato basaluminita também já foi identificado na gruta N1, na serra dos Carajás. Segundo Maurity & Kotschoubey (1995), a basaluminita é abundante na gruta do

N1, na qual aparece na forma de uma massa plástica esbranquiçada ou de um produto claro, pulverulento, constituindo, sobretudo, revestimentos de blocos abatidos de até 5 cm de espessura. A basaluminita forma, igualmente, eflorescências localizadas no teto da gruta e, eventualmente, preenche fendas nas paredes.

Gruta N5E-06

A gruta N5E-06 (UTM - 596244E / 9327386N) está localizada a aproximadamente 200 m NW da gruta N5E-07. O acesso é feito por uma trilha bem marcada. A gruta está inserida no sopé de um pequeno afloramento da Formação Ferrífera Bandada de 4 m de altura e posicionado em torno dos 690 m de altitude, ou seja, no terço médio da vertente. No entorno da caverna ocorre a Floresta Ombrófila Aberta, que se encontra em bom estado de conservação.

• Morfologia

A caverna N5E-06 é relativamente rasa em relação à superfície, com espessura de rocha sobrejacente em torno de 3 m. A inclinação do piso da caverna encontra-se direcionado para a entrada e acompanha aproximadamente a inclinação da vertente.

A morfologia da caverna é bem irregular, em decorrência da existência de vários apêndices nas paredes laterais. Mas apresenta, no geral, certa linearidade na sua planimetria. A entrada da caverna é bem ampla, alinhada na direção N-S (Figura 22). Apresenta 6 m de largura e aproximadamente 4 m de altura. Em seguida se desenvolve um conduto amplo de aproximadamente 5 m de largura. No terço médio da caverna, o conduto é ampliado lateralmente, em decorrência de um conduto marginal na parede esquerda, que tem disposição paralela ao duto principal, mas sem desenvolvimento digno de nota.



Figura 22. À esquerda, entrada da gruta com matacões abatidos; à direita, pequeno conduto lateral na forma de um apêndice.

A partir desse setor a caverna sofre uma inflexão, de forma mais pronunciada, para NE. Pequenos condutos laterais podem ser identificados, destacando um conduto em alça, individualizado por um pequeno pilar de minério de ferro. Em seguida, há um afunilamento do conduto, que passa a 3 m de largura e teto baixo. Esse conduto, com 12 m de extensão, representa o setor terminal da caverna, cujo segmento distal é formado por um canalículo. As seções apresentaram perfis escalonados e retangulares, controlados predominantemente pelas superfícies do bandamento da rocha.

• Litologia

A gruta N5E-06 é constituída predominantemente pela FFB. A presença da canga detrítica é muito reduzida, ocorrendo localmente preenchendo bolsões em alguns setores. A rocha ferrífera, muito fraturada, é constituído por lâminas de hematita de poucos milímetros até 1 cm de espessura, separadas por espaços vazios ou preenchidos por material neoforado (Figura 23). Alguns vazios estão preenchidos por fina e descontínua crosta branca, de consistência macia, já observada em outras cavernas e possivelmente associada a sulfatos.



Figura 23. Formação Ferrífera Bandada no teto da caverna. No centro, destaca-se um canalículo de teto.

• Estruturas

O bandamento composicional é a principal estrutura presente na gruta N5E-06. No contexto geral, a direção preferencial do bandamento está em torno de N-S/10-30W. Fraturas também estão presentes no teto da caverna, merecendo destaque uma família em torno de N35-

50E/SV. Essas fraturas, juntamente com a direção preferencial do bandamento, condicionam o arranjo morfológico da caverna.

Juntas também estão presentes na FFB. Essas discontinuidades derivam, provavelmente, de alívio de tensões causado pelas remoções ou alterações no maciço sobrejacente.

● Hidrologia

Esta caverna apresentou intensa atividade hídrica no período da visita (março de 2005), em função de durante intensas chuvas. A caverna apresentou muitos gotejamentos e fluxos de águas de percolação. Aparentemente o tempo de resposta dos gotejamentos aos eventos de chuva é muito rápido. Pequenos fluxos concentrados, na forma de pequenos canais, foram observados no interior da caverna. Foi registrado um fluxo concentrado penetrando em um canalículo na interceção entre o piso e parede lateral (Figura 24). Poças de acumulação também foram registradas no terço médio da caverna. A câmara final, por sua vez, apresenta ambiente propício à condensação.



Figura 24. À esquerda, drenagem temporária penetrando em um canalículo; à direita, poça de guano sobre crosta química possivelmente contendo minerais fosfáticos.

● Depósitos clásticos e orgânicos

Os depósitos clásticos da caverna são constituídos, inicialmente, por calhaus e matacões gerados a partir do abatimento do teto do setor inicial da caverna (Figura 22). No terço médio também ocorrem calhaus de minério de ferro, mas nesse setor os blocos são mais esparsos. Canalículos posicionados nas proximidades do piso da caverna contribuem com importante injeção de material argiloso, que transita no terço médio da caverna através dos canais pluviais.

Poças de guano foram registradas sobre matacões e calhaus recobertos por espessa crosta química (Figura 24). Segundo Maurity & Kotschoubey (1995), são conhecidos notáveis depósitos de guano de morcego nas grutas de Carajás, em particular nas grutas do N 1 e da Guarita (Platô N1), onde justamente ocorrem os mais relevantes exemplos de espeleotemas fosfáticos. Essa íntima relação espacial entre o guano e os espeleotemas sugere fortemente uma relação genética entre os dois produtos.

• Depósitos químicos

Em relação a depósitos químicos, o maior destaque desta caverna centra-se nas ocorrências de crosta recobrindo blocos abatidos. Crostas de escorrimentos também foram observadas nas paredes e no piso. Normalmente, a fonte de origem dos solutos é um canalículo (Figura 25). Os sítios 2, 3 e 4 são constituídos por crostas, espeleotema bem corriqueiro nas cavernas de Carajás. Já o sítio 1 é formado principalmente por coralóides semelhantes à couve-flor, dispersos em parede inclinada.

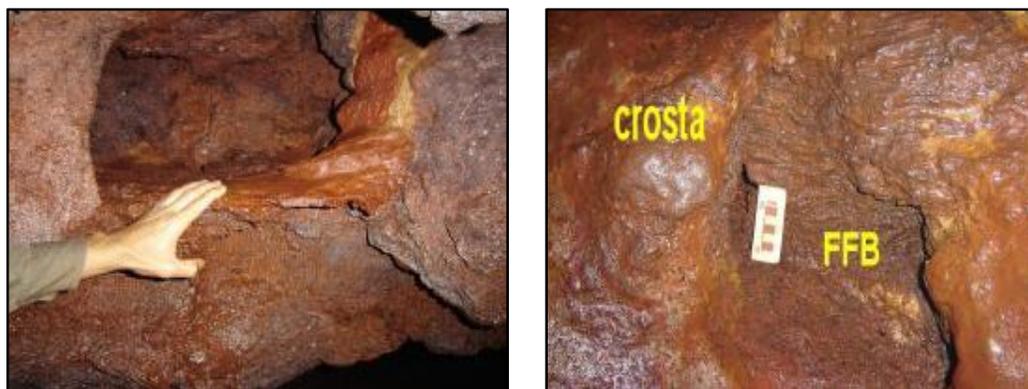


Figura 25. Crostas recobrindo a Formação Ferrífera Bandada - FFB.

Gruta N5E-07

A caverna N5E-07 (UTM 0596251E / 9327511N) está localizada a aproximadamente 200 m N da gruta N5E-06. O acesso é feito através de uma trilha bem marcada. A gruta encontra-se na base de um pequeno afloramento de canga de 5 m de altura, posicionado em torno de 697 m de altitude. A cobertura, constituída pela Floresta Ombrófila, apresenta plantas lenhosas e trepadeiras, características das matas tropicais.

• Morfologia

A gruta N5E-07 apresenta algumas características consideradas típicas de cavernas em minério de ferro e canga: (i) As entradas são estreitas em relação ao restante da caverna, sugerindo uma evolução tardia das mesmas; e (ii) a caverna é rasa em relação ao topo do maciço, desenvolvendo-se apenas entre 2-5 m abaixo da superfície e (iii) a inclinação do piso acompanha a inclinação da vertente.

O padrão planimétrico é bastante complexo. A entrada possui 2 m de largura e menos de 2 m de altura (Figura 26). Logo após a entrada, dois estreitos condutos localizados na parede esquerda dão acesso ao setor labiríntico da caverna, onde se destacam passagens estreitas que se interconectam. Dois canalículos se direcionam para a área externa da gruta, mas são impenetráveis. Espeleotemas diferenciados se alojam nas paredes desse setor.

Seguindo novamente pelo conduto da entrada principal, após 8 m em conduto relativamente estreito e com paredes irregulares, é possível ter acesso às câmaras principais da caverna. Inicialmente destaca-se um salão que chega a atingir mais de 8 m de largura e 2 de altura. No início do salão ocorre um pilar de canga, que individualiza uma passagem lateral (Figura 26). Várias irregularidades são identificadas nas paredes, em função da presença de canalículos formando pequenos apêndices.

Seguindo no sentido sul, há um rápido estreitamento da caverna para 3 m de largura, para logo em seguida formar novamente um salão mais largo (7 m de largura), também com paredes bastante irregulares em função da ocorrência de apêndices.



Figura 26. À esquerda, entrada da caverna N5E-07; à direita, pendente e pilar de canga.

As seções indicaram perfis irregulares, com a presença de pendentes, cúpulas e muitos canalículos. As cavernas com o predomínio da canga têm demonstrado uma maior diversidade

de formas, como também maior irregularidade planimétrica. A caverna totalizou 70 m de projeção horizontal, 9 m de desnível e uma área de 157 m².

- **Litologia**

A caverna é constituída predominantemente pela canga detrítica. A canga apresenta clastos líticos (principalmente seixos) de minério de ferro arranjados caoticamente e envolvidos por uma reduzida presença de cimento ferruginoso (matriz). Ou seja, os clastos estão quase suportados. Localmente também foi registrada a presença da FFB.



Figura 27. À esquerda, canga detrítica, litotipo predominante na caverna; à direita, plano da FFB controlando parede inclinada.

- **Estruturas**

O bandamento foi registrado de forma restrita na caverna. Em parede lateral foi possível obter uma direção preferencial em torno de N15E/40SW (Figura 27). Muitas juntas, possivelmente de alívio, podem ser observadas na canga, sendo que algumas se apresentam preenchidas por material neoforado (goethita e hematita). Essas juntas também representam estruturas preferenciais para atuação de frentes de transformação e neoforção de óxidos e hidróxidos de ferro.

- **Hidrologia**

Esta caverna foi visitada durante período chuvoso e apresentava intensa atividade hídrica sob forma de gotejamento e escorrimento localizado de água no piso, originados de

canalículos. Este fluxo de água não chega a formar uma drenagem propriamente dita. Seu ambiente é fortemente propício à condensação.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Os sedimentos clásticos dessa caverna são constituídos predominantemente por grânulos e seixos de minério de ferro, como também material lamoso originado da rocha alterada e dos canalículos. Calhaus e matacões também são freqüentes no piso da caverna, principalmente no primeiro salão. Cones sedimentares também foram registrados no setor final da caverna, originados de canalículos. Em síntese, os depósitos são exclusivamente de origem autogênica, gerados na própria caverna. Muitas raízes foram identificadas no piso.

• Depósitos químicos

Os espeleotemas nessa caverna mereceram destaque. Foram registrados depósitos diferenciados daqueles já descritos nas cavernas de Carajás, concentrados em 3 sítios principais.

O sítio 1, localizado no primeiro salão da caverna, é constituído por finas crostas avermelhadas sobre blocos abatidos. Destaca-se na borda desses blocos, crostas brancas de consistência macia. Análise via DRX na amostra detectou, na crosta avermelhada, a presença da hematita e da goethita. Já na crosta branca, que bordeja os blocos, foi identificada a presença da gipsita (Figura 28).



Figura 28. Blocos recobertos por crostas avermelhadas de óxidos de ferro; à direita, detalhe de crosta branca, de sulfato de cálcio, que ocorre na borda dos blocos.

A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) já foi registrada em espeleotemas na serra dos Carajás. Segundo Maurity & Kotschoubey (1995), a gipsita ocorreu predominantemente na gruta da Guarita, onde está associada à alunita - $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. Ela forma, nas paredes e no piso, uma fina camada branca, de tipo "leite de lua", composta de diminutos cristais bem individualizados. Na

gruta do N1, a gipsita ocorre em cristais incolores, translúcidos, milimétricos, que revestem parte dos depósitos fosfáticos.

Os sítos 2 e 3 estão localizados no setor estreito e labiríntico da caverna, situado nas proximidades da entrada. Podemos destacar, no sítio 2, expressivas formações do tipo coralóides, principalmente em função da dimensão avantajada dessas feições, anteriormente não registrada em Carajás e no Quadrilátero Ferrífero (MG). No geral apresentam-se na forma de couve-flor, onde predomina uma cor cinza-avermelhada (Figura 29). Amostra (AM-16) desses coralóides, analisadas via DRX, detectou a presença da hematita, da leucofosfita, assim como da gipsita. A leucofosfita ($\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) já foi identificada em coralóides no platô N5S, assim como em coralóides nas cavernas do Quadrilátero Ferrífero (MG). Também já foi registrado em algumas cavernas do mundo (Itália, Libéria, Malásia etc. – ver Hill & Forti, 1997).

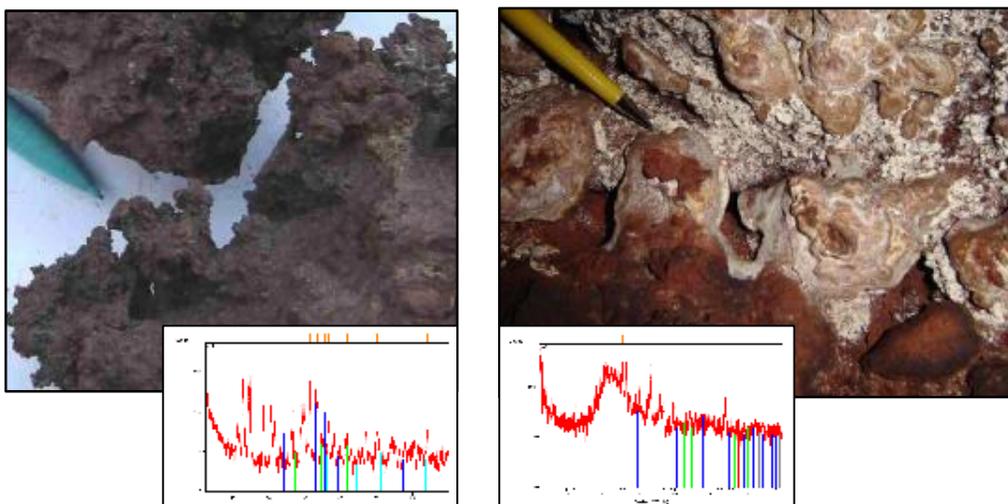


Figura 29. À esquerda, coralóides constituídos por óxidos de ferro, fosfato e sulfato; à direita, espeleotemas denominados de “valvas”; abaixo, difratogramas das amostras.

No sítio 2 também foram identificados espeleotemas incomuns nas cavernas, constituídos por crostas laminadas, grosso modo circulares, que “brotam” das paredes de canga. Lembram, algumas vezes, valvas de moluscos. Análise por DRX de uma amostra (AM-16a) desse espeleotema registrou a presença da hematita, da goethita, da strengita e da alunita. A **strengita** ($(\text{Fe,Al})\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mineral fosfático de ferro e alumínio, foi detectada em uma amostra no Quadrilátero Ferrífero, tendo sido também identificada como revestimentos de pisos, blocos, bem como cimento de paleopavimentos em cavernas de N1, na serra dos Carajás. A **alunite** ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) foi identificada por Maurity & Kotschoubey (1995) na gruta da Guarita, associada à gipsita na formação de revestimentos brancos de parede e piso.

Já o sítio 3 é constituído por clássicas crostas vermelhas de recobrimento de blocos, possivelmente constituídas de óxidos de ferro.

Gruta N5E-08

A gruta N5E-08 (UTM-596262E / 9327719N) está localizada a aproximadamente 200 m N da gruta N5E-07, na mesma vertente íngreme voltada para o vale do igarapé Jacaré, nas proximidades de sua cabeceira de drenagem. A entrada principal da caverna está inserida em um afloramento da FFB de 6 m de altura. Essa pequena escarpa apresenta continuidade lateral e encontra-se posicionada em torno dos 720 m de altitude.

O entorno da caverna é caracterizado por uma Floresta Ombrófila Aberta. Foram observados testemunhos de movimentos de massa do tipo rolamento de matacões e calhaus na íngreme vertente, o que ocasionou a derrubada de algumas árvores. Esses processos foram ocasionados, muito provavelmente, pelo decapeamento da borda do platô.

No momento de nossa visita, realizada em março de 2005, a referida caverna estava posicionada nas proximidades de algumas atividades minerárias (construção de rampa de acesso e decapeamento) relacionadas ao avanço da Mina de N5, colocando em risco potencial a integridade física da mesma. No entanto, a caverna ainda não tinha sido atingida de forma direta, mas seu entorno de 250 m já estava alterado.

• Morfologia

A caverna N5E-08, com duas entradas, pode ser compartimentada em três setores. A entrada principal, de forma arqueada, é larga e alta, possuindo em torno de 8 m de largura e 5 m de altura. Em seguida, o conduto principal segue a direção SE por aproximadamente 15 m, através de forte aclave constituído por matacões e calhaus abatidos.

No final do aclave, a caverna torna-se mais plana, representando o outro compartimento da caverna, que pode ser dividido em dois setores. Para NE, ocorre um pequeno salão que dá acesso à outra entrada da caverna. Já na direção sul, a caverna apresenta um prolongamento maior, através de um conduto curvilíneo de 20 m de comprimento e 4 m de largura média.

Na parede direita do conduto principal, ainda nas proximidades da entrada, ocorre um estreito e baixo conduto que dá acesso ao terceiro compartimento da caverna. Esse setor é constituído por um salão retangular de aproximadamente nove metros de comprimento e seis

metros de largura. Pequenos apêndices ocorrem, dando certa irregularidade à planimetria da caverna.

As seções apresentaram perfis claramente controlados pelos planos do bandamento da rocha ferrífera, como pode ser observado na seção 7 do mapa da caverna (em anexo) e na Figura 30. A caverna totalizou 80 m de projeção horizontal, 11 m de desnível e 307 m² de área.

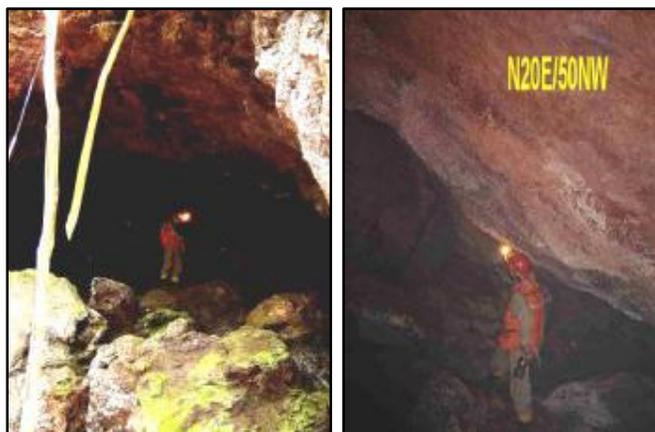


Figura 30. À esquerda, entrada principal da caverna; à direita, teto controlado por plano (N20E/50NW) da FFB.

• Litologia

Na caverna N5E-08 predomina a FFB. O bandamento do minério é dado por uma alternância entre camadas de até 2 cm de espessura e lâminas milimétricas a submilimétricas de hematita. Material neoformado preenche frequentemente espaços entre as bandas.

Esses vazios podem estar preenchidos por material argiloso goethítico e/ou hematítico, como também por crostas de cor branca e consistência macia. Crostas semelhantes, já identificadas na serra dos Carajás, acusaram a presença de sulfatos.

A FFB encontra-se, em determinados setores, parcialmente alterada. Nesses setores, a goethita pode estar presente entre as bandas. Muitas cavidades centimétricas podem ser identificadas nesses setores mais alterados, gerando um aspecto alveolar no substrato rochoso.

• Estruturas

Na guta, a FFB apresenta complexas deformações de caráter dúctil (dobras desarmônicas e *kink bands*), o que ocasionou uma importante movimentação mecânica do maciço, como também uma quebra acentuada das bandas hematíticas.

Em alguns setores, no entanto, as deformações são menos acentuadas, gerando uma direção preferencial N10-20E/50NW. Fortes interferências magnéticas foram registradas nessa caverna, o que dificultou a obtenção de medidas.

• Hidrologia

A gruta N5E-08 apresentou restrita atividade hidrológica. Não foram observados fluxos perenes de água no piso e acredita-se que este tipo de fluxo não ocorreu em nenhuma etapa da formação da caverna, já que não se observou qualquer forma espeleogenética relacionada. O único tipo de atividade hidrológica observada consiste em gotejamentos em alguns poucos pontos da caverna. Condensação ocorreu de maneira rápida no salão retangular, pois este está bem confinado.

• Depósitos clásticos e orgânicos

Os depósitos clásticos, nessa caverna, são predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material da própria rocha encaixante. Inicialmente podemos destacar calhaus e matações de minério abatidos do teto e das paredes, localizados na entrada principal e no salão retangular.

No compartimento mais plano da caverna, ocorrem principalmente sedimentos lamosos. Na entrada superior podemos destacar um cone de sedimentos sendo injetado na caverna, juntamente com material orgânico (serrapilheira). Raízes também foram registradas no teto.

• Depósitos químicos

Nessa caverna foram identificados três sítios principais contendo espeleotemas. O sítio 1 está localizado nas proximidades da entrada superior da caverna, mais especificamente na parede direita. Destacam-se coralóides cinza-escuro, desenvolvidos sobre a FFB.

O sítio 2, por sua vez, está localizado no final do conduto principal, na parede direita (vide mapa em anexo), sendo constituído por coralóides mais claros, predominando uma cor esbraquiçada (Figura 31). Amostra (AM-09) desses coralóides foram submetidos a DRX, sendo detectada a presença da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

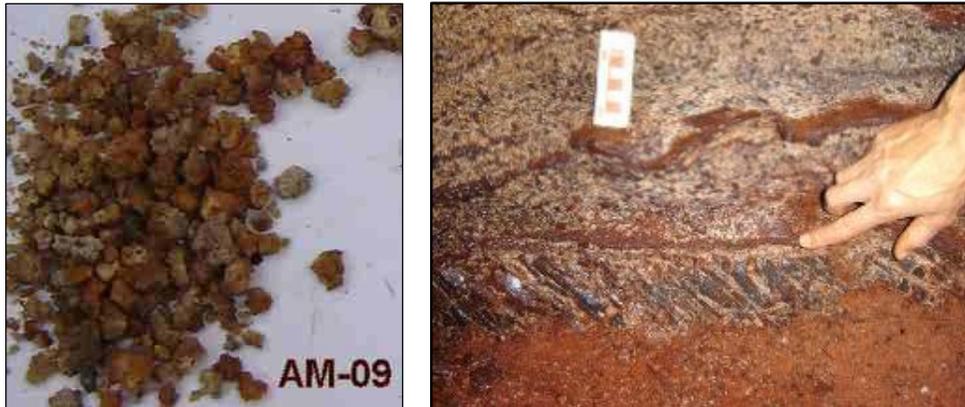


Figura 31. À esquerda, fragmentos de coralóides (AM-09) do sítio 2, constituídos de gipsita; à direita, crostas de hematita e goethita no sítio 3.

O sítio 3 está localizado no segundo compartimento da caverna, formado pelo conduto curvilíneo direcionado para sul. Nesse sítio podemos destacar, inicialmente, duas crostas intercaladas por material brechado, tipo canga. A crosta inferior, de aproximadamente 1 cm de espessura, está assentada sobre a FFB (Figura 31). Já a crosta superior está individualizando duas camadas de brecha fortemente cimentada. Análises (DRX) de amostras dessas duas crostas (AM-11 e 12) indicaram a presença da hematita e da goethita.

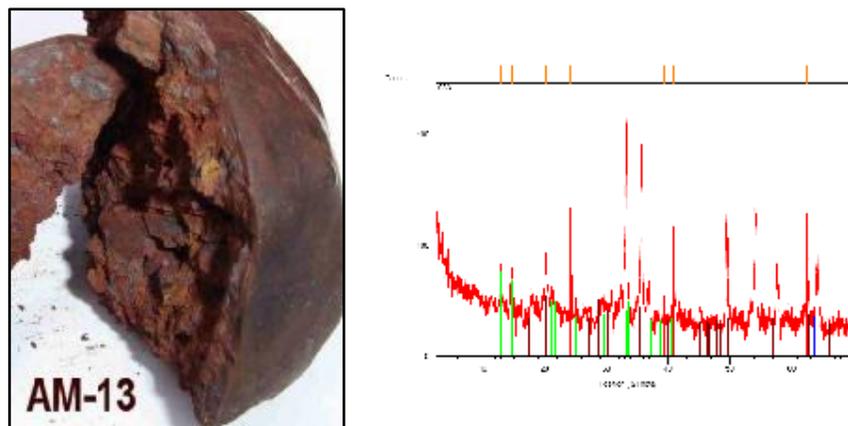


Figura 32. Crosta recobrindo bloco abatido constituída por óxidos de ferro e fosfatos.

Nesse sítio também foram registradas crostas marrom-avermelhadas recobrindo blocos abatidos e patamares. Foi coletada uma amostra (AM-13) para análise via DRX. Foram detectados os seguintes minerais: hematita, goethita, leucofosfita e estrengita (Figura 32). A leucofosfita foi inicialmente descrita em uma caverna no Quadrilátero Ferrífero por Simmons

(1964). Esse mineral também já foi descrito em cavernas da serra dos Carajás por Maurity & Kotschoubey (2005). A estrengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) já foi identificada em cavernas em minério de ferro na Serra dos Carajás por Maurity & Kotschoubey (1995), como também em áreas de minério de ferro nos montes Bomi, na Libéria. Neste local é derivada pela ação de guano de morcego na rocha encaixante. A estrengita e a variscita ocorrem muitas vezes associadas.

Gruta N5E-09

A gruta N5E-09 (UTM- 596456E / 9327810N) está localizada a aproximadamente 210 m NE da gruta N5E-08, nas proximidades da cabeceira de drenagem do igarapé Jacaré. A caverna, que apresenta três entradas, está inserida na base de um pequeno afloramento de canga na média vertente inclinada do platô, em altitude de aproximadamente 680 m.

O entorno imediato da caverna foi objeto da atuação de movimentos de massa do tipo rolamento de matações e calhaus, em consequência do decapeamento realizado no topo do platô (Figura 33). Boa parte da vegetação tombou vertente abaixo, sendo parcialmente soterrada pelos sedimentos rolados. O entorno de 250 m da caverna já se apresentava alterado. Durante a nossa visita à caverna (março de 2005), uma rampa de acesso estava sendo construída em direção à vertente da caverna N5E-09 (Figura 33), colocando em risco eminente o seu soterramento.



Figura 33. À esquerda, entrada W da caverna N5E-09; nota-se a cobertura vegetal da vertente impactada pelos movimentos de massa decorrentes do decapeamento do topo do platô; à direita, detalhe da entrada W.

• Morfologia

A morfologia da caverna N5E-09 se mostrou diferenciada das demais cavernas de N5E. A planta baixa apresenta três entradas paralelas, que dão acesso a condutos que seguem a

direção geral NW-SE. Esses condutos, por sua vez, estão conectados lateralmente por passagens estreitas, de teto baixo.

A entrada W é a mais ampla, com 10 m de largura e altura inferior a 2 m. Em seguida é possível seguir por um conduto por aproximadamente 20 m. Na parede lateral esquerda, ocorrem algumas irregularidades, ocasionadas por apêndices. Na parede esquerda, próximo a entrada, ocorre um conduto estreito e de teto baixo, de 8 m de comprimento, que conecta com o setor central da caverna.

Esse setor central é constituído por um salão de aproximadamente 8 m de largura e 10 m de comprimento, que também possui uma entrada. O teto, em todo o desenvolvimento do salão, é inferior a 1,70 m. Novamente, um conduto lateral estreito e com teto baixo, de 7 m de extensão, conecta com o último setor da caverna, formado por um salão de teto baixo de aproximadamente 14 m de extensão e 7 m de largura média. Esse salão também apresenta uma entrada de pequenas dimensões. A projeção horizontal da caverna apresentou 81 m e um desnível de 7 m. A área da caverna foi de 362 m².

O padrão planimétrico da caverna é muito interessante e reforça a hipótese de que condutos maiores podem ter se desenvolvido em uma fase inicial da caverna. Somente em uma fase mais tardia foram interligados por canalículos laterais. Galerias ou salões se interligando por corredores e passagens estreitas é uma característica freqüente em cavernas de minério de ferro e canga. A caverna N5E-09 demonstra esse padrão de forma didática.



Figura 34. À esquerda, entrada do setor central da caverna; à direita, conduto de teto baixo do setor leste.

• Litologia

Na gruta N5E-09 foram identificados três litotipos: a FFB, a canga detrítica e a hematita compacta. A FFB aflora com mais nitidez no conduto da entrada E. O bandamento do minério é dado por uma alternância entre camadas de até 2 cm de espessura e lâminas milimétricas a submilimétricas de hematita. Esses vazios podem estar preenchidos por material goethítico

e/ou hematítico neoforado, como também por crostas de cor branca de consistência macia. A FFB encontra-se, em determinados setores, parcialmente (friável), gerando algumas paredes com aspecto alveolar.

A canga está presente principalmente nos setores mais próximos da escarpa rochosa, sendo constituída por clastos subangulares (tamanho seixo) de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por óxidos de ferro. A Hematita compacta também foi identificada na caverna (Figura 35).



Figura 35. Blocos decimétricos de hematita compacta.

• Estruturas

Registram-se, inicialmente, juntas irregulares na canga detrítica. Este fraturamento provavelmente deriva de alívio de tensões. Essas juntas são mais expressivas nas proximidades das entradas da caverna.

A FFB aflora particularmente nas paredes mais interiores da caverna. A direção preferencial dos planos do bandamento é N20W/50NE. Localmente os planos podem condicionar a morfologia das paredes do referido setor.

Um sistema de juntas também foi identificado na FFB. Essas estruturas são bem penetrativas e transversais ao bandamento da rocha. Destacam-se, particularmente, juntas E-W/SV, além de NE-SW/SV. A atitude do bandamento parece guiar os condutos maiores, e as juntas, as passagens laterais.

• Hidrologia

A caverna, quando da nossa visita, apresentava-se sem grandes atrativos hidrológicos. Foram observados apenas alguns gotejamentos no interior e nas proximidades das entradas. Não há presença de drenagem. Devido ao caráter muito ventilado, ocasionado pelas três entradas, essa caverna não apresentou condensação.

● Depósitos clásticos e orgânicos

No setor das entradas, como já registrado em várias cavernas, predominam calhaus líticos originados do colapso de material da canga detrítica. De forma subordinada, ocorrem matacões esparsos. Mais para o interior dos condutos e salões pode ser observada uma maior contribuição de material lamoso originado de canalículos desenvolvidos no teto e nas paredes da caverna. A presença de raízes também é muito freqüente na caverna.

● Depósitos químicos

Os depósitos químicos nessa caverna merecem destaque, particularmente pela diversidade dos espeleotemas do tipo coralóides. Foram identificados 5 sítios principais de maior concentração de espeleotemas.

O sítio 1 está localizado no primeiro salão da caverna (entrada W), sendo formado por coralóides pontiagudos de cor marrom desenvolvendo-se em setores parietais mais próximos do piso, sempre com a crosta branca servindo de substrato.

O sítio 2, por sua vez, está localizado na entrada do conduto estreito que dá acesso ao setor central da caverna. Ocorrência que reúne um bom conjunto de micro-coralóides de cor cinza recobrimdo uma área relativamente ampla (mais de 1 m de extensão) além de alguns locais isolados. Os coralóides são de dimensão milimétrica, pontiagudos e muito frágeis. Vê-se em alguns locais coralóides de cor marrom ferruginosa. Há presença de alguns coralóides de coloração acinzentada que chegam a atingir 1,5 cm de comprimento.

O sítio 3 está posicionado na entrada do setor central da caverna, sendo constituído por interessante ocorrência de coralóides de grande variabilidade. Nota-se coralóides pontiagudos de cor ocre e alguns com extremidades arredondadas (também de cor ocre, porém com gradações para tons esbranquiçados). Crescem sobre substrato esbranquiçado e podem representar gradações do mesmo tipo de coralóide (Figura 36). Uma amostra (AM-03) de coralóide de forma mais arredondada foi analisada, via DRX, tendo sido detectadas a hematita e a alunita. A alunita ($KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$) já foi identificada em cavernas da serra dos Carajás por

Maurity & Kotschoubey (1995). Ela forma nas paredes e no piso, uma fina camada branca, composta de diminutos cristais bem individualizados.



Figura 36. Coralóides sobre bloco abatido de canga (sítio 3), constituídos por hematita e alunita.

O sítio 4 está situado no centro do salão central da caverna. Neste local ocorre uma concentração bastante marcante de crostas de coloração esbranquiçada. Em alguns locais a crosta serve de substrato para o crescimento de coralóides achatados do tipo couve flor com coloração esbranquiçada. Ocorrem também crostas marrom-avermelhadas cobrindo blocos abatidos.



Figura 37. À esquerda, crosta branca preenchendo juntas da FFB no sítio 5; à direita, coralóides no teto da caverna, no mesmo sítio.

O sítio 5 também localizado no setor central é constituído por crostas brancas preenchendo juntas da FFB no teto da caverna (Figura 37). Blocos abatidos, no mesmo setor, também registram esses depósitos, mas esses são mais delgados. Em outros setores do teto também foi registrado uma grande quantidade de coralóides de cor ocre.

4.4. Biologia subterrânea

4.4.1. Ambiente subterrâneo

O ambiente cavernícola pode ser caracterizado por um sistema labiríntico de espaços subterrâneos mantidos na ausência de luz, temperatura constante, substrato úmido e umidade relativa do ar alta (Juberthie, 2000).

As seguintes regiões podem ser detectadas no interior da caverna: zona de entrada (onde ocorre incidência direta de luz), zona de penumbra (incidência indireta de luz) e zona afótica (ausência total de luminosidade). A topografia e extensão da cavidade têm relação direta com a zonação e topoclima formados, que por sua vez podem influenciar na distribuição de organismos cavernícolas (Juberthie, 2000). Ocorre uma diminuição na amplitude de oscilação de fatores climáticos (como luminosidade, temperatura e umidade) à medida que regiões mais distantes de entradas (comunicação com o meio epígeo) são consideradas. Na zona afótica podem ser encontradas regiões com temperatura variável e regiões com temperatura constante (próxima da média anual da temperatura da superfície).

Como consequência da ausência de luz nas regiões afastadas da zona de entrada, temos a ausência de fotoperíodo e organismos fotossintetizantes, o que acarreta uma escassez alimentar no meio cavernícola, filtrando a fauna que aí se desenvolve (Poulson & Lavoie, 2000). O aporte de energia ocorre principalmente a partir de recursos alóctones, importados do meio externo, permitindo o estabelecimento de comunidades animais no meio hipógeo. Entre os principais responsáveis pelo transporte de matéria orgânica para o interior de cavernas estão: a água, que traz materiais do meio epígeo, principalmente através dos rios em épocas de cheias, e os organismos troglótenos, que deixam restos de alimento e fezes no meio subterrâneo.

4.4.2. Comunidade cavernícola

São considerados cavernícolas os organismos que passam pelo menos uma parte do seu ciclo de vida no ambiente subterrâneo, apresentando uma relação direta com esse meio. De acordo com a relação com o ambiente subterrâneo, podem ser agrupados em três categorias ecológico-evolutivas (Holsinger & Culver, 1988; Gnaspini & Hoenen, 1999). Os troglótenos passam parte da vida em cavernas, mas devem retornar regularmente ao meio epígeo (superfície) para completarem seu ciclo. Os troglófilos possuem populações tanto no meio epígeo como no meio hipógeo (subterrâneo), que podem completar todo o ciclo em um

ambiente ou passar de um para outro, permitindo o fluxo gênico. Os troglóbios são restritos ao ambiente cavernícola, onde completam todo o ciclo de vida. Podemos encontrar troglóbios com modificações típicas tais como redução dos olhos, da pigmentação e do metabolismo, aumento do tamanho, número e sensibilidade de estruturas sensoriais que não a visão, em conjunto denominadas troglomorismos. Esses troglomorismos são explicados por teorias que incluem seleção natural e/ou mutações neutras ocorrendo durante a evolução das espécies no ambiente subterrâneo (Culver & Wilkens, 2000).

Embora o critério utilizado para a definição de troglóbios seja geográfico - ausência em outros domínios que não o subterrâneo - sua aplicação é difícil, particularmente em regiões tropicais, onde a fauna de invertebrados do meio externo é pouco conhecida. Dessa forma, usualmente utiliza-se a presença de características troglomórficas e comparação com parentes filogenéticos que vivem na superfície para definir se um táxon é troglóbio. Entretanto, esse procedimento deve ser efetuado com cautela e por especialistas, já que organismos que vivem em ambientes superficiais que apresentam características semelhantes (como locais escuros e úmidos) podem apresentar modificações similares.

É interessante notar uma padronização da fauna cavernícola de diferentes regiões do país quando níveis taxonômicos mais abrangentes são considerados, com algumas similaridades locais, regionais e mesmo globais. É importante frisar que a fauna não diferencia o tipo de tipo de rocha em que ocorre a cavidade, mas sim estabelece populações em locais com características similares, dentre elas a redução/ausência de luminosidade.

4.4.3. Conservação da fauna subterrânea

Os organismos mais vulneráveis a perturbações ambientais no meio subterrâneo são os que possuem maior dependência em relação a esse ambiente: os troglóxenos obrigatórios e os troglóbios.

Os troglóxenos obrigatórios dependem exclusivamente da caverna para completar o seu ciclo de vida, tornando-se vulneráveis frente a uma grande perturbação que ameaça seu habitat. No Brasil, podemos citar nessa categoria o opilião *Goniosoma spelaeum* (Gnaspini, 1996).

Os troglóbios apresentam características tais que os tornam potencialmente ameaçados (Trajano, 1986). Primeiramente deve-se ressaltar o pequeno tamanho da população, como resultado da escassez alimentar que caracteriza seu habitat. O endemismo é um outro fator a ser levado em consideração; os troglóbios apresentam distribuição geográfica restrita aos limites da rocha, não se dispersando na superfície, devido às especializações à vida

cavernícola. Apresentam baixa tolerância ecológica – a adaptação à ambientes estáveis leva geralmente à perda da capacidade de suportar variações do ambiente tais como temperatura, pH e umidade relativa do ar - portanto, qualquer alteração no meio irá afetá-los, direta ou indiretamente. Os terrestres, por exemplo, seriam vulneráveis a mudanças na ventilação e percolação de água, devido à baixa tolerância do organismo à dessecação (Howarth, 1980). Os troglóbios mostram uma tendência para estratégias reprodutivas do tipo K (Poulson & White, 1969; Culver, 1982; Hüppop, 2000): ovos maiores e em menor quantidade, crescimento individual lento e maturidade retardada, maior longevidade e baixa taxa de mortalidade dos adultos. Desse modo, perdas consideráveis na população, quando não levam à extinção, são repostas mais lentamente, podendo ser percebidas por muito tempo, mesmo após terem cessado as mesmas.

4.4.4. Caracterização geral do ecossistema das cavidades

A vegetação natural encontrada na região de estudo compreende a savana metalófila, em áreas de maiores altitudes sobre a canga, e a floresta tropical ombrófila (Secco & Mesquita, 1983; Silva *et al.*, 1996). A savana desperta um grande interesse ecológico por encontrar-se concentrada em “ilhas” circundadas por floresta tropical. As cavidades estudadas estão inseridas nas bordas dos platôs, onde geralmente é encontrada uma zona de transição entre as duas vegetações acima citadas. A localização das grutas, próximas à área restrita de savana, faz com que um interesse adicional recaia sobre a comunidade subterrânea, que pode apresentar peculiaridades em relação a comunidades presentes em grutas inseridas em diferentes contextos fitogeográficos.

Dentre as características apresentadas pelas cavidades estudadas em N5E estão a pequena extensão, a existência de grande quantidade de canalículos na rocha e a ocorrência de raízes, já relatadas para outras cavidades em canga e minério de ferro (Ferreira, 2005).

A maioria das grutas estudadas apresentou apenas zona de entrada (incidência direta da luz solar) e penumbra (incidência indireta de luz), dada sua pequena extensão. Além da zonação, foi possível observar uma distribuição diferencial de alguns organismos de acordo com os diferentes substratos encontrados nas cavidades: substrato rochoso, banco de sedimento, reentrâncias de cascalhos soltos no substrato, raízes, acúmulo de água e detritos vegetais.

A presença de canalículos contribui para a existência de uma ampla rede de espaços interconectados na rocha, permitindo o trânsito lateral e vertical de organismos, além de prover microhabitats adicionais para a fauna hipógea.

Foi detectada a presença de raízes, muitas vezes sob o sedimento e de pequeno calibre, na maioria das grutas estudadas, que alcançam o interior das cavidades a partir das grandes entradas, horizontalmente, ou através de interstícios e canalículos que ocorrem na rocha, verticalmente. Nessas grutas, as raízes provavelmente são o principal recurso trófico que sustenta as comunidades encontradas, podendo-se destacar a gruta N5E-07, com abundantes raízes aflorando no piso de regiões mais distais da gruta. Não houve ênfase para guano de morcego como recurso trófico, como detectado em outras grutas no estado do PA (Trajano & Moreira, 1991; Pinheiro *et al.*, 2001).

4.4.5. Fauna subterrânea

Para a totalidade das cavidades em N5E foram detectadas 140 morfoespécies, discriminadas na Tabela 2, onde estão agrupadas de acordo com os diferentes níveis taxonômicos contemplados e com a ocorrência em cada cavidade de registro. Pode ser visualizada na Figura 38 a quantidade de morfoespécies agrupadas por grupo taxonômico (ordem).

O número total de morfoespécies amostradas pode estar subestimado, dado que alguns organismos coletados estavam em fase juvenil (como por exemplo, as ninfas de Cixiidae e as larvas de Tineoidea) dificultando uma distinção precisa.

Observando-se o gráfico presente na Figura 39 é possível notar que a maior parte das morfoespécies foi registrada em apenas uma gruta (cerca de 60%). Seguem-se os organismos registrados em duas e três grutas, perfazendo respectivamente cerca de 20% e 8% da totalidade de morfoespécies. Cerca de 13% das morfoespécies foram encontradas em quatro ou mais cavidades.

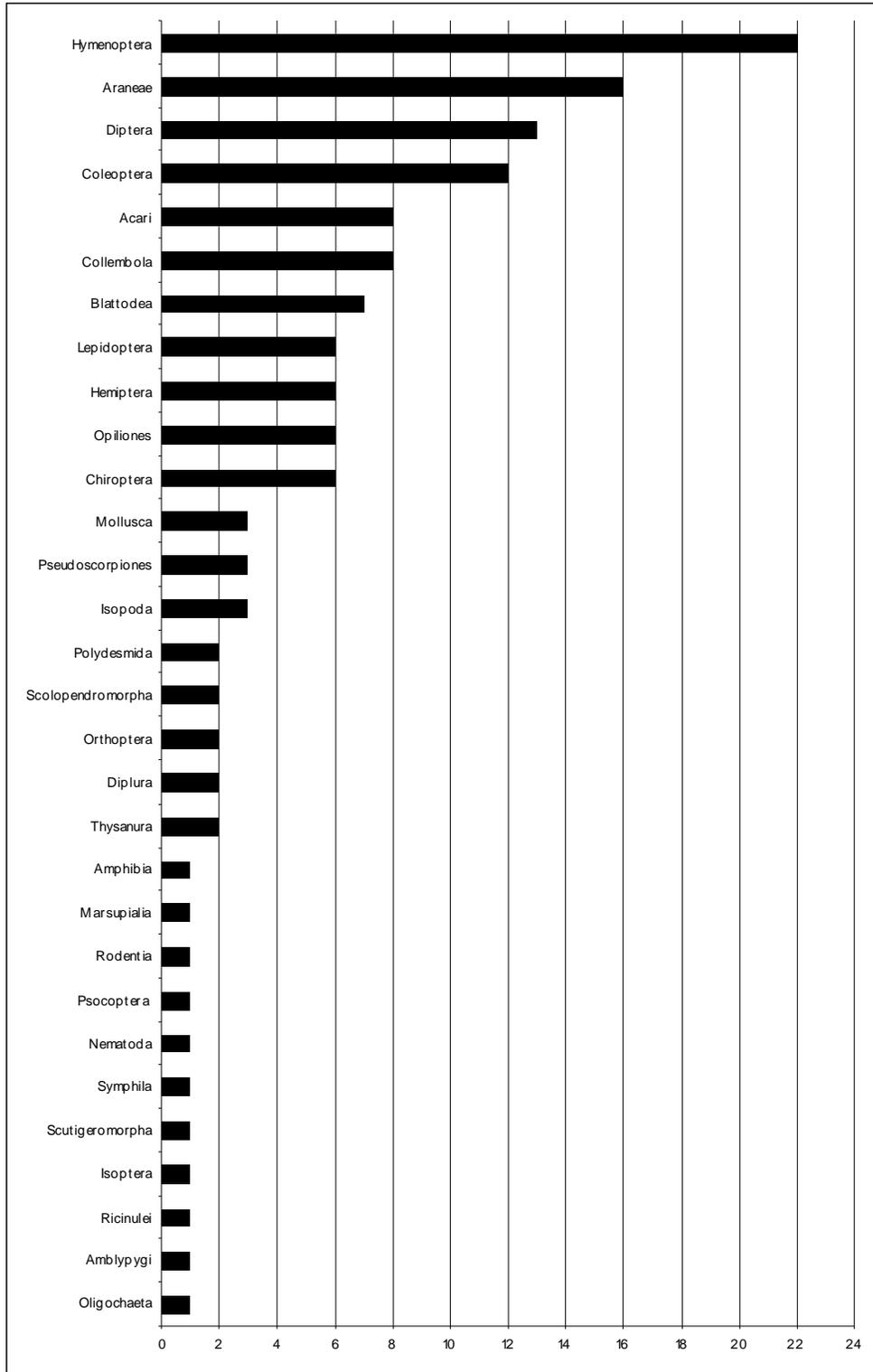


Figura 38. Número de morfoespécies agrupadas por táxon, registradas nas grutas do platô N5E.

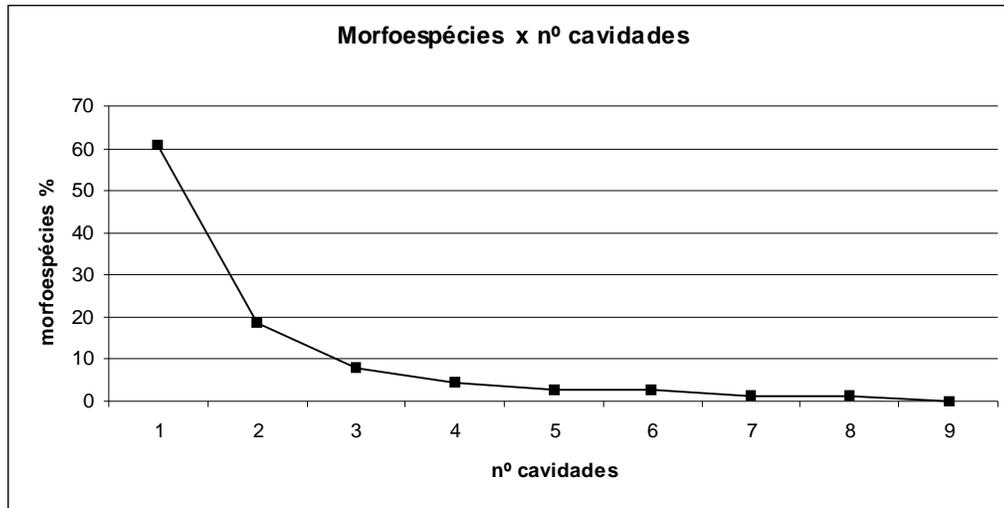


Figura 39. Porcentagem de morfoespécies agrupadas de acordo com o número de cavidades em que foram registradas.

Deve ser destacado que os resultados referem-se a organismos amostrados principalmente por captura ativa durante um pequeno intervalo de tempo (algumas horas), e que em muitos casos apenas um ou dois exemplares de uma morfoespécie foram capturados por cavidade. Variações sazonais também não foram averiguadas. Dessa forma, um aumento no tempo de amostragem provavelmente resultaria em uma quantidade maior de organismos encontrados para cada gruta. Entretanto, quando considerada a totalidade das grutas, é possível traçar um panorama típico para a comunidade subterrânea da região.

Abaixo seguem informações adicionais sobre os organismos registrados nas cavidades, bem como sobre o conhecimento atual da distribuição e ocorrência dos grupos em ambientes subterrâneos no país. Na maior parte dos casos a quantidade de indivíduos registrada era baixa, muitas vezes apenas um ou dois indivíduos.

Annelida

Minhocas (Oligochaeta) são comuns em cavernas do país, ocorrendo em banco de sedimento úmido com matéria orgânica associada (Trajano, 2004). Exemplares foram coletados em apenas três grutas (N5E 02, 05 e 06), um exemplar em cada gruta, todos em zona de penumbra.

Acari

Ácaros constituem um grupo com amplo registro em grutas e geralmente são encontrados em alta densidade onde o alimento for abundante, por exemplo, em depósitos de guano de morcegos, onde são representados por predadores e guanófagos (Gnaspini, 2004).

Foram registradas oito morfoespécies do grupo nas cavidades de N5E. Ácaros da morfoespécie 1 (Figura 40) foram registrados com maior frequência (encontrados em mais de metade das grutas estudadas), apresentando abundância relativa maior nas grutas N5E 06 (sete exemplares coletados) e N5E 05 (16 exemplares). Considerando o restante das grutas e morfoespécies, apenas um ou dois exemplares foram registrados. Carrapatos (Metastigmata) foram registrados nas grutas N5E 04, 07, 08 e 09 - nesse caso, a sua ocorrência está vinculada à presença de mamíferos que utilizam as grutas como abrigo, dos quais são ectoparasitas.



Figura 40. Acari sp1 fixado em álcool.

Amblypygi

Foram encontrados ambliópígeos pertencentes ao gênero *Heterophrynus* (Phrynidae) na maioria das grutas amostradas, principalmente sobre parede e no interior de fendas e canalículos de substrato rochoso (Figura 41). Macroinvertebrados predadores, foram encontrados em diferentes profundidades nas grutas, e observados utilizando grilos como alimento. Geralmente observados em número pequeno (menos de três por gruta) durante a amostragem da fauna, com exceção da gruta N5E 05, onde foram avistados dez indivíduos. Jovens foram observados preferencialmente embaixo de pedras no piso e adultos em paredes e frestas na rocha. Representantes do gênero foram registrados em grutas da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul e também Pará (Pinto-da-Rocha, 1995; Rheims & Pellegatti-Franco, 2003).

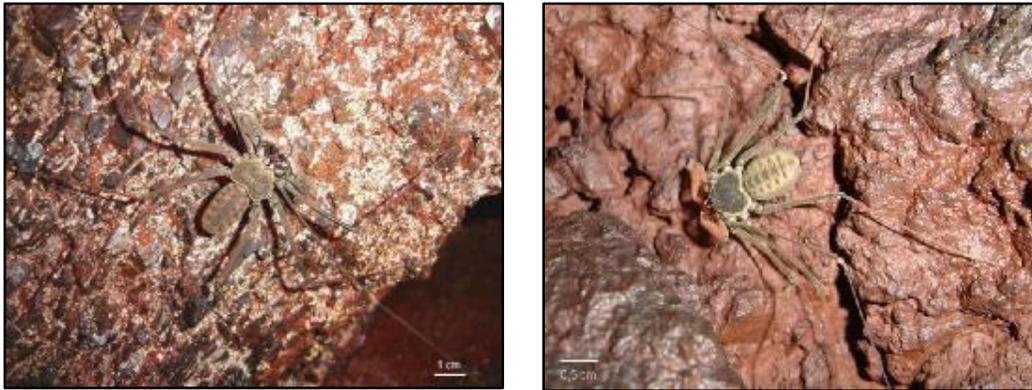


Figura 41. À esquerda, amblipígio *Heterophrynus* sp. adulto sobre parede na gruta N5E 08; à direita, amblipígio jovem sobre parede da gruta N5E 06.

Araneae

Foram registradas pelo menos 16 morfoespécies de aranhas, incluídas em 11 famílias, ocupando as cavidades amostradas. É possível que esse número esteja subestimado, dado que alguns espécimes eram jovens, dificultando uma identificação mais precisa (como em Ctenidae). Com grande representatividade nas grutas estudadas, são predadores generalistas, com diferentes estratégias para captura de presas - algumas são errantes (ex. Ctenidae – Figura 42), outras constroem teia (ex. Theridiosomatidae); aranhas *Scytodes* (Scytodidae) são conhecidas como aranhas “cuspeiras”, devido à estratégia de lançar um fluido viscoso sobre a presa, imobilizando-a.



Figura 42. Aranha *Isoctenus* sp (Ctenidae) sobre parede na gruta N5E 06.

Dentre as famílias registradas com maior frequência estão Ochyroceratidae (presentes em 89% das grutas de N5E), Pholcidae (89% - Figura 43) e Theridiosomatidae (78% - Figura 43). Pholcidae corresponde à família com maior representatividade, com três gêneros e pelo menos

cinco espécies amostradas. Considerando o número de aranhas coletados por cavidade, foram coletados mais de cinco exemplares por morfoespécies nas seguintes grutas: N5E 05 (8 *Ochyrocera* sp1 e 7 exemplares de *Mesabolivar aurantiacus*), N5E 06 (8 exemplares de *Ochyrocera* sp.1) e N5E 08 (10 exemplares de *Ochyrocera* sp1).



Figura 43. À esquerda, aranha *Mesabolivar eberhardi* (Pholcidae), com ooteca segura pelas quelíceras, em região de entrada da gruta N5E 02; à direita, ootecas de *Plato* sp. (Theridiosomatidae), observadas na gruta N5E 06.

As famílias amostradas nas cavidades do presente estudo foram anteriormente registradas no meio epígeo da Serra de Carajás (MPEG, 2005), com exceção de Drymusidae, Pholcidae, Prodidomidae e Theridiosomatidae. Entretanto, o relatório elaborado pelo MPEG (2005) cita a necessidade de levantamentos mais minuciosos para um efetivo conhecimento da aracnofauna da região.

Todas as famílias, com exceção de Drymusidae, foram registradas em cavidades de outras regiões do país (Pinto-da-Rocha, 1995; Rheims & Pellegatti-Franco, 2003). Na província espeleológica arenítica de Altamira-Itaituba, localizada no PA, e também inserida no Domínio Equatorial Amazônico, foram registradas as famílias Araneidae (*Alpaida*), Pholcidae (*Mesabolivar*) e Theridiosomatidae (*Plato*), e em cavidades de canga e minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), as famílias Araneidae, Ctenidae, Ochyroceratidae, Pholcidae, Salticidae, Scytodidae e Theraphosidae. Considerando categorias taxonômicas mais específicas, os gêneros *Alpaida*, *Isoctenus*, *Ochyrocera*, *Mesabolivar*, *Scytodes* e *Plato* foram registrados em grutas de áreas cársticas de São Domingos, NE de Goiás (Rheims & Pellegatti-Franco, 2003) e aranhas *Mesabolivar* foram registradas em grutas da Chapada do Araripe, CE (Trajano *et al.*, 2004).

Um grupo de interesse recai sobre as aranhas pertencentes à família Drymusidae, que ocorrem nas Américas do Sul e Central, e África. Até o momento, apenas dez espécies foram descritas para a família (Brescovit *et al.*, 2004), e quatro encontram-se em processo de

descrição (Bonaldo *et al.*, em prep.), incluindo a espécie coletada no presente estudo; duas delas ocorrem em área de mineração de bauxita, no platô do Rio Juriti, oeste do estado do Pará. Brescovit *et al.* (2004) e Bonaldo *et al.* (em prep.) sugerem que as espécies dessa família com ocorrência na América do Sul apresentem limites de distribuição restritos e alto grau de endemismo, salientando a necessidade da elaboração de medidas preservacionistas para minimizar o impacto de atividades antrópicas nas regiões de ocorrência.

Opiliones

Foram amostradas seis morfoespécies pertencentes a quatro famílias de Opiliones. Dessas, existe registro na região amazônica apenas para Cosmetidae, Gonyleptidae e Stygnidae (Kury & Pinto-da-Rocha, 2002). Considerando opiliões subterrâneos, representantes de Stygnidae já haviam sido amostrados em cavidades no Pará (Altamira-Itaituba) (Trajano & Moreira, 1991). A família Escadabiidae, recentemente criada, possui além de epígeas, duas espécies troglomórficas, em cavidades no estado da BA e MG (Kury & Perez, 2003).

Opiliões Escadabiidae sp2 apresentaram maior frequência de registro, tendo sido amostrados em 67% das grutas de N5E. Pode-se destacar a gruta N5E 07, pela presença de representantes de cinco espécies pertencentes a quatro famílias (Figura 44), dentre elas Cosmetidae e Gonyleptidae, que foram amostradas somente nessa gruta considerando a totalidade das cavidades de N5E. Nessa gruta também foram coletados 12 exemplares de Gonyleptidae Pachylinae, um número relativamente alto quando considerado o número de outros opiliões e também considerando opiliões coletados em outras grutas, nunca maior que sete exemplares. A existência de uma grande quantidade de raízes, como recurso trófico dominante na gruta, provavelmente está relacionada com a diversidade encontrada com a quantidade de opiliões Pachylinae registrada.

Pseudoscorpiones

Foram registradas três morfoespécies pertencentes a três famílias distintas dentro da ordem: Bochicidae, Chernetidae (Figura 44) e Chthoniidae. São organismos predadores, que se alimentam de pequenos artrópodes, como colêmbolos, ácaros e larvas. Foram coletados principalmente sobre o piso das grutas, sob ou em reentrâncias de pequenas pedras. Pseudoescorpiões são organismos comuns no ambiente subterrâneo, e todas as famílias amostradas já foram registradas em grutas do país (Mahnert, 2001).



Figura 44. À esquerda, opilião sobre raiz na gruta N5E 07; à direita, pseudo-escorpião Chernetidae, capturado na gruta N5E 05 e fixado em álcool.

Destaque para a coleta de representantes de Bochicidae. A família possui cerca de 40 espécies conhecidas, na sua maioria cavernícolas, que ocorrem principalmente na América Central e sul da América do Norte (Muchmore, 1998). Para o Brasil existem dois registros anteriores, um deles em uma gruta da Bahia e o outro em uma gruta de São Paulo (Mahnert, 2001; Andrade & Mahnert, 2003).

Ricinulei

Foi encontrado apenas um jovem sobre o piso da gruta N5E 09. São predadores, alimentando-se de pequenos artrópodes. São conhecidas cinco espécies do grupo para o Brasil, todos com ocorrência na região amazônica (Platinick, 2002; Bonaldo & Pinto-da-Rocha, 2003). A espécie coletada é nova e encontra-se em processo de descrição. Cavidades da Serra de Carajás apresentam o primeiro registro cavernícola para o país.

Blattodea

Baratas, onívoras, são representantes típicos da fauna de cavernas tropicais (Gnaspini, 2004), ocorrendo principalmente em grutas localizadas ao norte do estado de São Paulo (Pinto-da-Rocha, 1995).

No presente estudo, os exemplares do grupo foram capturados preferencialmente no piso, em fendas no substrato ou sob seixos. A maioria dos espécimes coletados estava na fase juvenil, dificultando a identificação precisa da família correspondente. Foram coletados adultos alados apenas de Blattellidae sp2. A gruta N5E 05 apresentou maior diversidade dentro do grupo, com quatro morfoespécies amostradas.

Coleoptera

Foram registradas 12 morfoespécies de besouros nas cavidades de N5E. A maior parte dos besouros foi coletada no piso da caverna, alguns enquanto caminhavam sobre o substrato (alguns exemplares de Carabidae-Zuphiini), outros quando o sedimento era revirado (exemplares de Scydmaenidae, Staphilinidae e Tenebrionidae).

Os besouros predadores compreendem Carabidae, Elateridae e Scydmaenidae; os detritívoros, Staphilinidae. Tenebrionidae-Alleculinae são associados a restos de matéria vegetal e raízes, e encontrados em grutas de diversas regiões do país.

Os grupos com maior representatividade dentro da ordem registradas em cavidades de N5E foram as famílias Carabidae e Staphilinidae, amplamente registradas em ambientes subterrâneos do mundo todo (Decu & Juberthie, 1998). A presença de mais de um representante de Scydmaenidae não deve ser descartada, sendo necessária uma análise refinada por especialistas do grupo para a correta separação de morfoespécies.

Dentro da ordem, representantes com características troglomórficas compreendem os besouros Carabidae-Zuphiini (Figura 45), com dois exemplares coletados na gruta N5E 05. Besouros desta tribo foram registrados em grutas carbonáticas da Província Espeleológica Bambuí (que inclui grutas da Bahia, Goiás e Minas Gerais) e lateritas na região do Quadrilátero Ferrífero, e incluem até o momento seis espécies do gênero *Coarazuphium*, todas restritas ao ambiente subterrâneo. A espécie coletada, em processo de descrição, é o primeiro registro troglomórfico para a tribo na Floresta Amazônica e o segundo para cavernas em minério de ferro (Ferreira, 2005). Adicionalmente foram detectadas características troglomórficas no besouro Carabidae – Scaritinae coletado na gruta N5E 08.



Figura 45. Besouro Carabidae – Zuphiini, troglomórfico, sobre sedimento na gruta N5E 05.

Collembola

Juntamente com os ácaros, são organismos pequenos e com ampla ocorrência em grutas de todo o país (Pinto-da-Rocha, 1995), podendo formar densidades elevadas em locais com recursos alimentares abundantes (e.g. Pinheiro *et al.*, 2001). No presente levantamento foram coletadas oito morfoespécies de colêmbolas. Exemplos de Sminthuroidea apresentaram maior frequência, sendo amostrados em 40% das grutas. Indivíduos pertencentes às morfoespécies 2, 5 e 7 apresentaram olhos e pigmentação reduzidos.

Diplura

Foram amostradas duas famílias, Campodeidae (onívoros) e Japygidae (predadores), a primeira com ocorrência anteriormente relatada para grutas de São Paulo (Pinto-da-Rocha, 1995). Ferreira (2005) registrou ambas as famílias para grutas de canga e minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero (MG). Organismos pertencentes a essa ordem não possuem olhos e geralmente apresentam pigmentação reduzida, dificultando a determinação de seu *status* cavernícola, requerendo a análise do material por especialistas no grupo, atualmente sem representantes no país. Os exemplares registrados no presente estudo foram encontrados no piso das grutas, em sedimento e sob seixos de diferentes tamanhos. Dipluros Campodeidae foram coletados nas grutas N5E 02 (três exemplares), 06 (quatro exemplares) e 07 (sete exemplares), e Japygidae, na gruta N5E 02 (apenas um exemplar).

Díptera

Foram registradas 13 morfoespécies de dípteros. Os exemplares foram capturados diretamente em vôo ou sobre substrato. As famílias identificadas foram anteriormente registradas em grutas de outras regiões do país (Pinto-da-Rocha, 1995). Dentre elas, pode-se citar Keroplatidae, cujas larvas são comuns em regiões próximas a entradas de cavidades de todo o país. Larvas da família constroem fios de seda com substância aglutinante pendentes do teto, para captura de presa (Figura 46).

Destaque para a família Culicidae (pernilongos), com três morfoespécies amostradas. A área de distribuição de *Anopheles triannulatus* engloba a América do Sul, a leste da Cordilheira dos Andes, até o norte da Argentina. Embora sua importância epidemiológica seja controversa, é considerado um anofelíneo que tem potencial para desempenhar papel vetor malárico, nas áreas sul-americanas situadas na região norte do continente, em condições propícias de elevada densidade (Forattini, 2002).



Figura 46. Larva de Keroplatidae (Diptera) e fios de seda pendendo do teto (utilizados para captura de presas voadoras), gruta N5E 06.

As fêmeas adultas de Phlebotominae (Psychodidae) são hematófagas, alimentando-se de sangue de mamíferos. Muitas espécies da subfamília são de importância médica por transmitirem *Leishmania*, os agentes etiológicos das leishmanioses. Representantes da subfamília foram registrados em grutas de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e amplamente em grutas da Chapada do Araripe, Ceará (Pinto-da-Rocha, 1995; Trajano *et al.*, 2004).

Hemiptera

Dentro do grupo Auchenorrhyncha, foram registradas pelo menos duas morfoespécies da família Cixiidae, quando considerados os adultos coletados (cavidades N5E 07 e 08). A maior parte dos exemplares coletados era jovem, dificultando a separação em morfoespécies. Os adultos foram coletados em parede e as ninfas no piso, geralmente associadas a raízes, das quais se alimentam. Casulos de muda foram detectados sobre raízes na gruta N5E 07 (Figura 47). Representantes da família são freqüentes em cavernas, tendo sido registrados em grutas de MS, PR, SP (Pinto-da-Rocha, 1995) e também no Quadrilátero Ferrífero (Ferreira, 2005).

Foram registradas três morfoespécies da subordem Heteroptera, pertencentes às famílias Reduviidae e Cydnidae. Dentro da família Reduviidae, predadores, apresentaram maior freqüência (registro em mais da metade das grutas de N5E) insetos da subfamília Emesinae (Figura 47), encontrados em parede em zona de penumbra. Considerando a outra subfamília, foram encontradas ninfas no piso das grutas N5E 02 e 03, geralmente próximas à zona de entrada. A família possui amplo registro em grutas do país (Pinto-da-Rocha, 1995). Cydnidae compreendem pequenos insetos encontrados no piso próximos à mancha de guano na gruta

N5E 02. Representantes da família foram anteriormente registrados em grutas de MG, MS e SP (Pinto-da-Rocha, 1995).



Figura 47. À esquerda, casulo com aspecto de espuma, no interior do qual encontra-se um heteróptero Cixiidae em fase de muda, sobre raiz na gruta N5E 07; à direita, heteróptero Emesinae, em parede, na gruta N5E 05.

Hymenoptera

A diversidade amostrada de Hymenoptera nas grutas de N5E foi alta, especialmente quando considerada a ordem Formicidae: 20 morfoespécies. Formigas são freqüentemente registradas em cavidades subterrâneas, muitas vezes forrageando (Trajano & Gnaspini, 1991).

Como sugerido por Ferreira (2005), o fato de as cavidades presentes em canga serem superficiais (presença de canalículos e pequena extensão), quando comparadas com grutas de outras litologias, favorece a ocupação e detecção de formigas. No presente estudo, as formigas foram, na maior parte dos casos, observadas isoladas ou em pequenos grupos. Dessa forma, não foi detectada uma super exploração dos recursos e desequilíbrio nas comunidades estabelecidas nas grutas estudadas, como sugerido quando da ocorrência de colônias numerosas.

Isoptera

Cupins da família Termitidae foram registrados nas grutas N5E 03, 06 (Figura 48) e 09. Em alguns casos, foram registrados caminhos superficiais, muitos inativos, como por exemplo na gruta N5E 08. Cupins são freqüentes em grutas tropicais, tendo sido registrados em grutas da Serra de Carajás, Pará (Moreira & Paiva, 1988), BA, GO MG, MS e PR (Pinto-da-Rocha, 1995).



Figura 48. Cupins da família Termitidae na gruta N5E 06.

Lepidóptera

Larvas de Tineoidea (traças) foram observadas nas grutas N5E 06, 07, 08 e 09. Foram registradas três morfoespécies de larvas/casulos e uma morfoespécie de adulto, não sendo possível fazer a correspondência entre os diferentes estágios. Na Figura 49 pode ser visualizado um casulo de Tineoidea sp4. Tineoidea é um grupo constituído por micro-lepidópteros amplamente registrados em grutas tropicais (Pinto-da-Rocha, 1995), formando densidades elevadas quando há abundante recurso disponível, como guano de morcego (Trajano & Moreira, 1991; Trajano *et al.*, 2004).

Adicionalmente foram avistadas mariposas (*Glossata* sp1 e 2 – Figura 49) na zona de entrada, noturnas, possivelmente utilizando a área como abrigo durante o período diurno.



Figura 49. À esquerda, casulo de larva de Tineoidea sp4 (Lepidoptera), gruta N5E 08; à direita, Glossata sp2 (Lepidoptera), em parede, na entrada da gruta N5E 07.

Orthoptera

Foram encontradas duas morfoespécies de grilos pertencentes à subfamília Phalangopsinea (Phalangopsidae), nas grutas amostradas: *Phalangopsis* sp. (Figura 50) e indivíduos do grupo Aclodae (Figura 50). Grilos da família citada possuem distribuição Neotropical, com numerosas espécies cavernícolas, algumas das quais troglóbias (Desutter-Grandcolas *et al*, 1998). No Brasil, até o momento sem registro de grilos troglomórficos, pode-se destacar os grilos do gênero *Endecous* sp. (Pinto-da-Rocha, 1995), com populações troglófilas encontradas em grutas de diversas regiões, inclusive do Pará (Trajano & Moreira, 1991).

Registros anteriores para grilos do gênero *Phalangopsis* em grutas são escassos, e incluem uma gruta na Amazônia e uma em Minas Gerais (Pinto-da-Rocha, 1995). Os grilos amostrados no presente estudo estavam amplamente distribuídos nas grutas de N5E e podem ser categorizados como organismos troglófilos. De maneira geral, ocupavam diferentes substratos ao longo de toda a extensão das grutas amostradas, inclusive regiões afólicas distantes da entrada, com preferência por parede rochosa, e também no interior de frestas e canalículos. Adicionalmente, diferentes estágios de desenvolvimento, e eventos de muda e alimentação foram observados no interior das grutas. Os grilos da outra morfoespécie, pertencente ao grupo Aclodae, foram registrados em uma quantidade menor de grutas, apenas na zona de entrada.



Figura 50. À esquerda, grilo *Phalangopsis* sp. sobre parede, gruta N5E 06; à direita, grilo do grupo Aclodae, encontrado em zona de entrada da gruta N5E 01, sobre parede.

Psocoptera

Foi coletado apenas um exemplar no piso, próximo à região de entrada da gruta N5E 04. São pequenos insetos onívoros, que se alimentam de fungos e fragmentos de insetos mortos. É um grupo com ampla ocorrência em cavernas do país (Pinto-da-Rocha, 1995).

Thysanura

Foram registradas duas morfoespécies pertencentes a duas famílias distintas (Aleturidae e Nicoletiidae). A subfamília Nicoletiinae é comum em cavernas (Csiro, 1991), embora existam poucos registros para o país (Pinto-da-Rocha, 1995), dentre eles exemplares coletados em grutas de laterita no Quadrilátero Ferrífero (Ferreira, 2005). Da mesma forma que para a ordem Diplura, os exemplares da ordem foram encontrados no piso, em sedimento, e geralmente sob seixos. Os organismos coletados apresentam redução pigmentar e ocular; entretanto, como tais modificações são comuns em representantes do grupo, devem ser utilizados outros caracteres para a correta categorização ecológica-evolutiva em relação ao meio subterrâneo.

Chilopoda

Foram registradas três morfoespécies de quilópodas, pertencentes aos grupos Scutigermorpha e Scolopendromorpha. São organismos predadores registrados em grutas de várias regiões do país (Pinto-da-Rocha, 1995). Foram encontrados no piso das grutas, com exceção de um adulto de *Pselliodes guildingii*, encontrado em canalículo na parede da gruta N5E 05, alimentando-se de grilo. Na entrada da cavidade N5E 01 foi encontrada uma exúvia presa ao teto de quilópodo Scutigermorpha, abandonada após a muda (Figura 51).

Diplopoda

Foram amostradas duas famílias de Diplopoda (Fuhrmannodesmidae e Pyrgodesmidae), pertencentes à ordem Polydesmida. As famílias citadas possuem registros anteriores em cavidades subterrâneas do país (Trajano *et al.*, 2000). Representantes de Polydesmida são comuns em cavernas; sendo que a família Pyrgodesmidae apresenta representantes troglomórficos em grutas de São Paulo.

A morfoespécie pertencente à família Pyrgodesmidae foi amostrada com maior frequência, sendo encontrada em diferentes zonas das grutas, inclusive afótica, ocupando principalmente o

piso, junto ao sedimento e sob seixos, embora alguns exemplares tenham sido observados também em parede (Figura 51).



Figura 51. À esquerda, exúvia de quilópodo *Scutigera*, presa em teto na região de entrada da gruta N5E 01; à direita, diplópodo *Pyrgodesmidae* sobre parede, gruta N5E 07.

Os representantes de *Polydesmida* coletados apresentaram redução de pigmentação e ausência de olhos. Organismos troglóbios são comuns nesses grupos de diplópodos. Entretanto, essas regressões são detectadas também em alguns representantes epígeos, necessitando de análises adicionais para a definição do *status* cavernícola.

Symphyla

Foram registrados em duas grutas (N5E 08 e 09). São organismos edafobiontes que ocupam ambientes úmidos. Apresentam dieta onívora, podendo utilizar as raízes encontradas no interior das grutas como recurso.

Existem registros do grupo em cavernas, embora apenas um único registro subterrâneo no país, no estado de São Paulo (Pinto-da-Rocha, 2001). Assim como ocorre com insetos *Diplura* e *Thysanura*, a identificação de potenciais troglóbios no grupo torna-se dificultada, dado que organismos da classe não possuem olhos e a pigmentação é reduzida.

Isopoda

São organismos detritívoros que ocorrem associados a bancos de sedimento e matéria orgânica. Foram amostradas três famílias: *Armadillidae* (gruta N5E 08), *Scleropactidae* (N5E 08) e *Philosciidae* (gruta N5E 02). São famílias com representantes registrados anteriormente em cavernas (Trajano *et al.*, 1991; Pinto-da-Rocha, 1995).

Os isópodos pertencentes à família *Scleropactidae* apresentam caracteres troglomórficos (ausência ocular e pigmentar), que indicam especializações à vida subterrânea (Leila Souza,

comun. pess.). Da mesma forma, a morfoespécie de Philosciidae apresenta pigmentação reduzida quando comparada com outros representantes da família.

Mollusca

Foram registrados moluscos gastrópodes pertencentes às famílias Subulinidae e Systrophiidae (ordem Stylommatophora). Moluscos Subulinidae são detritívoros, e foram encontrados no piso das grutas. Systrophiidae foram encontrados no piso e em paredes, principalmente sobre substrato rochoso; são malacófagos, especializados em predação de moluscos Subulinidae, os quais seguem através do rastro de muco deixado no substrato (L. R. Simone, com pess). Foram registrados seis indivíduos de *Pseudopeas* sp. na gruta N5E02; nas restantes, um ou dois exemplares dos demais moluscos. Moluscos Subulinidae foram registrados em grutas na região de Altamira-Itaituba, PA e grutas no Paraná (Pinto-da Rocha, 1995).

Nematoda

Vermes (Figura 52) foram encontrados no piso das grutas N5E 02 e 07 (um exemplar em cada gruta). Possivelmente são endoparasitas de mamíferos de pequeno porte, como morcegos ou roedores.

Amphibia

Exemplares de *Eleutherodactylus* cf. *fenestratus* (Figura 52) foram avistados em região de entrada nas grutas N5E 02 e 04 (um em cada cavidade). A distribuição da espécie compreende a região amazônica.

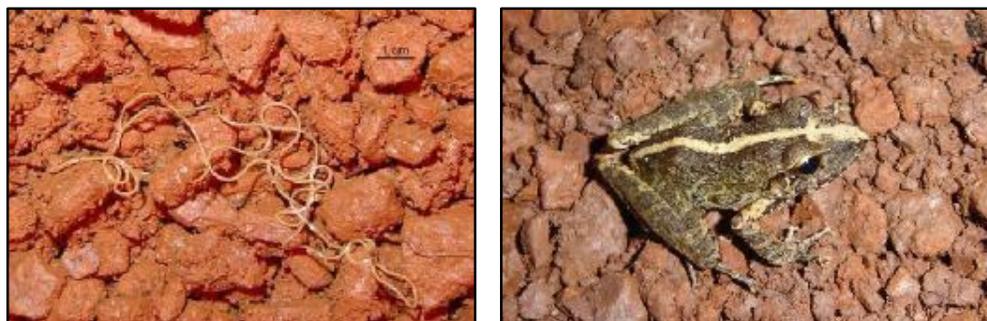


Figura 52. À esquerda, verme (Nematoda) sobre piso com seixos e sedimento na gruta N5E 02; à direita, exemplar de *Eleutherodactylus* cf. *fenestratus* (Amphibia) no piso, em região de entrada da gruta N5E 02.

Marsupialia

Foi capturado um exemplar do gênero *Monodelphis* (Didelphidae) em armadilha do tipo *sherman* na gruta N5E 04 (Figura 53). Trajano & Gnaspini-Netto (1991) citam o uso de cavidades por marsupiais didelfídeos com fins de abrigo e locais para construção de ninhos, para onde transportam material necessário.

Rodentia

Foi avistado um exemplar de Roedor (provavelmente pertencente ao gênero *Rhipidomys*), com ninho, em canalículo localizado na região posterior da gruta N5E 06 (Figura 53). Considerado troglóxico, é comum a ocorrência de roedores em regiões próximas à entrada de grutas tropicais, que utilizam como abrigo e para fins reprodutivos (Juberthie *et al.*, 1994). Trajano & Moreira (1991) registraram *Agouti paca* e *Dasyprocta* sp. em grutas de Altamira-Itaituba, PA.



Figura 53. À esquerda, marsupial *Monodelphis* sp. capturado na gruta N5E-04; à direita, roedor com ninho abrigado em cavidades na rocha (gruta N5E 06).

Chiroptera

Foram registradas seis espécies de morcegos pertencentes a três famílias. Apenas *Cormura brevirostris* apresenta registro inédito em grutas do país. A frequência com que foi encontrada (50% das cavidades estudadas, além de registro em outras grutas do platô N5) indica uma ocorrência comum nas cavidades da região. Não formavam colônias, geralmente sendo detectados indivíduos isolados (Figura 54).

Considerando o gênero *Anoura*, foram detectadas duas espécies apenas na cavidade N5E 05: *A. caudifer* (um exemplar capturado com puçá, identificado e solto) e *A. geoffroy* (cinco exemplares capturados com rede de neblina, identificados e soltos). Ambas as espécies foram anteriormente detectadas em grutas do estado de São Paulo (Pinto-da-Rocha, 1995). Adicionalmente, *A. caudifer* possui registro anterior para cavidades da Serra dos Carajás (Moreira & Paivas, 1988).

Cerca de vinte indivíduos pertencentes ao gênero *Carollia* foram observados na gruta N5E 02. Exemplares do gênero são comuns em cavernas, sendo registrados anteriormente em cavernas localizadas na Chapada do Araripe (CE), sudeste da BA, São Paulo, e também PA (Pinto-da-Rocha, 1995; Trajano *et al.*, 2004).

Uma colônia com no máximo 10 indivíduos de *Trachops cirrhosus* (Figura 54) foi registrada na gruta N5E 08. Uma rede de neblina aberta no interior da gruta possibilitou a captura e identificação de três exemplares da espécie (posteriormente soltos). Registros anteriores apontam a ocorrência da espécie em grutas de Goiás e São Paulo (Pinto-da-Rocha, 1995), incluindo cavidades na Serra dos Carajás (Moreira & Paiva, 1988).

Uma rede de neblina disposta no interior da cavidade N5S 05 possibilitou a captura e identificação em campo de dois exemplares de *Furipterus horrens*. Registros anteriores da espécie no meio subterrâneo incluem grutas do Ceará, Pará e São Paulo (Pinto-da-Rocha, 1995).



Figura 54. À esquerda, morcego *Cormura brevirostris* na gruta N5E 01; à direita, morcego *Trachops cirrhosus* capturado com rede na gruta N5E 08.

Cavidades

No gráfico presente na Figura 55 está indicada a quantidade de morfoespécies amostrada por cavidade do platô N5E. A média de organismos amostrados por gruta correspondeu a aproximadamente 30 morfoespécies.

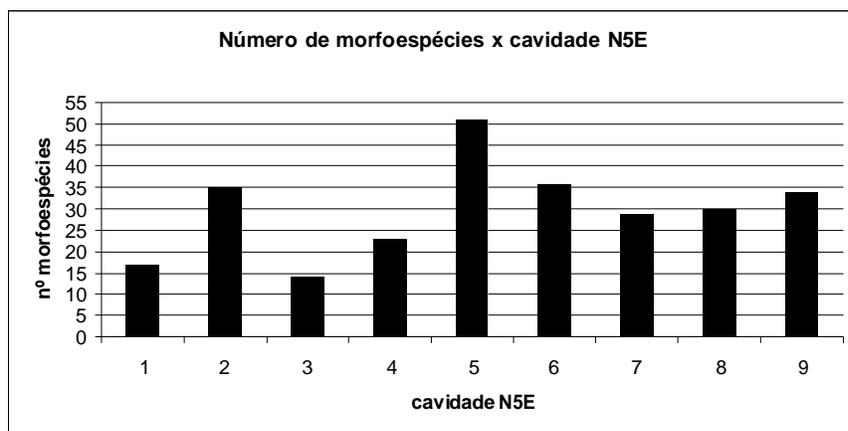


Figura 55. Quantidade de morfoespécies registradas em cada uma das cavidades de N5E.

As cavidades N5E 01, 03 e 04 apresentaram o menor número de organismos, respectivamente 17 e 14 e 23 morfoespécies. São cavernas de pequena extensão, com grande interação com o meio epígeo. Dentre os organismos encontrados em N5 01 encontra-se a aranha *Drymusa spelunca*, cuja família (Drymusidae) vem recebendo atenção por incluir espécies com limites de distribuição restritos (Brescovit *et al.*, 2004; Bonaldo *et al.*, em prep.).

Para a gruta N5E 02 foram registradas 35 morfoespécies, dentre elas isópodos Philosciidae, com pigmentação reduzida quando comparado com epígeos da família. Pode-se citar a presença de morcegos do gênero *Carollia*, não detectados em outras cavidades de N5E.

Foram contabilizadas 51 morfoespécies na cavidade N5E 05, o maior número amostrado em N5E. Dentre as espécies registradas destaca-se Carabidae-Zuphiini, troglomórfico e potencial endêmico ao ambiente subterrâneo. Essa cavidade apresentou a maior diversidade de morcegos: *Anoura geoffroy*, *A. caudifer*, *Cormura brevirostris* e *Furipterus horrendus*, embora não tenham sido detectadas colônias numerosas nem manchas de guano significativas nas áreas averiguadas.

Para a cavidade N5E 06 ocorreu o registro de 36 morfoespécies. Gruta com presença de raízes penetrando verticalmente (Figura 56) e intenso gotejamento na sua região distal.

Foram registradas 29 espécies na gruta N5E 07, que se destaca pela quantidade elevada de raízes na superfície do substrato na sua porção central (Figura 56). É possível que essas raízes sustentem populações relativamente elevadas de alguns organismos, como verificado para opiliões.



Figura 56. À esquerda, raízes penetrando verticalmente na gruta N5E 06; à direita, raízes abundantes no substrato da gruta N5E 07.

Na cavidade N5E 08 foram registradas 30 morfoespécies. Única cavidade de N5E onde foram coletadas aranhas pertencentes às famílias Prodidomidae e Theraphosidae. Pode-se destacar isópodos Scleropactidae e besouros Carabidae-Scaritinae, com características troglomórficas.

A cavidade N5E 09, com vegetação alterada no entorno das entradas, apresentou o registro de 34 morfoespécies. Pode-se citar a presença de Ricinulei, primeiro registro cavernícola do grupo para o país.

Tabela 2. Táxons registrados em grutas de N5E.

	Grutas N5E								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Annelida									
Oligochaeta		x			x	x			
Arthropoda									
Arachnida									

Acari									
Acari sp1		X			X	X		X	X
Acari sp2					X			X	
Acari sp3							X		
Acari sp4					X				
Acari sp5					X				
Acari sp6	X								
Acari sp7		X							
Metastigmata				X			X	X	X
Amblypygi									
Phryniidae									
<i>Heterophrynus cf. longicornis</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
Araneae									
Araneidae									
<i>Alpaida</i> sp1				X					
Corinnidae					X				
Ctenidae		X			X				X
<i>Isoctenus</i> sp.						X			
Drymusidae									
<i>Drymusa spelunca</i>	X								
Ochyroceratidae			X						
<i>Ochyrocera</i> sp1		X		X	X	X	X	X	X
gen.1						X	X		
Pholcidae									
Ninetinae									X
<i>Mesabolivar</i> sp.				X	X				
<i>Mesabolivar aurantiacus</i>					X				
<i>Mesabolivar eberhardi</i>	X	X	X		X			X	X
<i>Mesabolivar aff. togatus</i>							X		
<i>Metagonia</i> sp.									X
Prodidomidae								X	
Salticidae									
<i>Freya infuscata</i>			X	X					

Scytodidae									
<i>Scytodes itapevi</i>						X		X	X
Theraphosidae								X	
Theridiosomatidae									
<i>Plato</i> sp.	X	X	X	X	X	X			X
Opiliones									
Cosmetidae - Cosmetinae							X		
Escadabiidae sp1						X			
Escadabiidae sp2		X			X	X	X	X	X
Gonyleptidae - Pachylinae							X		
Stygnidae									
gen1							X		
<i>Protimesius</i> sp.							X		X
Pseudoscorpiones									
Bochicidae						X			
Chernetidae	X	X			X				
Chthoniidae		X			X		X		
Ricinulei									X
Hexapoda									
Blattodea									
Blattodea sp1						X			
Blattodea sp2					X				
Blattodea sp3				X					
Blattodea sp4					X				
Blaberidae					X				
Blattellidae sp1			X		X				
Blattellidae sp2		X							
Coleoptera									
Carabidae							X		
Carabidae - Scaritinae								X	
Carabidae - Zuphiini					X				
Elateridae							X		
Elateridae (larva)				X					

Nitidulidae					X				X
Scydmaenidae		X			X	X		X	
Staphilinidae									X
Staphilinidae - Pselaphinae - Brachyglutini									X
Staphilinidae - Pselaphinae - Goniacerini				X					
Staphilinidae (larva)						X			
Tenebrionidae - Aleculinae (larva)					X				
Collembola									
Collembola sp1							X		
Collembola sp2						X			
Collembola sp3				X					
Collembola sp4		X			X				
Collembola sp5					X				
Collembola sp6	X								
Collembola sp7		X							
Sminthuroidea					X			X	X
Diplura									
Campodeidae		X				X	X		
Japygidae		X							
Diptera									
Brachycera						X			
Cecidomyiidae	X				X				
Culicidae									
Culicidae (larva)						X			
<i>Anopheles (Nyssorhynchus) triannulatus</i>	X								
<i>Culex (Aedinus) sp.</i>	X								
<i>Culex (Mel.) sp.</i>	X								
Fanniidae									X
Keroplastidae (larvas)	X					X			
Muscidae									X
Nematocera		X				X			
Phoridae					X		X	X	X
Psychodidae									

Phlebotominae									
<i>Pifanomyia gruta</i>		X						X	
<i>Sciopemyia sordellii</i>					X	X			X
Hemiptera									
Auchenorrhyncha (Homoptera)									
Cixiidae (ninf)	X	X		X		X	X	X	
Cixiidae sp1							X		
Cixiidae sp2								X	
Heteroptera									
Cydnidae		X			X				
Reduviidae									
Reduviidae sp1		X	X						
Emesinae		X		X	X	X			X
Hymenoptera									
Formicidae									
Formicidae sp1	X		X			X	X		X
Formicidae sp2									X
Formicidae sp3									X
Formicidae sp4								X	
Formicidae sp5								X	
Formicidae sp6							X		
Formicidae sp7					X		X		
Formicidae sp8				X	X	X			
Formicidae sp9			X			X			
Formicidae sp10				X					
Formicidae sp11				X					
Formicidae sp12					X				
Formicidae sp13					X				
Formicidae sp14					X				
Formicidae sp15					X				
Formicidae sp16					X				
Formicidae sp17					X				
Formicidae sp18		X							

Formicidae sp19		X							
Formicidae sp20			X						
Platygastridae		X							
Scelionidae					X			X	
Isoptera									
Termitidae			X			X			X
Lepidoptera									
Glossata sp1			X			X			
Glossata sp2		X					X		
Tineoidea sp1						X			X
Tineoidea sp2 (larva-casulo)									X
Tineoidea sp3 (larva-casulo)						X		X	X
Tineoidea sp4 (larva-casulo)							X	X	
Orthoptera									
Ensifera - Phalangopsidae									
<i>Phalangopsis</i> sp.	X	X		X	X	X	X	X	X
Aclodae	X	X	X	X					
Psocoptera				X					
Thysanura									
Aleturidae					X	X			
Nicoletiidae - Nicoletiinae			X		X	X	X		
Chilopoda									
Scolopendromorpha									
Newportiidae - Newportiinea									
<i>Dinocryptops miersii</i>					X				
<i>Newportia</i> sp.							X		
Scutigromorpha	X								
<i>Pselliodes guildingii</i>					X			X	
Diplopoda									
Polydesmida									
Fuhrmannodesmidae					X				
Pyrgodesmidae				X	X	X	X	X	X
Symphyla									

ScutigereLLidae								X	X
Crustacea									
Isopoda									
Armadillidae								X	
Philosciidae		X							
Scleropactidae								X	
Mollusca									
Subulinidae									
<i>Lamellaxis</i> sp.						X			X
<i>Pseudopeas</i> sp.		X							
Systrophiidae									
<i>Happia</i> sp.				X					X
Nematoda		X					X		
Amphibia									
Leptodactylidae									
<i>Eleutherodactylus</i> cf. <i>fenestratus</i>		X		X					
Marsupialia									
Didelphidae									
<i>Monodelphis</i> cf. <i>domestica</i>				X					
Rodentia						X			
Chiroptera									
Emballonuridae									
<i>Cormura brevirostris</i>	X	X			X			X	X
Furipteridae									
<i>Furipterus horrens</i>					X				
Phyllostomidae									
<i>Anoura caudifer</i>					X				
<i>Anoura geoffroy</i>					X				
<i>Carollia</i> sp.		X							
<i>Trachops cirrhosus</i>								X	

4.5. Síntese dos resultados

4.5.1. Geoespeleologia

● Inserção na paisagem

As cavernas de N5E encontram-se inseridas na base de pequenos paredões e escarpas rochosas posicionadas, predominantemente, no terço superior/médio das vertentes inclinadas, morfologia que faz a conexão entre o topo do platô e as planícies aluviais.

Essas Bordas de escarpas, áreas onde haja quebra de relevo, ou encostas íngremes, como as identificadas na área, são locais em que o gradiente hidráulico do lençol freático será mais pronunciado, resultando em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitante maior capacidade erosiva da mesma. Estes locais, como já registrado em N5S, são *locus* favoráveis para que o processo erosivo seja acelerado e cavernas sejam geradas.

Diante da amostra estudada (n=9), foi constatado que as cavernas de N5E se encontram no intervalo altimétrico 720-660 m. Pinheiro et al. (1985), analisando a altimetria de algumas áreas de Carajás, particularmente no platô N1, colocam o intervalo 650-600 m como o mais marcante para a ocorrência de cavernas. Diante da análise de 22 cavernas em N5S, Piló & Andrade (2006) relatam que no topo do platô e nas proximidades da quebra do relevo, a frequência de cavernas foi pequena. Já na alta, média e baixa vertente inclinada, as cavernas estão bem distribuídas, não apresentando uma classe hipsométrica de maior frequência de cavernas. As cavernas se posicionaram entre 720 m e 560 m de altitude. Esses dados indicam que as cavernas podem ser formadas em diversas posições da vertente.

No Quadrilátero Ferrífero, o intervalo altimétrico 1500-1300 m reúne todas as cavernas estudadas até o momento (Piló & Auler, 2006), ou seja, as cavernas do Quadrilátero estão em posição mais elevada que as cavernas de Carajás.

No entorno imediato da entrada das cavernas, destaca-se a Floresta Ombrófila Aberta Submontana, constituída por uma formação de floresta aberta. Apresenta poucas árvores emergentes, um estrato dominante de aproximadamente 10 a 15 m de altura, onde se destaca a presença expressiva de cipó. Essa fisionomia tem uma associação com a instabilidade natural do terreno. Em áreas pouco estáveis, a probabilidade de queda de árvores é maior, ocasionando a abertura de clareiras. Localmente, quando do afloramento do minério de ferro ou da canga é mais expressivo, pode ocorrer a Savana Metalófila.

• Aspectos litológicos e estruturais

A maioria (66,7%) das cavernas estudadas é constituída pelos dois principais litotipos existente na área, ou seja, a FFB e a canga detrítica (Figura 57). Foi registrada somente uma (11,1%) caverna inserida exclusivamente na formação ferrífera. Duas cavernas foram desenvolvidas somente na canga (22,2%). A maioria das cavernas do Platô N5S e do Quadrilátero Ferrífero também é formada pela FFB e canga.

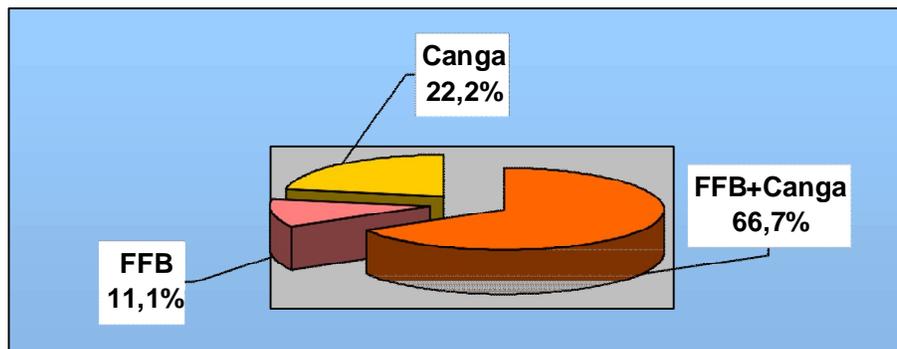


Figura 57. Distribuição dos litotipos nas cavernas estudadas em N5E (n=9).

O bandamento do minério é dado pela alternância entre lâminas e camadas de até 3 cm de espessura de hematita, separadas por espaços vazios de morfologia laminar. Esses vazios, freqüentemente, estão preenchidos por material argiloso goethítico e/ou hematítico, como também por crostas de cor branca e consistência macia, constituídas predominantemente de sulfatos (alunita e basaluminita). A FFB parcialmente alterada (mais friável) foi identificada em três cavernas (N5E-03, 05 e 08), sendo caracterizada por um minério placóide composto por finas placas milimétricas, intercaladas por material pulverulento. Hematita compacta foi identificada nas paredes de poucas cavernas (N5E-04 e N5E-09). Nessas ocorrências, o bandamento encontra-se obliterado.

A canga está presente principalmente no teto das cavernas, sendo constituída por clastos subangulares (tamanho seixo predomina) de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por material ferruginoso. Clastos tamanho calhau também foram identificados. Maurity & Kotschoubey (1995) denominaram esse tipo de canga, no platô N1 de Carajás, de hematítica brechóide. A canga laterítica é formada por material coluvionar resultante da desagregação do minério de ferro cimentado, posteriormente por goethita e hematita. Texturalmente a canga tem um aspecto "brechóide" devido aos fragmentos angulares

constituintes. Normalmente a canga é porosa e coesa, bastante resistente.

A obtenção de dados estruturais representativos do substrato rochoso foi prejudicada pelas interferências magnéticas. No entanto, foi possível analisar uma dezena de medidas confiáveis, o que permitiu um esboço das principais estruturas presentes nas cavernas.

As superfícies do bandamento composicional, muitas vezes, controlam o desenvolvimento da direção preferencial de cavernas na formação ferrífera, as quais mostraram uma orientação preferencial para o quadrante NW, variando em torno de N20-50W. Os mergulhos variaram entre 40° e 85° para SW ou NE. As superfícies inclinadas do bandamento controlaram processos importantes de abatimento, responsáveis pela modificação da morfologia do teto das cavernas. Essas superfícies também podem controlar as seções dos condutos. A percolação de solutos e de águas pluviais no interior do maciço rochoso é frequentemente realizada por essas descontinuidades planares.

As fraturas também respondem como estruturas de controle na direção preferencial de condutos. As fraturas são mais diversificadas, mas foi possível registrar estruturas marcantes, particularmente no quadrante NE: N25-70E/SV.

Flexuras do tipo *Kink bands* também estão presentes (N5E-02 e N5E-08), mas não foi constatado nenhum tipo de controle na morfologia ocasionado por essas estruturas. Segundo Ribeiro (2003), algumas estruturas do tipo *kinks* estão relacionadas à deformação por colapso gravitacional, em função da lixiviação de minerais no processo supergênico. Nessas áreas deformadas, nota-se que a friabilidade do substrato não está associada apenas a um processo químico de corrosão de partículas instáveis, mas também a movimentação do maciço e à quebra das partículas. Isso foi claramente observado na caverna N5E-02, dentre outras.

Fraturas atectônicas, provavelmente de alívio de pressão, foram registradas na grande maioria das cavernas analisadas, tanto na canga como na FFB, influenciando localmente a ocorrência de abatimentos. Importantes frentes de alteração também são guiadas por essas juntas.

• **Morfologia**

O padrão planimétrico das cavernas de N5E pode ser dividido preliminarmente em três grupos, ou seja, *cavernas espongiiformes*, *cavernas retilíneas* e *cavernas mistas* – adaptado parcialmente da classificação de Palmer (1991).

► As **cavernas espongiiformes** se caracterizam por condutos de tamanho variado que se interconectam de forma irregular (globular), como os poros de uma esponja. Normalmente a conexão entre câmaras maiores é feita através de condutos estreitos. Foram registradas 4 cavernas (N5E-02, N5E-07, N5E-08, N5E-09) com essas características, representando 44,4% da amostra.

► As **cavernas retilíneas** são formadas por condutos simples, seguindo uma direção preferencial, condicionada por junta ou pela superfície inclinada do bandamento da rocha ferrífera. Foram identificadas 3 cavernas com essas características: N5E-01, N5E-03 e N5E-04, totalizando 33,3% da amostra.

► As **cavernas mistas** apresentam setores com características espongiiformes, assim como setores retilíneos. Duas cavernas apresentaram essas características na área: N5E-05 e N5E-06, perfazendo um total de 22,2% da amostra.

Maurity & Kotschoubey (1995) já tinham identificado, no geral, essas tipologias em Carajás. Segundo os autores, a morfologia das cavernas da serra de Carajás pode abarcar tipos simples de geometria retilínea até cavernas possuindo galerias e salões interligados, formando um sistema anastomosado. Esses tipos propostos são muito semelhantes aos observados em N5E, N5S, como também no Quadrilátero Ferrífero (Piló & Auler, 2006).

O piso das cavernas de N5E é, freqüentemente, inclinado, seguindo, embora em menor inclinação, a direção de maior declive das vertentes, como também do teto. Este padrão ocorreu em 66,6% das cavernas, sendo provavelmente influenciado pelo fluxo de águas pluviais que, por processos de erosão, carregam material fino para o exterior da caverna segundo o gradiente hidráulico. Sendo o gradiente hidráulico (no caso suspenso e existente somente durante o período de chuvas) um reflexo da linha de maior declive da encosta é natural que a cavidade seja condicionada segundo esta direção. No entanto, nas cavernas com pequena projeção horizontal (N5E-01, N5E-03 e N5E-04), e com atuação incipiente de processos pluviais, foram registrados pisos relativamente planos. O gradiente não reflete na inclinação do piso.

As seções transversais e longitudinais demonstraram, nas paredes e teto, maiores irregularidades quando da presença da canga, destacando os pendentes. Também foram registradas cavernas com seções mais regulares, controladas freqüentemente pelas superfícies inclinadas do bandamento da FFB. Essas formas foram reveladas principalmente nas cavernas N5E-02 e N5E-08.

Pendentes são projeções com formato aproximadamente cônico invertido, embora bastante irregular, que se projetam do teto. São formados preferencialmente na canga e conferem uma grande irregularidade ao teto das cavernas, como observado nas cavernas N5E-02, N5E-05, N5E-07 e N5E-09. Suas dimensões são variáveis, mas podem ultrapassar 1 m de comprimento. Em geral ocorrem em conjunto, sendo que o espaço entre pendentes corresponde a zonas com o teto mais elevado. Os pendentes têm sua origem, provavelmente, no contato entre o solo e o teto, representando projeções reliquias de canga.

Pilares também são freqüentes nas cavernas de N5E, sendo constituídos de canga ou pela FFB. Os pilares constituem elementos verticais da estrutura da caverna, ocasionando a formação de passagens laterais.

Somente uma caverna (N5E-02) apresentou clarabóia, em conseqüência de abatimentos do teto. No Platô N5S três cavernas apresentam clarabóia. No Quadrilátero, as clarabóias também são registradas. As cavernas de Carajás, assim como do Quadrilátero Ferrífero, constituem feições muito rasas, muitas vezes a apenas poucos metros de profundidade em relação à superfície da vertente, o que contribui para os processos de abatimento de tetos e a formação das clarabóias.

Nas paredes das cavernas, geralmente ao nível do piso ou no teto, podemos destacar numerosos canais (canalículos) de pequeno diâmetro (muitas vezes milimétricos). Esses canalículos encontram-se muitas vezes associados aos pilares e pendentes na rocha, exercendo aparentemente papel de agente individualizador dos mesmos. Os canalículos também afetam a morfologia das cavernas, pois sua evolução gera apêndices ou expansões laterais que podem eventualmente evoluir para condutos laterais. Piló & Auler (2005) estudando grutas de minério e canga no Quadrilátero Ferrífero, demonstraram que há uma relação diretamente proporcional entre o perímetro da caverna e o número de canalículos, mostrando que a presença dos mesmos representa um “alongamento” do perímetro da caverna.

Nas paredes rochosas de algumas cavernas de N5E foram observadas uma micromorfologia importante. Destacam-se buracos e furos centimétricos a decimétricos, que geram um aspecto alveolar a formação ferrífera e a canga. Essas cavidades, possivelmente, se formaram nas primeiras fases espeleogenéticas (ambiente freático?) da caverna, pois apresentam uma morfologia circular, elíptica, típicas de dissolução em zonas de baixa densidade. Essas cavidades são formadas, preferencialmente, nas superfícies do bandamento, mas também podem se instalar de forma aparentemente fortuita. As cavernas N5E-05, N5E-08 e N5E-09 apresentam os melhores exemplos dessas microformas.

● **Espeleometria das cavernas**

A projeção horizontal (soma dos condutos em planta baixa) das cavernas estudadas (n=9) apresentou uma média de 62,7 m, com valores mínimo e máximo de 13 m (N5E-01) e 126 m (N5E-05), respectivamente (Figura 58). Esses valores são muito semelhantes aos encontrados em N5S (n=22). No entanto, a média da projeção horizontal obtida nas áreas de Carajás são superiores a média registrada no Quadrilátero Ferrífero (Figura 59).

Lembramos que o clima no Quadrilátero Ferrífero é diferenciado do clima na serra dos Carajás (maior índice pluviométrico e temperatura). Isto certamente pode ter uma importante influência na velocidade das reações químicas envolvidas, refletindo-se na espessura e influência do horizonte saprolítico e de canga, como também na dinâmica dos processos pluviais. Eventuais fatores microbiológicos, conforme aventado por McFarlane & Twidale (1987), podem ser favorecidos sob condições de temperatura e umidade relativa mais elevada.

Por outro lado, a morfologia dos platôs de Carajás indica uma zona de recarga hídrica mais ampla, capaz de absorver e distribuir água para as bordas dos platôs com mais energia, ou seja, maior capacidade erosiva.

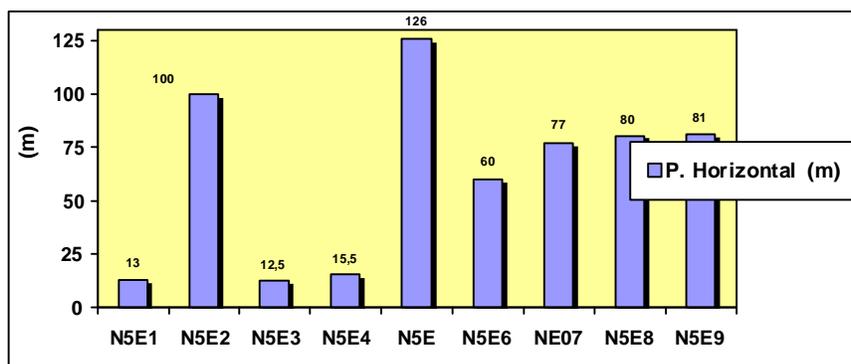
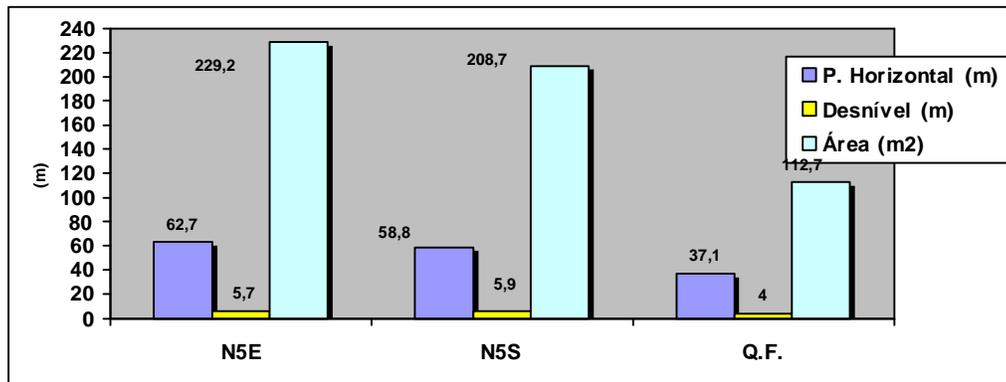


Figura 58. Projeção horizontal (m) das cavernas (n=9) da área N5E.

O desnível médio das cavernas estudadas foi de 5,72 m, com valor máximo de 13 m (N5E-19) e mínimo de 0,20 m (N5E-03). Esses valores são semelhantes a média obtida na área N5S (5,72 m), como também no Quadrilátero Ferrífero.

A área do total das cavernas de N5E apresentou uma média de 229,2 m², com valores mínimo e máximo de 20 m² e 643 m². A gruta N5E-05 apresentou a maior área da amostra, com 643 m². Novamente, a média obtida se mostrou muito próxima da média de N5S, mas bem superior à média registrada no Quadrilátero Ferrífero. Em síntese, sob o ponto de vista dimensional, as cavernas de Carajás são mais desenvolvidas.



d

Figura 59. Média de três parâmetros espeleométricos das cavernas estudadas em N5E, N5S e no Quadrilátero Ferrífero (Q.F.). Nota-se que os dados das cavernas de N5E e N5S são muito semelhantes.

• Hidrologia

As cavernas estudadas em N5E são secas, não existindo curso d'água perene no interior das mesmas. Canais de drenagem temporários podem ocorrer, sendo gerado pela concentração do gotejamento ou percolação de águas infiltradas via canalículos ou juntas. Esses canais de fluxo hídrico concentrado foram registrados nas cavernas N5E-05 e N5E-06.

A grande maioria das cavernas de minério de ferro e canga descritas na literatura não apresenta drenagem interna. Alguns autores, no entanto, comentam brevemente sobre a existência de drenagens hipógeas. Simmons (1963), por exemplo, descreve uma cavidade no Quadrilátero Ferrífero que comporta uma surgência temporária (ativa apenas durante a estação chuvosa). Bowden (1980), também comenta sobre cavernas com drenagens ativas na África. De uma forma geral, diversos autores relatam que cavidades na borda de platôs de canga podem comportar surgências temporárias, em geral de pequeno porte. Pouca energia hídrica, através de canais, circula atualmente nas cavernas de minério e canga.

A atividade hidrológica mais freqüente nas cavernas, portanto, consiste em gotejamentos devido a águas de percolação que se infiltram até a caverna e gotas de condensação nas

paredes. O gotejamento, mais significativo na estação chuvosa, é mais marcante na linha d'água, mas também pode ser expressivo no interior de várias cavernas.

● Depósitos clásticos e orgânicos

Os sedimentos clásticos compreendem todos os detritos transportados e depositados ao longo dos condutos. Atualmente, a análise desses registros tem se mostrado fundamental para resgatar a história deposicional das cavernas e sua evolução. Os depósitos clásticos das cavernas de N5E podem ser divididos em dois tipos:

- ▶ Depósitos formados por sedimentos predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material do próprio substrato encaixante (formação ferrífera e/ou canga);

- ▶ Depósitos formados por sedimentos mistos: autogênicos e alogênicos, ou seja, gerados tanto no interior da caverna como fora.

Os depósitos predominantemente autogênico são constituídos por clastos líticos de hematita originados da FFB e/ou da canga, pertencendo a três classes distintas: blocos abatidos (calhaus e matações), cascalho fino (seixos, grânulos e areia grossa) e material lamoso (silte e argila).

Esses clastos são originados principalmente de processos gravitacionais do tipo abatimentos de porções do teto e das paredes. Diante disso, os depósitos apresentam uma estreita relação com os constituintes do substrato sobrejacente. Ou seja, um substrato rochoso de minério ou canga sã gera depósitos de clastos líticos (principalmente seixos e calhaus) com pouca contribuição de sedimentos terrígenos. Já um substrato parcialmente alterado ou alterado gera sedimentos mais terrígenos (desagregados), mas podendo conter clastos líticos (seixos de hematita). Concentração de blocos abatidos é muito freqüente nas entradas das cavernas, tendo em vista que esse setor apresenta maior dinamismo em decorrência dos processos de vertente (reco das escarpas rochosas). Na caverna N5E-02 foram observadas recentes cicatrizes de abatimentos nas paredes, gerados provavelmente por vibrações ocasionadas por detonações na mina de N5.

Foi observado, na caverna N5E-05, importante cone de sedimentos com fortes inclinações, gerado pela injeção de material via fluxo concentrado temporário, vindo de estreito conduto. Na caverna N5E-04 foi registrado um piso formado por seixos subarredondados, sem a presença de material lamoso. Localmente, uma delgada crosta reveste esses clastos líticos, demonstrando uma grande estabilidade dos processos de abatimento nessa caverna. O subarredondamento dos clastos possivelmente está relacionado com o intenso gotejamento. Não há registros, na caverna, de aportes de energia capaz de ocasionar o arredondamento via rolamento.

Os depósitos mistos também são muito freqüentes nas cavernas de N5E. Os depósitos alogênicos são originados principalmente dos canalículos e juntas alargadas existentes na grande maioria das cavernas, como também de clarabóia e cones de entrada. A injeção de sedimentos via canalículos pode ser originada do interior do próprio maciço ou da superfície. Os sedimentos alogênicos são, freqüentemente, mais finos e de cor predominantemente vermelha (2.5YR). Pequenos leques de sedimentos finos, na saída dos canalículos, são muito comuns nas cavernas de N5E. Predominam, nessa tipologia, setores mais argilosos, como também setores mais cascalhento (líticos), em porções que receberam menor contribuição de sedimentos dos canalículos e de outras conexões de transporte de material fino.

Trincheira realizada em caverna de Capão Xavier (próximo à entrada) indicou depósitos mistos com mais de 2 m de profundidade (Piló & Auler, 2005). Nesta mesma caverna, um fragmento de carvão a 0,28 m de profundidade foi datado pelo método ^{14}C (idade calibrada) em 1.540 a 1.250 anos AP (Beta – 194697). Essa idade permitiu o estabelecimento de uma taxa média de sedimentação de 0,018 cm/ano para a entrada da caverna (Piló & Auler, 2005). Salienta-se que os processos de sedimentação na caverna são descontínuos no tempo e no espaço, ou seja, não há uma deposição contínua. A taxa obtida, apesar de importante, deve ser considerada somente como uma referência.

Depósitos formados por sedimentos orgânicos também foram identificados. Destaca-se, nesse contexto, a serrapilheira, que ocorre principalmente nas entradas e sob as clarabóias. Raízes também pendem do teto de diversas cavernas, como também podem aflorar freqüentemente no piso. Poças de guano foram identificadas, mas não são expressivas nas cavernas analisadas. Fezes de animais foram constatadas em diversas cavernas, indicando o uso desses espaços por pequenos mamíferos. Escavações efetuadas por animais no piso das cavernas também foram registradas, sendo o melhor exemplo na caverna N5E-01.

- **Espeleotemas**

Os depósitos químicos (espeleotemas) foram identificados em todas as cavernas de N5E. Os mais freqüentes são os depósitos de cobertura (crostas) de blocos abatidos, pisos e paredes inclinadas. Os coralóides, também muito freqüentes nas cavernas de N5E, constituem depósitos de exudação de grande diversidade nas cavernas de Carajás. Microtravertinos, escorrimentos e cortinas também foram identificados.

Através da Difração de Raios X – DRX de 10 amostras de espeleotemas foi possível evidenciar que o óxido de ferro do tipo **hematita** (Fe_3O_4) é o mineral mais abundante nos espeleotemas analisados (60%), juntamente com a goethita, sendo também freqüentes em cavernas ao redor do mundo (Hill & Forti, 1997). Em função da estabilidade termodinâmica similar, os minerais goethita e hematita frequentemente ocorrem juntos (Cornell & Schwertmann, 2003). Já a **gibbsita** ($\text{Al}(\text{OH})_3$) foi identificada somente em uma amostra. O hidróxido de alumínio gibbsita pode ser derivado da dissolução de alumínio por soluções ácidas criadas pela oxidação de sulfetos. Guano de morcego também pode contribuir para sua origem, assim como lixiviação a partir do solo (Hill & Forti, 1997).

Quanto aos fosfatos, a leucofosfita ($\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) foi identificada em duas amostras de espeleotemas de N5E. Esse mineral já foi identificado por Maurity & Kotschoubey (1997) na caverna N1, na serra dos Carajás. Também já foi registrado nas cavernas de N5S, no Quadrilátero Ferrífero e em várias cavernas do mundo (Itália, Libéria, Malásia etc.). Possivelmente, os depósitos de guano contribuem para o fornecimento de fósforo para a formação de compostos químicos fosfáticos. A **estrengita** ($(\text{Fe},\text{Al})\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, mineral fosfático de ferro e alumínio, foi detectado em 20% das amostras, tendo sido também identificado por Maurity & Kotschoubey (1995) como revestimentos de pisos, blocos, bem como cimento de paleopavimentos em cavernas de N1 e também em N5S (Piló & Andrade, 2006).

Três sulfatos foram registrados nos espeleotemas de N5E. A **gipsita** ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) foi detectada em três amostras. Esse mineral é comum em muitas cavernas do Brasil e do mundo. A gipsita pode ter sua origem na oxidação de sulfetos no interior da própria rocha. A **alunita** foi identificada em três amostras (30%), já tendo sido identificada em N1 por Maurity & Kotschoubey (1997). Segundo os referidos autores, o potássio da alunita teria, como no caso da leucofosfita, o próprio guano como fonte. Esse mineral ainda não foi registrado no Quadrilátero Ferrífero. A **basaluminita** ($\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) foi identificada em uma caverna de N5E. Segundo Maurity & Kotschoubey (1997), a basaluminita é abundante na gruta do N1, na qual ocorre na forma de uma massa plástica esbranquiçada ou de um produto claro, pulverulento, constituindo, sobretudo, revestimentos de blocos abatidos de até 5 cm de

espessura. A basaluminita forma, igualmente, eflorescências localizadas no teto da gruta e, eventualmente, preenche fendas nas paredes. Também foi registrada em N5S.

Tabela 3. Minerais detectados por DRX em 10 amostras de espeleotemas das cavernas de N5E.

FOSFATOS	
Caverna / amostra	Mineral
N5E-07 / AM-16 ^a ; N5E-08 / AM-13	Leucofosfita - $KFe_2(PO_4)2OH.2H_2O$
N5E-07 / AM-16 ^a ; N5E-08 / AM-13;	Estrengita - $(Fe,Al)PO_4.2H_2O$
SULFATOS	
Caverna / amostra	Mineral
N5E-07 / AM-15 e 16; N5E-08 / AM-09	Gipsita - $CaSO_4.2H_2O$
N5E-07 / AM-15 e 16 ^a ; N5E-09 / AM-03	Alunita - $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$
N5E-05 / AM-23	Basaluminita - $Al_2SO_4(OH)10.4H_2O$
OXIDO-HIDROXIDOS	
Caverna / amostra	Mineral
N5E-05 / AM-22; N5E-07 / AM-16 ^a ; N5E-08 / AM-11, 12, 13; N5E-09 / AM-03;	Hematita - Fe_3O_4
N5E-05 / AM-22; N5E-05 / AM-23; N5E-07 / AM-16 ^a ; N5E-08 / AM-11, 12, 13.	Goethita - $FeO(OH)$
N5E-05 / AM-23	Gibbsita ($AlOH_3$)

Depósitos expressivos de guano decomposto foram, com efeito, encontrados em algumas grutas, muitas vezes próximo aos espeleotemas. Os baixos teores dos elementos na cobertura laterítica e a ausência de outra alternativa plausível apoiam a idéia de uma origem coprogênica para os espeleotemas de fosfatos e de sulfatos. A presença de depósitos de consistência gelatinosa, em superfícies de escorrimento de águas sugere que pelo menos espeleotemas de oxi-hidróxidos e de fosfatos estão se desenvolvendo atualmente.

● Hipóteses sobre a origem de cavidades em minério de ferro e canga

Simmons (1963) foi o primeiro a reconhecer dois tipos de cavernas na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais: cavernas de *corrasion* (erosão) e o segundo tipo cavernas de *solution* (dissolução). A gênese desse primeiro tipo de cavidades é atribuída à simples erosão de partículas de granulometria fina via processos do tipo *piping* (Simmons, 1963; Tolbert *et al.*, 1971; Bowden, 1980). A lixiviação de material mais friável e seu carreamento em direção à escarpa causa a evolução da caverna, ficando a mesma preservada pela existência de capa protetora de canga. Colapsos da cobertura de canga em sua face exposta podem alterar o perfil das entradas das cavernas.

Com relação a cavidades maiores, denominadas de dissolução por Simmons (1963) e Bowden (1980), é defendido um modelo endogenético, onde a atuação do agente formador dos vazios se dá inteiramente no interior do maciço rochoso. O modelo endogenético é aplicado tanto para o minério de ferro silicoso quanto para o minério de ferro dolomítico.

Segundo Simmons (1963), a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha. Em regiões de minério de ferro silicoso, a dissolução da sílica também exerce um papel importante. Ribeiro (2003), também trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, demonstra que a dissolução pode acarretar uma redução de até 40% do volume da rocha, resultando em minério friável com alta porosidade. O trabalho de Ribeiro (2003) ressalta que pode haver subsidência após a lixiviação tanto da sílica quanto do dolomito. A remoção de sílica e/ou dolomito resulta em uma concentração e conseqüente geração de zonas com minérios de ferro de alto teor.

O modelo dissolutivo endógeno foi posteriormente detalhado nos trabalhos realizados na serra dos Carajás. Vale lembrar, no entanto, que alguns autores como McFarlane & Twidale (1987) acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomito, são essenciais a carstificação em minério de ferro. A criação do que McFarlane & Twidale (1987) chamaram de “zonas pálidas” no saprólito dependeria da lixiviação de ferro. Devido ao caráter pouco solúvel dos óxidos de ferro, esses autores evocam a atuação de agentes microbiológicos, já que existem microorganismos capazes de remover ferro através de complexação e formação de quelatos que possuam afinidade com o ferro. No entanto, McFarlane & Twidale (1987) não fornecem maiores detalhes sobre como este processo biológico atuaria.

Na serra dos Carajás duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro & Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorre a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo minerais instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga endurecida, mas também podem ocorrer em níveis inferiores à esta. A remoção desse material residual instável leva à formação de cavidades irregulares que podem ser observadas nas paredes e cavidades das cavernas (Pinheiro & Maurity, 1988). Pinheiro *et al.* (1985) sugere ainda, que a mistura entre dois tipos de água com propriedades físico-químicas distintas, quais sejam, águas oxigenadas percolando verticalmente e águas freáticas já saturadas em alguns minerais poderia contribuir para a criação de um ambiente geoquímico favorável à dissolução da rocha.

A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (*piping*) que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa, levando então à formação de galerias e salões. Estes processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta à atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento (Pinheiro & Maurity, 1988).

Em síntese, a espeleogênese em minério de ferro e canga admite a existência de duas etapas distintas, a primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos).

Maurity & Kotschoubey (1995) detalharam os mecanismos geoquímicos responsáveis pela geração do que estes autores denominaram de “zonas de baixa densidade”. A constatação da existência de tais zonas de baixa densidade veio através da observação de cavidades “ocultas” (sem entradas) no interior do platô laterítico. Segundo esses autores, Fe e Al mobilizados na rocha podem migrar para zonas mais profundas do manto de alteração atingindo eventualmente a base da couraça e/ou o topo do saprólito. Nesse local os complexos solúveis de Fe e Al ficariam sujeitos à ação de águas oxigenadas, o que causa a precipitação de goethita, hematita e gibbsita nas fissuras e fraturas do topo da zona saprolítica, formando um sistema reticular superposto ao material saprolítico (Maurity & Kotschoubey, 1995).

Nessa etapa, os referidos autores sugerem que a migração lateral da água subterrânea causa a dissolução incongruente da caolinita que, com a lixiviação da sílica e alumina remanescente, evolui para um produto gibbsítico poroso e friável, facilmente erodível, resultando no aparecimento de vazios cada vez mais abundantes na interface crosta/saprólito. Neste modelo de Maurity & Kotschoubey (1995), o produto final são zonas de baixa densidade (alta porosidade) caracterizadas por uma textura esquelética do tipo “boxwork”. No entanto, essas estruturas não foram observadas nos platôs N5E/N5S.

Maurity & Kotschoubey (1995) também sugerem uma hipótese para explicar a existência de cavidades inteiramente inseridas na canga. Com a migração de Fe e Si para zonas mais baixas, a matriz argilosa do conglomerado sofre dessilicificação com concomitante acumulação *in situ* de Al derivado da dissolução da caolinita. O resultado é a formação de um cimento hematítico e/ou gibbsítico envolvendo fragmentos lateríticos e hematíticos do conglomerado. Maurity & Kotschoubey (1995) consideram que este cimento, apesar de apresentar alta porosidade e suscetibilidade erosiva, é mais estável quimicamente que os fragmentos ou seixos hematíticos do conglomerado, em função de conterem caolinita ou exibirem estruturas (laminação e foliação) que facilitam o ataque das águas subterrâneas. Assim sendo, os seixos e fragmentos seriam preferencialmente atacados e eventualmente totalmente lixiviados, gerando uma porosidade macrocelular sustentada pela antiga matriz transformada em cimento (Maurity & Kotschoubey, 1995). Vale a pena salientar que em muitas situações, a canga exerce apenas a função de capa protetora, tendo as cavernas originalmente se formado abaixo desta. No entanto, uma relação entre a caverna e o contato canga/minério de ferro parece inegável.

O modelo endogenético, não importando as etapas geoquímicas envolvidas, é importante para explicar o fato de existirem cavidades no interior da rocha ou saprólito sem nenhuma

ligação direta com canais de escoamento, fato este observado por vários dos autores mencionados acima. As entradas, como também conexões de cavidades através de canalículos, poderiam ser formadas em um estágio mais tardio da evolução da caverna. O fato de que as entradas possuem uma dimensão incompatível com volume interno da cavidade parece sugerir que realmente possa tratar-se de feições posteriores.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas via canalículos, de onde será evacuado para o exterior. Esta fase erosiva, aliada aos processos de abatimento de blocos, é responsável pela maior parte da morfologia atualmente observada nas cavernas. Atualmente, a grande maioria dos canalículos encontra inativo, indicando uma baixíssima energia do processo evolutivo.

● Aspectos cronológicos

Até o momento, poucas inferências têm sido feitas a cerca da idade das cavernas em minério de ferro e canga de Carajás e do Quadrilátero ferrífero. Pinheiro et al. (1985) e Pinheiro & Maurity (1988) tecem breves considerações sobre o tema. Estes autores associam o início da formação das cavidades ao processo de geração da canga laterítica, atrelando a idade das cavernas à idade da canga. No entanto, existem grandes incertezas com relação à idade do início da formação da canga. Uma idade aproximada, final do Cretáceo/início do Terciário e desenvolvimento durante o Pleistoceno foi aventada por Pinheiro et al. (1985) e Pinheiro & Maurity (1988). Apesar da falta de dados demonstrativos e cronológicos, acreditamos que as cavernas desenvolvidas no minério de ferro são muito antigas (bem superior a 2 milhões de anos), com idades superiores às cavernas carbonáticas.

Vale lembrar que ainda não temos, no interior das cavernas, métodos de datações absolutas passíveis de serem aplicados na escala de tempo da história evolutiva das cavernas. Registros do Holoceno poderão ser balizados, via ^{14}C , através de sedimentos antropogênicos (carvão de fogueira, restos vegetais etc.), mas esse balizamento se mostra limitado na discussão sobre a idade da fase de iniciação das cavernas da serra dos Carajás.

4.5.2. Bioespeleologia

A fauna encontrada nas cavidades de N5E mostrou-se bastante diversificada e compreende organismos pertencentes a distintos grupos. Grande parte da fauna é composta

por organismos que se inserem em grupos esperados em meios subterrâneos, quando considerados grupos taxonômicos mais abrangentes (ordem, família e, em alguns casos, gêneros). Por outro lado, os dados obtidos com o presente estudo revelam grupos com ocorrência inédita para esse tipo de ambiente considerando cavidades no país, podendo-se destacar o aracnídeo Ricinulei e aranhas da família Drymusidae, considerado um grupo interessante devido aos limites de distribuição restritos, como sugerido por Bonaldo *et al.* (em preparação). Muitas espécies são novas para a ciência, o que é esperado, dado que o conhecimento da fauna de invertebrados da região neotropical ainda é incipiente e que a região onde estão inseridas as cavidades foi alvo de escassos levantamentos (e.g. MPEG, 2005). A comunidade cavernícola de N5E apresenta peculiaridades regionais, tendo em vista a especificidade de comunidades epígeas da região que fornecem os elementos que colonizam o ambiente subterrâneo.

De um modo geral, as cavidades de N5E apresentam pequena extensão e são relativamente superficiais, com grande interação com o meio epígeo. Quanto aos recursos alimentares presentes nas cavidades, pode-se citar a presença de raízes, que atingem o interior das cavidades penetrando por fendas e canalículos. Destaque para a cavidade N5E 07, pela presença de raízes abundantes aflorando na superfície da região central da cavidade.

Dentre os organismos troglófilos podem ser citados os grilos *Phalangopsis*, encontrados em diferentes estágios de desenvolvimento em diferentes profundidades das grutas, pequenos aracnídeos, como Ochyroceratidae e Theridiosomatidae, coleópteros encontrados associados ao sedimento, como Carabidae, Scydmaenidae e Staphilinidae e opiliões Escadabiidae. Dentre os prováveis troglófilos podem ser citados dípteros Keroplastidae, aranhas Theraphosidae e os vertebrados (roedores, morcegos e anfíbios). Certos organismos podem ser troglófilos ou troglófilos de acordo com a disponibilidade de alimento no meio cavernícola, sendo que para a obtenção da categorização correta são necessários estudos populacionais específicos e geralmente de longa duração.

Foram detectados alguns organismos troglomórficos: besouros Carabidae – Scaritinae, Collembola sp 2, 5 e 7, isópodos Philosciidae e Scleropactidae, merecendo destaque o besouro Carabidae-Zuphiini, potencial troglóbio. Cabe ressaltar que essas modificações, geralmente encontradas em organismos endêmicos, podem ocasionalmente também ser encontradas em organismos que vivem em locais úmidos e escuros no meio epígeo.

Outros organismos coletados nas cavidades apresentam redução pigmentar e ocular; entretanto, tais modificações são comuns ou mesmo intrínsecas em representantes do grupo, sendo necessária a utilização de outros caracteres e comparação com parentes epígeos para a

determinação de possíveis endemismos. Dentre esses podem ser citados: Diplura, Thysanura, Polydesmida e Symphila.

Uma forma de descartar a hipótese de endemismo ao meio subterrâneo seria encontrar representantes da espécie no meio epígeo. Dessa forma, seria importante efetuar levantamentos em áreas próximas às cavidades; caso esses organismos sejam encontrados no meio epígeo, a hipótese de endemismo é descartada. Da mesma forma, o estudo faunístico em outras cavidades situadas na Serra de Carajás permitiria uma análise comparativa, e, de acordo com a similaridade verificada, resultados poderiam fornecer subsídios para discutir a relevância local de N5E.

Dentre as espécies registradas destaca-se Carabidae-Zuphiini, besouro troglomórfico e potencial endêmico ao ambiente subterrâneo. Adicionalmente à gruta N5E 05, exemplares desse organismo foram encontrados em grutas de N5S, evidenciando a ocupação e trânsito da fauna subterrânea não apenas nas cavidades amostradas como também nos espaços interconectados na rocha. Dessa forma, a área de distribuição dos organismos potencialmente endêmicos não está restrita às cavidades amostradas, devendo ser considerada toda a unidade litológica onde existam espaços e condições topo e microclimáticas para o estabelecimento das comunidades subterrâneas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. Biespeleologia

Adis, J. 2002. Amazonian Arachnida and Myriapoda. Pensoft Publishers. Sofia, Moscow.

Andrade, R. & V. Mahnert. 2003. A new cavernicolous pseudoscorpion of the genus *Spelaeobochica* Mahnert, 2001 (Pseudoscorpiones, Bochicidae) from Brazil (São Paulo State). *Revue Suisse de Zoologie*, 110(3): 541-546.

Brescovit, A. D., A. B. Bonaldo & C. A. Rheims. 2004. A new species of *Drymusa* (Araneae, Drymusidae) from Brazil. *Zootaxa* 697: 1-5.

Bonaldo, A. B.; C. A. Rheims & A. D. Brescovit. Four new species of *Drymusa* Simon, 1891 (Araneae, Drymusidae) from Brazilian Oriental Amazônia. (em preparação).

Bonaldo, A. ; Pinto-da-Rocha, R. 2003. On a new species of *Cryptocellus* from Brazilian Amazon (Arachnida, Ricinulei). *Revista Ibérica de Aracnologia*, Zaragoza, v. 7, p. 103-108, 2003.

Csiro. 1991. The insects of Australia: a textbook for students and research workers. Melbourne University Press. 1137p.

Culver, D. C. 1982. Cave life: Evolution and Ecology. Harvard University Press, Cambridge. 189 p.

Culver, D. C. & H. Wilkens. 2000. Critical review of the relevant theories of the evolution of subterranean animals. Pp. 381-398. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

Decu V. & Juberthie C. 1998. Coléoptères. Pp. 1025-1030. In: Juberthie, C. & V. Decu (eds.). *Encyclopaedia Biospeologica*. . Société de Biospéologie, Moulis, Bucarest. 1373 p.

Dessen, E. M. B.; V. R. Eston; M. S. Silva; M. T. Temperini-Beck & E. Trajano. 1980. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência e Cultura*, 32 (6): 714 - 725.

Desutter-Grandcolas, L.; C. Di Russo, C. & V. Sbordoni. 1998. Orthoptera. p. 977-1001. In: Juberthie, C. & V. Decu (Eds.), *Encyclopaedia biospeologica*. Société de Biospéologie, Moulis, Bucarest.

Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 17(3).

Forattini, O. P. 2002. *Culicidologia médica*. Edusp, São Paulo. 860p.

Gnaspini, P. 1996. Population ecology of *Goniosoma spelaeum*, a cavernicolous harvestman from southeastern Brazil (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae). *Journal of Zoology*, 239(3): 417-435.

Gnaspini, P. 2004. Guano communities. Pp. 276-283. In: Culver, D.C. & W.B. White (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Amsterdam. 680 p.

Gnaspini, P. & S. M. Hoenen. 1999. Considerations about the troglophilic habit: the cave cricket model. *Mémoires de Biospéologie*, 26: 151-158.

Gnaspini, P. & E. Trajano. 1994. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. *Revista Brasileira da Entomologia*, 38 (3/4): 549 - 584.

Holsinger, J. R. & D. C. Culver. 1988. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of Eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. *Brimleyana*, 14: 1 - 162.

Howarth, F. G. 1980. The zoogeography of specialized cave animals: A bioclimatic model. *Evolution*, 34: 394-406.

Hüppop, K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves?. Pp. 159-188. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

Juberthie, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. Pp. 17-40. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

Juberthie, C.; V. Decu, C. & C. Radulescu. 1994. Mammalia. p. 1257-1266. In: Juberthie, C. & V. Decu (Eds.), *Encyclopaedia biospeologica II*. Société de Biospéologie, Moulis, Bucarest.

Kury, A.B. & Pérez, G., A., 2003. Estranhos e desconhecidos Laniatores do Brasil — a família Escadabiidae e suas relações filogenéticas (Opiliones). In: Machado, G. & Brescovit, A. (eds), *IV Encontro de Aracnólogos do Cone Sul*, São Pedro. Programa & Resumos: 122.

Kury, A. B. & R. Pinto-da-Rocha, 2002. Opiliones. Pp. 345-362. In: Adis, J. (Ed). *Amazonian Arachnida and Myriapoda*. Pensoft Publishers. Sofia, Moscow.

Mahnert, V. 2001. Cave-dwelling pseudoscorpions (Arachnida, Pseudoscorpiones) from Brazil. *Revue Suisse de Zoologie*, 108(1): 95-148.

Moreira, J.R.A. & R.S. Paiva. 1988. Levantamento bioespeleológico preliminar da Serra dos Carajás – Pará – Brasil. *Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe*: 142-150.

MPEG. 2005. Diagnóstico do “estado da arte” do conhecimento sobre a fauna da região da Serra de Carajás. Texto desenvolvido pelo Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte do Plano Integrado de Monitoramento e Estudos da Fauna (PIMEF) da região da Serra dos Carajás, da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD.

Muchmore, W.B. 1998. Review of the family Bochicidae, with new species and records (Arachnida: Pseudoscorpionida). *Insecta Mundi*, 12: 117-132.

Paiva, R.S. & J.R.A. Moreira. 1988. Levantamento bioespeleológico preliminar das Grutas do Piriá – Pará – Brasil. *Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe*: 132-141.

Pinheiro, R.V.L.; C.W. Maurity; A.L. Henriques; L.T. Silveira; J.R.A. Moreira; P.R.C. Lopes; O.T. Silveira; R.S. Paiva; A.L.F.A. Lins; C.U.V. Veríssimo; S.H.S. Arcanjo; D.C. Kern; E.A. Krause; M.F. Lima-Filho; J.B.Rocha; W. Santos. 2001. As grutas bauxíticas da Serra do Piriá – PA. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, 13: 65-97.

- Pinto-da-Rocha, R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 39 (6): 61 - 173.
- Platnick, N.I. 2002. Ricinulei. Pp. 381-386. In: Adis, J. (Ed). *Amazonian Arachnida and Myriapoda*. Pensoft Publishers. Sofia, Moscow.
- Poulson, T. L. & W. B. White. 1969. The cave environment. *Science*, 165 (3897): 971 - 981.
- Poulson, T. L. & K. H. Lavoie. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. Pp. 231-250. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.
- Rheims, C.A. & F. Pellegatti-Franco. 2003. Invertebrados Terrestres de Cavernas da Área Cárstica de São Domingos, Nordeste de Goiás. *O Carste*, 15(4): 132-137. Trajano, E. 1986.
- Secco, R. S. & A. L. Mesquita. 1983. Nota Sobre a Vegetação de Canga da Serra Norte.I. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Nova Sér. Bot.*, 59: 1-13.
- Silva, M. F. F. & R. S. Secco & M. G. A. Lobo. 1996. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazônica*, 26: 17-44.
- Stehr, F.W. 1987. *Immature insects*. Vol.1. Dubuque. Kendall/Hunt Pub. 754 pp.
- Stehr, F.W. 1991. *Immature insects*. Vol.2. Dubuque. Kendall/Hunt Pub. 974 pp.
- Trajano, E. 1986. Vulnerabilidade dos troglóbios à perturbações ambientais. *Espeleo-Tema*, 15: 19-24.
- Trajano, E. 1987. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, 3 (8): 533 - 561.
- Trajano, E. 2004. America, South: Biospeleology. p. 57-59. In: Gunn, J. (Org.). *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. London.
- Trajano, E.; M. E. Bichuette & L. A. Souza. 2004. Expedição URCA-USP às cavernas da Chapada do Araripe, Ceará. *O Carste*, 16(3): 74-81.
- Trajano, E. & P. Gnaspini-Netto. 1991. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise da distribuição dos táxons. *Revista Brasileira de Zoologia*, 7 (3): 383 - 407.
- Trajano, E., S. I. Golovatch, J. Geoffroy, R. Pinto da Rocha & C. S. Fontanetti. 2000. Synopsis of Brazilian cave-dwelling millipeds (Diplopoda). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 41 (18): 259-287.
- Trajano, E & J. R. A. Moreira. 1991. Estudo da fauna de cavernas da Província Espeleológica Arenítica Altamira-Itaituba. *Revista Brasileira de Biologia*, 51: 13 - 29.
- Zeppelini-Filho, D.; A.C. Ribeiro; G.C. Cunha; M.P.A. Fracasso; M.M. Pavani; O.M.P. Oliveira; S.A. Oliveira; A.C. Marques. 2003. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 43(5): 93-99.

5.2. Geoespeleologia

- Ab'sáber, A. N. 1973. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. *Geomorfologia*, São Paulo, n.41, p.1-39.
- Atzingen, V, N.; Crescêncio, G. 1999. Estudos espeleológicos em Serra Pelada, Curionópolis – PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*: 63-72.
- Auler, .S. & Piló, L.B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *O Carste* 17(3): 70-72.
- Avenard, J.M. 1971. *Aspects de la geomorphologie de la Cote d'Ivoire*. In: *Le Milieu Naturel de la Cote d'Ivoire*. Memoires ORSTOM 50: 7-72.
- Axelrod, J.M.; Carron, M.K.; Milton, C.; Thayer, T.P. 1952. Phosphate mineralization at Bomi Hill and Bambuta, Liberia, West Africa. *The American Mineralogist* 37: 883-909.
- Bowden, D.J. 1980. Sub-laterite cave systems and other pseudo-karst phenomena in the humid tropics: The example of the Kasewe Hills, Sierra Leone. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 24: 77-90.
- Brandt, W. 1988. Espeleologia aplicada aos estudos de impacto ambiental. *Anais I Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe*, Belo Horizonte, p. 197-207.
- Campana B; Hughes FE; Burns WG; Whitcher IG; Muceniekos E. 1964. Discovery of the Hamersley Iron Deposits. *Proceedings of the Australian Institute of Mining and Metallurgy* 210: 1-30.
- Chabert, C.; Courbon, P. 1997. *Atlas des Cavités Non Calcaires du Monde*. Union Internationale de Spéléologie, Au Pré de Madame Carle, 109 p.
- Companhia Vale do Rio Doce - CVRD / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA. 2003. Plano de Manejo para uso múltiplo da floresta Nacional de Carajás. Capítulo 2 – Análise da Unidade de Conservação, Tomo I – Fatores abióticos.
- Cornell, R.M. & Schwertmann, U. 2003. *The iron oxides*. Wiley-Verlag. 474p.
- De Cheletat, E. 1938. Le modele latéritique de l'ouest de la Guinée française. *Revue Geographie Physique et Geologie Dynamique* 11: 5-120.
- Dixey, F. 1920. Laterization in Sierra Leone. *Geological Magazine* 57: 211.
- Dorr, J.N. 1945. *Manganese and Iron Deposits of Morro Urucum, Mato Grosso, Brazil*. USGS Bulletin 946-A: 1-47.
- Dorr, J.N. 1964. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology* 59: 1203-1240.
- Dorr, J.N. 1969. *Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. United States Geological Survey Professional Paper 641-A, 110p.

- Dorr, J.N.; Barbosa, A.L.M. 1963. *Geology and Ore Deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil*. USGS Professional Paper 341-C, 110 p.
- Elliot, W.R. 1981. Damming up the caves. *Caving International*, 10: 38-41.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: 411p.
- Ferreira, R.L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O carste* 17(3):106-115.
- Golder Associates Brasil Ltda. 2005. Relatório de Controle Ambiental – RCA – Projeto Serra Norte – 100 Mtpa. 1460p.
- Golterman, H.L.; Clymo, R.S. & Ohnstad, M.A.M. 1978. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, 210 p.
- Goudie, A.S. 1973. *Duricrusts in tropical and subtropical landscapes*. Oxford Research Series, 174 p.
- Guild, P.W. 1957. Geology and Mineral Resources of the Congonhas District. United States Geological Survey Professional Paper 290, 90 p.
- Gwynne-Jones, D.R.G. 1973. The Loma Mountains. *The Geographical Bulletin* 3.
- Henwood, W.J. 1871. On the gold mines of Minas Geraes. – in: Observations on metalliferous deposits. *Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall* 8: 168-370.
- Hill, C.; Forti, P. 1997. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, 463p.
- Jackson, M.L. 1974. *Análisis química de suelos*. Ediciones Omega SA. Barcelona. 662pp.
- Jutson, J.T. 1914. An outline of the physiographic geology (physiography) of Western Australia. *Geological Survey of Western Australia Bulletin* 61.
- Jutson, J.T. 1934. The physiography of western Australia. *Geological Survey Bulletin* 95.
- Lips, B.; Lips, J. 1996. Trois annés au Cameroun. *Echo des Vulcains* 54.
- Macambira, J.B. 2003. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará. 2003. Instituto de Geociências – Unicamp. (Tese de Doutorado).
- Maignien, R. 1966. *Review of research on laterite*. UNESCO Report, Paris.
- Mcbeath, D.M.; Barron, C.N. 1954. *Report on the lateritic ore deposits at Iron and Wamarra Mountains, Berbice*. British Guiana Rep. Geological Survey.
- Mcfarlane, M.J.; Twidale, C.R. 1987. Karstic features associated with tropical weathering profiles. *Zeitschrift fur Geomorphologie Suppl.* Bd 64: 73-95.
- Martini, J.E. 1993. A concise review of the cave mineralogy of South África. *Proc. Int. Congr. Speleol.* Beijing, p. 72-75.

- Maurity, C.W. 1995. *Evolução recente da cobertura de alterações no platô N1- Serra dos Carajás - PA*. Universidade Federal do Pará. 95 p. (Dissertação de Mestrado).
- Maurity, C.W.; Kotschoubey, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Série Ciências da Terra 7: 331-362.
- Maurity, C.W.; Kotschoubey, B. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *O carste* 17(3): 78-91.
- Moreira, J.R. de A; Pinheiro, R.V.L. & Paiva, R.S. 1986. Novos dados Espeleológicos dos Platôs N-4 e N-1, da Serra dos Carajás – PA. *Grupo Espeleológico Paraense – GEP*, 21p.
- Palmer 1991. Origin and morphology of limestones caves. *Geological Society of America Bulletin*, v.103, p.1-21.
- Piló, L.B. & Auler, A. S. 2005. As cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O carste* 17(3): 93-105.
- Piló, L. B.; Auler, A.; Ferreira, R.; Baeta, A.; Piló, H. 2005. *Estudos espeleológicos na mina de minério de ferro de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Minerações Brasileiras Reunidas - MBR. Relatório Inédito, 268p.
- Piló, L. B. & Auler, 2005. Cavernas de minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O Carste* 17(3):92-105.
- Piló, L. B. & Auler, 2006. *Estudos geoespeleológicos na mina do Pico do Itabirito, MG*. Minerações Brasileiras Reunidas - MBR. Relatório Inédito, 380p.
- Piló, L.B. & Andrade, R. Estudos espeleológicos na área da mina N5S. Companhia vale do Rio Doce – CVRD (inédito).
- Pinheiro, R.V.L.; Henriques, A.L.; Silveira, L.T.; Maurity, C.W. 1985. *Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA)*. Grupo Espeleológico Paraense. Relatório inédito, 38p.
- Pinheiro, R.V.L.; Maurity, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. *Anais 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe*, Belo Horizonte, pp. 179-186.
- Radambrasil, 1974. Levantamento de recursos naturais. Vol. 4. Folha SB.22 - Araguaia. Ministério das Minas e Energia. Dpto Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro, RJ.
- Ribeiro, D.T. 2003. *Enriquecimento Supergênico de Formações Ferríferas Bandadas: Estruturas de Colapso e Desordem*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124 p. (Tese de doutorado).
- Simmons, G.C. 1960. Origin of certain cangas of the “Quadrilátero Ferrífero” of Minas Gerais, Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia* 9: 37-59.

- Simmons, G.C. 1963. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin* 25: 66-72.
- Simmons, G.C. 1964. Leucophosphite, a new occurrence in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The American Mineralogist* 49: 377-386.
- Sponholz, B. 1994. Silicate karst associated with lateritic formations (examples from eastern Niger). *Catena* 21: 269-278.
- Tassini, R. 1947. *Verdades Históricas e Pré-Históricas de Belo Horizonte antes Curral Del Rey*. Edição do autor.
- Thomas, M.F. 1974. *Tropical Geomorphology*, London.
- Tolbert, G.E.; Tremaine, J.W.; Melcher, G.C.; Gomes, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology* 66: 985-994.
- Twidale, C.R. 1987. Sinkholes (dolines) in lateritised sediments, western Sturt Plateau, Northern Territory, Australia. *Geomorphology* 1: 33-52.
- Twidale, C.R.; Horwitz, R.C.; Campbell, E.M. 1985. Hamersley landscapes of Western Australia. *Revue Geologie Dynamique Geographie Physique* 26: 173-186.
- Urbani, F. 1975. Formas cársticas em depósitos de hierro residual. Edo. Bolívar, Venezuela. Simpósio 35º Aniversário Soc. Espeleol. Cuba, *Resumos*, p. 55-56.
- Vann, J.H. 1963. Developmental processes in laterite terrain in Amapá. *Geographical Review* 53: 406-417.

ANEXO

MAPA DAS CAVERNAS DE N5E