



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE DA ASSOCIAÇÃO  
PLENA EM REDE DAS INSTITUIÇÕES  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**LUCIANA MARTINS FREIRE**

**GEOCONSERVAÇÃO DE PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO NA AMAZÔNIA:  
PROPOSTA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL PARA A PROVÍNCIA  
ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA (PA).**

**FORTALEZA**

**2017**

LUCIANA MARTINS FREIRE

GEOCONSERVAÇÃO DE PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO NA AMAZÔNIA:  
PROPOSTA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL PARA A PROVÍNCIA  
ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA (PA)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F933g Freire, Luciana Martins.

Geoconservação de Patrimônio Espeleológico da Amazônia : proposta de planejamento ambiental para a Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA) / Luciana Martins Freire. – 2017.

211 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva .

Coorientação: Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo .

1. Geoconservação. 2. Espeleologia. 3. Amazônia. 4. Geodiversidade. I. Título.

---

CDD 333.7

LUCIANA MARTINS FREIRE

GEOCONSERVAÇÃO EM PATRIMÔNIOS ESPELEOLÓGICOS DA AMAZÔNIA:  
PROPOSTA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL PARA A PROVÍNCIA  
ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA (PA)

Defesa da Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Marta Celina Linhares Sales  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos  
Universidade Federal do Ceará (UECE)

---

Prof. Prof. Dr. Marcos Antonio Leite Nascimento  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo  
Universidade Federal do Pará (UFPA)

## **AGRADECIMENTOS**

O doutorado significa muito mais que a conquista de um título, mas a conclusão de uma importante etapa de quem ingressa na vida acadêmica. Para além do esforço pessoal, a concretização deste trabalho só foi possível graças à colaboração de inúmeras pessoas e instituições que contribuíram para o fechamento desse ciclo de quatro anos. Destaco aqui familiares, amigos, colegas e instituições que de alguma forma estiveram do meu lado, perto ou longe, direta ou indiretamente, pessoalmente ou virtualmente, meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente a Deus, obrigada por esta conquista! Acreditar em sua presença me fez companhia em momentos de decisão, idas e vindas voando entre Altamira e Fortaleza, ter saúde e segurança nas trilhas em campo, navegando pelas águas rio Xingu e caminhando no interior das cavernas.

A minha família, em especial aos meus pais, Maria Aldisia Martins Freire e Francisco Valmir Freire, e minha irmã, Suzana Martins Freire, que torceram e oraram pelo meu sucesso desde o processo seletivo do doutorado até os últimos dias da pesquisa e defesa.

A meu esposo Joselito Santiago de Lima, meu companheiro desde a graduação e que, além do carinho, compreensão e estímulo à pesquisa, foi o maior incentivador ao meu crescimento acadêmico e profissional, além de ser meu terceiro orientador nas trocas de ideias desta pesquisa. Toda minha gratidão e amor.

Ao meu orientador e amigo, professor Edson Vicente da Silva, o famoso Cacau, pelo apoio, pela determinação, pela confiança e, sobretudo, pelo profissionalismo com que me orientou. Pela fiel e divertida presença em campo e por nunca me deixar na mão mesmo diante da rotina corrida do seu dia a dia.

Ao professor Cesar Ulisses Veríssimo, coorientador da pesquisa, tão orientador quanto professor Cacau, pelos caminhos e aproximação aos estudos geológicos e espeleológicos, sempre presente e atencioso.

Ao professor Roberto Vizeu, do Instituto de Geologia da UFPA, meu primeiro contato sobre o conhecimento espeleológico da Amazônia, a quem terei eterna gratidão por tão gentilmente aceitar coordenar um projeto interinstitucional proposto por mim para estudarmos a Província Espeleológica Altamira-Itaituba. Não posso esquecer que foi quem me indicou e apresentou ao professor Cesar. Esperamos manter parcerias para desenvolvermos mais estudos espeleológicos.

Aos amigos: Paulo Henrique (PH), meu colega de graduação e mestrado, amizade sólida e partilhada até hoje e sempre tão prestativo nas traduções dos *abstracts*; Eder Mileno, pelas conversas, pelas discussões, pela opinião e pela co-participação em campo, além das dicas e auxílios na elaboração dos mapas; Juliana Farias, pela amizade construída e consolidada nesse período de convivência na UFC; Rony Iglecio, sempre torcendo pelas minhas conquistas desde os tempos de graduação e dividindo experiências docentes; Ulisses Albino, colega da FACBIO/UFPA/Altamira, pela oportunidade de conhecer melhor sobre bioespeleologia, compartilhar um pouco de suas pesquisas, além da companhia em campo; Alzirene e Renato, amigos e vizinhos, sempre disponíveis nos auxílios enquanto me encontrava distante da cidade de Altamira e nas ausências de casa.

A todos os colegas e “ex-colegas” da FACGEO/UFPA, que me concederam apoio a pesquisa, oportunizando afastamento integral para a dedicação exclusiva aos estudos. A Herrera, por me ajudar nos contatos e informações da região do Xingu. A José Neto, pela atenção na indicação dos caminhos na obtenção de dados da região e UHE Belo Monte. A Yarnel, sempre na torcida pelo meu sucesso neste doutorado. A Márcia Saraiva, pela atenção e por me atender a distância em algumas situações institucionais.

Aos professores Marta Celina Linhares Sales (UFC), Frederico de Holanda Bastos “Fred” (UECE), Carlos Alexandre Bordalo (UFPA), Marcos Nascimento (UFRN), componentes da Banca Examinadora, que se prontificaram, com muita boa vontade, a avaliar este trabalho. Ao professor Fred, destaco sua participação também na qualificação, trazendo colaborações fundamentais. Aos professores José Palhares (UNIFAP) e Antônio Jeovah (UFC) pela participação na qualificação.

Aos professores do PRODEMA, dos Departamentos de Geografia e de Geologia da UFC, com quem tive convivência nas disciplinas. Aos coordenadores do Doutorado no PRODEMA, enquanto estive aluna, professores George Satander e Vlândia Oliveira, pela atenção. Sem deixar de citar a secretária Sônia Almeida, pelas diversas vezes que a aperreei e contei com sua irrestrita ajuda e tira dúvidas.

Aos meus colegas de doutorado do PRODEMA, Geny, Huáscar, Sâmila e, particularmente Nagilane, sempre dividindo comigo as angústias e dificuldade enfrentadas nos caminhos percorridos durante o curso e experiências docentes. Incluo, ainda, Lucivânio Jatobá, colega do PRODEMA de Recife (UFPE), a quem tive

a grata oportunidade de conhecer pessoalmente e consolidar amizade, também dividindo as angústias e adversidades da vida acadêmica. Enfatizo, também, a divertida oportunidade de conviver com os colegas do curso de mestrado do PRODEMA (turma 2013), que durante um ano pudemos realizar disciplinas juntos, dentre os quais ganhei como amigo Raul Carneiro, pelas divertidas conversas sobre nossas pesquisas e torcida mútua.

A Universidade Federal do Ceará, em especial o Laboratório de Geoecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental (LAGEPLAN), onde tive oportunidade de convivência acadêmica e troca de experiências.

Ao Campus Universitário de Altamira da UFPA, meu ambiente de trabalho, minha casa em Altamira, que junto ao seu conselho me concedeu quatro anos de afastamento para que eu tivesse total dedicação a esta pesquisa. Incluo, ainda, as portas sempre abertas para realização de eventos nas oportunidades de campo, tais como a “I Semana de Geociências” (2015) e a palestra e o minicurso ministrados pelo Prof. Cacau (2017). Ótimas oportunidades que pude oferecer a comunidade acadêmica.

Toda minha gratidão a Adriana Trevisan, querida ex-aluna, e seu pai Mino Trevisan, tão importantes na participação desta pesquisa, os quais me apresentaram e mostraram os caminhos para a Caverna do Limoeiro, em Medicilândia. A seu Mino o meu “muito obrigada” pelas trilhas *off-road* em seu veículo, além dos deliciosos almoços oferecidos a cada visita em campo e sempre nos contando sobre a história de coragem em que a família Trevisan chegou na região Transamazônica.

Ao casal Divino e Ciene, da família do seu Eliaquim, proprietário da fazenda Boa Esperança, ponto de partida para as trilhas que nos levaram a Caverna Pedra da Cachoeira. Agradecimento especial ao seu Divino que sempre tão prestativo e atencioso, nos conduziu em seu veículo em estrada *off-road* e, ainda, nos guiou pela trilha em meio a floresta preservada que nos leva a bela cachoeira que dá nome a caverna, além das histórias de quem vive na zona rural da região e se utiliza da floresta para cura.

A Eduardo Modesto e Ivonete (Profa. Netinha), pela recepção no Sítio Raízes do Xingu, em Brasil Novo, oportunidade onde pudemos conhecer a Caverna Planaltina e as belezas de seu entorno.

Navegando pelo rio Xingu numa voadeira, agradeço a simpatia do sr. Raimundo, que nos conduziu, nos apresentou os pontos de interesse em campo e nos contou ricas histórias desta região e sua comunidade.

Ao prof. Alan Nunes Araujo da faculdade de Engenharia Florestal/UFPA/Altamira, quem conheci já no finalzinho da edição desta tese, mas que pode me auxiliar num último ajuste me apresentando seu aluno, Jhonata Ribeiro, tão atencioso e prestativo na arte do Zoneamento Ambiental Espeleológico feito na planta baixa da Caverna do Limoeiro. Ao prof. Hermes Medeiros, da FACBIO/UFPA/Altamira, que tão gentilmente nos cedeu capacetes para campo.

A Universidade Federal do Pará (UFPA) e a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA), instituições que concederam bolsa de doutorado e apoio a mobilidade (Edital FAPESPA Nº18/2014), recursos oferecidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), dando melhores condições para minha dedicação a esta pesquisa.

Mesmo não conhecendo pessoalmente, tenho agradecimentos importantes de pessoas que me ajudaram e tiraram dúvidas virtualmente: Rubens Hardt, sobre carstificação em arenitos; Juliana Costa, sobre a estrutura geológica em Medicilândia; e amigos do grupo de *whatsapp* “Prodoutoral-FAPESPA” Jéssika, Rubens, Eliana, Edilene, Guilherme, Anderson e Mayrla, onde dividimos casos e acasos acadêmicos, todos provenientes de áreas e *campi* da UFPA diferentes, tentamos nos ajudar até onde foi possível.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização desta tese durante esses quatro anos, bem como para o meu crescimento acadêmico e profissional. A todos, meus sinceros agradecimentos! ☺

“Cavernas segredam.  
São entradas de nossas almas,  
Povoam-se de rios em nossos  
subterrâneos,  
Turbulentos ou lentos, não importa,  
Deságuam e transbordam nossas  
energias.

Fluímos como rios subterrâneos,  
Ouvindo os múltiplos murmúrios das  
cavernas,  
Águas que constroem sensações, feições,  
Na mágica experiência, despertam  
paisagens,  
Onde repousam nossos ideais  
espeleológicos.” (Luiz Afonso Figueiredo).

## RESUMO

A região Amazônica é rica em feições geomorfológicas resultantes da interação sistêmica de elementos da natureza, entre os quais se destacam o patrimônio espeleológico e sua geodiversidade. A Espeleologia, por sua vez, é uma área de conhecimento de múltiplo sentido (científico, esportivo, turístico e sociocultural), a qual se dedica a estudar a natureza, a gênese e os processos de formação das cavidades naturais subterrâneas (cavernas, grutas, abrigos, etc.) e suas feições relacionadas, incluindo ainda os seus aspectos biológicos. Nesse contexto, a pesquisa desenvolve-se na Província Espeleológica Altamira-Itaituba, localizada no estado do Pará, situada na faixa de contato dos domínios geológicos da Bacia Sedimentar do Amazonas e do Embasamento Cristalino do Complexo Xingu. O objetivo principal é apresentar um diagnóstico das paisagens naturais e culturais desta província, tendo como instrumento final a proposição do planejamento ambiental voltado para a geoconservação da paisagem. A Geoecologia das Paisagens trouxe o embasamento metodológico para a construção da proposta de planejamento ambiental, em que possibilitou uma maior articulação entre os diferentes aspectos de formação e funcionamento da paisagem. A inexistência de unidades de conservação na área da província espeleológica leva a uma preocupação inicial, uma vez que esses ambientes são configurados por formas de relevo desenvolvidas em rochas cársticas não carbonáticas. Tem-se, então, uma contribuição à pesquisa espeleológica e geomorfologia cárstica, além de ampliar e aprofundar os estudos voltados para a conservação do patrimônio geológico e a geodiversidade da Amazônia. A partir do diagnóstico ambiental integrado da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, foi selecionada a Caverna do Limoeiro e seu entorno como um exemplo de proposta de planejamento ambiental, a partir da qual foram reconhecidos os valores da geodiversidade local e o potencial geoturístico, com a projeção de cenários de visitação. Por fim, apresentou-se uma leitura de ações de proteção e gestão ambiental junto a uma proposta de Zoneamento Ambiental Espeleológico aplicado a Caverna do Limoeiro. Tem-se aqui uma importante contribuição aos estudos espeleológicos na Amazônia e a valorização de sua geodiversidade no âmbito dos estudos ambientais integrados.

**Palavras-chave:** Geoconservação. Espeleologia. Amazônia. Geodiversidade.

## ABSTRACT

The Amazon region has significant diversity in geomorphological features resulting from the systemic interaction of elements of nature, among which are the speleological patrimony and its geodiversity. Speleology is an area of knowledge of multiple meanings (scientific, sport, tourism and sociocultural), which is dedicated to studying the nature, genesis and processes of formation of the natural underground caverns (caves, shelters, etc.) and their related features, including their biological aspects. In this context, the research is developed in the Altamira-Itaituba Speleological Province, in the state of Pará, located in the contact of the geological domains of located in the contact strip of that following geologic domains: Amazonas Sedimentary Basin and of basement of Xingu Complex. The main objective is to present a diagnosis of the natural and cultural landscapes of this province, having as final instrument the proposal of environmental planning and geoconservation of the landscape. The Geoecology of Landscapes is the methodological basis for the construction of the proposal of environmental planning, in which it made possible a greater articulation between the different aspects of formation and operation of the landscape. The lack of conservation units in the speleological province is a concern, since these environments are configured by relief forms developed in non-carbonate karst rocks. A contribution is made to speleological research and karstic geomorphology, as well as to broaden and deepen studies aimed at the conservation of geological heritage and the geodiversity of the Amazon. Based on the integrated environmental diagnosis of the Altamira-Itaituba Speleological Province, the Limoeiro Cave and its surroundings were selected as an example of a proposal for environmental planning, from which the values of local geodiversity and geotourism potential were recognized, with a projection of visitation scenarios. Finally, a reading of environmental protection and management actions was presented along with a proposal for the Speleological Environmental Zoning applied to Limoeiro Cave. An important contribution has been made here to speleological studies in the Amazon and the appreciation of its geodiversity in the context of integrated environmental studies.

**Keywords:** Geoconservation. Speleology. Amazon. Geodiversity.

## RESUMEN

La región amazónica es rica en características geomorfológicas que resultan de la interacción sistémica de elementos de la naturaleza, entre los que destacan el patrimonio espeleológico y su geodiversidad. La Espeleología, a su vez, es un área de múltiples conocimientos (científico, el deporte, el turismo y socio-culturales), que se dedica al estudio de los procesos de la naturaleza, génesis y formación de cavidades subterráneas naturales (cuevas, refugios, grutas, etc.) y sus características relacionadas, incluyendo también sus aspectos biológicos. En este contexto, la investigación se desarrolla en la Provincia Espeleológica Altamira-Itaituba, en el estado de Pará, ubicada en el contacto de los dominios geológicos de la franja de contacto de los siguientes dominios geológicos: Amazonas y el basamento cristalino del Complejo Xingu. El objetivo principal es presentar un diagnóstico de los paisajes naturales y culturales de esta provincia, como instrumento para proponer la planificación ambiental centrada en la geoconservación del paisaje. El geoecología de paisajes trajo la base metodológica para la construcción de la propuesta de planificación ambiental, lo que permitió una mayor coordinación entre los diferentes aspectos de la formación y el funcionamiento del paisaje. La falta de unidades de conservación en la región de la provincia espeleología conduce a una preocupación inicial, ya que estos ambientes son formas de relieve desarrolladas en rocas de karst no carbonático. Hay, pues, una contribución a la investigación espeleológica y geomorfología kárstica, fuera de ampliar y profundizar los estudios relacionados con la conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad de la Amazonia. A partir del diagnóstico ambiental integrado de la Provincia Espeleológica Altamira-Itaituba, se seleccionó la Cueva del Limoeiro y su entorno como un ejemplo de propuesta de planificación ambiental, en que se reconocieron los valores de geodiversidad local y el potencial geoturístico, con la proyección de los escenarios de visita. Por último, presentó una lectura de las acciones de protección y gestión ambiental con una propuesta de Zonificación Ambiental Espeleológica de la Cueva del Limoeiro. Tenemos aquí una importante contribución a los estudios espeleológicos en el Amazonas brasileña y la apreciación de su geodiversidad dentro de los estudios ambientales integrados.

**Palavra-llave:** Geoconservacion. Espeleología. Amazonia. Geodiversidad.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Ranking dos estados brasileiros por ordem do número de cavernas .....	35
Figura 02 - Petroglifos do Abrigo da Gravura, Altamira/PA .....	36
Figura 03 - Pinturas rupestre registradas no Parque Nacional de Sete Cidades, Piracuruca/PI .....	36
Figura 04 - Antigo horizonte lenticular de cinzas e carvões na Gruta do Ballet, em Lagoa Santa/MG .....	37
Figura 05 - Rapel de 72 m de altura na Caverna do Abismo Anhumas - Bonito / MS .....	38
Figura 06 - Flutuação na caverna do Poço Azul, na Chapada Diamantina/BA ....	38
Figura 07 - Mergulho na Gruta do São Matheus, em Bonito/MS .....	39
Figura 08 - Passeio de Barco realizado no Abismo Anhumas, em Bonito/MS .....	39
Figura 09 - Perfil esquemático do sistema cárstico, compreendendo o carste superficial, o epicarste e o carste subterrâneo (cavernas) .....	44
Figura 10 - Principais aplicações da geodiversidade .....	54
Figura 11 - Diagrama simplificado do sistema de valores da geodiversidade ....	57
Figura 12 - Mapa de localização das propostas de Geoparques do Projeto Geoparques (2012) .....	60
Figura 13 - Osso de bisonte descoberto na Gruta des Trois Frères (Ariège, França) com gravação de ortóptero cavernícola .....	61
Figura 14 - Anfíbio troglóbico <i>Proteus anguinus</i> .....	62
Figura 15 - Modelo do Equilíbrio da biota de acordo com a Teoria da Biogeografia de Ilhas .....	65
Figura 16 - Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema .....	70
Figura 17 - Esboço de uma definição teórica de geossistema .....	72
Figura 18 - Relação entre as categorias analíticas da Geografia .....	77
Figura 19 - Fases do Planejamento e Gestão Ambiental .....	87
Figura 20 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa .....	98
Figura 21 - Mapa do estado do Pará com a localização das cinco províncias espeleológicas conhecidas .....	102
Figura 22 - Bloco diagrama esquemático da Borda Sul da Bacia Sedimentar do Amazonas – proximidades de Altamira, Estado do Pará, ilustrando o posicionamento das suas Formações Geológicas em relação aos elementos de relevo e padrão de drenagem da região (sem escala) .....	103

Figura 23 - Carta litoestratigráfica da Bacia do Amazonas .....	105
Figura 24 - Explicação esquemática dos estágios de desenvolvimento de cavernas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba .....	108
Figura 25 - Fraturamento na Caverna da Planaltina (Brasil Novo-PA) condicionando a esculturação cárstica por meio dos processos erosivos .....	109
Figura 26 - Ampliação e exposição dos condutos e galerias evidenciados pela oscilação do nível do lençol freático (caixa de ovos no teto), processos erosivos (escavamento do relevo pelo fluxo d'água), desagregação mecânica dos grãos (paredes) e intemperismo químico (parte escurecida do teto) na Caverna Pedra da Cachoeira (Altamira-PA) .....	110
Figura 27 - Representação esquemática das feições erosivas <i>piping</i> .....	111
Figura 28 - Aspectos de feições em coralóides e pipocas de sílica na gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA). O apito representa uma escala de 4cm .....	113
Figura 29 - Teto na Caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA) .....	113
Figura 30 - À esquerda, presença de cúpulas de dissolução, com presença de morcegos sobrevoando a área. À direita, detalhe do teto com noção de escala da área observada. Caverna do Limoeiro, Medicilândia (PA) .....	114
Figura 31 - Aspecto de <i>scallops</i> no teto da caverna do Limoeiro, Medicilândia (PA) .....	115
Figura 32 - Aspectos do teto laminado da gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA) .....	116
Figura 33 - Espécie de barata ( <i>Blaberus parabolicus</i> ) e Oniscidea <i>Scleropactidae</i> ( <i>Amazoniscus</i> ) presentes na gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA) .....	117
Figura 34 - Presença de morcegos agrupados no teto da caverna do Limoeiro, Medicilândia (PA) .....	118
Figura 35 - Anuros (sapo): À esquerda na gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA), e à direita na caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA) .....	118
Figura 36 - Presença de Amblipígeo <i>Heterophrynus Longicornis</i> no teto da caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA) .....	119
Figura 37 - Ocorrência de plantas brotando no interior da gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA) .....	121
Figura 38 - Pinturas rupestres localizadas em zonas afóticas da Caverna das Mãos, Rurópolis-PA; (a,b,c) Mãos em positivo; (d) biomorfo .....	123
Figura 39 - Detalhe de gravuras em baixo relevo observadas no interior do Abrigo da Gravura, Altamira (PA) .....	123
Figura 40 - Dados gerais da Região do Xingu .....	127

Figura 41 - Cachoeira próxima a caverna da Pedra da Cachoeira, Altamira/PA .....	131
Figura 42 - Ocorrência de estratificação cruzada em parede arenítica da caverna da Pedra da Cachoeira, resultado de rápidas mudanças de direção do agente de transporte durante a formação da estrutura sedimentar local (Formação Maecuru) .....	132
Figura 43 - Aspecto do pórtico e entradas da caverna Pedra da Cachoeira. A direita detalhe do salão, externo a caverna. A esquerda, passagem em teto baixo, configurando uma das entradas da caverna (entrada sul) .....	133
Figura 44 - Planta Baixa detalhada da Caverna Pedra da Cachoeira .....	133
Figura 45 - Córrego GEP-Amor e cachoeira CNECxo, visualizados a partir do salão Angelino, no interior da Caverna Pedra da Cachoeira .....	134
Figura 46 - Feições dos espeleotemas da caverna Pedra da Cachoeira. (A) desenvolvimento de <i>scallops</i> ; (B) teto anastomosado; (C) escorrimentos ou pequenas cortinas .....	135
Figura 47 - Gruta Leonardo da Vinci e cachoeira .....	136
Figura 48 - À esquerda, vista a partir do salão Leonardo, a entrada principal; e à direita, vista do salão Da Vinci detalhe do entulho de blocos abatidos de uma das entradas menores .....	137
Figura 49 - Planta baixa detalhada da gruta Leonardo da Vinci .....	137
Figura 50 - Plântulas presentes no piso na gruta Leonardo da Vinci, em meio ao conjunto de blocos abatidos e sedimento rico em matéria orgânica .....	138
Figura 51 - Ocorrência de água manando na parede da gruta Leonardo da Vinci e formação de pequenos escorrimentos (acinzentados e avermelhados), com 2 a 3 cm de desenvolvimento .....	139
Figura 52 - Detalhe do teto plano e a formação de coraloides de dimensões bem reduzidas .....	139
Figura 53 - (A) e (B) Marmitas ocorrentes no principal acesso da gruta Leonardo da Vinci e (C) Cúpula de dissolução no teto do salão Leonardo .....	140
Figura 54 - Cachoeira Planaltina, Brasil Novo/PA .....	141
Figura 55 - Planta baixa detalhada da Caverna da Planaltina, Brasil Novo/PA .....	142
Figura 56 - A esquerda, entrada da caverna da Planaltina. A direita, o salão Palatino com blocos abatidos ao fundo e feições do teto anastomosado .....	143
Figura 57 - Plântulas bem desenvolvidas em câmara escura da Caverna da Planaltina (A) e Raízes de plantas externas à caverna no mesmo ambiente (B) .....	145

Figura 58 - Entrada da caverna da Planaltina com placas de recomendação e correntes de proteção, inibindo o acesso ao seu interior .....	146
Figura 59 - A esquerda, parede com pichações em baixo relevo. A direita, colocação de sacas de areia para direcionamento do córrego .....	146
Figura 60 - Petroglifos registrados em diferentes pontos do abrigo da Gravura .....	147
Figura 61 - Vista da área onde está localizado o Abrigo da Gravura (antes da cheia da represa), na margem esquerda do rio Xingu, com destaque para a vegetação preservada no local .....	148
Figura 62 - Plana baixa detalhada do abrigo da Gravura .....	149
Figura 63 - Abrigo da Gravura, com marcações dos trabalhos de escavação arqueológica. Na foto da esquerda detalhe de um dos locais onde estão gravados os petroglifos .....	150
Figura 64 - Abrigo da Gravura antes (à esquerda) e depois (à direita) da cheia do rio Xingu pela represa da UHE Belo Monte, com destaque do local da margem .....	151
Figura 65 - Plana Baixa da Caverna do Limoeiro, Medicilândia/PA .....	152
Figura 66 - Salão de saída do rio da Caverna do Limoeiro .....	153
Figura 67 - (A) Afloramento de folhelhos ao longo da Galeria Suja; (B) Estrutura tipo <i>caixa-de-ovos</i> observada no teto da galeria suja; (C) Detalhe de <i>scallops</i> observados localmente nas paredes e teto da galeria suja .....	154
Figura 68 - À esquerda, Lagoa Azul e cachoeira; à direita, pequena cavidade inundada a poucos metros da lagoa Azul .....	155
Figura 69 - À esquerda, lixo e resquício de fogueira na Gruta Leornado da Vinci; À direita, pichações em parede da Caverna do Limoeiro .....	157
Figura 70 - Desvio do curso d'água na caverna da Planaltina para fins de movimentação da roda para bombear água .....	158
Figura 71 - Área de pasto limite da caverna da Planaltina em propriedade vizinha .....	159
Figura 72 - Detalhe de gravuras registradas na parede do Abrigo da Gravura, em processo de degradação natural .....	163
Figura 73 - Balneário Ponte de Pedra, com formação rochosa que o denominou, no município de Medicilândia/PA .....	168
Figura 74 - Fábrica de Chocolates Cacaway, Medicilândia/PA .....	169
Figura 75 - Entrada principal da caverna do Limoeiro .....	171
Figura 76 - Presença de Amblipígeo (a esquerda) e morcegos (a direita) em diferentes ambientes da caverna do Limoeiro, Mecedilândia/PA .....	172
Figura 77 - Lagoa Azul, Medicilândia/PA .....	173

Figura 78 - “Ponte de Pedra”, localizada no balneário de mesma denominação no município de Medicilândia/PA .....	175
Figura 79 - Esquema metodológico da relação entre a Geoconservação e o Planejamento Ambiental baseado na Geoecologia de Paisagens .....	176
Figura 80 - Planta baixa da Caverna do Limoeiro com apresentação da proposta de Zoneamento Ambiental Espeleológico .....	186
Figura 81 - Área da Caverna do Limoeiro, próxima da segunda entrada, onde seria permitida visitação do público com uso de equipamento de proteção individual .....	187
Figura 82 - Ponto de visitação do público localizado próximo a segunda entrada da Caverna do Limoeiro .....	188
Figura 83 - Área da ocorrência da lente de folhelho, na Caverna do Limoeiro ....	189
Figura 84 - Salão Vermelho com lente de folhelho, localizado no início da Galeria Suja da Caverna do Limoeiro. Detalhe da presença marcante de morcegos no teto .....	191
Figura 85 - Galeria Suja, com ocorrência de <i>scallops</i> (a esquerda) e presença de comunidade de amblipígeos (a direita) .....	191
Quadro 1 - Síntese do Diagnóstico Ambiental Integrado .....	166
Quadro 2 - Perfis de visitantes considerados para a análise do uso público .....	179
Mapa 01 - Localização das cavernas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA) .....	25
Mapa 02 - Localização das cavernas estudadas .....	27
Mapa 03 - Distribuição geoespacializada das principais regiões cársticas do Brasil e cavernas registradas .....	34
Mapa 04 - Litoestratigrafia das cavernas estudadas .....	106
Mapa 05 - Roteiro de visitação dos atrativos turísticos no município de Medicilândia .....	180

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Litologia e número de cavernas do Brasil .....	51
Tabela 02 - Litologia e porcentagem de cavernas do Pará .....	101
Tabela 03 - Matriz de avaliação qualitativa dos impactos ambientais nas cavernas estudadas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba .....	160
Tabela 04 - Escalas de visitação para a projeção de cenários de uso público .....	181
Tabela 05 - Cenários de visitação projetados .....	181

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAI	Avaliação Ambiental Integrada
ADA	Área Diretamente Afetada
AID	Área de Influência Direta
AHE	Aproveitamento Hidrelétrico
AM	Amazonas
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CECAV	Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas
CEU	Centro Excursionista Universitário (Universidade de São Paulo - USP)
CNC	Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil
CNUCED	Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA	Estudo de Impactos Ambientais
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará
GEP	Grupo Espeleológico Paraense
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GTP	Geossistema, Território e Paisagem
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LandSat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LABGEO	Laboratório de Geoprocessamento (UFPA)
MG	Minas Gerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso

ONG	Organização Não Governamental
OSGeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
PA	Pará
PI	Piauí
PME	Plano de Manejo Espeleológico
PR	Paraná
PRODEMA	Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
PRODES	Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SBE	Sociedade Brasileira de Espeleologia
SC	Santa Catarina
SEE	Sociedade Excursionista e Espeleológica (Ouro Preto-MG)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SP	São Paulo
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TO	Tocantins
UC	Unidade de Conservação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPA	Universidade Federal do Pará
UHE	Usina Hidrelétrica
UIS	União Internacional de Espeleologia ( <i>Union Internationale de Spéléologie</i> )
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
ZAE	Zoneamento Ambiental Espeleológico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	23
<b>2</b>	<b>ESPELEOLOGIA E PAISAGEM CÁRSTICA: conceitos e aspectos relacionados ao estudo das cavernas</b> .....	30
2.1	Definições e características da paisagem cárstica .....	39
2.2	Pseudocarste ou Carste não carbonático? Uma nova abordagem do conceito espeleológico e sua importância ambiental .....	48
2.3	Geodiversidade e Geoconservação: critérios para proteção de cavernas não carbonáticas .....	52
2.4	Descobrimo o isolamento: a Biogeografia de Ilhas aplicada ao estudo espeleológico .....	61
<b>3</b>	<b>OS PERCURSOS DA PESQUISA: conceitos, temas e métodos</b> .....	68
<b>3.1</b>	<b>Geossistema e Geoecologia das Paisagens: bases teóricas e metodológicas aplicadas à análise da paisagem e ao planejamento ambiental</b> .....	68
3.1.1	<i>Geossistema como fundamento para a análise integrada da paisagem.</i>	69
3.1.2	<i>Geoecologia das Paisagens: enfoque metodológico</i> .....	75
3.1.3	<i>As intenções do Planejamento Ambiental e sua aplicabilidade na Espeleologia</i> .....	79
<b>3.2</b>	<b>Caminhos e técnicas da pesquisa</b> .....	86
3.2.1	<i>Fase de Organização e Inventário</i> .....	87
3.2.2	<i>Fase de Análise</i> .....	89
3.2.3	<i>Fase de Diagnóstico</i> .....	94
3.2.4	<i>Fase de Prognóstico</i> .....	96
3.2.5	<i>Subsídios à fase de execução</i> .....	97
<b>4</b>	<b>ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA, PARÁ</b> .....	99
<b>4.1</b>	<b>Abordagem geodinâmica de estruturação da paisagem cárstica</b> .....	100
<b>4.2</b>	<b>Bioespeleologia local: riqueza biológica do ambiente subterrâneo.</b>	117
<b>4.2</b>	<b>Registros arqueológicos</b> .....	121

<b>4.4 Breve Histórico e Aspectos Socioeconômicos da Região do Xingu</b> .....	124
4.4.1 <i>Contextualização histórica da Usina Hidrelétrica de Belo Monte</i> .....	127
<b>5 CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS: uma amostra das principais unidades de paisagem da Província Espeleológica Altamira-Itaituba/PA</b> .....	130
5.1 <b>Caverna da Pedra da Cachoeira</b> .....	130
5.2 <b>Gruta Leonardo da Vinci</b> .....	135
5.3 <b>Caverna da Planaltina</b> .....	140
5.4 <b>Abrigo da Gravura</b> .....	147
5.5 <b>Caverna do Limoeiro</b> .....	151
<b>6 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO</b> .....	156
6.1 <b>Impactos Ambientais constatados</b> .....	156
6.2 <b>Riscos Ambientais: limitações ao uso</b> .....	160
6.3 <b>Estado de conservação e relevância ambiental</b> .....	161
<b>7 PROPOSTA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO E GEOCONSERVAÇÃO DA CAVERNA DO LIMOEIRO E SEU ENTORNO</b> .....	167
7.1 <b>Valores da Geodiversidade local</b> .....	170
7.1.1 <i>Caverna do Limoeiro</i> .....	170
7.1.2 <i>Lagoa Azul</i> .....	172
7.1.3 <i>Ponte de Pedra</i> .....	174
7.2 <b>Uma proposta de gestão: fase de prognóstico</b> .....	175
7.2.1 <i>Potencial Geoturístico: projeção de cenários de visitação</i> .....	177
7.2.2 <i>Ações de proteção e gestão ambiental: modelos e propostas</i> .....	182
7.3 <b>Proposta de Zoneamento Ambiental Espeleológico</b> .....	185
7.3.1 <i>Zona de Uso Intensivo</i> .....	187
7.3.2 <i>Zona de Uso Extensivo</i> .....	188
7.3.3 <i>Zona Primitiva</i> .....	190
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	192
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	199

## 1 INTRODUÇÃO

A natureza desenhou ao longo do tempo geológico paisagens espetaculares no planeta Terra, muitas foram estudadas a fundo, entendidas em seu contexto científico, tanto nos aspectos de formação físico-geográfica como também no contexto cultural, aonde a humanidade vem traçando seus caminhos e percursos até a evolução tecnológica, que se apresenta na atualidade. Poucos lugares e paisagens restam a ser explorados, dentre os quais se destacam as cavernas que são ainda consideradas ambientes desconhecidos, muitas delas sem qualquer contato por parte do ser humano, e que representa uma paisagem que tem muito a oferecer na investigação sobre o passado do planeta e da vida.

O silêncio e a escuridão que caracterizam uma caverna transmitem sentimentos confusos, tais como a curiosidade de conhecer algo inédito, o medo de avançar em uma dimensão totalmente diferente do ambiente externo, a ansiedade e o desejo de desvendar os mistérios que estão resguardados sobre elas. Sabe-se que ali não se encontram apenas paredes moldadas pela ação dinâmica da água em na estrutura rochosa, mas também são reconhecidas formas de vida únicas daquele lugar, e ainda registros do passado do próprio ser humano.

As cavernas já conhecidas e exploradas revelam usos diversos, a partir dos levantamentos para estudos científicos, os quais destacam formas de lazer, turismo e esporte. Nesse contexto, surge a Espeleologia, mencionada como ciência-esporte (LINO; ALLIEVE, 1980; AULER; ZOGBI, 2005; LINO, 2009; FIGUEIREDO, 2010) por abranger em seu estudo múltiplos usos.

Espeleologia (do grego *spelaiou* = “caverna”) é a ciência que estuda as cavidades naturais subterrâneas que se desenvolvem por meio de fenômenos cársticos, abrangendo conhecimentos sobre sua formação e caracterização geológica, sua biodiversidade, além do estabelecimento de planos de gestão, envolvendo estratégias de preservação e conservação. Trata-se de um ramo das ciências ambientais ainda pouco desenvolvido no Brasil, apresentando uma fundamentação teórica sistêmica, envolvendo a interdisciplinaridade e englobando várias áreas de conhecimento e pesquisa, tais como Geologia, Geografia, Biologia, Hidrologia, Arqueologia, Antropologia e Turismo, entre outras.

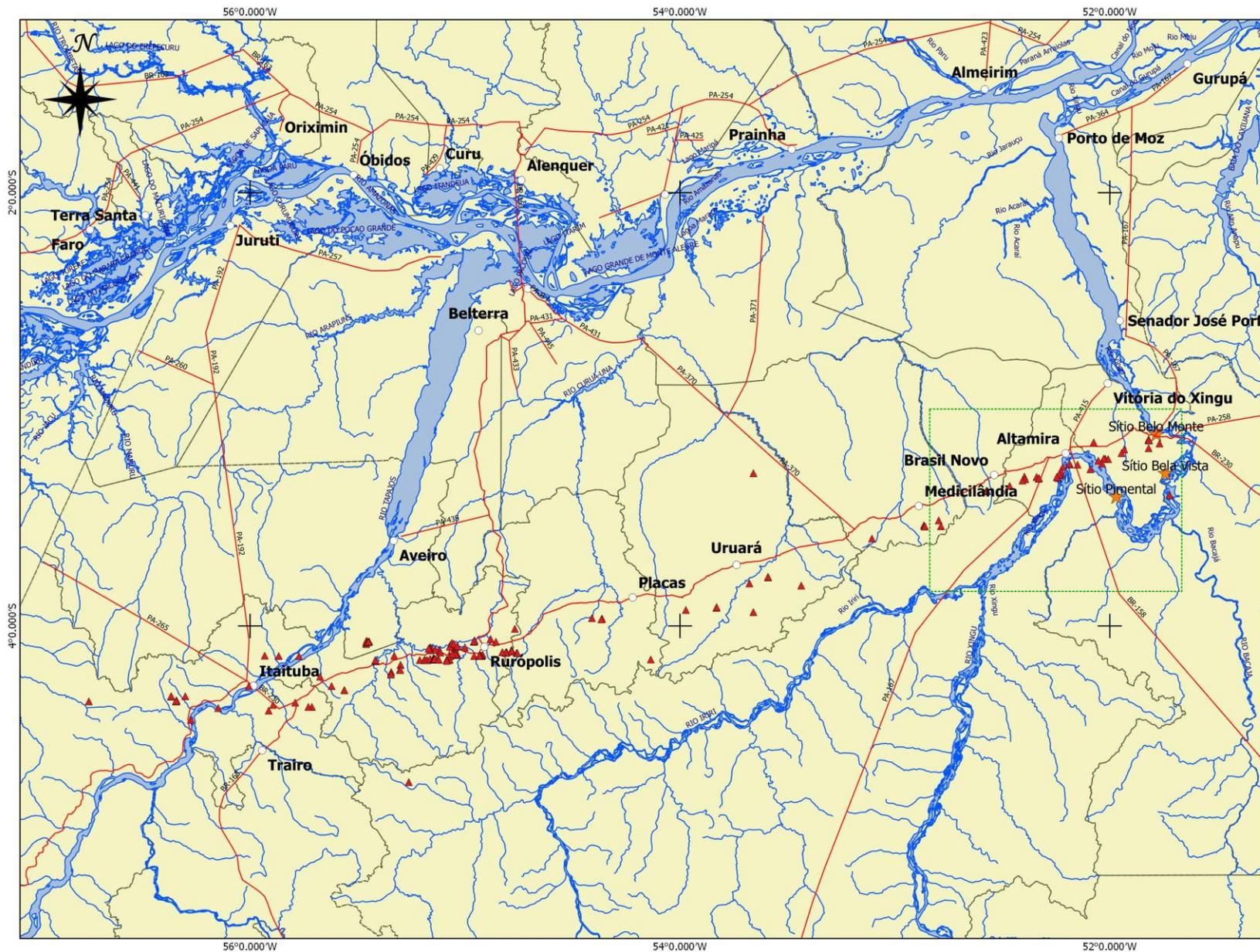
Não há uma regra geral para a ocorrência de cavernas, estando estas associadas a diversas tipologias geológicas. A Região Amazônica é caracterizada

por feições geológico-geomorfológicas de terras baixas florestadas, rica biodiversidade e porte hídrico de destaque mundial. Por baixo de seu famoso e único conjunto florestal, são identificadas unidades de sistemas ambientais diferenciadas pela complexidade nas interações dos seus componentes naturais, onde se destaca a presença de paisagens cársticas. Algumas dessas paisagens de exceção encontram-se inseridas no contexto geológico da bacia sedimentar do Amazonas, no qual se apresentam cavidades naturais subterrâneas, mais comumente designadas como cavernas, que fazem parte de um conjunto paisagístico denominado Província Espeleológica, composta por rochas susceptíveis aos processos cársticos.

Apesar de o termo carste ser originalmente adotado para o estudo da formação de cavidades naturais subterrâneas em rochas carbonáticas, sabe-se que existem cavernas desenvolvidas em rochas onde a solubilidade não é o processo de formação preponderante, tais como arenitos, quartzitos, gnaisses, micaxistos, basaltos e rochas vulcânicas alcalinas, indicando uma nova abordagem da Geomorfologia Cárstica.

Esta pesquisa apresenta, por sua vez, a Província Espeleológica Altamira-Itaituba, localizada na região Amazônica e no estado do Pará. A Província define-se pelo conjunto de cavidades naturais subterrâneas com diferentes feições endogenéticas, em sua maioria formada pelo processo de arenitização (desgaste das rochas por água meteóricas). Diante do exposto, uma das propostas desta pesquisa trata de ampliar e aprofundar os estudos sobre carste em rochas não carbonáticas, contribuindo para os estudos espeleológicos no Brasil.

As informações a respeito da ocorrência de cavidades naturais subterrâneas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba ainda são bastante incipientes. A partir de dados obtidos pelos cadastros do Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas do Instituto Chico Mendes – CECAV/ICMBio e do Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil da Sociedade Brasileira de Espeleologia – CNC/SBE, pelos levantamentos em expedições científicas realizados pelo Grupo Espeleológico Paraense – GEP, que datam dos anos 1986 a 1988, e pela ELETROBRÁS (2009), há ocorrência de cavernas associadas à província nos municípios paraenses de Altamira, Brasil Novo, Vitória do Xingu, Anapú, Medicilândia, Placas, Aveiro, Rurópolis e Itaituba. As cavernas estão localizadas ao longo da borda sul da bacia sedimentar do Amazonas, coincidindo com as proximidades do rio Xingu, em seu baixo curso, e da rodovia Transamazônica, a BR-230 (Mapa 01).



Universidade Federal do Ceará - UFC  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

**MAPA 1:  
 LOCALIZAÇÃO DAS CAVERNAS DA  
 PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA  
 ALTAMIRA-ITAITUBA (PA)**

**Título da Tese:  
 Geoconservação de Patrimônio  
 Espeleológico na Amazônia: Proposta  
 de Planejamento Ambiental para a  
 Província Espeleológica Altamira-  
 Itaituba (PA).**

Autora: Luciana Martins Freire  
 Orientador: Dr. Edson Vicente da Silva  
 Coorientador: Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

Localização no Brasil e Estado do Pará - PA



50 0 50 100 km



1:2.000.000

Projeção Geográfica: SIRGAS 2000

**Convenções Cartográficas**

- |                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Limites Municipais        | Sedes Municipais |
| Rede Hidrográfica         | Cavernas         |
| Rodovias principais       | UHE Belo Monte   |
| Detalhe da área de estudo |                  |

Fonte:  
 - Base de dados do IBGE (2010)  
 - Base de Dados Geoespecializados do CECAV/ICMBio (2015)

Elaboração:  
 - Luciana Martins Freire  
 - Edson Vicente da Silva  
 - Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

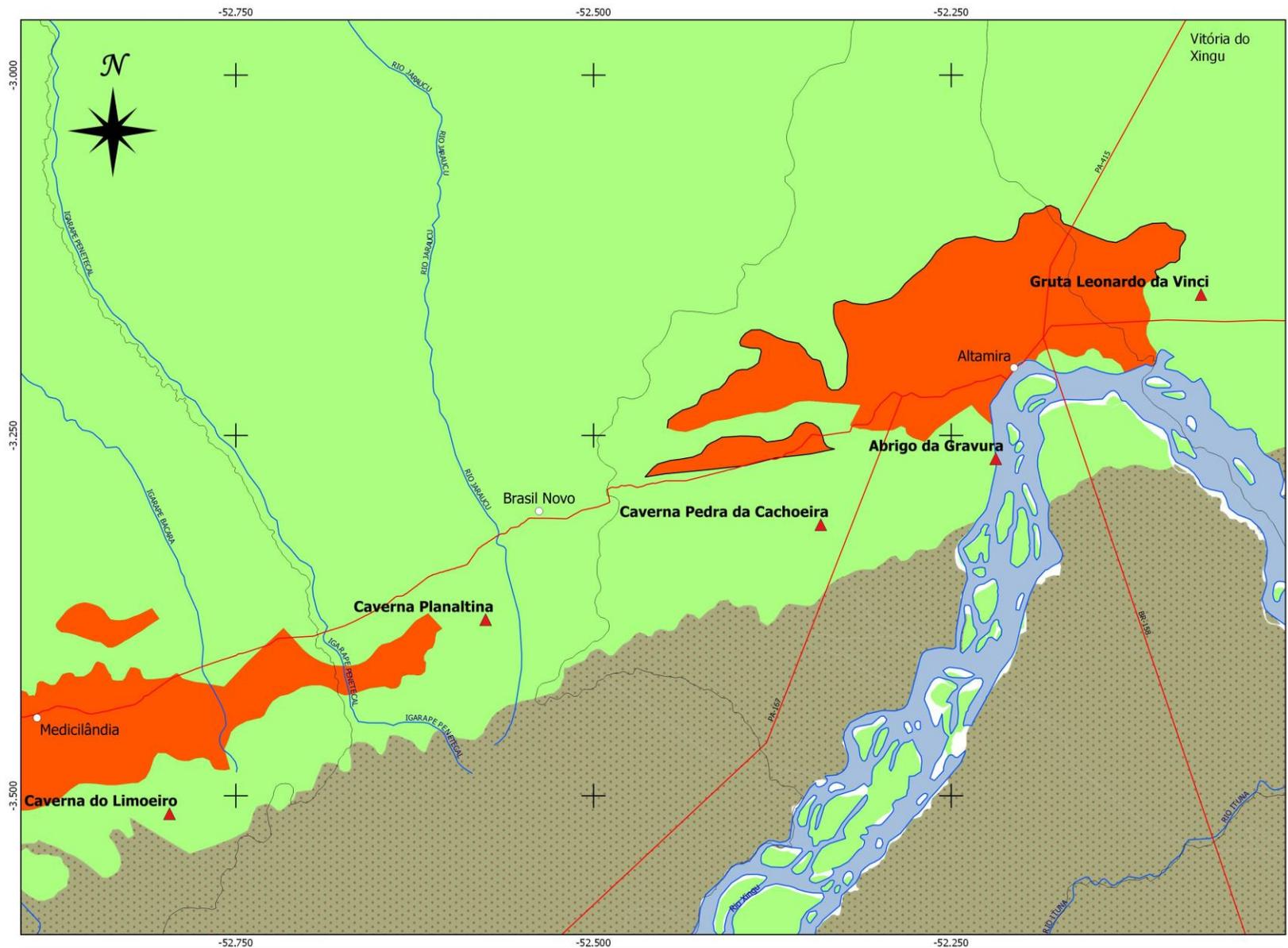


Estas, porém, não apresentam qualquer forma de ação voltada para conservação do patrimônio ambiental e cultural, e nem estão inseridas dentro de alguma Unidade de Conservação.

A metodologia da pesquisa baseia-se na análise geocológica da paisagem (RODRIGUEZ et al, 2004) da citada província espeleológica, por meio da utilização da teoria geossistêmica, destacando-se um estudo teórico sobre planejamento ambiental em patrimônios espeleológicos. A Teoria da Biogeografia de Ilhas (MacARTHUR; WILSON, 1963, 1967) também tem contribuição fundamental como ferramenta de estudo metodológico, uma vez que revela os conhecimentos referentes à diversidade biológica específica para esses ambientes.

Para o desenvolvimento desta tese seria impossível analisar e avaliar todas as cavidades naturais subterrâneas da Província, uma vez que sua ocorrência apresenta-se em grande número que somam 235 unidades (entre abrigos, grutas e cavernas), de acordo com a última atualização da CECAV (em 31 de julho de 2016). Sendo assim, para que houvesse uma amostra da Província foram selecionadas as mais representativas em relação às condições geológico-geomorfológica e hidrológica, cultural e social, além de destacar a importância do patrimônio espeleológico por se tratarem de cavernas formadas por rochas não carbonáticas. Dessa forma, foram selecionadas para a pesquisa as seguintes cavernas (Mapa 2):

- **Caverna da Pedra da Cachoeira:** formada por arenitos, tem cerca de 1.000m de extensão e 18m de profundidade, apresenta salões com diversidade de espeleotemas, além de ser alvo de visitação local. Está localizada nas proximidades da sede municipal de Altamira;
- **Caverna da Planaltina:** a maior em arenito registrada no Brasil (CNC/SBE, 2015), com 1.500m de extensão longitudinal, estando localizada no município de Brasil Novo, junto a um balneário construído para atividades de lazer;
- **Caverna do Limoeiro:** localizada no município de Medicilândia, com 1.200m de desenvolvimento subterrâneo em arenito e diversidade de espeleotemas em seus salões, com presença de lâminas de folhelho em seu teto e paredes. Por sua característica paisagística é, inclusive, a caverna em que a pesquisa aplica o modelo de proposta de planejamento ambiental e geoconservação, a qual pode ser empregada para demais exemplos semelhantes;



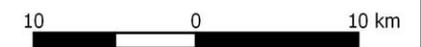
Universidade Federal do Ceará - UFC  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

**MAPA 2:  
 LOCALIZAÇÃO DO CONJUNTO DE  
 CAVERNAS DO BAIXO XINGU**

**Título da Tese:  
 Geoconservação de Patrimônio  
 Espeleológico na Amazônia: Proposta  
 de Planejamento Ambiental para a  
 Província Espeleológica Altamira-  
 Itaituba (PA).**

Autora: Luciana Martins Freire  
 Orientador: Dr. Edson Vicente da Silva  
 Coorientador: Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

Localização no Brasil e Estado do Pará - PA



1:300.000

Projeção Geográfica: SIRGAS 2000

**Convenções Cartográficas**

- Sedes Municipais
- ▲ Cavernas
- Rodovias principais
- Rede Hidrográfica
- Limites municipais

**Litologia**

- Bacia Sedimentar do Amazonas
- Diabásio Penatecaua
- Embasamento Pré-Cambriano (Complexo Xingu)

**Fonte:**

- Base de dados do IBGE (2010)
- Base de dados do CPRM-PA (2010)
- Base de Dados Geoespacializados do CECAV/ICMBio (2015)

**Elaboração:**

- Luciana Martins Freire
- Edson Vicente da Silva
- Cesar Ulisses Vieira Veríssimo



- **Gruta Leonardo da Vinci:** tem sua estrutura em rochas de folhelho, único caso que se tem registrado, de aspecto laminado, localizado no município de Vitória do Xingu;
- **Abrigo da Gravura:** localizado as margens do rio Xingu, em Altamira, é representativo por conter inscrições rupestres pré-históricas e estar sob ameaça de inundação após a conclusão da obra da Usina Hidrelétrica Belo Monte.

A partir dessas informações, o objetivo principal dessa pesquisa é apresentar um diagnóstico das paisagens naturais e culturais da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA), tendo como instrumento final a proposição do planejamento ambiental voltado para a geoconservação da paisagem da caverna do Limoeiro.

Dentre os objetivos específicos da tese, inicialmente buscou-se identificar as principais cavidades naturais subterrâneas e correlacioná-las com a estrutura da paisagem da Província Espeleológica. Essa identificação foi realizada a partir da seleção das cavernas com maior destaque na região, de acordo com o que foi apresentado, tanto em relação ao uso como pela sua importância paisagística e geológica. Para tanto, a análise da evolução da paisagem geomorfológica, no contexto do cenário do carste em rochas não carbonáticas (além da contribuição à Geomorfologia Cárstica), foi de fundamental importância para entender os processos que resultaram nas formas ali identificadas e suas especificações.

Na sequência, realizou-se a avaliação do potencial ambiental das paisagens identificadas e o estado atual de conservação dos recursos naturais para então propor ações de planejamento ambiental, utilizando-se modelos de uso e ocupação voltados à sustentabilidade socioambiental e da geodiversidade.

Importante se faz destacar a finalidade de analisar o imaginário coletivo e os aspectos simbólicos da relação das comunidades locais com as cavernas da província. Nesse aspecto, chamou-se atenção para os conceitos étnicos e arqueológicos a fim de se obter uma real ideia de como as cavernas foram e ainda são utilizadas pelo ser humano.

A partir dessa análise, sabem-se quais os valores que esses ambientes têm para a população da região, entendendo-se, portanto, quais os reais interesses no seu uso, apresentando então proposta de ações de manejo voltadas à sustentabilidade socioambiental.

Na ciência, os resultados da tese apresentam algumas contribuições para

a pesquisa espeleológica, uma vez que são analisadas e avaliadas as principais cavidades naturais subterrâneas da região, correlacionando-as com a estrutura da paisagem da Província Espeleológica em questão.

Considerando-se que a Espeleologia é uma atividade de múltiplo sentido (científico, esportivo, turístico e sociocultural), o planejamento ambiental mostra-se necessário na conservação e preservação do patrimônio espeleológico, utilizando-se assim modelos de uso e ocupação voltados à sustentabilidade socioambiental, além de contribuir para futura criação de Unidades de Conservação.

## **2 ESPELEOLOGIA E PAISAGEM CÁRSTICA: conceitos e aspectos relacionados ao estudo das cavernas.**

O termo espeleologia foi apresentado pelo historiador francês Riviere, em 1890, constituindo-se da junção de duas palavras do grego *spelaiion* (caverna) e *logos* (tratado ou estudo). Trata-se da ciência das cavernas, voltada para os estudos dessas cavidades subterrâneas, bem como seus fenômenos cársticos. Porém, o termo não foi o único a designar as pesquisas voltadas para essas áreas. Shaw (1992) destaca que do final do século XIX até hoje existe uso comum na língua germânica da palavra *Höhlenkunde*, empregado para o estudo das cavernas, e da palavra *Höhlenforschung* para a exploração de cavernas.

A Espeleologia começou a se desenvolver como um conhecimento científico independente por volta dos séculos XVI e XVII, na Europa e na China. Destaca-se como um dos pioneiros o cientista francês Edourd-Alfred Martel, que também considerou outros termos, como *caveology* e *grottologie*. Martel foi assim considerado o fundador da espeleologia moderna. Soma-se a ele o iugoslavo Racovitza, ambos no século XIX, notadamente como ciência geológica (LINO e ALLIEVI, 1980). Em seus estudos são abordados conhecimentos amplos sobre hidrologia e química, bem como também informações específicas em meteorologia e microbiologia local. Tratam-se de pesquisas que têm como destaque principal as paisagens cársticas.

Muitas são as definições propostas para explicar o conceito de espeleologia, porém mais um estudioso francês merece destaque em razão de uma aceitação internacional. É Bernard Gèze, que em sua obra "*La Spéléologie scientifique*", publicada em 1965, define de maneira abrangente e sintética a espeleologia como uma "disciplina consagrada ao estudo das cavernas, sua gênese e evolução, do meio físico que elas representam, de seu povoamento biológico atual ou passado, bem como dos meios ou técnicas que são próprios ao seu estudo" (1968 *apud* LINO, 2009, p.44). Sua consagração ocorre pelo fato de demonstrar o caráter interdisciplinar e científico, além de destacar a atividade esportiva como meio de exploração das cavernas.

A disciplina de Espeleologia, a priori, apresenta uma subdivisão inicial: espeleologia científica e espeleologia técnica-esportiva. Mas as especificidades com as quais ela pode ser estudada são muitas e complexas, que vão desvendando-se

em áreas, tais como a Espeleologia Física (geologia, hidrologia, morfologia cárstica, climatologia subterrânea), Bioespeleologia (zoologia, botânica e paleontologia), Antropoespeleologia (arqueologia, cultura, religião, turismo), Espeleoconservação, Espeleodocumentação e a própria técnica de prospecção e exploração de cavernas.

Nesse contexto, o espeleólogo é o sujeito envolvido na investigação, no estudo, no conhecimento e na competência prática em ambientes cársticos. Lino (2009) afirma que não é qualquer frequentador de cavernas que deve ser assim intitulado, tais como turistas e esportistas, denominando-os então de 'cavernistas'. O autor considera que o espeleólogo deve ser um cientista ou um técnico especializado em dominar esse campo de pesquisa, além de possuir desenvoltura, perseverança, curiosidade e preparo físico tal como um desportista. Diferente de outras práticas esportistas, na espeleologia não há competição, mas sim a busca pelo desconhecido com objetivo de ampliar os conhecimentos sobre as cavernas e o relevo cárstico.

O termo carste é oriundo de uma região denominada "*Krs*" ou "*kras*", que significa campo de pedras calcárias, originalmente localizado entre Liubliana, na Eslovênia, e Trieste, na Itália. A nomenclatura derivou os termos *karst* (inglês e alemão), *causse* (francês), *carso* (italiano e português de Portugal) e carste (português do Brasil). Foi nessa região da Europa, dotada de rochas carbonáticas, onde foram realizados os primeiros estudos científicos sobre feições cársticas, em meados do século XIX, de maneira que o termo foi designado para qualquer paisagem semelhante (HARDT; PINTO, 2009; LINO, 2009).

O carste caracteriza-se, de maneira geral, em um conjunto de feições esculpidas no relevo, originando modelado de aspecto esburacado e ruiniforme, desenvolvidas em ambiente subterrâneo (criptorreico), nos quais se gera uma paisagem particular com galerias, paredões verticais, depressões, colunas, rios e/ou lagos, espeleotemas (estalactites, estalagmites, etc) e abismos. Reconhece-se que a paisagem cárstica está presente em litologias diversificadas, não cabendo apenas aos processos ocorrentes em rochas carbonáticas.

White (1988) descreve como paisagem cárstica aquela dotada da presença de depressões fechadas, drenagem subterrânea integrada, correntes superficiais descontínuas e cavernas afirmando, ainda, que todas estas características podem surgir a partir de outros processos, criando uma paisagem que superficialmente se assemelha ao carste. Hardt (2003) observa que quanto mais

atualizada vai sendo a bibliografia voltada para definição do termo carste, mais tem sido abordado como uma litologia não exclusiva apenas para rochas carbonáticas em especial.

Os estudos espeleológicos revelam que são reconhecidas cavernas bem desenvolvidas em rochas tais como arenitos, quartzitos, gnaisses, micaxistos, basaltos, formações ferruginosas, rochas vulcânicas alcalinas, entre outras, indicando uma nova abordagem da Geomorfologia Cárstica.

Piló (2000) destaca em seu artigo “Geomorfologia Cárstica” alguns notados trabalhos e pesquisas científicas, classificando os estudos sobre carste em diferentes eixos de pesquisa:

- Análises descritivas da geomorfologia regional, com contribuições sobre as tipologias cársticas existentes, citando Tricart (1956), Kohler (1989), Barbosa (1961), Auler e Basílio (1988), Piló (1989) e Ferrari (1990);
- Estudos quantitativos no ambiente hidrológico e geomorfológico, abordados principalmente por Karmann (1994) e Auler (1994);
- Estudos de cavernas, chamando de carste subterrâneo, trazendo interpretações sobre gênese e evolução das cavernas brasileiras, dos quais cita Karmann (1994), Piló (1998) e Auler (1999);
- Estudos do Quaternário, com interpretações das transformações ambientais da paisagem cárstica por meio de registros sedimentológicos, morfológicos e palinológicos, referidos por Kohler (1989), Karmann (1994), Piló (1998), e Auler (1999);
- Estudos aplicados à questão ambiental, como em Brandt (1988), Auler (1994) e Piló (1999).

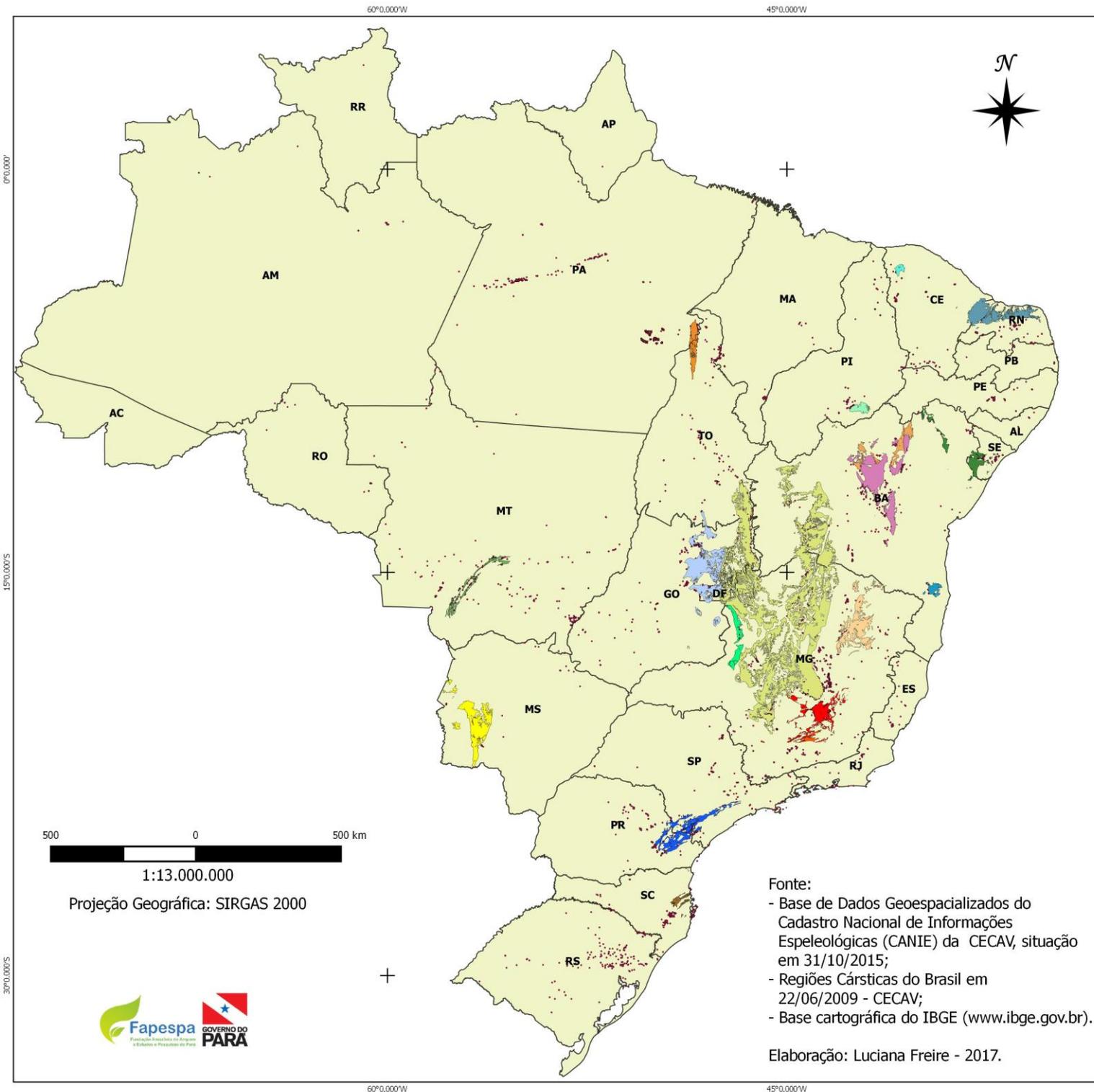
Na literatura internacional os trabalhos sobre Espeleologia e Geomorfologia Cárstica apresentam maiores referências, com publicações especializadas na temática. Dentre estas, destacam-se Ford e Williams (1989), Jennings (1985), White (1988), Palmer (1991, 2007), Klimchouk et al., (2000) e Sasowsky e Mylroie (2003), as quais servem como fundamentação teórica para os estudos espeleológicos que vêm sendo desenvolvidos no Brasil.

No Brasil, a literatura referente aos conceitos e definições da ciência espeleológica são bem restritas, das quais podem ser conferidos os livros “Cavernas Brasileiras”, de Lino e Allievi (1980), “Espeleologia: noções básicas” publicado pela

Redespeleo Brasil em 2005 por Auler e Zogbi e, mais recentemente a reedição e atualização da obra “Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo”, de Clayton F. Lino (2009). Somam-se a estas publicações alguns capítulos de livros de Geologia e Geomorfologia que trazem definições e caracterizações sobre o Relevo Cárstico, porém definindo-o e explicando seu processo de formação como ocorrente apenas em ambientes formados por rochas carbonáticas, principalmente nas rochas calcárias (SUGUIO, 2010; FLORENZANO, 2008; GUERRA; CUNHA, 2009; BIGARELLA et al., 1994; CHRISTOFOLETTI, 1980). Um número maior de estudos dessas tipologias de relevo conta com publicações de regiões específicas conferida em teses, dissertações e artigos em revistas científicas.

Sobre o levantamento da literatura relativa à ocorrência de regiões cársticas brasileiras, pode-se referenciar inicialmente o artigo *Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil* de Karmann e Sánchez (1979), o livro *As Grandes Cavernas do Brasil*, de Auler, Rubioli e Brandi (2001) e, mais recentemente, o artigo *Karst Areas in Brazil and the Potential for Major Caves*, de Auler (2012).

Importante se faz destacar que a tarefa de levantamento das cavernas brasileiras tem sido desenvolvida com a contribuição dos estudiosos em espeleologia no país, sejam científicos ou não, os quais enviam informações necessárias para o banco de dados do CECAV/ICMBio, em conjunto com as informações do Cadastro Nacional de Cavernas – CNC, da SBE. Com uso dos dados geoespacializados do CECAV/ICMBio (planos de informação em formato *shape files*), foi possível gerar um mapa com a distribuição das regiões espeleológicas do Brasil. O mapa 03 demonstra uma concentração de registros encontrados principalmente na região Sudeste do Brasil, e especificamente no estado de Minas Gerais, como demonstra também o gráfico na Figura 01. A ocorrência de cavidades naturais subterrâneas nessa região é grande, porém não se pode descartar que nessa área do país concentra uma região mais explorada (como ocorre também nos estados de Goiás, Bahia e Pará), além de também um maior número de interessados nos estudos espeleológicos. A afirmação sugere-se por observar no estado do Pará uma pequena concentração, em relação a sua área, principalmente nas proximidades de áreas habitadas, vias de acesso e desenvolvimento de atividades econômicas (mineração e agropecuária).



Universidade Federal do Ceará - UFC  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Doutorado em Desenvolvimento e Meio  
 Ambiente - PRODEMA

**MAPA 3:**  
**Distribuição Geoespacializada das**  
**principais Regiões Cársticas do Brasil e**  
**cavernas registradas**

**Legenda**

**Regiões Cársticas do Brasil**

- Formação Caatinga
- Formação Carajás
- Formação Salinas
- Formação Vazante
- Grupo Açungui
- Grupo Apodi
- Grupo Araras
- Grupo Bambui
- Grupo Brusque
- Grupo Corumbá
- Grupo Paranoá
- Grupo Rio Pardo
- Grupo Ubajara
- Grupo Una
- Grupo Vargem Grande
- Grupo Xambioá
- Região Cárstica de São João del Rei
- Região Carstica Quadrilátero Ferrífero
- Supergrupo Canudos
- Limites Estaduais

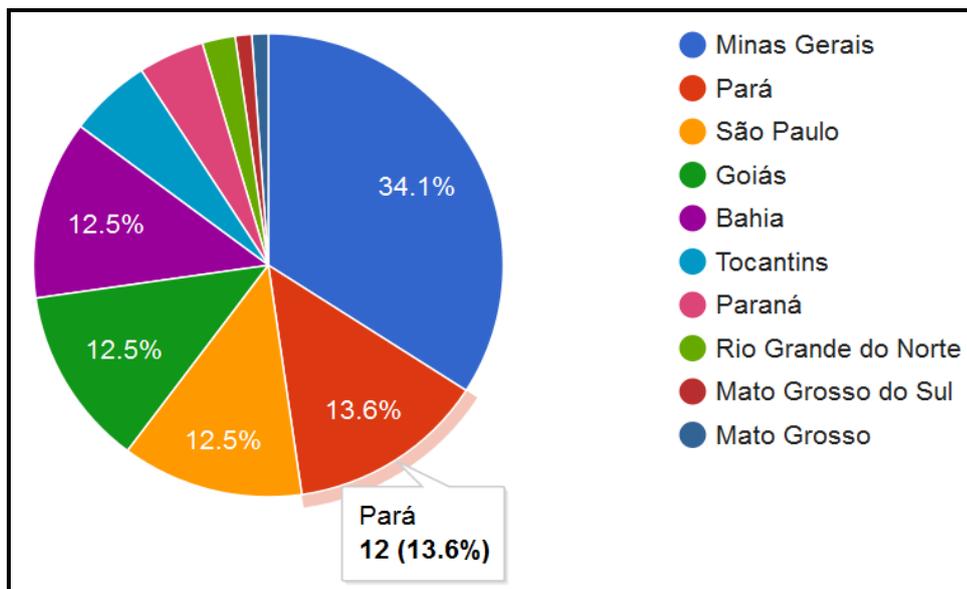
Cavernas em 31/12/16

Fonte:  
 - Base de Dados Geoespacializados do  
 Cadastro Nacional de Informações  
 Espeleológicas (CANIE) da CECAV, situação  
 em 31/10/2015;  
 - Regiões Cársticas do Brasil em  
 22/06/2009 - CECAV;  
 - Base cartográfica do IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

Elaboração: Luciana Freire - 2017.



Figura 01 – Ranking dos estados brasileiros por ordem do número de cavernas



Fonte: SBE, 2015.

Vale lembrar que na região Amazônica são poucos os registros de cavernas, uma vez que ainda são vastas as áreas florestadas sem um melhor conhecimento atual. Assim, a quantidade de ambientes espeleológicos pode ser bem maior do que se tem registrado.

Não apenas referente aos aspectos físicos e biológicos, as cavernas têm demonstrado muito sobre a história da humanidade. Inclusive os estudos científicos em cavernas iniciaram no campo da arqueologia, uma vez que esses espaços eram utilizados antigamente como abrigo para os chamados 'homens das cavernas', além de que nesses ambientes há um maior grau de preservação dos registros estudados, estando protegidos das intempéries climáticas.

A cultura pré-histórica foi conhecida por meio de muitos elementos arqueológicos, tais como artefatos e inscrições rupestres, dentre os mais antigos registrados há 30.000 anos (PALMER, 2007). Na pré-história não haviam documentos escritos, haja visto ser exatamente a época anterior à escrita. Entretanto, os homens primitivos, também denominados como *homens das cavernas*, encontraram formas de registrarem o que viam e faziam no dia a dia por meio de marcações, pinturas e gravuras nas paredes rochosas das cavernas.

Os registros rupestres são inscrições gráficas de autoria dos homens que viveram nos períodos Neolítico (3000 a.C) e Calcolítico (aproximadamente 2500 a 1800 a.C.), com desenhos e pinturas reconhecidas como arte, encontrados no

interior e exterior de cavernas. Dentre as formas de expressão mais comuns grafadas nas cavernas tem-se: o petroglifo (Figura 02), que se trata de uma gravura rupestre esculpida toscamente em uma rocha; e a pintura rupestre (Figura 03), que são composições realizadas com pigmentos coloridos pintados em parede rochosa.

Figura 02: Petroglifos do Abrigo da Gravura, Altamira/PA



Foto: Luciana Freire, setembro/2015.

Figura 03: Pinturas rupestre registradas no Parque Nacional de Sete Cidades, Piracuruca/PI.

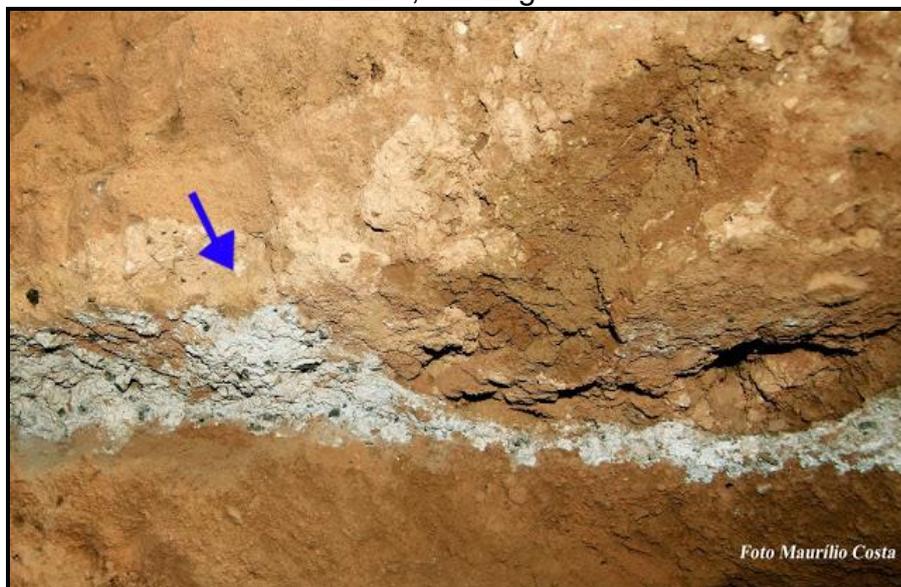


Foto: Luciana Freire, julho/2010.

A importância da espeleologia referente à história do homem também envolve a possibilidade de encontrar no interior das cavernas artefatos e resíduos de atividades humanas antigas. O material arqueológico pode ser composto de

fragmentos cerâmicos e líticos, além de resquícios de fogueira, com a presença de fuligem e solos de colorações mais escuras (Figura 04).

Figura 04: Antigo horizonte lenticular de cinzas e carvões na Gruta do Ballet, em Lagoa Santa/MG



Fonte: <http://arqueologiadecaverna.blogspot.com.br/>

A Espeleologia não está restrita apenas a interesses científicos, evidenciando seu destaque em atividades de lazer e esporte de aventura ou radical. Vale lembrar, inclusive, que muitas cavernas foram descobertas através dessas práticas, hoje denominadas como espeleoturismo, e que muitas vezes leva as pessoas a desvendar mais mistérios e informações a respeito do estudo de cavernas. Muitos de seus acessos são dificultados, haja vista a ocorrência de trilhas que levam às cavernas e, no seu interior, a presença de abismos, terrenos acidentados e lagos subterrâneos.

O ambiente espeleológico exige do visitante um esforço físico, alguns em que torna necessária a ajuda de técnicas esportivas de montanhismo e excursionismo. Alguns espeleólogos costumam considerar que a prática da espeleologia esportiva é uma forma de alpinismo às avessas, que em vez de escalar para cima é como uma escalada para baixo, sendo comuns as práticas de rapel (Figura 05). Porém as técnicas aplicadas às cavernas são bem mais apuradas, com a presença de elementos desconhecidos por conta da escuridão do ambiente, com a ausência de vegetação, além de ressurgência de água (rios, cachoeiras, lagos), bem como o próprio relevo ruiforme sem qualquer continuidade de suas formas.

Incluem-se, relacionados ao espeleoturismo, além de práticas de rapel, o

uso de trilhas ecológicas (tanto no entorno como no interior das cavernas), banho/flutuação (Figura 06), mergulho subterrâneo (Figura 07) e navegação em águas de barco ou caiaque no interior de algumas cavernas (Figura 08). A visita em cavernas é uma prática turística crescente, em que a segurança deve ser redobrada e sempre deve incluir equipamentos básicos, como pelo menos capacetes e lanternas. Todas essas atividades devem ocorrer com o acompanhamento de condutores especializados no ambiente espeleológico ou guias locais, uma vez que existem riscos decorrentes da escuridão, falta ou falha na iluminação, quedas (por conta do terreno irregular), acidentes com animais peçonhentos e, ainda, indisposição do turista.

Figura 05: Rapel de 72 m de altura na Caverna do Abismo Anhumas - Bonito/MS



Foto: Marcelo Krause. Fonte: <http://abismoanhumas.com.br/>

Figura 06: Flutuação na caverna do Poço Azul, na Chapada Diamantina/BA

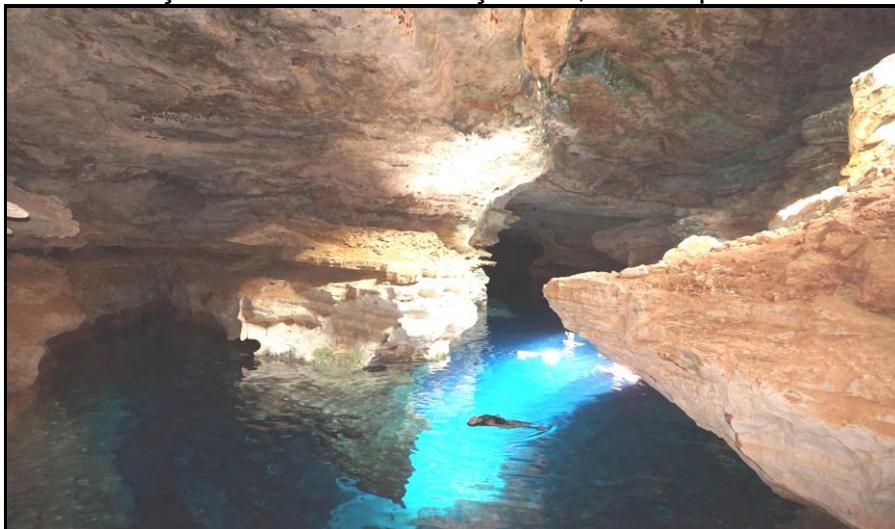


Foto: Luciana Freire, maio/2016.

Figura 07: Mergulho na Gruta do São Matheus, em Bonito/MS



Fonte: <http://canaloff.globo.com/programas/grutas-e-cavernas/episodios/1931.html>

Figura 08: Passeio de Barco realizado no Abismo Anhumas, em Bonito/MS



Foto: Caio Vilela/Wikimedia Commons

Fonte: <http://viajeaqui.abril.com.br/estabelecimentos/br-ms-bonito-atracao-abismo-anhumas>

Muitas informações de ocorrências de cavernas que se têm hoje não foram registradas por cientistas e sim por pessoas que simplesmente procuravam explorar as cavernas como prática esportiva, em busca de contato direto com a natureza, e assim realizar trabalhos de mapeamento e registro.

## 2.1 Definições e características da paisagem cárstica

A paisagem cárstica configura-se especialmente pela ocorrência de uma caverna, denominação mais conhecida referente à formação de aberturas na rocha solúvel que permitem a circulação de água. De acordo com Palmer (2007), caverna

representa um vazio natural abaixo da superfície da terra que, em sua maioria, se estende até a escuridão total e deve ter dimensão suficiente para permitir a exploração do ser humano, mesmo tendo origem associada a minúsculos poros e fissuras que não são considerados como verdadeiras cavernas. “Com o entalhamento da paisagem, níveis de condutos freáticos são progressivamente drenados, tornando-se preenchidos com ar, além de água” (KARMANN, 1994, 80).

Caverna é a designação mais comum para unidade espeleológica, melhor definida como cavidade natural subterrânea. Porém, podem existir diferenças quanto a sua forma, dimensão e características geomorfológicas. De acordo com o Decreto N. 6.640, de 07/11/2008:

cavidade natural subterrânea é todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante.

O significado de cavidade natural subterrânea do Decreto em questão é baseado na definição da União Internacional de Espeleologia – UIS (órgão de abrangência internacional que congrega as instituições nacionais de espeleologia). Não somente esta, mas no geral as definições demonstram-se visivelmente antropogênicas ou antropomórfica, uma vez que apresenta a caverna como algo acessível apenas ao ser humano, fazendo-se remeter a sua inexistência sob o ponto de vista biológico ou hidrológico (WHITE, 1988; KARMANN, 1994). É sabido que existem inúmeras cavernas já conhecidas, muitas das quais não é possível o acesso do ser humano, seja por sua dimensão restrita (acessível apenas a pequenos animais) ou pela saída de grandes volumes de água na sua abertura (CECAV/ICMBIO, 2008).

... desconsidera-se a relevância que aberturas menores possam ter para os seres vivos que habitam os ecossistemas cavernícolas, objetos de estudo da bioespeleologia (insetos, aracnídeos, diplópodes, crustáceos, morcegos, dentre outros), e para a própria dinâmica hidrogeológica, que muitas vezes é um dos principais fatores na formação de cavernas (espeleogênese). Também pertinente à temática, é conveniente ressaltar que as cavidades subterrâneas artificiais feitas pelos homens, como as minas de exploração de jazidas minerais, não podem ser consideradas como cavernas. (MONTEIRO, 2014, p.22)

Existe também uma classificação morfológica proposta por Clayton F. Lino em 1975, oficializada pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).

**Caverna:** termo geral que define as cavidades subterrâneas penetráveis pelo homem, formadas por processos, independente do tipo de rocha encaixante ou de suas dimensões, incluindo seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades animais e vegetais ali abrigadas e o corpo rochoso onde se inserem. [...]

**Grutas:** são cavernas com desenvolvimento predominantemente horizontal. Para fins de cadastro espeleológico devem possuir um mínimo de 20m de desenvolvimento em planta. [...], o termo é frequentemente utilizado como sinônimo de caverna em seu sentido mais genérico.

**Abrigos sob rocha:** são as cavidades pouco profundas, abertas largamente em paredes rochosas, que sirvam de abrigo contra intempéries.

**Tocas:** são as cavidades intermediárias entre os abrigos sob rochas e as grutas, cujo o desenvolvimento não atinja os 20 m necessários para a classificação como tal.

**Abismos:** são as cavernas predominantemente verticais, com desnível igual ou superior a 10 m e diâmetro de entrada menor que seu desnível. Caso o desnível mínimo não seja atingido, denomina-se fosso.

**Dolinas:** depressões fechadas, circulares ou elípticas, em geral mais largas que profundas, formadas por dissolução em superfícies rochosas ou por abatimento gerados por dissolução de rochas em profundidade. Suas dimensões variam de poucos a centenas de metros de diâmetro. (LINO, 2009, p. 94-95).

Esta classificação vincula à nomenclatura das cavidades naturais subterrâneas em diferentes denominações, de acordo com as características do ambiente cárstico. Contudo não há um padrão no ato de nominação de muitas cavidades conhecidas e já catalogadas.

O estudo da paisagem cárstica, ou a Geomorfologia Cárstica, tem como característica a presença de elementos que são essenciais para sua definição: a água e a rocha. A participação da água na modelagem do relevo cárstico revela um papel de elemento ativo ou gerador, na qual a rocha apresenta-se como o elemento passivo no processo de formação das cavernas. Soma-se o fato de que para o surgimento de cavernas torna-se necessária, frequentemente, a presença de uma drenagem criptorréica (subterrânea) ocorrente no nível hidrostático.

O carste em geral é definido como um terreno que apresenta processos hidrogeológicos distintos, que originam formas de relevo resultantes da combinação de alta solubilidade e de porosidade existente na rocha, ação esta que gera um canal subterrâneo bem desenvolvido (FORD; WILLIAMS, 1989). Trata-se de um sistema, de abordagem integrativa e universal, abrangendo uma gama de processos e fenômenos cársticos. Klimchouk (2011) define como um sistema de transferência de massa integrada nas rochas solúveis, com estrutura de permeabilidade dominada

por condutos dissolvidos na rocha e organizados para facilitar a circulação de fluidos. Eis aqui um modelo de aplicação real da teoria geral dos sistemas, destacando a integração, interconexão e organização dos seus elementos para formar a caverna.

Quando ocorre a situação de um ou vários condutos conectados, continuamente na condição de caverna cárstica, ao longo de todo trajeto entre injeção e ressurgência da água subterrânea, caracteriza-se um sistema integrado de cavernas, ou simplesmente, **sistema de cavernas cársticas**. A maioria das cavernas acessíveis ao homem são fragmentos destes sistemas de circulação subterrânea, onde estes últimos, além de constituírem o aquífero cárstico, possuem também, equivalência funcional às redes de drenagem superficial na geomorfologia fluvial (KARMANN, 1994, p. 81).

Acrescenta-se ao fato de que complexidade sistêmica das paisagens cársticas está diretamente associada com os ambientes subsuperficiais constituídos de fraturas, que são alargadas ao longo do processo de infiltração e solubilidade da rocha, originando cavidades e/ou condutos que ligam a superfície para o subsolo e vice-versa. A presença dessas fraturas (microescala) e condutos (mesoescala) fornece caminhos para facilitar a transferência de água, ar, solo, rocha, matéria orgânica e biota. Os processos pelos quais esses materiais são movidos são essenciais para o funcionamento de um sistema cárstico (STOKES; GRIFFITHS; RAMSEY, 2010).

Os estudos da Geomorfologia Cárstica têm apresentado, em sua maioria, características de uma paisagem associada à presença de rochas carbonáticas (principalmente calcário e dolomito), podendo se referir também a paisagens similares elaboradas por outras rochas carbonáticas ou não (PILÓ, 2000; KLIMCHOUK, 2011; PALMER, 2007; STOKES; GRIFFITHS; RAMSEY, 2010). A formação origina-se pelo processo de dissolução da rocha (influência do intemperismo químico) e a ocorrência em drenagem subterrânea, local onde se desenvolve uma morfologia específica caracterizada pela presença de dolinas, lapiás, galerias, espeleotemas, entre outras feições cársticas típicas de cavernas.

Existe ainda o uso do termo carstosfera (*karstosphere*), que seria uma maneira de distinguir uma área descontínua da parte superior da crosta terrestre (a uma profundidade média de 12-15 km), onde os processos dinâmicos do carste foram ativos no passado, ou ativos no presente, ou ainda poderiam tornar-se ativos no futuro.

Dado que a água é o "agente" intrínseco aos processos cársticos, o limite inferior da *carstosfera* corresponde aproximadamente ao limite inferior para a existência de água no estado líquido. Isso porque as condições térmicas na crosta da Terra são variáveis, a profundidade para o limite inferior do karstosphere também variam espacialmente. O *carstosfera* é um fenômeno evolutivo na história da litosfera, intimamente associado com o estabelecimento da hidrosfera subterrânea. (ANDREYCHOUK et al., 2009, p.36-37, tradução nossa<sup>1</sup>)

Ao estudar a estrutura morfológica da carstosfera, ou melhor, a Geomorfologia Cárstica, faz-se necessário entender sua constituição, formato padrão e dinâmica. Nesse sentido, existe uma divisão do sistema cárstico nessa faixa da crosta terrestre em busca de se fazer um zoneamento, no qual estão representados e ordenados os componentes da estrutura cárstica, suas diferenças morfológicas e genéticas. É importante citar que cada zona resulta da diferença de fontes de energia, bem como de alterações térmicas, hidrodinâmicas e condições hidrogeoquímicas que ocorrem dentro da crosta com o aumento da profundidade.

A partir dessas características e baseado em Piló (2000) e Stokes, Griffiths e Ramsey (2010), morfológicamente o sistema cárstico pode ser dividido em três partes, zonas ou domínios (Figura 09):

- **Exocarste:** o ambiente externo, ou carste superficial, marcado por formas superficiais desenvolvidas pela ação química de águas meteóricas, que vão desde pequena escala para características de grande escala (Ex.: poljes<sup>2</sup> e lapiás<sup>3</sup>);
- **Endocarste:** o ambiente subterrâneo, ou carste subterrâneo, representado pelos condutos, galerias e salões formados a partir da dissolução por águas subterrâneas. É a zona que desempenha papel fundamental no sistema cárstico, permitindo que a água, o ar, e outros materiais (sedimentos, detritos

---

<sup>1</sup> *Because water is the intrinsic "agent" for karst processes, the lower limit of the karstosphere approximately corresponds to the lower boundary for the existence of water in the liquid state. Because the thermal and baric conditions in the Earth's crust are variable, the depth to the lower boundary of the karstosphere will also vary spatially. The karstosphere is an evolutionary phenomenon in the history of the lithosphere, intimately associated with the establishment of the subterranean hydrosphere.*

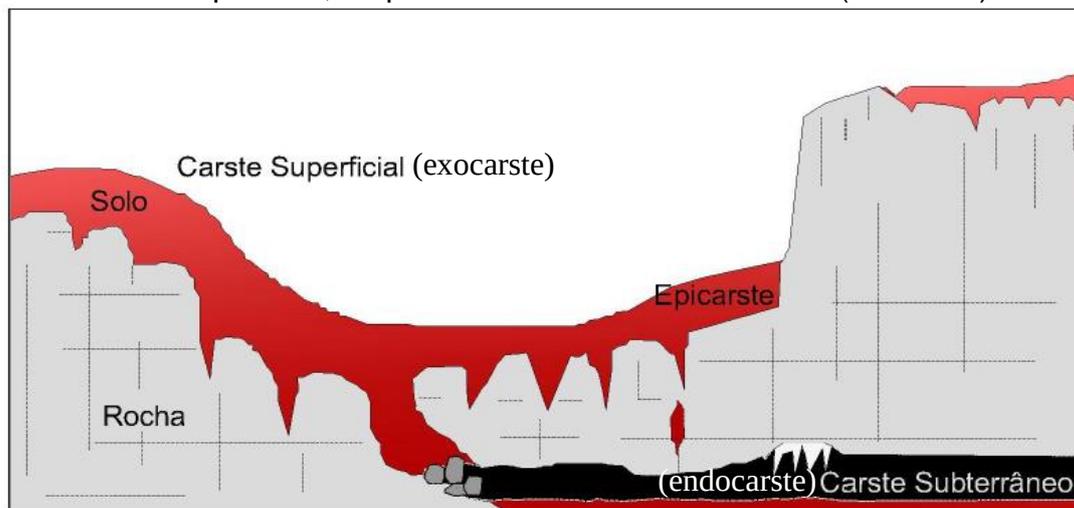
<sup>2</sup> Os **poljes** (*poliés*) originalmente significam 'planícies', são enormes depressões fechadas, de paredes abruptas, com fundo plano, rochoso ou, mais comumente, recobertos por argilas de descalcificação, aluviões ou depósitos lacustres, com água periodicamente presente (LINO, 2009; STOKES; GRIFFITHS; RAMSEY, 2010).

<sup>3</sup> O termo **lapiás** (do alemão *karren*) designa todas as formas de corrosão das superfícies rochosas. Compreendem um conjunto de feições aparentadas à semelhança das macroformas residuais, de aspecto ruiforme (reentrâncias, saliências, lâminas, pontas e agulhas de pedra), sem orientação definida, sendo consideradas como 'paisagens de exceção'. (LINO, 2009).

orgânicos, e nutrientes) possam ser transferidos a partir da superfície (exocarste) para o subsolo (epicarste);

- **Epicarste:** compreendido pela zona logo abaixo da superfície, englobando o contato entre o solo, quando existente, e a rocha da estrutura cárstica. Esta parte apresenta os componentes mais profundos da paisagem cárstica subterrânea, incluindo desde as menores cavidades e condutos aos espeleotemas e sedimentos da caverna.

Figura 09: Perfil esquemático do sistema cárstico, compreendendo o carste superficial, o epicarste e o carste subterrâneo (cavernas).



Fonte: Adaptado de CECAV/ICMBIO, 2008.

Esses domínios apresentam-se na qualidade de lugares onde se encontram estruturas e mecanismos responsáveis pela operação de processos geomorfológicos atuais, assim como de lugares que guardam importantes registros de processos do passado. (PILÓ, 2000, p.88)

A morfologia interna (endocarste) do sistema cárstico apresenta compartimentos que são designados em geral como galerias, salas ou salões e acidentes verticais. As galerias são como corredores ou condutos subterrâneos, que surgem a partir da ação química e erosiva da água nos planos de estratificação, fraturas e/ou falhas na rocha. As salas ou salões são o resultado do alargamento ou cruzamento de galerias ou mesmo por abatimento de blocos de rocha do teto e das paredes. Os acidentes verticais tratam-se dos desníveis abruptos de algumas galerias, muitas as quais correspondem a cachoeiras.

Lino (2009) ainda acrescenta pontos ou zonas de comunicação entre o

ambiente subterrâneo (domínio hipógeo) e superfície externa (domínio epígeo), caracterizados pelas falhas, juntas e fraturas, os quais permitem a entrada e saída do ar, da água, de material orgânico e detrítico e até pequenos animais.

O contato de elementos naturais externos com o ambiente interno das cavernas permite o desenvolvimento e evolução das paisagens cársticas. Uma vez que a designação de relevo cárstico desenvolveu-se através dos modelos de cavernas em regiões de calcário, tem-se como regra o processo de formação sintetizado pela equação:



Contextualizando, o processo funciona a partir do momento em que a água da chuva absorve dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, por meio da qual há a acidulação da água, com a formação de ácido carbônico ( $2\text{HCO}_3$ ). No momento em que o ácido carbônico entra em contato com a rocha carbonática, exemplificado pelo carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), ocorre então a sua dissolução, que por sua vez irá promover o alargamento das fraturas da rocha e a formação das feições cársticas. White (2006) descreve que por trás da equação também há a influência da força iônica para a sequência de reações auxiliares existentes no processo químico do sistema cárstico.

Esse processo de criação e evolução de estruturas permeáveis e porosas organizadas em uma rocha que leva ao resultado de alargamento de fraturas e fissuras por dissolução é definido como Espeleogênese. Contudo, Klimchouk (2011) afirma que a noção de carste é mais ampla do que a de espeleogênese, já que inclui informações além das características e fenômenos induzidos por espeleogênese e que não são abrangidos pelo mesmo.

Lino e Allievi (1980) citam que a espeleogênese inicia-se pela penetração da água enriquecida pela mistura química de soluções em zonas de fissuras da rocha, principalmente nos cruzamentos dos planos das fraturas, onde a dissolução é mais acentuada, originando o estágio inicial da formação de aberturas de maiores dimensões. A ampliação gradual dessas aberturas originam as galerias, salões e abismos, que unidos em um estágio mais avançado apresentam sistemas coletores de águas descendentes, posteriormente passando a compor uma complexa drenagem subterrânea.

De acordo com o número de fraturas e as propriedades da rocha do sistema cárstico, a drenagem subterrânea irá promover um entalhamento da estrutura, alargando e criando novas galerias e salões, ocasionados pela erosão das bases das paredes, fragilizando o ambiente que apresenta assim deslocamentos e desmoronamentos de blocos rochosos.

Ao longo do tempo geológico, a evolução da formação do endocarste será marcada pelo rebaixamento do nível da água subterrânea, proporcionando assim o aparecimento de ornamentações nos tetos e paredes das galerias, genericamente chamados de espeleotemas. Lino e Allievi (op. cit.) caracterizam esse momento como uma segunda fase na formação de cavernas, o qual chama de fase de deposição.

Tal fase é caracterizada pelo preenchimento total ou parcial de condutos da caverna com sedimentos trazidos do exterior (argilas, areias, seixos etc.) e pela deposição mineral decorrente da precipitação da calcita (carbonato de cálcio) a partir da água de infiltração que atinge o vazio da caverna. (37-38).

Importante se faz destacar que as cavidades naturais subterrâneas podem apresentar galerias, salões e condutos de idades diferentes, haja vista a dinâmica de o sistema cárstico ser contínua, ocorrendo ao longo do início de sua formação até o presente.

Como já mencionado, a apresentação sobre a formação de ambientes cársticos aplica-se aos modelos de rochas carbonáticas, especificamente quando se trata das misturas químicas sobre elas designadas. Porém a ideia de paisagens cársticas tem sido ampliada para outros modelos de cavernas, no qual as características físicas apresentam-se bem semelhantes ao do carste explicado, tais como cavernas desenvolvidas em rochas siliciclásticas (arenitos, conglomerados, argilitos), metassedimentares (quartzito, formação ferrífera), ígneas (granito, basalto), entre demais exemplos já registrados.

Diante da existência de cavernas de outras litologias, Travassos (2014) lembra que para diferenciar a magnitude dos processos ou as feições desenvolvidas no carste carbonático, fez-se necessário o uso das terminologias 'carste tradicional' e 'carste não tradicional'.

As razões pelas quais estes tipos são considerados 'não-tradicionais' incluem sua raridade comparativa e distribuição limitada e ao fato de que, geralmente, eles não são suficientemente estudados. Eles estão relacionados, geneticamente ou parageneticamente, aos processos de "estrangeiros" [fora do contexto de carste tradicional], o que pode esconder sua natureza cárstica; são geralmente desenvolvidos em rochas que não são consideradas carstificáveis. Ressalta-se que a expressão "carste não tradicional" é apenas um termo de trabalho que não tem qualquer conotação genética ou de classificação. (ANDREYCHOUK et al., 2009, p.7-8, tradução nossa)<sup>4</sup>

O fato do conceito de carste estar associado à litologia carbonática torna confuso que outros tipos de cavernas sejam caracterizados dentro da explicação da geomorfologia cárstica. Estas, por sua vez, além de serem designadas como **carste não tradicional**, também tem sido chamadas de **pseudocarste** ou **carste não carbonático**. Destaca-se, ainda, um desenvolvimento espeleogenético caracterizado pelo processo de formação diferenciada, na qual não prioritariamente pela ação química, como ocorre nas rochas carbonáticas (calcários, dolomitas etc.), mas pelo intemperismo físico ou erosão mecânica da rocha.

## 2.2 Pseudocarste ou Carste não carbonático? Uma nova abordagem do conceito espeleológico e importância ambiental

A pesquisa apresenta um exemplo de carste desenvolvido em região tropical, da Amazônia brasileira, chamada de Província Espeleológica Altamira-Itaituba, localizada no estado do Pará. A província situa-se na bacia sedimentar Amazônica, e integra um conjunto de cavidades naturais subterrâneas com diferentes feições endogenéticas, em sua maioria desenvolvida em **rochas areníticas** da Formação Maecuru, pertencente ao Grupo Urupadi sobreposta ao Grupo Trombetas (VASQUES; ROSA-COSTA, 2008). Mas seriam as rochas areníticas um tipo de carste?

Na literatura científica pode-se notar que o tema que trata do carste e seu desenvolvimento está relacionado principalmente às rochas calcárias, onde os processos de formação das cavernas são representados pela dissolução de seu

---

<sup>4</sup> *The reasons why these types are considered non-traditional include their comparative rarity and limited distribution and the fact that, generally, they are insufficiently studied. They are related, genetically or paragenetically, to "foreign" processes, which can conceal their karstic nature; and they are commonly developed in rocks that are considered non-karstifiable. We emphasize that expression "non-traditional karst" is but a working term which bears no genetic or classifying connotations.*

material constituinte, o carbonato. Mas no momento em que ocorrem cavernas em demais tipos de rochas, as quais o carbonato não está predominantemente presente, como então definir esse tipo de relevo?

Em se tratando de paisagem cárstica, os setores da província apresentam um sistema espeleológico cuja suas feições não foram desenvolvidas no contexto de rochas carbonáticas, apresentando uma estrutura predominantemente de rochas em arenito friável. Dessa forma, a ação mecânica da água (erosão hídrica ou arenitização) torna-se um dos principais fatores de esculturação das cavidades, uma vez que as condições climáticas das regiões tropicais apresentem uma precipitação anual com médias pluviométricas de 1000 a 4000 mm, agindo mecanicamente de maneira mais intensa nos processo de desenvolvimento de cavernas. Contudo, as condições de altas temperaturas e umidade, bem como a presença de matéria orgânica abundante, fazem com que o ambiente produza mais CO<sub>2</sub>, resultando na atividade química nas rochas, ao passo que a ação química da água apresente papel fundamental na dissolução intergranular.

É fato de que por mais que não sejam rochas carbonáticas existe a formação de cavernas com características de endocarste e exocarste. Por esse motivo esse modelado de relevo tem sido tratado como **pseudocarste**, do inglês *pseudokarst* (WHITE, 1988; URBAN e OTESKA-BUDZIN, 1998; BIGARELLA et al., 1994; GLAZEK, 2006; KOHLER, 2007; HARDT et al., 2009; SUGUIO, 2010; GUARESCHI e NUMMER, 2010; SIMMERT, 2010).

De acordo com Simmert (2010), o termo pseudocarste foi citado pela primeira vez na literatura em 1906, pelo geólogo alemão Walter von Knebel, ao realizar uma análise dos fenômenos cársticos e descrever cavernas de lava vulcânica com suas estruturas semelhantes a espeleotemas pendurados no teto. Na sequência à pesquisa de Knebel são registrados notórios trabalhos e eventos científicos que foram estabelecendo, em nível mundial, o uso do termo *pseudokarst*:

- na classificação de fenômenos pseudocársticos em *loess* e sedimentos argilosos por Savarenskij, em 1931;
- no lançamento do *Pseudokarst Symposium*, em 1982, realizado na República Checa, que vem ocorrendo aproximadamente a cada dois anos, tornando-se então *International Symposium on Pseudokarst* a partir de sua terceira edição, em 1988, com eventos onde acontecem discussões, publicações e apresentações de pesquisas sobre o tema;

- criação de uma comissão independente sobre Pseudocarte (*Pseudokarst Commission*) da *Union Internationale de Spéléologie* (UIS), fundada durante o Congresso Internacional de Espeleologia, em 1997, reunindo cientistas, instituições e pessoas interessadas na temática;
- e nas pesquisas espeleológicas que cientistas russos e italianos têm realizado com uso do termo, em meados do século 20.

Diversos exemplos podem ser descritos para designar uma caverna que não seja em rocha calcária. É possível definir formas cársticas com origens associadas a fatores tais como: o derretimento de gelo em geleiras; os colapsos ou os movimentos de blocos; a drenagem subterrânea em rochas areníticas com a dissolução e corrosão dos silicatos; a erosão mecânica e processos de colapsividade dos solos em sedimentos recentes; os movimentos tectônicos; o vulcanismo; entre outros casos em investigação (GUARESCHI e NUMMER, 2010; SIMMERT, 2010).

Apesar de “pseudo” ser um radical de origem grega que significa falso, a qual em sua estrutura linguística expressa a ideia de algo que não é verdadeiro, na literatura internacional o uso do termo *pseudokarst* acabou permanecendo ao longo do tempo, sendo reconhecido como uma nova proposição e aceita como uma abordagem que envolve o desenvolvimento de cavernas de rochas não carbonáticas. Em suma, Simmert então define:

O termo *Pseudokarst* descreve fenômenos ou partes de uma paisagem que mostra qualidades ou características de origem cársticas, embora a rocha ou sedimento mineral formado não seja considerado capaz de formar um relevo cárstico (2010, p. 100, tradução nossa).<sup>5</sup>

Como membro da comissão sobre Pseudocarte da *Union Internationale de Spéléologie* – UIS, Hartmut Simmert (2010) ainda descreve em seu artigo “*What is Pseudokarst?*” que entre inúmeras discussões que já ocorreram, resolveram deixar em uso o termo *pseudokarst* com a justificativa da aplicação notória na ciência internacional e a ausência de outro termo científico melhor. No Brasil, por sua vez, o termo ainda gera conflitos em sua nomenclatura, tornando-se mais apropriado denominar esse conjunto de cavernas como “**carste em rochas não**

---

<sup>5</sup> *The term Pseudokarst describes geomorphologic phenomena or parts of a landscape that shows qualities or features of Karst genesis although the rock forming mineral or soil forming sediment is not regarded capable of forming Karst.* (Simmert, 2010, p.100)

**carbonáticas**”, ou mesmo uma terminologia vinculada ao tipo litológico, tais como “carste em arenitos”, “carste em quartzitos”, “carste em vulcânicas”, etc. Tem-se, então, um problema de origem histórica, haja vista que boa parte dos geólogos e geomorfólogos brasileiros insistem em definir que o carste, uma vez que foi inicialmente estudado em carbonatos, tem que ser definido como de um relevo que ocorre no calcário.

Andreychouk et al., (2009) já apresentam designação de **carste não tradicional**. De acordo com os autores trata-se de uma classificação genética baseada nas fontes de energia dos processos. Em seus estudos geralmente utiliza parâmetros físicos independentes, como a temperatura e a pressão, para definir as particularidades da carstificação dentro dos diferentes tipos genéticos. Nesse sentido, introduziram o termo **carste heterogêneo** (*heterogeneous kars*) como uma categoria genética que define o desenvolvimento de cavidades em rochas submetidas às forças conjuntas de energia endógena e exógena, que resultam em processos cársticos configurados no tempo e no espaço.

A literatura brasileira sobre Geomorfologia Cárstica pouco faz menção a esses sistemas espeleológicos diferenciados, entretanto, sabe-se que o número desse tipo de caverna é representativo. De acordo com os dados do Cadastro Nacional de Cavernas da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE, 2016), as cavernas de calcário e dolomito representam 67,7% do total registrado, demonstrando assim um número de pouco mais de 30% de cavernas desenvolvidas em rochas não carbonáticas (Tabela 01).

Apesar do número reconhecido desses litotipos, as pesquisas que tratam da espeleogênese em feições não carbonáticas e fenômenos cársticos associados a ela ainda são bastante reduzidas. Contudo, é crescente o número de teses, dissertações e artigos científicos que tratam da temática, tais como: Wernick et al (1976), Pinheiro e Maurity (1988); Verissimo e Spoladore (1994), Sallun Filho e Karmann (2007), Hardt (2003, 2011), Hardt e Pinto (2009), Hardt, Rodet e Pinto (2009); Hardt e Rodet (2013), Morais e Souza (2009), Guareschi e Nummer (2010), Crescencio (2011), Morais e Rocha (2011), Fabri e Augustin (2013), Ruchkys et al., (2015) e Pinheiro, Maurity e Pereira (2015).

Tabela 01 – Litologia e número de cavernas do Brasil.

Litologia	Nº de Cavernas Por Litologia	% em relação ao Brasil
Calcário	4248	67,7
Metassedimentares (quartzito, formação ferrífera)	771	12,28
Rochas siliciclásticas (arenitos, conglomerados, argilitos)	635	10,12
Ígneas (granito, basalto)	192	3,06
Dolomito	145	2,31
Carbonatos Indiferenciados	108	1,72
Mármore	61	0,97
Depósitos supérgenos (bauxita, canga)	42	0,67
Metaígneas (gnaisses)	29	0,46
Sem Informação	29	0,46
Xisto	12	0,19
Tufa/Travertino	2	0,03
Total*	6274	100

\*Número total registrado para definir o ranking por tipo litológico.

Fonte: SBE, 2016 (<http://cnc.cavernas.org.br/cnc/Stats.aspx>)

Assim, nos últimos anos o tema ganha atenção por parte dos estudiosos científicos, a exemplo da SBE que publicou um volume de sua revista Espeleo-tema (v.22, 2011) com edição especial intitulada “Carste e ocorrências não cársticas em rochas não carbonáticas”, além do 7º Encontro Mineiro de Espeleologia realizado em 2014, evento com a temática “Cavernas em rochas não carbonáticas”.

Se no início o conceito de carste estava intimamente associado à litologia, atualmente isso mudou, e [...] vários exemplos de carste em rochas não carbonáticas foram identificados e estão sendo estudados no mundo afora. O que não se pode aceitar mais é simplesmente atribuir um termo genérico e pouco claro a uma área, denominando-a pseudo-carste, simplesmente porque não se trata de calcário. Por outro lado, não é porque existem formas que se assemelham ao carste em uma determinada área que é necessariamente carste. O equilíbrio tem de ser encontrado, e a definição se uma determinada área é ou não carste deve ser feita após estudos do relevo e processos que atuam ou atuaram na mesma. (HARDT; RODET; PINTO, 2009, p.10)

A presente tese soma-se como mais uma contribuição sobre a paisagem cárstica em rochas não carbonáticas, bastante comuns na Amazônia. Nesta pesquisa, são analisadas as cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em arenitos da porção nordeste da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, tendo

como principais as cavernas da Planaltina, Pedra da Cachoeira e do Limoeiro. Destaca-se, contudo, uma tipologia peculiar no qual apresenta um exemplo raro de caverna em folhelho: a Gruta Leonardo da Vinci. Tais contribuições serão conhecidas no capítulo 4, que trata da geoeologia da paisagem da província espeleológica em questão.

### **2.3 Geodiversidade e Geoconservação: critérios para proteção do patrimônio espeleológico**

O Patrimônio Espeleológico refere-se a presença de cavernas que se desenvolvem sob os mais variados tipos de estruturas rochosas, apresentando uma geomorfologia com feições muito características as quais “configuram uma grande beleza cênica, como maciços rochosos expostos, paredões ou escarpas, vales, torres, depressões, dolinas, lagoas, além das próprias cavernas” (NASCIMENTO, SCHOBENHAUS, MEDINA, 2008, p.152).

No Brasil, o patrimônio espeleológico apresenta-se inserido em unidades da paisagem que necessitam de um retorno concreto das políticas públicas e da ciência. Devem ser consideradas as variáveis ambientais, sociais e econômicas a fim de que o estado de conservação do ambiente cárstico não seja desestruturado ou comprometido. Uma vez reconhecida a riqueza advinda do patrimônio espeleológico, em seus múltiplos usos (ciência, esporte, lazer, etc.), necessário se faz elencar estudos que elevem sua importância física e socioambiental para que, posteriormente, venham se concretizar ações de proteção.

O primeiro passo voltado para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro deveu-se ao decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, com alterações em sua redação no decreto nº 6.640 de 7 de novembro de 2008, o qual dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. O decreto apresenta elementos importantes para a proteção do patrimônio espeleológico, bem como alguns critérios oportunos no momento de se pensar seu grau de relevância:

§ 4º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo aquela que possui pelo menos um dos atributos listados abaixo:

I - gênese única ou rara;

II - morfologia única;

- III - dimensões notáveis em extensão, área ou volume;
- IV - espeleotemas únicos;
- V - isolamento geográfico;
- VI - abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
- VII - habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos;
- VIII - habitat de troglóbio raro;
- IX - interações ecológicas únicas;
- X - cavidade testemunho; ou
- XI - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

Já a Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico, na qual o define como “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e históricos-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas”.

Nesse sentido, a área de influência sobre o patrimônio espeleológico é definida pela “área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola” (CONAMA, 2004).

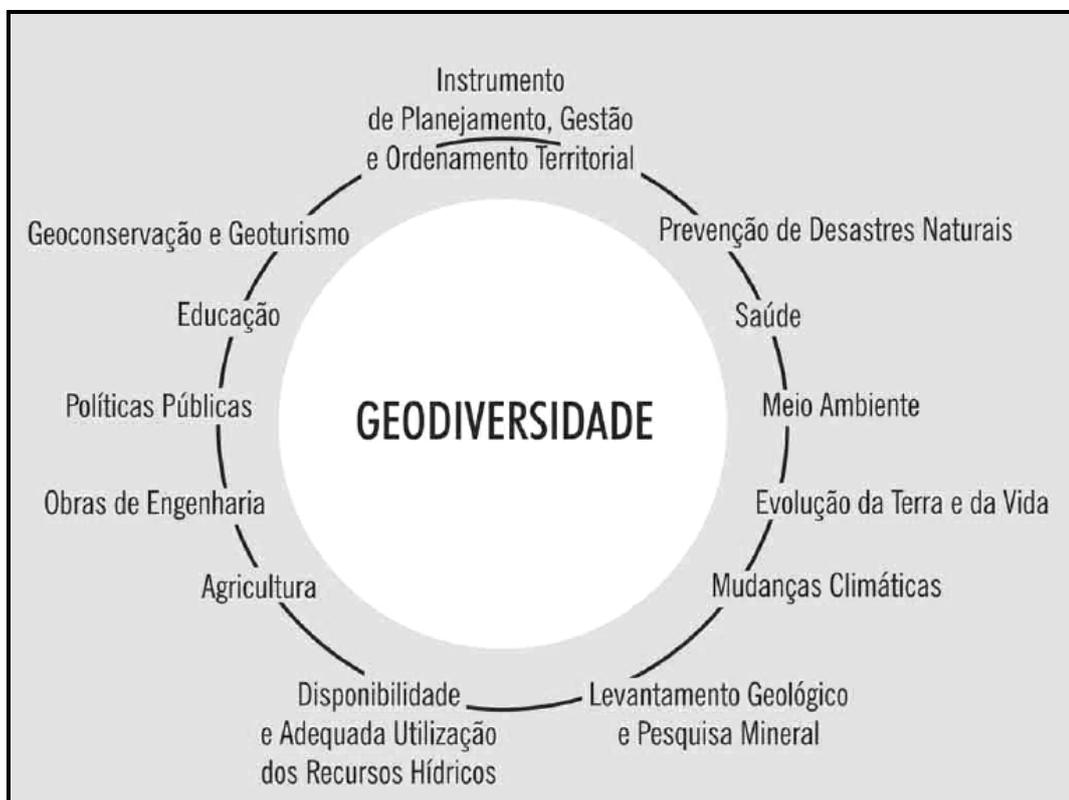
Nota-se que há uma estreita relação do conceito de patrimônio espeleológico com a análise geoecológica de paisagens, proposta metodológica desta pesquisa a ser melhor discutida no capítulo seguinte, uma vez que reuni um conjunto de elementos que, inter-relacionados entre si, resultam na sua definição, além da interdependência com elementos externos a ele. Mas ainda há outra relação que importa neste momento: sua associação referente ao conceito de **geodiversidade**, perfeitamente visualizada nos atributos supracitados no parágrafo 4º do decreto nº 6.640/2008, nos quais incluem claramente elementos da geodiversidade, resultando em parte seu conceito aplicado à paisagens espeleológicas.

O conceito de geodiversidade vai além da apresentação de seus elementos constituintes, não englobando apenas a diversidade natural de aspectos geológicos (minerais, rochas e fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, processos) e do solo, mas incluindo ainda suas coleções, relações, propriedades, interpretações e sistemas (GRAY, 2004). Trata-se de um verdadeiro modelo geossistêmico.

Visto que o conhecimento sobre a geodiversidade tem enfoque sistêmico, confere-se em seu escopo múltiplas aplicações (Figura 10), apresentando destaque no auxílio aos estudos de gestão ambiental e planejamento territorial.

A partir da elaboração do conceito de geodiversidade, as geociências desenvolveram um novo e eficaz instrumento de análise da paisagem de forma integral, [...] utilizando o conhecimento do meio físico a serviço da conservação do meio ambiente, em prol do planejamento territorial em bases sustentáveis, permitindo, assim, avaliar os impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico. (SILVA et al, 2008, 182).

Figura 10 - Principais aplicações da geodiversidade



Fonte: SILVA et al., 2008

Contudo, o objetivo aqui é valorar unidades de paisagem com rica geodiversidade, a fim de se ampliar a importância e necessidade de sua conservação. Vale ressaltar que sobre esses variados ambientes desenvolve-se uma biodiversidade incalculável tema sempre investigado e com atenção particular quanto a sua proteção ecológica, ou seja, a bioconservação. Ainda são crescentes as pesquisas que deram uma atenção especial ao habitat físico como suporte a vida terrestre, até que nos anos 1990 iniciou-se uma discussão referente a

geodiversidade, focada no patrimônio geológico.

Os aspectos geológicos e geomorfológicos da natureza receberam valores não apenas direcionadas a sua constituição física, mas também em seus múltiplos sentidos, sejam científico, estético, funcional e/ou sociocultural, enfim, essencial para a vida. Porém, a maior parte das ameaças à geodiversidade, por sua vez também dos componentes vivos, advém das ações dos seres humanos, necessitando trazer a tona o conceito de geoconservação.

A **geoconservação** é um termo novo no que diz respeito aos temas ligados à conservação da natureza, já que por mais tempo voltou-se uma maior importância científica para a proteção da biodiversidade, com foco em uma abordagem biocêntrica. Notou-se que não bastava apenas pensar nos seres vivos sem tomar conta do seu ambiente (habitat) natural, a geodiversidade. Importante salientar que os elementos abióticos não são renováveis, assim como a biodiversidade é capaz de se reestabelecer. Nesse sentido, uma vez destruído o patrimônio geológico não há regeneração, sendo extinguido para sempre. Destacando que a biodiversidade é diretamente dependente da geodiversidade, já que diferentes organismos somente encontram condições de subsistência quando se reúne uma série de condições abióticas indispensáveis (BRILHA, 2005).

Ao lembrar que a “biodiversidade faz parte da geodiversidade”, Sharples (2002) desenvolve o conceito de geoconservação relacionado à gestão da conservação dos elementos abióticos da natureza, com foco principal na proteção do patrimônio geológico, em busca de proteger não apenas os recursos de valor científico ou necessários ao ser humano, mas também pensando na manutenção dos processos ecológicos e diversidade biológica. Mais que proteger o patrimônio geológico, a geoconservação propõe-se a reconhecer a diversidade dos processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, em busca de minimizar os impactos negativos causados pelo ser humano, além de divulgar a importância da geodiversidade para manutenção da biodiversidade. Além disso, muitos elementos de geodiversidade tem características únicas, como os fósseis, que são insubstituíveis se degradado.

Os objetivos propostos para a geoconservação enumera algumas informações importantes:

- conservar e assegurar a manutenção da geodiversidade;

- proteger e manter a integridade dos locais com relevância em termos de geoconservação;
- minimizar os impactos adversos dos locais importantes em termos de geoconservação;
- interpretar a geodiversidade para os visitantes de áreas protegidas;
- e contribuir para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos dependentes da geodiversidade.  
(SHARPLES, 2002 apud NASCIMENTO; RUCHKYS; MANTESSO-NETO, 2008, p.22)

Brilha (2005) acrescenta que a geoconservação tem como finalidade a utilização e gestão sustentável da geodiversidade. Contudo, focando a conservação de certos elementos da geodiversidade que demonstrem um valor significativo.

Realmente, uma coisa é o estabelecimento de estratégias de modo a garantir a gestão sustentada dos recursos geológicos, assegurando as técnicas de exploração e de beneficiação mais adequadas e o menor impacto possível no ambiente. Outra consiste na implementação de estratégias que permitam a conservação de ocorrências geológicas que possuem inegável valor científico, pedagógico, cultural, turístico, ou outros os geossítios. (BRILHA, 2005, p.52)

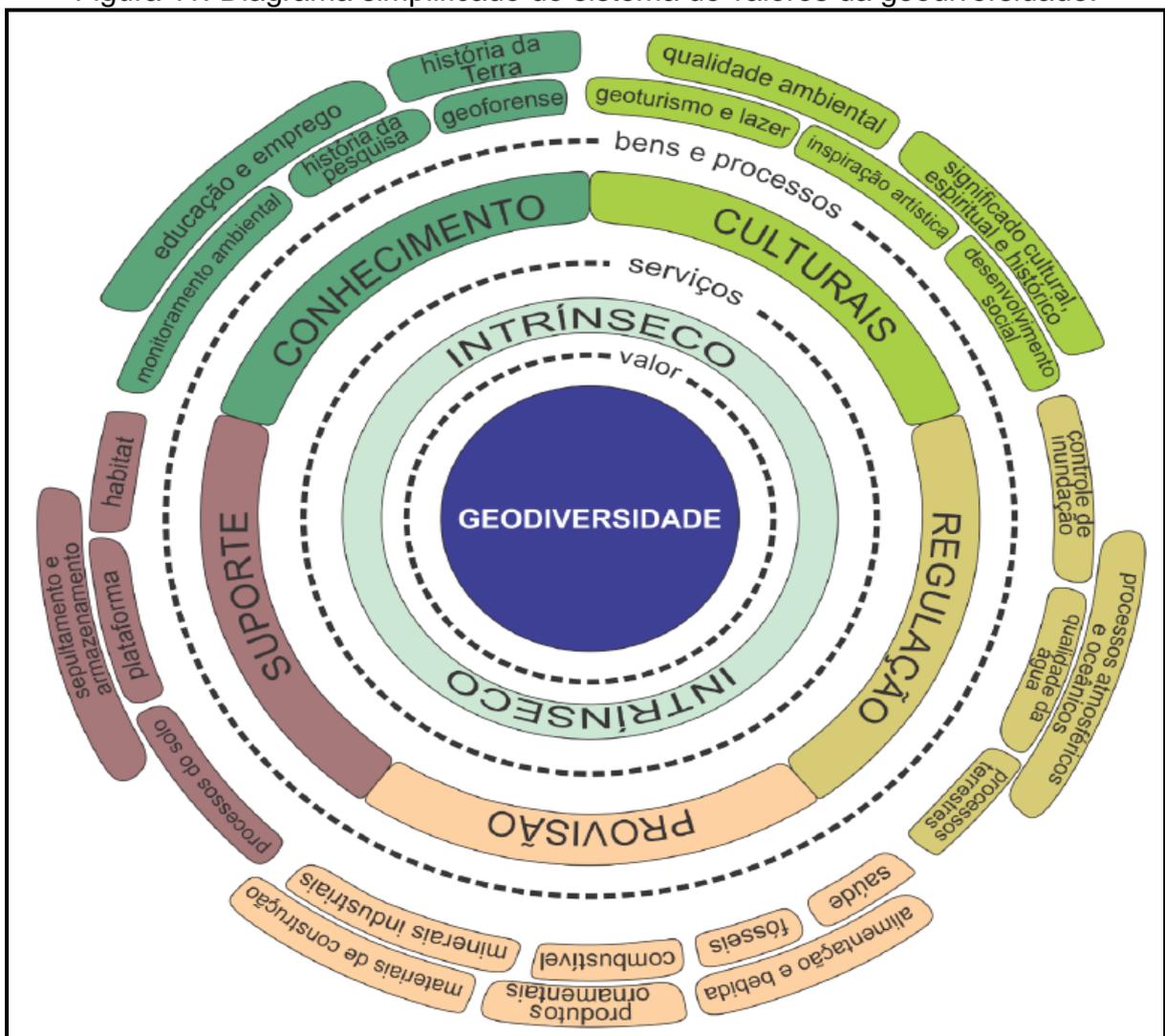
No momento em que se pensa em preservação ou conservação tem-se como premissa que algum valor foi atribuído ao objeto. A atribuição de valores da geodiversidade é uma das ferramentas sugeridas para a definição da proteção da unidade paisagística em questão. Nesse sentido, Gray (2004) lançou valores que fundamentam os estudos voltados para a geoconservação de patrimônios geológicos:

- Valor intrínseco: trata-se do valor próprio da natureza, atribuído simplesmente por aquilo que é e não pelo que pode ser usado para o ser humano (não sendo necessariamente de valor utilitário);
- Valor cultural: o valor colocado pela sociedade sobre algum aspecto do ambiente físico em razão da sua importância social, cultural, espiritual, estética, etc.
- Valor estético: refere-se ao apelo visual, e seu impacto positivo a todos os sentidos do ser humano, fornecido pelo ambiente físico, bastante utilizado para definir paisagens turísticas;
- Valor econômico: valor conferido pela dependência do ser humano em relação aos elementos da geodiversidade, tais como os combustíveis fósseis (carvão e petróleo), materiais geológicos para construção civil, águas subterrâneas, minerais preciosos (pedras preciosas), etc.;

- Valor funcional: raramente aplicável à conservação da natureza, apresenta uma subdivisão. A primeira como função *in situ* para o ser humano (relacionado ao valor econômico, em que possui caráter utilitário), e a segunda enquanto função e base para a sustentação da biodiversidade;
- Valor científico e educativo: importância que os elementos da geodiversidade representam para a investigação científica e para a educação.

Em sua 2ª edição, Gray (2013) redefiniu o sistema de valoração para a geodiversidade, sendo agora composto apenas pelo valor intrínseco, que diz respeito ao simples fato de sua existência. Dentro do seu valor, existem os cinco serviços (regulação, suporte, provisão, cultural e conhecimento) e, por conseguinte, os 25 bens e processos, como demonstrados na Figura 11.

Figura 11: Diagrama simplificado do sistema de valores da geodiversidade.



Fonte: Silva; Nascimento (2016).

Voltando ao contexto espeleológico, Urban e Oteska-Budzin (1998) realizaram uma aplicação do conceito de geodiversidade nas cavernas não carbonáticas da Polônia, tendo-se então como a razão de seu valor científico e, por sua vez, o motivo para necessidade de sua proteção ambiental. Elencaram ali as peculiaridades dos processos de formações das feições cársticas (definida pelos autores como pseudocarste ou não-carste), como critério científico principal para sua avaliação, além dos elementos bioespeleológicos e histórico-culturais.

Esse é o ponto central do patrimônio espeleológico exemplificado aqui nesta pesquisa. O fato de haverem cavernas resultantes de processos de formação incomuns ao que a geomorfologia cárstica apresenta já as torna valorizadas cientificamente, além de valores estéticos e culturais agregados.

Vale realizar, também, uma associação ao conceito de *geoparque*. O termo geoparque foi proposto pela primeira vez em 1996, durante o XXX Congresso Internacional de Geologia, em Pequim. Contudo, sua filosofia está ligada a “Declaração dos Direitos à Memória da Terra”, elaborada durante o Primeiro Simpósio Internacional sobre a Proteção do Patrimônio Geológico, em 1991 em Digne-Les-Bains, França, o qual envolvia a participação de especialistas de mais de 30 nações. Destacava-se, naquele momento, a necessidade de proteger o patrimônio natural registrado nas rochas e paisagens, ou seja, o patrimônio geológico.

De acordo com a Rede Global de Geoparques [UNESCO], um geoparque representa uma área geográfica onde o patrimônio geológico faz parte de um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. Em outras palavras, são territórios abertos sem enquadramento legal, onde sítios geológicos de valor singular do ponto de vista científico, educativo, turístico e outros, criam os meios (geração de renda e empregos) para a preservação do patrimônio geológico. Além de difundirem o conhecimento científico, promovem ações educativas para a popularização das Geociências e dessa maneira dão suporte ao desenvolvimento sustentável através do geoturismo. (SCHOBENHAUS e SILVA, 2012, p. 05)

No Brasil, o inventário e a quantificação de locais de interesse geológico e geomorfológico de áreas com eventual potencial para geoparques está sendo desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), desde 2006, haja vista a imensidão de áreas ricas em geodiversidade. O Projeto Geoparques tem objetivos de identificar, levantar, descrever, diagnosticar e divulgar as áreas potenciais para

criação de geoparques, bem como também realizar a quantificação e inventário dos geossítios. Assim, destacam-se paisagens geológicas, aliados à presença de sítios não geológicos de importância ecológica, arqueológica, histórica ou cultural.

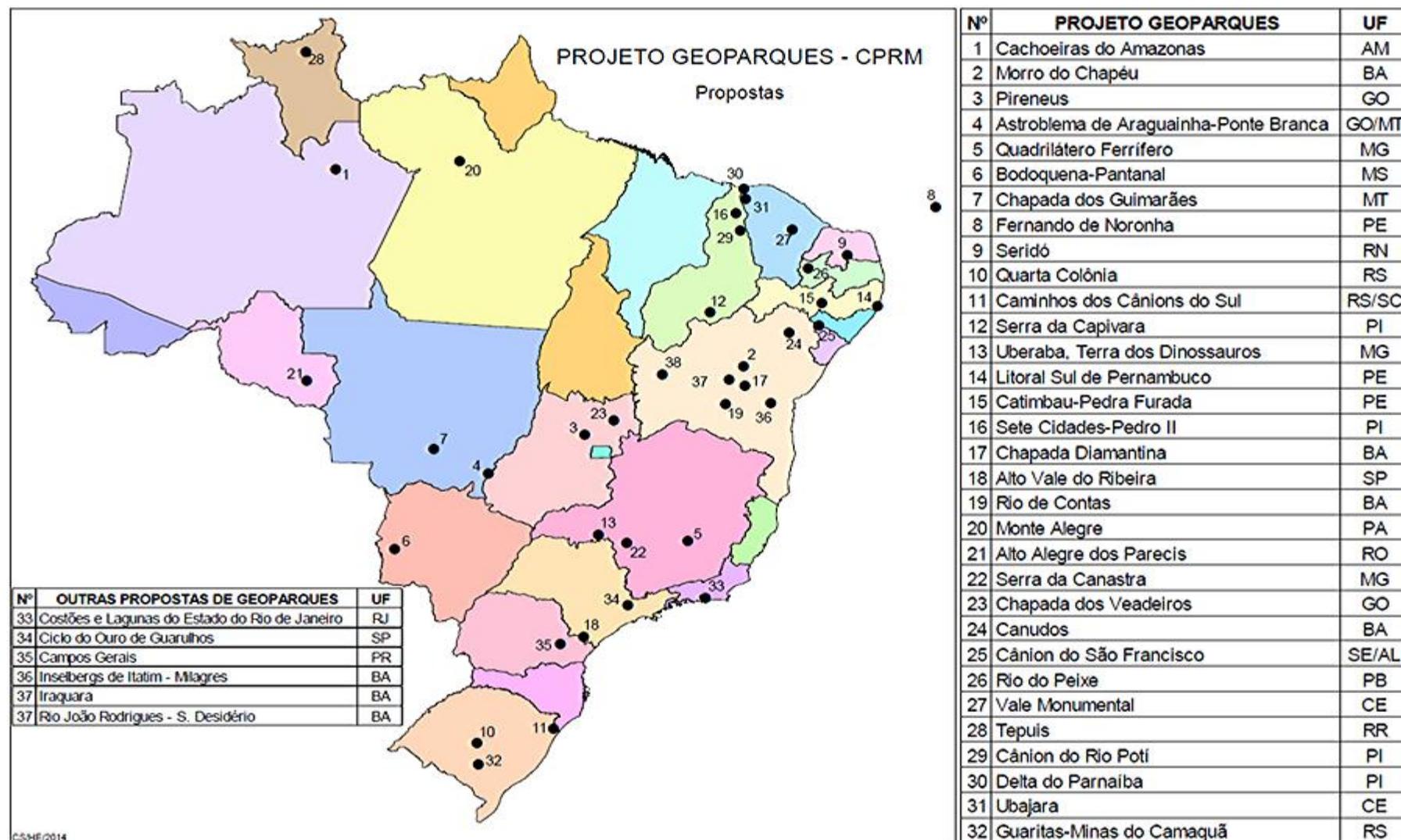
As áreas com potencial de se transformarem em geoparques são, em sua maioria, cenários alocados em bacias sedimentares, com destaque para rochas areníticas, apresentando geossítios com características geológicas e geomorfológicas diferenciadas do entorno, tal como uma paisagem de exceção, que guardam em si, além da beleza cênica, também potencialidades arqueológicas e paleoambientais. “Registros importantes dessa história, alguns de caráter único, representam parte do patrimônio natural da Nação e mesmo de toda a humanidade, justificando sua conservação” (SCHOBENHAUS; SILVA, 2012, p. 17), relevando-se assim a proposição de um geoparque. A Figura 12 apresenta a localização das propostas de geoparques no Brasil.

Entre estas áreas propostas percebe-se algumas com categorização espeleológica, como no caso do projeto Cachoeiras do Amazonas (AM), que igualmente à Província Espeleológica Altamira-Itaituba, configura-se por apresentar cavernas e sítios geológicos expostos principalmente em arenitos do Grupo Trombetas, na borda norte da Bacia Sedimentar do Amazonas.

Assim, a tese demonstra a pretensão de expor a geodiversidade da província diante de sua importância espeleológica e ambiental, de modo comparar suas características a proposta do Projeto Geoparque da CPRM, demonstrando assim sua importância geoambiental e necessidade de aplicação da geoconservação. Não se trata, neste caso, de propor um geoparque, mas sim junto às concepções de geodiversidade e geoconservação elencados pelo CPRM destacar a riqueza geológica, geomorfológica, espeleológica, biológica e cultural que esta área tem para vir a ser conservada através de ações políticas e administrativas.

A Espeleologia também faz uma abordagem focada nos aspectos bioecológicos, uma vez que as cavernas são um ambiente de biodiversidade excepcional, que se desenvolve isoladamente. Na sequência será vista uma breve fundamentação teórica a respeito da Bioespeleologia.

Figura 12 – Mapa de localização das propostas de Geoparques do Projeto Geoparques (2014)

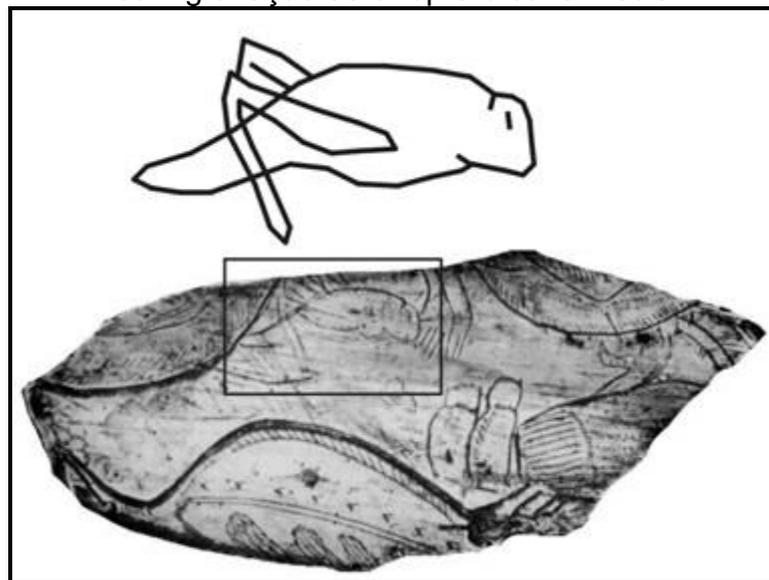


## 2.4 Descobrimo o isolamento: a Biogeografia de Ilhas aplicada ao estudo espeleológico.

A Espeleologia não trata de pesquisar somente os aspectos geológicos, lembrando que também é observada, nos estudos de cavernas, uma abordagem bioecológica, tratando essas paisagens cársticas como um espaço de biodiversidade única, que se desenvolve isoladamente: a bioespeleologia. Sabe-se, contudo, que mesmo antes do termo bioespeleologia ser designado como ramo da espeleologia, já havia várias pesquisas registradas a partir do século XVII a respeito da fauna cavernícola, que vão desde sua catalogação a sua classificação.

Porém, o registro de espécies que viviam em cavernas tem uma representação enigmática do período Paleolítico (há 18000 anos), o qual trás como referência o mais antigo documento sobre fauna cavernícola já conhecido: uma gravação da Figura de um ortóptero (grilo) em osso de bisonte encontrado na Gruta Trois Frères, nos Pirineus da França (Figura 13). A gravura é tão bem retratada que em 1928 o entomologista Chopard ousou identifica-lo como do gênero *Troglophilus* (MELIC, 2003). “É, no entanto, um documento isolado que tem mais significado na compreensão de primórdios da cultura humana que especificamente no campo das ciências biológicas em cavernas” (LINO, 2009, p.198).

Figura 13: Osso de bisonte descoberto na Gruta des Trois Frères (Ariège, França) com gravação de ortóptero cavernícola



Fonte: Melic, 2013, p. 329

Os relatos sobre espécies exclusivamente cavernícolas têm início somente em 1689, com a descrição do Barão Johann Weichard Valvasor da existência de um ‘pequeno dragão’ que habita o mundo subterrâneo (Figura 14).

Figura 14: Anfíbio troglóbio *Proteus anguinus*.



Fonte: <https://sites.google.com/site/profundezas/historiadabioespeleologia>

Este mesmo anfíbio foi descrito por Laurenti, em 1768, como sendo o troglóbio *Proteus anguinus*, o qual apresenta uma série de características morfológicas comuns às espécies cavernícolas, tais como “despigmentação, atrofia dos olhos e estranhas brânquias externas de forte coloração vermelha” (LINO, 2009, p.198). Na sequência vieram pesquisadores como Alexandre Von Humboldt, em 1799, com descobertas de um pássaro que construía seus ninhos em cavernas da Venezuela, chamado guáchano (*Steatornis caripensis*), e o Conde Franz von Hohenwart que em 1831 recolhe o primeiro registro de coleóptero cavernícola, *Leptodirus hochenwartii*.

Contudo, o emprego do termo ‘bioespeleologia’ seria citado pela primeira vez somente em 1904 pelo biólogo e espeleólogo francês Armand Viré (LINO, 2009). Alguns anos depois o romeno Emil Racovitza é então considerado o pai da Bioespeleologia por sua importante obra publicada em 1907, “*Essai sur les problemes biospeologiques*”, considerada o marco dos estudos do domínio subterrâneo.

As primeiras definições do domínio subterrâneo, proposta por autores como Emil G. Racovitza (1907), René Jeannel (1943), Albert Vandel (1964),

René Ginet & Vasile Decou (1977) o Thomas C. Barr (1968), incluíram um conjunto heterogêneo de habitats, com características ambiental bem distintas. (SENDRA; REBOLEIRA, 2013, p.31, tradução nossa).<sup>6</sup>

A partir de então as pesquisas voltadas para a bioespeologia aumentaram consideravelmente em todo o mundo, uma vez que a busca por espécies cavernícolas aguçam a curiosidade dos estudiosos. No Brasil, destacam-se trabalhos científicos que deram início a este ramo, tais como: a tese do professor Pavan, em 1945, sobre os bagres-cegos das grutas de Areias (Iporanga/SP); as pesquisas do professor Otto Schubart, em 1946, sobre diplópodes cavernícolas; as pesquisas do espeleólogo suíço Pierre Strinati, nos anos de 1968/71/75, o qual identificou vários animais das cavernas brasileiras; a Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE) de Ouro Preto-MG que desde 1937 realiza coletas e observações sobre espécies faunísticas das cavernas da região; o Centro Excursionista Universitário (CEU) com apoio da Universidade de São Paulo (USP) que a partir de 1972/73 realizou estudos sistematizados da flora e da fauna; a criação do primeiro laboratório subterrâneo do país, em 1974, instalado na Gruta da Ressurgência das Areias (Iporanga/SP), pelo espeleólogo franco-brasileiro Guy Collet; e a bióloga e espeleóloga Eleonora Trajano, que a partir de 1978 iniciou trabalhos de pós graduação junto ao Museu de Zoologia da USP, com pesquisa sobre morcegos e bagres cegos nas cavernas do Alto Vale Ribeira (SP) e elevou suas pesquisas para várias regiões do país, inclusive a Província Espeleológica Altamira-Itaituba (LINO; ALLIEVI, 1980; LINO, 2009).

Como visto, a 'biologia subterrânea' ou 'bioespeologia' é um ramo da ciência que busca investigações a respeito dos organismos que habitam cavernas, classificando e explicando como sobrevivem em ambientes isolados e de condições inóspitas, bastante diferentes da superfície. Tal abordagem está baseada na teoria sobre a Biogeografia de Ilhas ou Insular (MACARTHUR; WILSON, 1963, 1967), que também serve como ferramenta de estudo na compreensão da vida que se instala nas cavernas, totalmente adaptada ao rigor do ambiente oferecido.

A Teoria da Biogeografia Insular [...] forneceu aos biogeógrafos um suporte teórico com o qual foi possível comparar seus próprios resultados

---

<sup>6</sup> *Las primeras definiciones del dominio subterráneo, propuestas por autores como Emil G. Racovitza (1907), René Jeannel (1943), Albert Vandel (1964), René Ginet & Vasile Decou (1977) o Thomas C. Barr (1968), incluyeron un conjunto heterogéneo de hábitats, con características ambientales bien distintas.* (SENDRA; REBOLEIRA, 2013, p.31).

individuais [...]. Sua metodologia também foi estendida a outros tipos de isolamento que não apenas o de terra cercada de água. Por exemplo, picos montanhosos, biota de cavernas e plantas isoladas são todas interpretadas dessa maneira. (COX; MOORE, 2011, p.159)

De acordo com MacArthur e Wilson (1967), no estudo da biogeografia de ilhas os ambientes isolados são vistos como um microcosmo simples, mas complexos, pela sua própria multiplicidade e variação na forma, tamanho, grau de isolamento e ecologia. As “ilhas” oferecem as repetições necessárias em "experiências" naturais pelos quais hipóteses evolutivas podem ser testadas. A teoria está diretamente ligada à Ecologia, buscando foco na distribuição das espécies, atentando para a identificação dos fatores que determinam os fenômenos associados às relações ecológicas envolvidas no espaço limitado em que vivem.

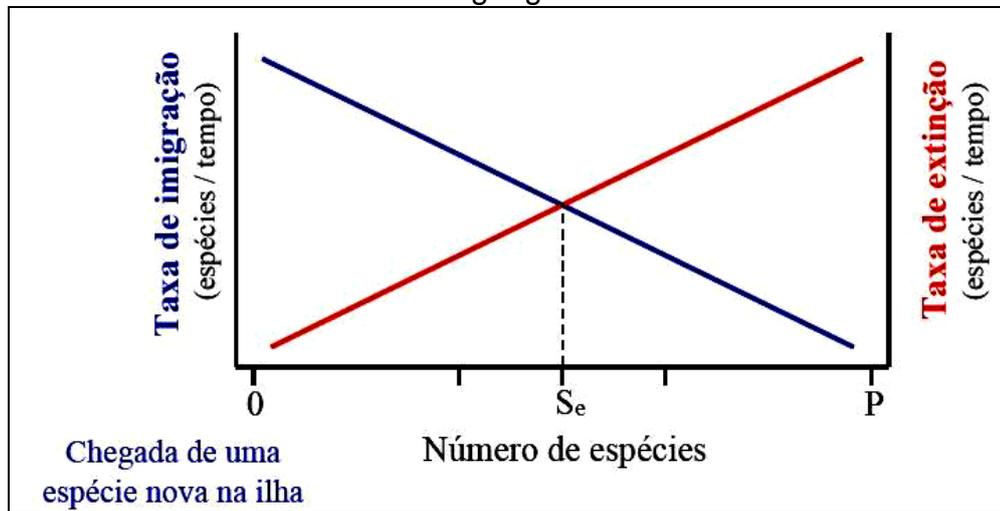
Existem algumas características associadas à teoria da Biogeografia de Ilhas que se aplicam aos ambientes espeleológicos. Para uma melhor compreensão, substitui-se o termo ilha por cavernas:

- as cavernas são mais pobres em espécies que as áreas externas ao seu entorno (fontes);
- a riqueza da biodiversidade da caverna depende da riqueza da fonte;
- a riqueza diminui com isolamento e dificuldade de acesso ao interior da caverna, bem como o próprio ambiente afótico (escuridão) ali existente.

A Teoria explica que o número de espécies de uma ilha depende do equilíbrio entre as taxas de imigração (colonização) de novas espécies e a taxa de extinção de espécies ali existente (Figura 15). Sendo assim, tais taxas são determinadas pelas características da ilha/caverna (distância da fonte, baixa biodiversidade, dificuldade de acesso), além do grau de isolamento em que as espécies que habitam a caverna estão submetidas.

A vida nas ilhas/cavernas apresenta grandes dificuldades de graus de periculosidade, uma vez que são reconhecidos modo de interação complexa entre os processos de colonização, imigração e extinção. Apesar da biodiversidade pequena e empobrecida, os ambientes isolados favorecem a ocorrência mais constante de modificações evolutivas e adaptativas, o que atrai pesquisadores.

Figura 15: Modelo do Equilíbrio da biota de acordo com a Teoria da Biogeografia de Ilhas.



Fonte: <http://biogeografia-ufsm.blogspot.com.br/2010/06/teoria-da-biogeografia-de-ilhas.html>, adaptado de MacArthur; Wilson, 1967.

Sendo assim, o ambiente espeleológico apresenta características específicas que exige da comunidade biológica que o habita particularidades ecológicas. A ausência de luminosidade é a principal delas, uma vez que ali se desenvolve uma biodiversidade de espécies restrita e isolada do ambiente externo (epígeo). Assim, Trajano e Andrade (2005) afirmam que algumas características morfológicas, fisiológicas e comportamentais das espécies cavernícolas (hipógeas) são, na verdade, heranças de linhagens ancestrais do meio epígeo. Tais características são conhecidas como pré-adaptações.

“Animais que no meio externo apresentam uma série de características como dieta generalista, baixo metabolismo e [...] capacidade de se orientar no escuro através de outro sentido que não o visual, têm maior chance de estabelecer populações no meio cavernícola.” (p.25-26).

As espécies que habitam os ambientes subterrâneos são categorizados de acordo com a relação do seu ciclo de vida nos espaços e recursos ali disponíveis, seja total ou parcial, apresentando hábitos de vida específicos às condições inóspitas.

Desta forma, as espécies **troglóxenas** representam animais que utilizam as cavernas como abrigos, mas que têm uma dependência do ambiente superficial para completarem seus ciclos de vida (ex. morcegos e alguns aracnídeos). As espécies **troglófilas** representam animais com populações cavernícolas e epígeas, as quais completam seus ciclos de vida nestes dois

ambientes (ex. aracnídeos, grilos). As espécies **troglobias** representam aquelas que estão isoladas no ambiente subterrâneo, com características relacionadas a este isolamento (ausência de olhos e de pigmentação cutânea). (ELETROBRÁS, 2009, p.52).

O domínio subterrâneo abriga um ecossistema peculiar, rico em microendemismos e espécies que apresentam adaptações morfofisiológicas à vida em profundidade (REBOLEIRA, OROMÍ e GONÇALVES, 2010). As espécies troglóbias que vivem nas zonas afóticas, ambientes totalmente desprovidos de luz, exibem modalidades sensoriais as quais constituem alternativas à visão. Trajano e Andrade (2005, p.30) definem:

- Sensibilidade química: olfação e gustação em vertebrados; quimiorrecepção geral em invertebrados. Por exemplo, bagres epígeos encontram alimento através de seus botões gustativos (localizados não só na boca como também nos barbilhões e na superfície do corpo) e localizam membros da mesma espécie principalmente através do olfato;
- Sensibilidade mecânica: percepção de vibrações na água ou no ar, audição, sonar (ecolocalização). Peixes, por exemplo, percebem o movimento de presas vivas pela linha lateral; morcegos [espécie troglóxena] orientam-se topograficamente e detectam presas vivas através da ecolocalização;
- Sensibilidade eletromagnética: alguns peixes e salamandras aquáticas percebem o campo eletromagnético produzido pela atividade muscular de presas vivas.

Além da influência nas características morfofisiológicas das espécies cavernícolas, a ausência da luz solar também define as fontes de alimentos dos meios subterrâneos. Assim, o ambiente cavernícola sem luz é dotado de escassez de alimento, uma vez que a luz do sol é a principal fonte de energia, a qual é produzida através de organismos fotossintetizantes e que, por sua vez, geram as principais fontes de alimento dos seres vivos.

Apesar disso, há uma pequena produção de energia na caverna, limitada por bactérias quimiossintetizantes e que aproveitam energia química dos elementos minerais fornecidos pelas rochas e atmosfera das cavernas (moléculas simples de ferro, enxofre, nitrogênio e entre outros), além de elementos também provenientes do ambiente externo (TRAJANO; ANDRADE, 2005). Outras fontes de alimentos podem ser citadas, tais como transporte pela água, no caso de córregos que correm de fora para dentro das cavernas, e/ou por organismos troglógenos, tais como morcegos que deixam restos de alimentos e fezes (guano) no ambiente hipógeo.

Diante do exposto, sabe-se que a biodiversidade espeleológica é baixa, relativamente frágil e vulnerável a qualquer mudança ambiental. Reboleira, Oromí e

Gonçalves (2010) afirmam que os ecossistemas subterrâneos estão sujeitos a pressões ambientais decorrentes da utilização do solo na superfície. Vale ressaltar que a sensibilidade ecológica que é conferida nos ambientes cársticos somada ao incipiente conhecimento científico ainda traduz-se na degradação destes ecossistemas, muitas vezes irreversível.

Nesse contexto, a Teoria da Biogeografia de Ilhas ou Insular torna-se necessária nos estudos em bioespeleologia, porquanto procura estabelecer e explicar os fatores que comprometem a riqueza de espécies dessa comunidade isolada.

### **3 OS PERCURSOS DA PESQUISA: conceitos, temas e métodos**

A tese apresenta um enfoque interdisciplinar, com levantamentos de conceitos e teorias referentes aos temas e termos empregados na pesquisa, bem como também ao conhecimento necessário para o entendimento do contexto geológico da Província Espeleológica Altamira-Itaituba – PA. Assim, a metodologia da pesquisa é fundamentada na análise geossistêmica e geoecológica, no qual enfatiza o conceito de paisagem ligada diretamente aos estudos sistêmicos, oferecendo as bases para um conhecimento sobre o sistema dinâmico de formação geológico-geomorfológico das unidades paisagísticas, da caracterização ambiental e da avaliação do estado atual de conservação dos recursos naturais.

Na sequência à base teórico-metodológica, este capítulo apresenta um breve levantamento teórico dos aspectos que estruturaram o conceito de Planejamento Ambiental, sua concepção metodológica e assim como sua aplicabilidade voltada para ambientes espeleológicos.

Definidas e apresentadas as bases teóricas e metodológicas da tese, são descritos os percursos práticos que se seguiu para se obter as respostas e alcançar os objetivos propostos.

#### **3.1 Geossistema e Geoecologia das Paisagens: bases teóricas e metodológicas aplicadas à análise da paisagem e ao planejamento ambiental**

A análise da paisagem tem o objetivo de demonstrar a configuração físico-ambiental da região, procurando-se entender a constituição do ambiente de forma sistêmica, por meio da inter-relação dos aspectos geoambientais e suas limitações, proporcionando subsídios para o uso e ocupação corretos da terra, através do planejamento e gestão ambiental. Apresenta natureza integrativa e tem como base o estudo dos geossistemas (SOTCHAVA, 1977; TRICART, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1979, BERTRAND, 2004, 2007; 1999; MONTEIRO, 2000; SOUZA, 2000; dentre outros), que irá subsidiar a constituição da Geoecologia das Paisagens (SOTCHAVA, 1977; MONTEIRO, 2000; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004; RODRIGUEZ; SILVA, 2013; CAVALCANTI, 2014).

Nesse sentido, na ocasião do estudo dessa tese são adotadas tanto a análise geossistêmica da paisagem como também a geoecologia das paisagens.

Apesar das duas metodologias terem bases semelhantes, a leitura e foco da análise da paisagem são vistas de maneira diferente. A primeira apresenta-se útil para entender a constituição do ambiente espeleológico, por meio da inter-relação dos aspectos geomorfológicos de formação, os dados geoambientais e suas limitações. A segunda proporciona as bases para que sejam apontados os subsídios que levam a um planejamento ambiental do uso e ocupação da terra de modo sustentável, vinculados à geoconservação dos patrimônios espeleológicos.

### *3.1.1 Geossistema como fundamento para a análise integrada da paisagem*

O estudo sobre os geossistemas é fundamentado com base na Teoria Geral dos Sistemas (TGS), desenvolvida pelo biólogo húngaro Ludwig von Bertalanffy, em 1936. O estudo sistêmico é realizado mediante análise e investigação das partes componentes de um todo, que é o conjunto de elementos relacionados entre si e com certo grau de organização os quais atingiram determinado objetivo ou finalidade. O todo sempre estará condicionado às relações e conexões estabelecidas entre suas partes, de forma que, caso haja alguma alteração em uma das partes, esta afetará a configuração final do todo. Mesmo que as partes sejam estudadas de forma isolada, suas propriedades são individualizadas e a simples soma de suas partes diferencia-se do todo (FREIRE, 2007).

A ideia central do geossistema está na aplicabilidade universal da TGS, que tem foco central no desenvolvimento de uma teoria de caráter geral e multidisciplinar. De acordo com Sotchava (1977) a teoria geossistêmica demonstra que na análise da paisagem devem-se estudar as conexões entre os componentes da natureza, e não eles separados do todo. O estudo deve projetar-se na análise da sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, evolução etc, e não na restrição à morfologia da paisagem e suas subdivisões. Ross (2006) destaca também o enfoque genético, que é “a reconstrução dos ambientes paleogeográficos, para entender a dinâmica do presente e estabelecer a classificação em função da perspectiva futura da evolução de cada geossistema” (p.26).

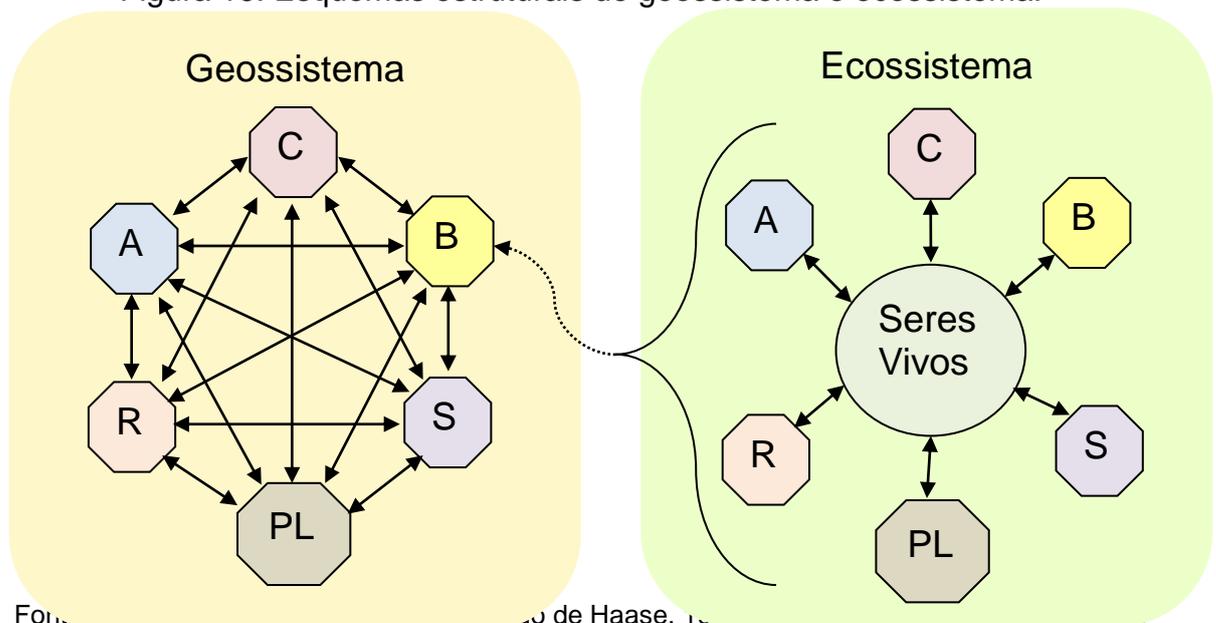
Assim, o geossistema tomou notoriedade, principalmente na ciência geográfica, durante as décadas de 1960 e 1970, uma vez que se demonstra eficaz no planejamento e gestão físico-territorial (ou ambiental) pela capacidade de gerar um conhecimento da síntese da paisagem. Sotchava (1977) foi quem apresentou o

termo geossistema pela primeira vez, também definido como sistema geográfico ou complexo natural e territorial ainda na década de 1960, com a “preocupação de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos, enfocando aspectos integrados dos elementos naturais numa entidade espacial em substituição aos aspectos da dinâmica biológica dos ecossistemas” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 42).

Vale salientar que geossistema e ecossistema são dois sistemas diferentes. Enquanto o ecossistema é definido com base na ciência biológica, o geossistema tem base metodológica na ciência geográfica. O conceito de ecossistema foi proposto pelo ecólogo britânico Arthur Tansley em 1935, que o definia como uma área relativamente homogênea resultante da interação entre os seres vivos e o seu ambiente, aplicado a diferentes escalas de grandeza, em que um fluxo de energia determina as estruturas bióticas bem definidas e um ciclo de materiais entre as partes vivas e as não-vivas.

Não se pode negar que sua concepção deu luz ao que Sotchava chamou de geossistema, uma vez que absorvem os conceitos ecológicos e têm organização sistêmica mais complexa. Na Figura 16 é possível entender, de maneira esquematizada, as diferenças entre ecossistema e geossistemas, onde C = Clima; A = Água; R = Relevo; B = Biosfera; S = Sociedade; PL = Pedologia e Litosfera.

Figura 16: Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema.



De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), no estudo dos

ecossistemas são visualizadas apenas as relações e processos vinculados aos organismos vivos ocorridos no meio natural e abiótico, sendo assim de caráter monocêntrico (ou biocêntrico), isto é, os seres vivos são o centro da análise. Já nos geossistemas há um maior número de elementos componentes, caracterizando-o como policêntrico, portanto as investigações funcionais são mais amplas, ao abranger todas as relações no complexo natural.

Sotchava (1977) desenvolvia seus estudos na União Soviética, em grandes extensões territoriais, o qual o geossistema é classificado em geômeros, unidades territoriais homonêneas, e geôcoros, em conjuntos territoriais heterogêneos, em que os empregava em níveis hierárquicos que correspondem a três níveis taxonômicos (planetário, regional e tipológico). Em se tratando do sistema de hierarquização, o autor afirma que:

Hierarquia de construção é a mais importante feição dos geossistemas. Devido a isso, tanto a série elementar da superfície da Terra, quanto o geossistema planetário (geographical cover), ou as subdivisões intermediárias do meio natural, representam (cada qual separadamente ou em conjunto) uma unidade dinâmica, com uma organização geográfica a ela inerente (SOTCHAVA, 1977, p.09).

Sotchava (1977) ressaltava a conexão da natureza com a sociedade na medida em que, mesmo considerando o geossistema como um fenômeno natural, os fatores econômicos e sociais influenciam na estrutura analítica. Destaca uma influência cada vez mais representativa do ser humano no sistema, que tem características de ser aberto, dinâmico e hierarquicamente organizado, com estágios de evolução temporal.

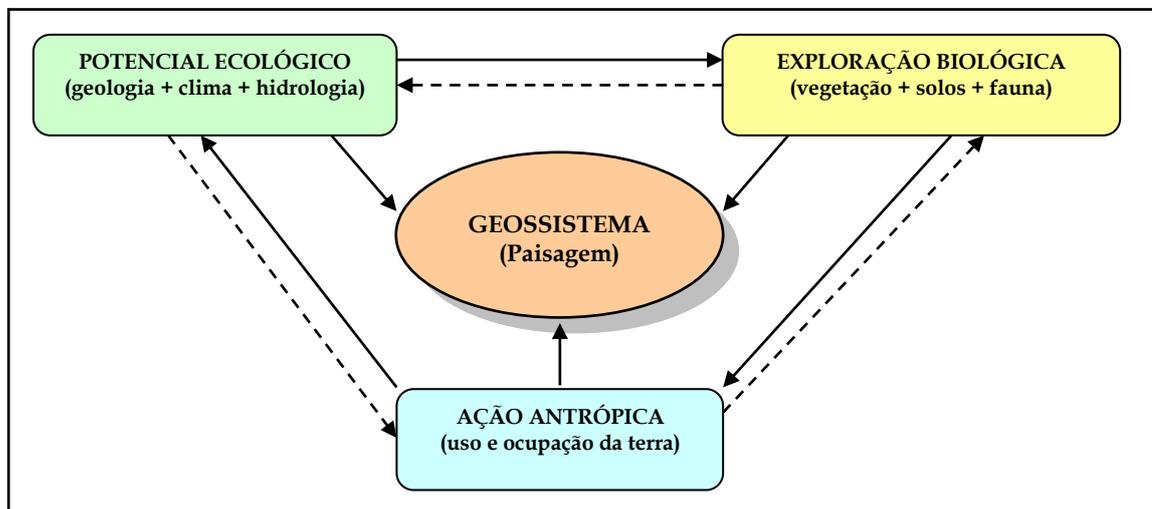
Na sequência surgia a proposta de Chorley e Kennedy, em sua obra *Physical Geography - A system approach*, publicada em 1971, no qual trazia o geossistema vinculado aos conceitos de erosão, com base na noção de ecossistema. “Eles também consideram, além do sistema morfológico, os sistemas de cascata, os sistemas tipo ‘processo-resposta’, o dirigido ou controlado, e o de autorregulação” (ROGRIGUEZ; SILVA, 2013, p. 100). Nessa abordagem, o ser humano está incluído como sistema humano paralelo ao sistema biológico (plantas e animais), porém não tem um caráter de sistema espacial ou territorial.

Já Bertrand, no ano de 1968, levou sua pesquisa de forma mais concentrada na França, com uma delimitação geográfica mais próxima da realidade,

tendo-se ainda a possibilidade de delimitar mais ainda a paisagem em subdivisões espaciais menores e fisionomicamente mais homogêneas, como o geofácies e o geótopo. “O geofácies representa assim uma malha na cadeia das paisagens que se sucedem no tempo e no espaço no interior de um mesmo geossistema.” (BERTRAND, 2004, p. 147). Em outros casos fica indispensável conduzir a análise ao nível de menores escalas, tais como as unidades de cavernas presentes nessa pesquisa. Estas, por sua vez, são vistas como o refúgio de biocenoses originais, às vezes relictuais ou endêmicas, correspondente ao geótopo, que se configura como a menor unidade geográfica homogênea diretamente discernível no terreno, o qual pode ser muito bem relacionado ao estudo de Biogeografia de Ilhas ou Insular, citado no capítulo anterior.

O conceito de geossistema desenvolvido por Bertrand (2004) aponta a noção de escala e a classificação dos elementos específicos (clima, geologia, solos, hidrologia, vegetação, fauna e uso e ocupação da terra), chegando-se, pois, à síntese da paisagem (Figura 17).

Figura 17: Esboço de uma definição teórica de geossistema



Fonte: Adaptado de Bertrand (2004)

O conceito de paisagem é inserido ao estudo de geossistema pelo fato de ser apontado como o efeito visual ou uma representação daquilo que é percebido, por meio da conjunção de objetos visíveis pelo sujeito vinculados a suas necessidades e perspectivas de uso.

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem dessa paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução. (BERTRAND, 2004, p.141).

Portanto, o conceito de paisagem é configurado em sua totalidade de modo homogêneo, conformando em unidades geossistêmicas. De maneira objetiva, paisagem é definida como o “conjunto da relação entre elementos físicos, biológicos e humanos, que resultam em determinada configuração visual, estando sempre condicionada a transformações, sejam de origem local e/ou global.” (FREIRE, 2007, 27). Assim a sociedade e a natureza estão relacionadas entre si, representadas em um mesmo espaço geográfico.

Alguns anos mais tarde, já entre as décadas de 1990 e 2000, há uma atualização do estudo geossistêmico baseado numa análise multitemporal, em busca de definir um “tempo real” e elaboração de grades de leitura de múltiplas escalas. Numa primeira análise, Bertrand e Bertrand (2007) consideram a grade de referência multitemporal dos estados do geossistema:

- Estado instantâneo: observação direta e imediata do local;
- Estado cotidiano: associado ao ritmo diário;
- Estado meteorológico: o tempo climático, baseado na sucessão de estados, sazonais e anuais, na definição do comportamento do geossistema;
- Estado sazonal: representação paisagística através do comportamento anual do geossistema. Associa o ritmo natural aos calendários das atividades econômicas (agroindustriais, turísticas, etc);
- Estado anual: balanço “cíclico” da temporalidade do geossistema, por meio das análises entre e interanuais, permitindo inserir os “imprevistos” naturais e “catástrofes” sociais no ritmo do geossistema.

Outro modo de análise é visto na abordagem por meio da grade multitemporal na periodização histórica do geossistema, incluindo uma análise paleoambiental, anterior aos impactos das atividades humanas.

A partir desse ponto, a história do meio ambiente resulta da combinação entre oscilações “naturais” (climáticas, biogeográficas, geomorfológicas) e uma periodização socioeconômica cada vez mais forte, mais extensa e acelerada, com algumas fases de remissão. Por exemplo, distinguiremos o “tempo das clareiras” (do neolítico médio ao século VIII); o “tempo do

espaço cheio” (dos séculos X ao XIII) etc... até o “tempo pós industrial do agromeio ambiente” (século XXI). (BERTRAND; BERTRAND, 2007, p. 280).

Um esboço de análise espaço-temporal torna-se possível, uma vez que a consideração concomitante das duas grades ajuda a situar cada unidade geossistêmica, “com suas características espaciais (formas, volumes, localização, extensão etc.) em uma dupla perspectiva dinâmica (sucessão de estados) e evolutiva (histórica)” (BERTRAND; BERTRAND, op. cit., p.280).

Ross (2006), explica a proposta apresentada por Bertrand em 1997, durante um curso de extensão no VII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, em que ele trata da questão ambiental focada em três dimensões temporais e espaciais de análise conceitual: geossistema, território e paisagem (GTP).

O tempo do geossistema é aquele da natureza antropizada, é o tempo da fonte das características biofísico-químicas de sua água e dos seus ritmos hidrológicos [...]. O geossistema introduz a dimensão geográfica nos estudos do ambiente natural, na valorização da dimensão histórica, dos impactos da sociedade e da dimensão espacial.

[...]

O tempo território é o do social e do econômico, o tempo do desenvolvimento durável da pesquisa, da gestão, da redistribuição, da poluição/despoluição. É o conceito central da ciência geográfica e não envolve aqui a dimensão natural. É qualquer modo de interação socioeconômica do geossistema.

[...]

O tempo da paisagem é aquele do cultural, do patrimônio, da identidade e das representações. É o tempo do ressurgimento do simbólico, do mito e do rito. A paisagem, uma noção mais que conceito, permite ao geógrafo acessar o mundo das representações sociais e naturais, assegurando uma ligação de conveniência com os objetos naturais na sua dimensão geossistêmica. Segue na direção de uma relação multidirecional e interativa entre o natural e o social. (ROSS, 2006, p. 33-34).

O estudo dos Geossistemas adota como categoria o estudo da paisagem. Sua importância assume a função de estabelecer padrões espaciais adotando determinados graus de homogeneidade, trazendo a ideia de paisagem relacionada ao tempo e suas relações vinculadas ao espaço, estando sempre em constante desenvolvimento (SAUER, 2004). Essa é a chave do planejamento ambiental, uma vez que se torna necessário o conhecimento físico da paisagem para então se estabelecerem as formas mais adequadas de uso e ocupação do território, tendo-se o ser humano como agente biológico central dessa ação.

Uma das principais saídas para trabalhar ou identificar unidades de planejamento físico-territorial [...] tem sido a abordagem morfodinâmica de TRICART (1977), "prima-irmã" da teoria dos geossistemas. Assim, com a teoria dos geossistemas, a abordagem morfodinâmica possibilita a delimitação espacial de unidades cujos processos atuais podem ser considerados semelhantes. Por isso é possível classificar essas unidades quanto à sua estabilidade (formas e processos), singularidade e grau de recorrência (diversidade ambiental), fragilidade ou vulnerabilidade no que se refere às interferências antrópicas, entre outras discriminações úteis na esfera do planejamento e gestão territorial característicos. (RODRIGUES, 2001, p. 75-76)

Ainda tratando o conceito geossistêmico, Monteiro (2000) ressalta o aprimoramento da integração holística, a fim de se estabelecer uma compreensão clara sobre a qualidade ambiental, pré-requisito fundamental para avaliações quantitativas e diagnósticas que levem uma elaboração de prognoses ambientais. Nesse sentido, o autor direciona etapas para o tratamento geossistêmico:

- Etapa de análise: integração das variáveis naturais e antrópicas;
- Etapa de integração: relação dos recursos, usos e problemas configurados em unidades homogêneas;
- Etapa de síntese: apresentação da estrutura espacial;
- Etapa de Aplicação: esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente através do diagnóstico.

Essa visão fornece as bases para as propostas da Geoecologia das Paisagens, uma vez que os geossistemas são reconhecidos como seu objeto de estudo. Nessa perspectiva, a principal finalidade da Geoecologia das Paisagens é estabelecer um diagnóstico integrado que irá subsidiar informações necessárias para o desenvolvimento de planos de gestão e manejo territorial.

### *3.1.2 Geoecologia das Paisagens: enfoque metodológico*

A análise geossistêmica da paisagem é vista com o objetivo de demonstrar a configuração físico-ambiental da região, incluindo as características dos recursos naturais nos aspectos geológico-geomorfológicos, hidroclimáticos, pedológicos e de biodiversidade, sem deixar de considerar a participação do ser humano. A Geoecologia das Paisagens alinha-se a essa proposta, uma vez que apresenta abordagens referentes ao estudo da paisagem a partir da diferenciação

espacial da superfície terrestre e da interação entre os fenômenos naturais. Destaca-se também pela abordagem biológico-ecológica, expressados pelas inter-relações entre os fenômenos naturais e os sistemas ecológicos.

A Geoecologia das Paisagens tem seus fundamentos teóricos iniciais estruturados por Dokuchaev, cientista russo que no final do século XIX utilizou da abordagem ecológica da paisagem para analisar o uso da natureza tomando como base o ser humano e a sociedade. Nessa perspectiva, a Geoecologia se insere como uma nova perspectiva de análise multidisciplinar estando associada às questões ambientais e socioeconômicas.

[...]

É possível destacar alguns fatores que contribuíram de maneira significativa para o estabelecimento das bases da Geoecologia [bastante semelhantes ao que ocorreu no geossistema], como: o desenvolvimento da Escola Naturalista, alemã e russa, do século XIX a meados do século XX; a concepção geossistêmica, elaborada na União Soviética; os trabalhos desenvolvidos por Karl Troll e outros estudiosos alemães no século XX; e a Escola de Paisagem Cultural de Karl Sauer no século XX. (FARIAS, 2015, p.48-49)

Enraizado pelo conceito de paisagem, a Geoecologia da Paisagem teve sua origem bastante ligada à Ecologia de Paisagem, proposta em 1939 pelo geógrafo alemão Karl Troll. Surgia uma ciência sobre os complexos naturais, que por sua vez considera a entidade espacial e visual total do espaço em que o ser humano vive integrado à geosfera e biosfera, vinculada aos estudos naturais, principalmente desenvolvidos pelos biogeógrafos. Assim, a Ecologia de Paisagens busca adaptar a teoria de biogeografia de ilhas ao planejamento de reservas naturais em ambientes continentais. Criou-se, então, uma abordagem ecológica da paisagem, que apresentava uma maior evidência às paisagens naturais, bem como aplicação de conceitos para conservação da biodiversidade e ao manejo de recursos naturais (RITTER; MORO, 2012).

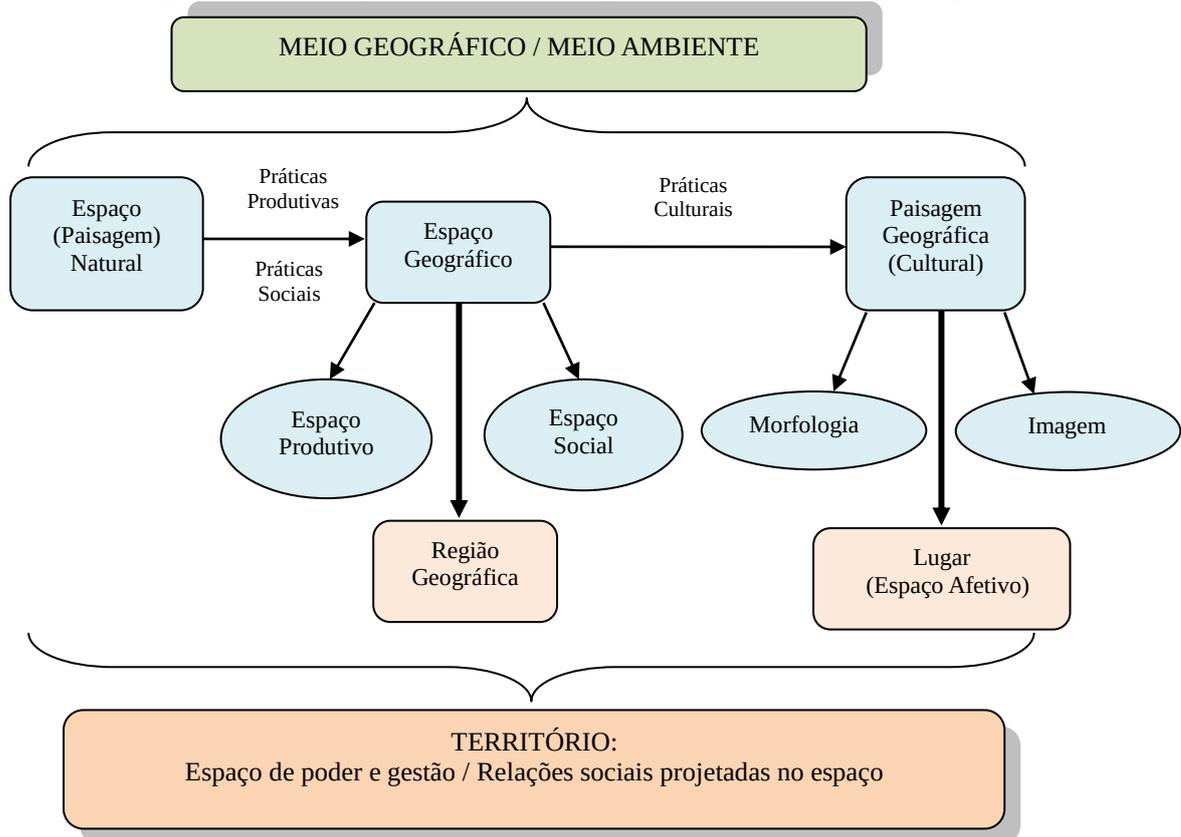
O termo Ecologia da Paisagem foi rebatizado por Troll como Geoecologia em 1966, apresentando uma abordagem não mais puramente ecológica, mas também uma abordagem geográfica da paisagem.

Foi nesse momento em que a Geoecologia apresenta-se em complexos territoriais, consolidando-se como uma disciplina antropológica e ambientalmente focada. A análise geoecológica da paisagem é definida como um conhecimento sistêmico da base natural do ambiente, que contribui como uma metodologia preocupada numa investigação espaço-temporal, isto é, não apenas na

caracterização de suas formas, mas também por meio de um resgate histórico da sua formação. A geoeologia permite, portanto, quantificar os impactos ambientais e alterações na dinâmica dos recursos naturais “a fim de criar um meio de habitat e um local de trabalho adequado para os seres humanos” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p.83).

A ciência geográfica acabou alimentando as formas de abordagem atual da Geoeologia das Paisagens, que apresenta como categorias de análise o espaço ou paisagem natural, o espaço geográfico, a paisagem cultural e o território (Figura 18). Sua proposta está mais articulada ao processo de organização espacial e territorial, desenvolvidos na identificação, classificação e mapeamento dos fenômenos geográficos.

Figura 18: Relação entre as categorias analíticas da Geografia



Fonte: Rodriguez e Silva (2013, p.86).

Contextualizando, as categorias geográficas úteis na configuração da Geoeologia das Paisagens são assim definidas:

- Espaço ou Paisagem Natural: é um sistema espaço-temporal, uma

organização espacial complexa e aberta formada pela interação entre os elementos e componentes biofísicos em diferentes graus que podem ser modificados por atividades humanas. Vem a constituir o meio natural a partir de uma visão sistêmica;

- Espaço Geográfico: a definição tradicional de Milton Santos (1994, 1996) é ser um todo indissociável, solidário e contraditório de sistemas de objetos e ações na superfície do sistema. Nesse sentido, o espaço geográfico está formado por objetos naturais, fabricados, técnicos, mecânicos e cibernéticos. [...]
- Paisagem Cultural: consiste na fisionomia, a morfologia e a expressão formal do espaço e do território, estando situado no plano de contato entre os dados naturais e a ocupação humana, e também entre os objetos e sujeitos que percebem e agem sobre eles. [...] É, portanto, uma construção ecológica, psicológica e social;
- Território: é considerado do ponto de vista da materialidade física, como o conjunto dos espaços e paisagens geográficas, e os sistemas naturais, econômicos, social e do habitat, existentes em uma determinada área, definida essencialmente por fatores de gestão subordinados ao poder econômico e político. (RODRIGUEZ; SILVA, 2013, p. 87-89).

De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), a visão sistêmica da análise ambiental considera a natureza como uma organização sistêmica, autônoma e com suas próprias lógicas de estrutura e funcionamento. Porém, cita os sistemas humanos como agentes capazes de transformar dos sistemas naturais, até certo limite. Por fim, tem-se uma interação complexa, permitindo assim uma análise dialética da superfície do globo terrestre.

De maneira prática, a base metodológica da Geoecologia busca responder a três questões: como a natureza se formou e se ordenou na superfície do globo terrestre? Como foram impostas as formas e usos sobre a superfície terrestre, pelas atividades humanas, a partir de suas necessidades? Como a sociedade percebe a natureza a partir das transformações empregadas pelas atividades humanas?

Importante se faz destacar que na Geoecologia há uma característica específica de ter o ser humano como centro de articulação da paisagem, apresentando posição privilegiada nos geossistemas: o sociocentrismo. Vê-se, então, a Geoecologia:

... com o intuito de resolver os problemas de otimização da paisagem e o desenvolvimento de princípios e métodos de uso ambientalmente saudável dos recursos, a conservação da biodiversidade e da geodiversidade e os valores e propriedades estruturais e funcionais, seus valores recreativos e histórico-culturais, estéticos e outros necessários a sociedade para o desenvolvimento sustentável. A Geoecologia analisa estas questões, a fim de resolver os problemas causados por desastres, o dano e a crise ecológica, decorrentes do impacto de fatores antropogênicos ou processos individuais espontâneos em limites territoriais do espaço terrestre como um

todo. (RODRIGUEZ; SILVA, op. cit., p.83)

Diante do exposto, nota-se que a proposta teórica da Geoecologia das Paisagens está diretamente relacionada à metodologia de construção de ações voltadas para o planejamento e a gestão ambiental, uma vez que direciona para a implantação de modelos de uso e ocupação da superfície do globo terrestre, voltados à sustentabilidade socioambiental. Nesta tese, a Geoecologia de Paisagens foi de fundamental importância como norteadora na construção do planejamento ambiental vinculado à geoconservação dos patrimônios espeleológicos, com a definição de zonas específicas ao uso e ocupação do solo.

### *3.1.3 As intenções do Planejamento Ambiental e sua aplicabilidade na Espeleologia*

Foi a partir de constatações da necessidade de repensar a natureza e sua conservação que, em meados dos anos 1960/70, o movimento ambientalista, ou ecológico, eclodiu de maneira mais nítida. O movimento *hippie* foi um marco importante desse período, quando levaram consigo uma conscientização voltada mais para o espiritualismo do que para o materialismo. Destacam-se também os movimentos estudantis, originados principalmente das instituições de ensino superior. Era perceptível a ideia de que os recursos naturais são esgotáveis e que o desenvolvimento econômico sem limites se apresentava insustentável. Com raízes histórico-sociais, nenhum outro movimento (o ecológico ou ambiental) levou tão a fundo a ideia de se repensar as condições de vida no Planeta (GONÇALVES, 2013).

Nos anos 70 do século XX, em decorrência do aumento significativo de indústrias poluidoras do ar e da água, o mundo parou um momento para discutir as preocupações que o desenvolvimento econômico desenfreado estava causando. Em 1972, 113 países se reuniram na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, considerado como um marco dos movimentos em prol da defesa do meio ambiente. Nesse contexto, surgem então propostas de planejamento do espaço em busca de se pensar o ambiente como detentor de recursos limitados e necessário a qualidade de vida, destacando o manejo racional do meio ambiente e dos recursos naturais como uma dimensão a mais do desenvolvimento socioeconômico (MARRA, 2001).

Em razão dos acontecimentos produzidos após a Conferência de

Estocolmo (1972), veio, no ano de 1992, o compromisso de se realizar no Brasil a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED), na cidade do Rio de Janeiro, também conhecida como Rio-92. Dentre os principais resultados do evento destacam-se duas convenções, uma sobre mudanças climáticas e outra acerca de biodiversidade, e a aprovação da Agenda 21, caracterizado como um documento de abrangência internacional, de comprometimento dos países participantes estudarem os problemas ambientais e, dessa forma, repensarem o planejamento do meio ambiente.

O planejamento ambiental surgiu [...] em razão do aumento dramático da competição por terras, água, recursos energéticos e biológicos, que gerou a necessidade de organizar o uso da terra, de compatibilizar esse uso com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações. Surgiu também como uma resposta adversa ao desenvolvimento tecnológico, puramente materialista, buscando o desenvolvimento como um estado de bem-estar humano, ao invés de um estado de economia nacional. O planejamento ambiental vem como uma solução a conflitos que possam ocorrer entre as metas de conservação ambiental e do planejamento tecnológico. (SANTOS, 2004, p.27).

O meio ambiente é um objeto de caráter complexo, multicultural e multirreferencial, necessitando assim a participação de diferentes campos do saber, onde suas análises baseiam-se no pensamento sistêmico (RODRIGUEZ; SILVA, 2013). Como visto, a concepção do Planejamento Ambiental partiu do pensamento de um desenvolvimento sustentável, que significa compatibilidade do crescimento econômico com desenvolvimento humano e qualidade ambiental. Neste contexto, foram alocados pelo menos dois importantes princípios: o de necessidades e o de limitação. Portanto, esse modelo de desenvolvimento deve atender às necessidades humanas em dois sentidos: o aumento da produção, que seria a visão de desenvolvimento econômico, e possibilitar a todos as mesmas oportunidades.

O planejamento é uma ferramenta necessária para coordenar ações que visam metas, previamente pensadas, estudadas e analisadas, as quais devem ser reconhecidas suas variáveis, problemáticas, soluções e controle. Planejar também exige a participação dos diferentes atores interessados, a flexibilidade em relação às variáveis e a continuidade dos processos que serão, então, implementados. Importante destacar que o planejamento não está relacionado apenas à técnica e administração, bem como também exige aplicabilidade da ciência de base teórica, conceitual e metodológica.

O Planejamento Ambiental está relacionado à tomada de decisões sobre ações de concessão, permissão, subsídio e crédito, tendo-se como base o espaço físico-ambiental. Sua concepção “exige uma visão sistêmica, holística e dialética da relação Natureza/Sociedade, baseada na ideia da existência de sistemas ambientais inter-relacionados e que formam uma totalidade ambiental” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004, p.210).

Ross (2006) aponta que na elaboração do planejamento ambiental, ou físico-territorial, devem-se ultrapassar os limites dos interesses econômicos, políticos e tecnológicos, objetivando ao desenvolvimento que leve em consideração não somente as potencialidades dos recursos naturais, bem como também perceber as fragilidades ambientais naturais diante das formas de uso do ser humano na natureza, resultando no ordenamento territorial que valorize a conservação e preservação ambiental.

Além do planejamento ambiental adequar suas ações à capacidade de suporte do ambiente físico e biológico, Santos (2004) destaca a importância das suas potencialidades e vocação local, buscando o desenvolvimento harmônico da região para que possam indicar mudanças no uso e exploração da terra direcionados aos interesses socioeconômicos das comunidades locais, ao mesmo tempo que projeta os ecossistemas com pouca interferência antrópica. As demandas sociais devem prevalecer aos interesses das demandas econômicas.

Um importante ponto a ser considerado trata da percepção ambiental a cerca da área que está sendo planejada. Segundo De Paula (2014), o estudo da percepção ambiental é fundamental para a compreensão das relações entre o meio social e a natureza, configuradas em expectativas, satisfações e insatisfações, julgamentos e condutas da sociedade. Possibilita, assim, que se tenha o conhecimento das expectativas da população envolvida na ação, das necessidades locais, propiciando acordos de conduta em consonância com as limitações e potencialidades geológicas da paisagem. Em suma, trata-se do planejamento ambiental participativo, seja na esfera científica, técnica ou social.

A Geoecologia das Paisagens converte-se como um dos fundamentos teóricos e metodológicos do Planejamento Ambiental, uma vez que seus princípios objetivam-se de forma prática e sistemática. Rodriguez e Silva (2013) indicaram sete princípios baseados nas propriedades dos sistemas ambientais naturais (ecossistemas e geossistemas):

- Princípio da projeção integrada: busca a satisfação das necessidades da sociedade, maximizando o uso dos potenciais minimizando os efeitos da degradação sobre os sistemas naturais, levando-se em consideração a inter-relação e organização dos elementos naturais e objetos socioeconômicos;
- Princípio da integração e diferenciação espacial: considera a grande diversidade e diferenças entre os sistemas ambientais de diferentes dimensões. Leva em conta as diferenças naturais e características socioeconômicas regionais e territoriais.
- Princípio da prevenção ou profilaxia: diante de qualquer atividade socioeconômica devem-se programar medidas para prever a ocorrência de impactos capazes de causar efeitos e consequências negativas. Este princípio fundamenta-se na estabilidade, resiliência e homeostase dos sistemas ambientais, além de determinar tecnologias que evitem a ultrapassagem da capacidade de carga;
- Princípio da funcionalidade e dinâmica: uma vez conhecido o funcionamento do sistema, deve-se levar em conta o balanço entre energia, matéria e de informações dos sistemas e os fluxos para garantir o equilíbrio, seu mecanismo de autorregulação, a dinâmica e tendência evolutiva, além da relação entre os mecanismos de funcionamento e produção do sistema. Leva-se em conta também a relação com o entorno (parassistêmica);
- Princípio de conformidade: é a soma dos valores estéticos e culturais que serão úteis na definição de uso e desenvolvimento de uma região ou território. Destaca-se a memória histórico-cultural, dos lugares e das atividades a fim de se estabelecer uma articulação entre a natureza, tecnologia, economia e estética;
- Princípio da capacidade institucional para a gestão: o uso e exploração dos sistemas ambientais devem permanentemente analisar a forma como se realiza seu uso, sem se deixar a espontaneidade;
- Princípio da validade e participação no projeto: procedimento de obtenção de informações e visualização de solução na elaboração de projetos por meio da participação direta (reuniões com os envolvidos), indireta (percepção e detecção), além da participação experimental (teste e simulação).

Para o desenvolvimento do planejamento ambiental faz-se necessário, para além dos princípios apresentados, desenvolver uma estrutura de organização

que facilitarão a construção do projeto. De forma geral, tem-se a pesquisa (organização de dados), análise (avaliação e compreensão dos dados) e síntese (aplicação dos conhecimentos). Santos (2004) define um modelo de estruturação geral do planejamento ambiental dividido em oito fases: definição de objetivos, definição da estrutura organizacional, diagnóstico, avaliação de acertos e conflitos, integração e classificação de informações, identificação de alternativas, seleção de alternativas e tomadas de decisão, diretrizes e monitoramento. A autora destaca que a última fase refere-se à opinião pública, que tem relação com as demais fases, mesmo aquelas mais técnicas.

Não muito distante dos modelos empregados na maioria dos projetos de planejamento e gestão ambiental, a geoeologia das paisagens apresenta uma concepção metodológica voltada para o ordenamento territorial com foco na sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

Rodriguez e Silva (2013) também denominam essa abordagem teórico-metodológica de Planejamento da Paisagem, de modo que utiliza a paisagem como unidade de análise, que é uma unidade dialética, e um complexo total ou um todo, representado em várias dimensões de acordo com a natureza das transformações. Os autores ainda destacam as variantes do Planejamento da Paisagem:

- Monitoramento e controle da paisagem;
  - Proteção das paisagens;
  - Manutenção de ambientes naturais e transformados;
  - Desenho da paisagem, incluindo a organização de espaços ou áreas verdes;
  - Restauração da paisagem.
- (LESER, 2002 *apud* RODRIGUEZ; SILVA, 2013, p.315).

Fica clara a colaboração da geoeologia das paisagens ao planejamento ambiental, o qual objetiva, de forma clara, o pensamento voltado para a organização territorial e ambiental em busca do equilíbrio entre estabilidade e racionalidade.

[...] o mesmo está voltado para um desenvolvimento sustentável, apoiado em uma análise geocológica do território, que estabeleça um diagnóstico/zonamento direcionado à implementação de um plano de gestão. Com esse enfoque, a gestão ambiental corresponde a uma etapa do planejamento integral, cumprindo ações de monitoramento, licenciamento, fiscalização e administração. Ações essas voltadas ao cumprimento de padrões de qualidade ambiental, e o respeito às potencialidades e limitações geocológicas do território. (SILVA; RODRIGUEZ, 2011, p. 5-6)

Dentre as formas mais comuns de aplicabilidade do Planejamento Ambiental, cita-se o plano de manejo, no qual são estabelecidas as potencialidades e limitações das formas de exploração dos recursos naturais. Os planos de manejo são instrumentos bastante aplicados no estabelecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), assim como na criação e definição das unidades de conservação. De acordo com o Roteiro Metodológico de Planejamento do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2002), o plano de manejo constitui o zoneamento e normas para a área de interesse, o qual devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais. Para a criação de Unidade de Conservação – UC, o plano de manejo apresenta três abordagens distintas:

- **Enquadramento** da unidade nos cenários internacional, federal e estadual, destacando-se a relevância e as oportunidades da UC nesses escopos;
- **Diagnóstico** da situação socioambiental do entorno [...], a caracterização ambiental e institucional da UC;
- **Proposições** principalmente voltadas para a UC e sua região, com a finalidade de minimizar/reverter situações de conflito e otimizar situações favoráveis à UC, traduzidas em um planejamento. (IBAMA, 2002, p. 17).

No caso dos patrimônios espeleológicos, são utilizadas técnicas de “espeleoconservacionismo, que irá indicar as estratégias para implantação de infraestruturas e ações na área de influência externa, bem como internas da caverna-alvo” (MARRA, 2001, p.131). Envolve elaboração de programas de educação ambiental e Zoneamento Ambiental Espeleológico – ZAE, chegando-se a definição do Plano de Manejo Espeleológico - PME.

O Plano de Manejo Espeleológico visa disciplinar, orientar e atribuir um sentido harmônico, lógico e possível às intervenções planejadas. [...] tem como utilidade dar subsídios às decisões, orientando de maneira planejada as estratégias de intervenção, visando proporcionar menor impacto possível ao ecossistema frágil e delicado das cavernas. (op. cit., p. 131-132)

Em geral, o PME contribui para o licenciamento de empreendimentos turísticos, visando conservação, proteção e preservação das cavidades naturais subterrâneas, através do ordenamento das atividades nesses recintos. Têm-se o Turismo Espeleológico ou Espeleoturismo. Infelizmente, na maioria das cavernas que recebem visita turística é impossível que não haja qualquer intervenção, por

mínima que seja, mesmo com a existência do PME e o controle de acesso calculado pela sua capacidade de suporte. A desfiguração das cavernas é inevitável e sua rotina torna-se totalmente alterada, expulsando muitas espécies que tinham ali seu habitat natural.

Contra sua topografia acidentada: grandes movimentos de terra, construções de concreto, pontes e escadas metálicas, pisos cimentados, abertura de acessos artificiais; contra a escuridão: sistemas de iluminação feérica, jogos de luzes coloridas; contra o curso normal das águas: represamentos, desvios e rebaixamento do nível das águas; contra seu silêncio: instalação de sistemas de som e o vozerio de centenas de pessoas. A caverna se reduz assim, muitas vezes, a cenários visualmente desfigurados e ecologicamente degradados. (LINO, 209, p. 256).

Mesmo diante de tantos pontos negativos, a de se considerar que a atividade turística em patrimônios geológicos, que também tem sido definida como geoturismo, pode ser praticada no sentido de beneficiar os ambientes espeleológicos. O Zoneamento Ambiental Espeleológico – ZAE é o recurso que auxilia nesse sentido, a fim de atingir o objetivo do PME. Marra (2001) afirma que o ZAE vem facilitar o gerenciamento de atividades possíveis em cada zona específica, que são categorizadas de acordo com as características naturais do ecossistema cavernícola, considerando a existência de atividades turísticas, recreativas e científicas. Tal categorização irá permitir a delimitação de áreas, através da restrição de uso em zonas de preservação total e a possibilidade de visitação em zonas de uso intensivo (disposição ordenada de infraestrutura turística para segurança dos usuários).

No planejamento ambiental de sítios espeleológicos deve ser reconhecido o valor natural, educacional e científico das formações geológicas e geomorfológicas. Essa questão está ligada diretamente ao conceito do trinômio geoconservação, geodiversidade e geoturismo, como visto no capítulo anterior, fazendo assim parte de uma contextualização que valoriza os aspectos físicos da natureza, que é o patrimônio geológico. A geoconservação apresenta-se como uma proposta para proteger o patrimônio geológico da Terra, que tem fundamentos nas geociências, sem deixar de considerar os outros tipos de patrimônios, tais como o biológico, histórico ou cultural.

Conservar uma caverna significa manter suas características próprias, conhecendo suas particularidades de modo a alterar o mínimo possível o ambiente

espeleológico. Mais que isso, é entender sua dinâmica e formação, sabendo que toda a constituição das cavidades naturais subterrâneas está ligada diretamente ao mundo externo, além da informação de que apesar da escuridão do ambiente existem formas de vidas habitando aquele espaço.

No planejamento ambiental de sítios espeleológicos, deve-se realizar o levantamento espeleológico a partir da sua identificação e observação do estado de conservação. Importante se faz destacar que “tal tarefa pode ser auxiliada pela avaliação de outros temas, como geologia e recursos hídricos.” (SANTOS, 2004, p.84). O vínculo com sítios arqueológicos e paleontológicos também deve ser considerado, assim como os tipos de uso empregado nas cavernas (visitação turística, manifestações religiosas, abrigos, etc.).

Conhecer o ambiente é necessidade fundamental, ao passo que é a partir do diagnóstico ambiental do patrimônio espeleológico que serão definidas as possibilidades de uso, o emprego de atividades econômicas (como o turismo, por exemplo), a capacidade de suporte, o controle de acesso e as ações de proteção e gestão ambiental.

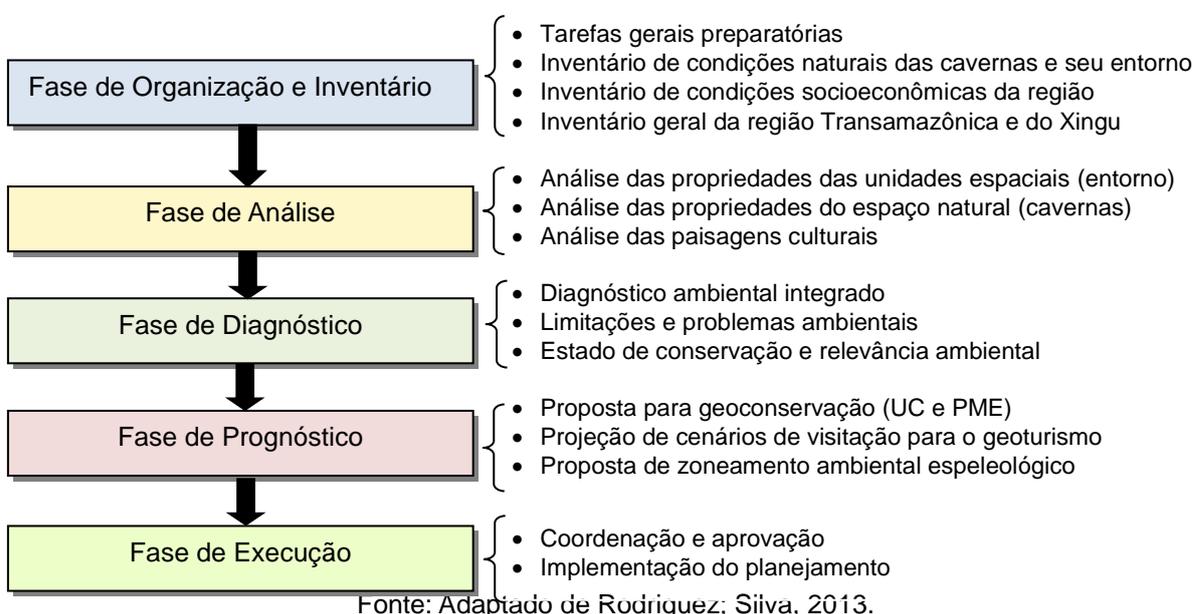
A partir das concepções geoecológicas apresentadas, o planejamento ambiental tem sido empregado para entender e ordenar as diferentes paisagens naturais existentes, buscando-se definir quais as melhores formas de assim utilizá-las sem degradar. A tese oferece uma amostra de como o planejamento ambiental pode servir de exemplo para a geoconservação da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (Pará), apresentando um breve diagnóstico de suas características físico-ambientais, a fim de se subsidiar futuros planos de manejo espeleológico. Na sequência, são conhecidos os procedimentos técnicos que apoiaram a construção desta tese.

### **3.2 Caminhos e técnicas da pesquisa**

A presente tese vem contribuir para uma discussão acerca do planejamento ambiental em ambientes espeleológicos, por meio do cruzamento de informações de base geossistêmica e geoecológica. Baseado no que foi discutido na fundamentação teórica e metodológica, a estruturação das atividades técnicas necessárias a execução da pesquisa segue procedimentos que elencaram fases metodológicas, as quais apresentam uma ordem e definição das etapas.

A metodologia serve para demonstrar quais os caminhos a percorrer na pesquisa, no sentido de definir as técnicas operacionais e os materiais mais adequados, servindo de apoio na sua construção prática. Nesse sentido, os procedimentos metodológicos adotados para esta pesquisa desenvolveram-se baseados na proposta de Rodriguez e Silva (2013), que se apresentam em fases do planejamento e gestão ambiental, baseados na geoecológica das paisagens. No esquema da Figura 19 podem-se visualizar as fases, com adaptações às práticas desenvolvidas para este tese.

Figura 19: Fases do Planejamento e Gestão Ambiental



### 3.2.1 Fase de Organização e Inventário

A primeira etapa da pesquisa caracteriza-se pela definição dos objetivos, justificativas e hipóteses, atividades iniciais bastante ligadas à elaboração do projeto da pesquisa, levando à construção da estrutura do trabalho que norteou as etapas da tese. O destaque a essa organização metodológica segue-se com a determinação das unidades espaciais de análise, a fim de se ter a delimitação da área de pesquisa e as escalas de estudo.

Logo que foi definida a estrutura da pesquisa, desenvolveu-se o levantamento do referencial teórico científico das palavras-chaves da pesquisa.

Destacou-se um estudo sobre Espeleologia e Geomorfologia Cárstica, para o entendimento do objeto de estudo. A partir desse contexto, o levantamento bibliográfico tratou de dialogar sobre a fundamentação teórica e metodológica que levou a investigação sobre a dinâmica de estruturação das unidades de paisagem espeleológica. Assim, tratou-se de realizar um levantamento sobre a Teoria dos Geossistemas (SOTCHAVA, 1977, 1978; BERTRAND, 1972; CHRISTOFOLETTI, 1999, 1979; MONTEIRO, 2000; ROSS, 2006, 1997), inclusive revendo as contribuições de Ludwig von Bertalanffy, escritas entre as décadas de 1940 e 1960, em sua obra Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 2008).

Na sequência foi realizada uma abordagem das concepções de Geocologia das Paisagens e Planejamento Ambiental (RODRIGUEZ e SILVA, 2013; RODRIGUEZ et al., 2004), que por sua vez requer a análise e a interpretação por meio da abordagem sistêmica.

Outro momento do levantamento de bibliografias está relacionado com textos e documentos que subsidiaram a identificação das paisagens espeleológicas alocadas no domínio da Amazônia. Assim, realizou-se uma pesquisa sobre a geologia e geomorfologia da Bacia Sedimentar do Amazonas, identificando os processos naturais de formação de Províncias Espeleológicas nesse ambiente. Complementar à área de estudo, recorreu-se também à literaturas com informações referentes ao bioma e Região Amazônica e do estado do Pará, a partir de levantamentos sobre os processos históricos de uso e ocupação da terra e as formas de proteção ambiental. Citam-se: Projeto RADAMBRASIL – DNPM (1974); Vasques e Rosa-Costa (2008); Fundação Viver Produzir e Preservar – FVPP (2006); Ministério de Minas e Energia – MME (2009); Dantas e Teixeira (2013); Umbuzeiro e Umbuzeiro (2012); Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa – FAPESPA (2015).

As informações referentes à área da Província Espeleológica Altamira-Itaituba foram adquiridas com base no exame e análise de material bibliográfico e cartográfico produzido por instituições oficiais, tais como: Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas / Instituto Chico Mendes (CECAV/ICMBio); Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); Projeto RADAM Brasil, produzido pelo DNPM; arquivo técnico-científico do Grupo Espeleológico Paraense – GEP, artigos científicos (PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA, 2015; PINHEIRO; MOREIRA; MAURITY, 2001) e documentos

exigidos para a autorização da implantação do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) de Belo Monte, tais como a Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu (BRASIL/MME, 2009) e Estudo de Impactos Ambiental (EIA) do AHE Belo Monte (ELETROBRÁS, 2009).

Em consonância com o material cartográfico, fez-se necessário o levantamento de imagens de sensoriamento remoto, adquiridas também em instituições oficiais como o Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE), Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e IBGE, para auxiliar na interpretação da paisagem.

Com o acompanhamento de cartas e mapas já produzidos sobre a região estudada (CECAV/ICMBio; SBE; CPRM; IBGE; ELETROBRÁS, Ministério de Minas e Energia, INPE, SIPAM), foram realizados os primeiros trabalhos de campo em busca do reconhecimento preliminar da área, da comprovação da veracidade das informações, além do registro dos aspectos socioeconômicos e ambientais. Nessa oportunidade, o ambiente foi documentado por fotografias e georreferenciado por GPS (Global Positioning System).

Os trabalhos de campo foram realizados obedecendo-se às condições climáticas favoráveis (principalmente nos períodos de estiagem), abrangendo um território no qual estão inseridos sete municípios paraenses, todos drenados pelo baixo curso do rio Xingu: Altamira, Brasil Novo, Medicilândia, Placas, Rurópolis, Vitória do Xingu e Itaituba. O acompanhamento ocorreu com auxílio de cartas e mapas em escalas 1:125.000 (ELETROBRÁS) e 1:1.000.000 (CPRM) já produzidos sobre a região estudada. Além da comprovação dos dados bibliográficos, são descritos detalhamentos das características espeleométricas (medidas dos condutos e salões, tipos de espeleotemas, dentre outras), condições hidrológicas e hidrogeológicas da região em que estão inseridas as cavernas, os aspectos bioespeleológicos, paleontológicos e arqueológicos, somando-se ainda as condições de conservação da cavidade e seu entorno. Houve, também, entrevistas com a população local, órgãos e instituições públicas governamentais, a fim de se obter um levantamento dos aspectos socioeconômicos e dos principais fatores de degradação ambiental.

### **3.2.2 Fase de Análise**

O estudo das propriedades sistêmicas das unidades de paisagem é fundamental para que se possa atingir uma fase analítica completa. Esta fase visa apresentar na pesquisa uma análise das propriedades sistêmicas, as quais englobam sua estrutura, função, evolução e integração das unidades de paisagem nos seus aspectos naturais e culturais. Boa parte dessa fase foi realizada concomitante à fase de inventário, haja vista que na medida em que eram realizados os levantamentos de dados em campo fazia-se também a análise das informações.

Organizado e analisado todo o material bibliográfico, seguiu-se em expedição as cavidades naturais subterrâneas contidas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba, chegando-se à caracterização e à avaliação dos ambientes, abordando os seguintes aspectos: características litológicas; o contexto geomorfológico de formação; a caracterização das formas de relevo; processos de gênese e geomorfogênese das cavernas; classificação da morfologia e estruturas espeleogenéticas; as formas de uso e ocupação do solo; as condições de acesso; a qualidade ambiental; e a fragilidade e vulnerabilidade ambiental.

A prospecção das cavernas apresenta-se como uma das principais atividades metodológicas da pesquisa de campo, oferecendo uma visão do potencial espeleológico da província. A área de entorno das cavernas foi analisada e caracterizada, onde as estruturas presentes *in loco* sendo registradas com o auxílio de bússola Brunton e de GPS geodésico de precisão, que permite a determinação precisa das coordenadas e cotas. O levantamento estrutural do endocarste foi realizado para registro dos pontos georreferenciados de feições cársticas e sistemas de fraturas. Incluem-se também como equipamentos necessários o clinômetro, para medida da declividade do terreno, e trena a laser no interior das cavernas para tomada de medidas a distância. Importante se faz destacar que boa parte desses dados foram levantados no momento das confecções do EIA-RIMA AHE Belo Monte (ELETROBRÁS, 2009), porém em algumas cavernas fez-se necessária a aplicação da técnica espeleométrica.

A fase de análise caracteriza-se também como o momento de elaboração e construção do mapeamento básico e temático da pesquisa. O procedimento cartográfico foi realizado na escala de interpretação de imagens de satélite disponíveis pelo INPE, em seu catálogo de imagens CBERS (*China-Brazil Earth*

*Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) e no Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite), que inclui o mosaico de imagens *LandSat (Land Remote Sensing Satellite)*. Acrescenta-se, ainda, a utilização de imagens do *Google Earth* numa complementação de informações. O georreferenciamento realizado nos trabalhos de campo, por meio do sistema de projeção geográfica SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e o sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*), servindo como auxílio na espacialização dos dados coletados, os quais são compilados, integrados e processados, consistindo inicialmente na criação e modelagem do banco de dados SIG.

A construção do banco de dados consistiu no levantamento de dados de interesse disponível sobre a área da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, na seleção criteriosa e na padronização desses dados, apresentando como produtos tabelas correlacionáveis que foram introduzidas em ambiente SIG utilizando o *software* livre *Quantum GIS 2.4.0*, desenvolvido pelo projeto *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. O mapa básico de localização da Província Espeleológica como um todo é apresentado em escala de 1:2.000.000 (com dados CECAV/ICMBio), porém a proposta de escala do mapeamento final da área nordeste da Província é de 1:250.000.

Nesse sentido, têm-se como materiais cartográficos utilizados, tanto nas etapas de campo quanto nas de gabinete:

- Mapa de Geologia do Estado do Pará do Serviço Mineral do Brasil – CPRM – 1:1.000.000 (2008);
- Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil – CECAV/ICMBio – 1:2.500.000 (2012)
- Mapa das Regiões Cársticas do Brasil – CECAV/ICMBio – 1:28.000.000 (2011)
- Imagens de satélite (LANDSAT7, CBERS-2, Google Earth, entre outras a serem adquiridas no andamento da pesquisa);
- Mapas do Projeto Radam Brasil – 1:1.000.000 (1974).
- Mapa de Geoespacialização das Cavidades na AID/ADA – ELETROBRÁS (Projeto AHE Belo Monte) – 1:125.000 (2009);
- Mapa Espeleológico da Área de Influência Direta – ELETROBRÁS (Projeto AHE Belo Monte) – 1:125.000 (2009);

Ainda referente ao procedimento cartográfico, destaca-se como um dos principais materiais utilizados os arquivos vetoriais (formato *shape file*, que é formado por três arquivos: shp, shx e dbf) disponíveis para *download* gratuito na internet. A base de dados geoespacializados das cavernas do Brasil, fornecido pela CECAV/ICMBio, oferece um inventário das cavidades naturais subterrâneas brasileiras em constante atualização. Esta base de dados, por sua vez, apresenta em sua maioria uma tabela de atributo com as seguintes informações:

- CNC\_SBE: Número de identificação no Cadastro Nacional de Cavernas – SBE.
- CODEX: Número de identificação no Cadastro Nacional de Cavernas Codex da REDESPELEO.
- Classificação indicando se a cavidade é: abrigo, caverna ou abismo.
- Data: Do levantamento.
- Nome: Da cavidade.
- Localidade: Distrito ou vilarejo onde a caverna está localizada.
- Município: Nome do município.
- Datum: Preferencialmente WGS 84.
- Latitude e Longitude: Coordenadas geográficas, dados em graus decimais, da base topográfica zero localizada na entrada principal da caverna.
- Quantidade de Satélites: Número de satélites que o aparelho está conectado no momento da captura das coordenadas.
- Erro GPS: Erro apresentado pelo aparelho GPS no momento da captura das coordenadas.
- Litologia: Denominação da litologia dominante.
- Espeleometria: Projeção horizontal, desenvolvimento linear, desnível máximo, precisão, método de classificação (BCRA ou UIS) e responsável pela topografia.
- Desenvolvimento: Classificação quanto ao desenvolvimento predominante da cavidade: horizontal, vertical ou misto.
- Responsável: Nome do profissional que realizou a coleta dos dados em campo.

Demais dados em *shape file* foram adquiridos em pesquisa *webográfica*, capturados de sites de órgãos oficiais, tais como: IBGE, CPRM, MMA (Ministério do Meio Ambiente) e DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

Para abordagem metodológica, foram utilizados equipamentos para desempenho de manipulação, armazenamento e processamento de dados e

utilitários, tais como:

- 1 Microcomputador, com sistema operacional *Windows 7 Starter*;
- 2 *Softwares* para elaboração de textos, tabelas e gráficos da *Microsoft: Word, Excel e PowerPoint*;
- 3 *Software* para análise, tratamento e manipulação de imagens e elaboração de mapas temáticos: *Quantum GIS 2.8.3*;
- 4 *Softwares* para visualização e edição de fotografias: *Microsoft Office Picture Manager*;
- 5 Impressora, para impressão de material necessário.
- 6 Papel branco A4 (210x297mm), de 75g/m<sup>2</sup>.
- 7 *Scanner*, para digitalização e armazenamento em banco de dados da documentação fotográfica, cartográfica e documentos necessários à pesquisa.
- 8 Câmera fotográfica digital, para uso no campo;
- 9 Gravador de voz digital;
- 10 Aparelho de orientação via satélite GPS Geodésico;
- 11 Aparelhos para medidas de ângulos e distância: Estação Total (Taquéómetro), clinômetro e trena a laser;
- 12 *Software* para transferência de dados do aparelho de GPS para o micro-computador, como o GPS *TrackMaker*.

As expedições para reconhecimento e levantamento de informações teve como apoio equipamentos da Universidade Federal do Pará (UFPA), tanto do Campus de Altamira como do Instituto de Geociências, em Belém. Inclui-se também apoio do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC). A logística e financiamento dos trabalhos de campo foram incluídos no projeto de pesquisa “Planejamento Ambiental em Patrimônios Espeleológicos: estudos dos impactos na paisagem da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA) diante da implantação da UHE Belo Monte”, desenvolvidos com recursos fornecidos pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA). Foram efetivadas também trilhas em veículo por estrada, em barco pelo rio Xingu e a pé para verificação completa da área de estudo. A Faculdade de Geografia contribuiu com alguns equipamentos, entre GPS’s, uma Estação Total e um GPS Geodésico, os quais pertencem ao Laboratório de Geoprocessamento – LABGEO. Já o Instituto de Geociências da UFPA e os departamentos de Geografia e de Geologia da UFC

participaram com apoio no fornecimento de equipamento para a exploração e prospecção das cavernas, tais como capacetes de segurança individual, um clinômetro e uma trena a laser.

### **3.2.3 Fase de Diagnóstico**

A fase de diagnóstico compreende o momento que conjunção e correlação de todos os dados levantados. Está intrínseca a esta etapa a observação, a percepção e a interpretação dos processos que ocorrem na área pesquisada, com foco em resultados sistematizados para que haja a compreensão e solução das problemáticas apontadas. Trata-se de um arranjo de conhecimentos integrados e interdisciplinares do meio, descobrimentos de causa e efeito das problemáticas paisagísticas.

Os problemas ambientais são provenientes das diferentes formas de uso e ocupação do solo, os quais estão diretamente relacionadas a impactos ambientais negativos. Nesse sentido, a identificação dos impactos observados em campo e dos possíveis causadores foi registrada em uma planilha baseada da matriz de Leopold, adaptada por Sobral et al. (2007), sendo também perfeitamente aplicável a ambientes cársticos (Donato; Ribeiro, 2011).

De acordo com Santos (2004), a matriz de Leopold, publicada em 1971, foi composta por cem ações em um eixo, e oitenta e oito características ambientais e humanas no outro, totalizando um resultado de 8.800 células. Estas células fornecem informações sobre os impactos, segundo sua magnitude e importância, representadas em uma escala de 10 pontos. Contudo, a matriz apresenta como problema a subjetividade ao definir essa escala de pontos. Para a presente pesquisa aproveitou-se os parâmetros qualitativos, sem a expressão de escala de valores. Sendo assim, foram identificados fatores de impactos (desmatamentos, visitação desordenada, presença de lixo interno e externo, desvio curso d'água, depredação do carste) e, então, construiu-se uma matriz de parâmetros que faz a definição do que foi diagnosticado em função das características:

- **Temporalidade:** refere-se ao padrão de ocorrência do impacto, podendo ser caracterizado como: temporário (T) quando o efeito do impacto se manifesta por um determinado tempo após a realização da ação; permanente (Pr), quando uma vez executada a ação os efeitos

continuam a se manifestar em um horizonte temporal conhecido; ou cíclico (C) quando o efeito se faz sentir em determinados períodos (ciclos), que podem ser ou não constatado ao longo do tempo.

- **Reversibilidade:** remete ao retorno dos parâmetros ambientais às condições originais, que pode ser caracterizado como: reversível (Rv), quando cessada a ação o fator ambiental retorna às condições originais; ou irreversível (Ir) quando descontinuada a ação o fator ambiental afetado não retorna às condições originais, pelo menos em um horizonte de tempo plausível pelo homem.
- **Extensão:** é o alcance do impacto, que pode ser distinguido como: local (L) quando o efeito se restringe ao próprio local da ação; regional (Rg), quando o efeito se dissemina por uma área além das imediações da localidade onde se dá a ação.
- **Duração:** faz referência ao tempo que o impacto e seus efeitos persistem no ambiente, podendo ser qualificado como: de curto prazo (Cp), quando seus efeitos têm duração de até 1 ano; de médio prazo (Mp), quando seus efeitos têm duração de 1 a 10 anos; e de longo prazo quando seus efeitos têm duração de 10 a 50 anos.
- **Origem:** remete à procedência do impacto, que pode ser: de origem direta (D), quando resulta de uma simples relação de causa e efeito, ou de origem indireta (I) quando é uma reação secundária da ação, ou quando é componente de uma cadeia de reações.
- **Sentido:** relaciona-se à valoração do impacto, podendo esse ser: positivo (P+), quando a ação impactante causa melhoria da qualidade de um parâmetro ambiental; ou negativo (N), quando uma ação origina um dano à qualidade ambiental.
- **Magnitude de impacto:** indica a gravidade do impacto no meio ambiente, a qual pode ser: pequena (P), quando a utilização dos recursos naturais é desprezível quanto ao seu esgotamento e à degradação do meio ambiente e da comunidade, sendo reversível; média (M), quando a utilização de recursos naturais é considerada, sem que haja possibilidade de esgotamento das reservas naturais, sendo a degradação do meio ambiente e da comunidade reversível, porém com ações imediatas; grande (G) quando a ação provoca a escassez de recursos naturais, a degradação do meio ambiente e da comunidade, não tendo muitas possibilidades de reversibilidade (DONATO; RIBEIRO, 2011, p.247).

Buscou-se, também, esclarecer o estado atual dos sistemas ambientais diante das diferentes formas de uso e ocupação do solo. Compõe a fase de avaliação e análise dos impactos ambientais, bem como a definição dos graus de estado ambiental. Para além do que foi analisado a partir da geoecologia de paisagens, a definição está direcionada com o método de classificação ecodinâmica do meio ambiente, também de base sistêmica, feita a partir dos critérios de Tricart (1977). Assim, os critérios adotados na definição dos graus de estabilidade ambiental são:

- Ambientes estáveis: estabilidade morfogênética antiga em função da fraca atividade de potencial erosivo; o balanço entre os processos morfogênicos e processos pedogenéticos é francamente favorável à pedogênese; o recobrimento vegetal é pouco alterado pelas ações antropismo ou há franca recuperação da cobertura secundária que evolui para condições similares ou próximas das originais; há equilíbrio entre fatores do potencial e fatores da exploração biológica;
- Ambientes de transição: a dinâmica atual do ambiente é marcada pela preponderância de processos morfogênicos ou de processos pedogenéticos, podendo favorecer uma ou outra condição: predominando a pedogênese passa-se aos meios estáveis; preponderando a morfogênese, passa-se aos meios instáveis;
- Ambientes fortemente instáveis: há intensa atividade do potencial erosivo e com nítidas evidências de deterioração ambiental e da capacidade produtiva dos recursos naturais; comprometimento das reservas paisagísticas; o balanço morfogênese x pedogênese é francamente favorável à morfogênese; podem ser frequentes as rupturas do equilíbrio ecodinâmico e a manutenção do solo é amiúde comprometida.

(SOUZA, 2000, p.12).

Uma vez definidos os graus de estabilidade das áreas onde estão alocadas as cavidades naturais subterrâneas e seu entorno, fica mais fácil a compreensão das limitações e potencialidades de uso. Na sequência, faz-se uma análise ambiental estratégica para a elaboração e construção de planos, programas e mecanismos de regulação.

#### **3.2.4 Fase de Prognóstico**

A fase prognóstico demonstrou então as propostas para organizar e tentar visualizar as soluções de ordenamento espaço-territorial. Foi o momento de previsão e perspectivas de diferentes cenários possíveis, com seleção de alternativas aos problemas configurados. Definiu-se como o instrumento final a proposição do planejamento ambiental voltado para a geoconservação da paisagem. Para essa prática, foi selecionada uma caverna, que agrega interesses múltiplos (lazer, turismo, educação ambiental e científica, conservação, etc) para desenvolver um modelo de planejamento ambiental: a caverna do Limoeiro, localizada no município de Medicilândia (Pará), que se encontra bem conservada e a mais adequada ao geoturismo.

Não somente uma proposta de geoturismo para a caverna do Limoeiro, mas também uma integração de pontos de interesse turístico, formando um roteiro

aliado com as potencialidades de seu entorno: nas proximidades da caverna há a lagoa Azul com queda d'água em meio a floresta preservada; no próprio município de Medicilândia há um ponto turístico e de lazer chamado Balneário Ponte de Pedra, um elemento da geodiversidade valorizado; e o cultivo de cacau no município é o maior do estado, inclusive com cultivo orgânico, além da primeira fábrica de chocolate implantada na região Amazônica.

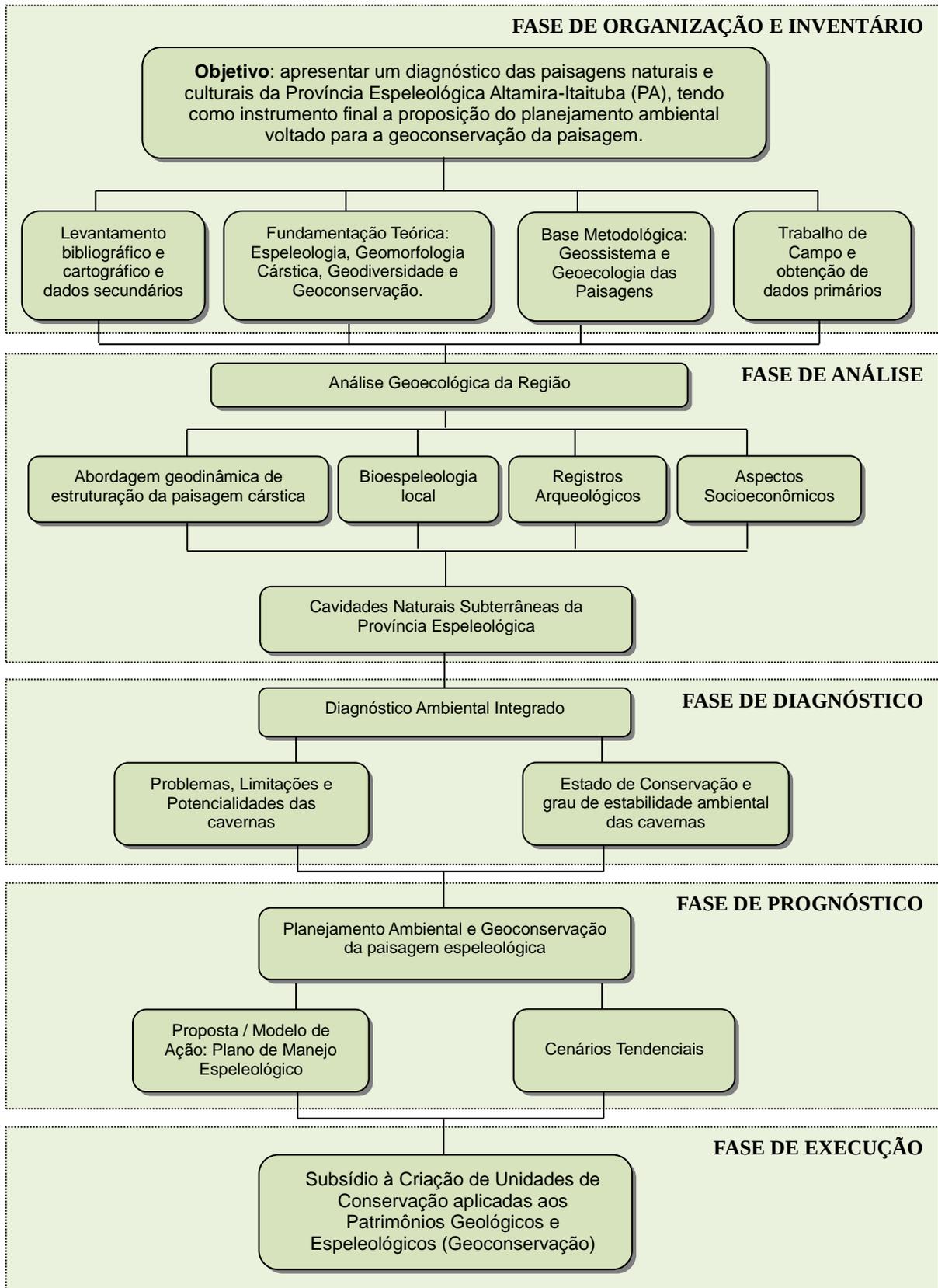
Essa fase traz também uma proposta de geoconservação para a caverna do Limoeiro, bem como sua valorização ambiental e científica como elemento da geodiversidade. Reconhecidos o valor natural e educacional das formações geológicas, sabe-se que estas são redutos de fauna específica, condicionadas pelo que foi explicado na biogeografia de ilhas. Nesse sentido, faz-se necessário aplicar medidas da capacidade de suporte, limitando e/ou restringindo a visitação.

### **3.2.5 Subsídios à fase de execução**

A última fase seria a execução propriamente dita do planejamento ambiental. Tal fase configurar-se-ia com a efetivação a implementação do plano, através de consultas participativas, ajustes e a sua própria aprovação. Como esta fase não pode ser desempenhada por uma pesquisa de pós-graduação, são demonstrados modelos de planejamento em execução já existentes em área espeleológicas, tais como Planos de Manejo Espeleológico (PME): Proposta de Conservação e Manejo da Gruta de Bom Sucesso-PR; e Plano de Manejo Espeleológico e Projetos Específicos de Infra-estrutura e Sinalização da Caverna do Maroaga - Presidente Figueiredo/AM. Nesse contexto, as informações geradas nessa pesquisa sobre a Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA) auxiliarão na elaboração de futuras propostas de planejamento ambiental, bem como subsidiarão cenários tendenciais à criação de Unidades de Conservação específicas aos patrimônios geológicos e espeleológicos (geoconservação).

Como uma forma de sintetizar as informações prestadas na metodologia, o fluxograma apresentado na Figura 20 demonstra a estruturação da pesquisa diante das fases de planejamento e gestão ambiental proposta por Rodriguez e Silva (2013), enfocando de maneira detalhada os aspectos mais relevantes em cada etapa.

Figura 20 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elaborado por Luciana Freire, 2017.

#### **4 ANÁLISE GEOECOLOGIA DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA, PARÁ**

A Geoecologia das Paisagens fundamenta-se na análise dos potenciais e do estado de conservação do objeto de pesquisa, a fim de fomentar a elaboração de um diagnóstico integrado. Trata-se de uma metodologia baseada na complexidade e transdisciplinaridade em busca da unidade do conhecimento. A Província Espeleológica Altamira-Itaituba (Pará) foi analisada nesta tese por meio da compreensão da construção, estruturação e funcionalidade da paisagem, além das inter-relações existentes entre a natureza e a sociedade, seguindo-se uma lógica de levantamento das informações.

Baseada na concepção sistêmica, a análise geoecológica apresenta três momentos básicos na sua construção metodológica: como a natureza formou-se e ordenou-se na superfície terrestre; como ocorreu a imposição e construção das atividades humanas em função de suas necessidades; e a percepção da sociedade sobre a natureza perante as transformações e suas concepções culturais (RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2011). Desenvolvem-se assim os sentidos de percepção e abrangência dos saberes para que haja o delineamento para a construção de propostas para o planejamento e gestão ambiental das paisagens.

Este capítulo traz a aplicação da Geoecologia das Paisagens em sua fase de análise, demonstrada no capítulo 3, referente à metodológica da pesquisa. Inicialmente têm-se uma interpretação sistêmica de como se formaram as cavernas da província espeleológica em questão, envolvendo os aspectos da dinâmica geológica, geomorfológica e hidrológica da estruturação da paisagem cárstica. Na sequência, a bioespeleologia local é apresentada, mostrando que mesmo quase desconhecida existe uma diversidade de espécies com características próprias e que vivem isoladas e/ou dependente do ambiente interno das cavernas.

Após a análise das propriedades do espaço natural e suas unidades espaciais, chega-se à análise das paisagens culturais, por meio de uma investigação dos registros arqueológicos e dos aspectos socioeconômicos presente na região correspondente à ocorrência das cavernas da província espeleológica: a região Transamazônica e do Xingu. A região paraense é apresentada no contexto histórico e cultural, bem como as ações e intervenções de uso e ocupação do solo voltado para a construção da economia local, regional e nacional.

#### 4.1 Abordagem geodinâmica de estruturação da paisagem cárstica

O contexto espeleológico do Pará apresenta uma riqueza em número de cavernas que o colocam em 2º lugar no ranking nacional, de acordo com a Sociedade Brasileira de Espeleologia (2015). O Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, pertencente ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, desde 2004 vem reunindo registros na base de dados geoespacializados que demonstram a localização das cavernas brasileiras. Em outubro de 2015, essa base contava com o registro de 2.568 cavidades naturais subterrâneas. É um número bastante expressivo, ainda mais por constar de um elevado número de cavernas não carbonáticas, em sua maioria formada por rochas areníticas e ferríferas.

Os registros denotam uma significativa geodiversidade espeleológica ainda carente de estudos quanto ao seu contexto geológico de formação. Fato este resultado de por muito tempo vincular os estudos espeleológicos a rochas carbonáticas.

A partir dos dados da CEVAC/ICMBio, é possível ter uma verdadeira noção da grandeza espeleológica contida no estado do Pará. De todo o universo registrado, menos de 1% das cavernas são de rochas calcárias. A maioria está concentrada em minérios de ferro, seguidas de quartzitos e rochas de arenitos. (Tabela 2). Tratam-se de feições pseudocársticas, em que a investigação científica sobre o assunto ainda é promissora, principalmente para a região Amazônica, mesmo tendo um levantamento de dados que fazem do Pará o estado com 2º maior número de unidades.

Uma vez reconhecida a ocorrência e distribuição das cavidades naturais subterrâneas, foi possível realizar uma delimitação aproximada das regiões cársticas paraenses, tendo em vista que estas concentram-se em dadas áreas específicas. Sendo assim, de acordo com Pinheiro, Maurity e Pereira (2015), o estado do Pará apresenta cinco províncias espeleológicas, distribuídas em três grupos de acordo com suas características de formação e constituição (Figura 21):

- Províncias Espeleológicas da **Serra dos Carajás** e **Serra do Piriá**: ocorrem na área dos escudos arqueanos e proterozoicos, com cavernas presentes em rochas ferríferas e em rochas vulcânicas alteradas por intemperismo;

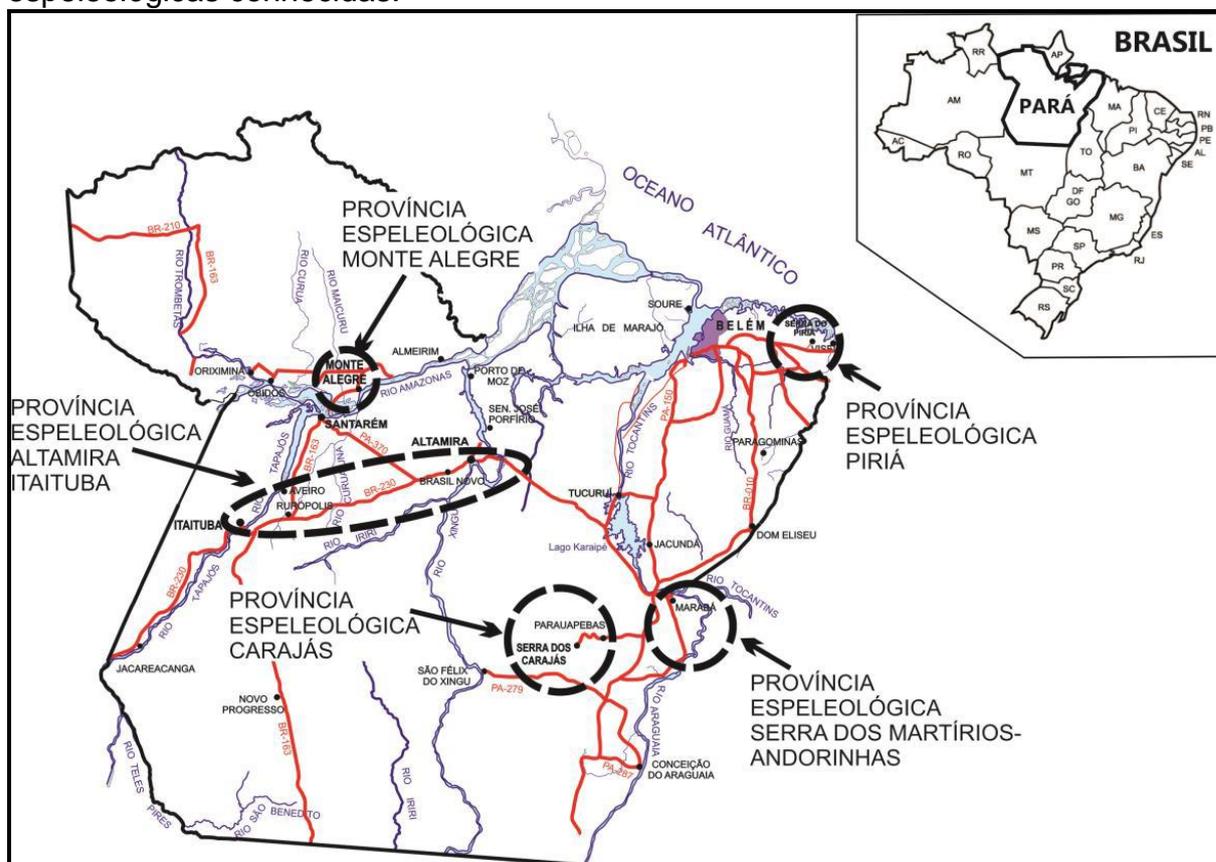
- Província Espeleológica da **Serra dos Martírios-Andorinhas**: com as cavernas em quartzitos ocorrentes nas faixas móveis proterozoicas (Faixa Araguaia);
- Províncias Espeleológicas **Monte Alegre e Altamira-Itaituba**: com cavernas em arenitos e algumas raras em calcário, localizadas nos domínios da Bacia Sedimentar Paleozoica do Amazonas-Solimões.

Tabela 02 – Litologia e porcentagem de cavernas do Pará.

<b>Litologias</b>	<b>% em relação ao Pará</b>
Minério de Ferro	65,53%
Quartzito	19,02%
Arenito	6,43%
Rochas Siliciclásticas (Arenito / Conglomerado / Argilito)	3,23%
Calcário	0,90%
Arenito / Conglomerado / Argilito	0,78%
Granito / Basalto	0,51%
Canga	0,27%
Quartzito / Arenito	0,27%
Rocha Bauxítica	0,23%
Metassedimentares (Quartzito / Formação Ferrífera)	0,19%
Arenito com cimeira	0,12%
Bauxita	0,04%
Canga e Formação Ferrífera Bandada	0,04%
Folhelho	0,04%
Formação Ferrífera Bandada	0,04%
Quartzito / Formação Ferrífera	0,04%
Quartzito / Laterita	0,04%
Siltito	0,04%
Xisto Betuminoso	0,04%
Sem informação	2,18%
<b>Total Geral</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Adaptado de CEVAC/ICMBio, 2015.

Figura 21: Mapa do estado do Pará com a localização das cinco províncias espeleológicas conhecidas.



Fonte: Pinheiro, Maurity e Pereira (2015, p. 6)

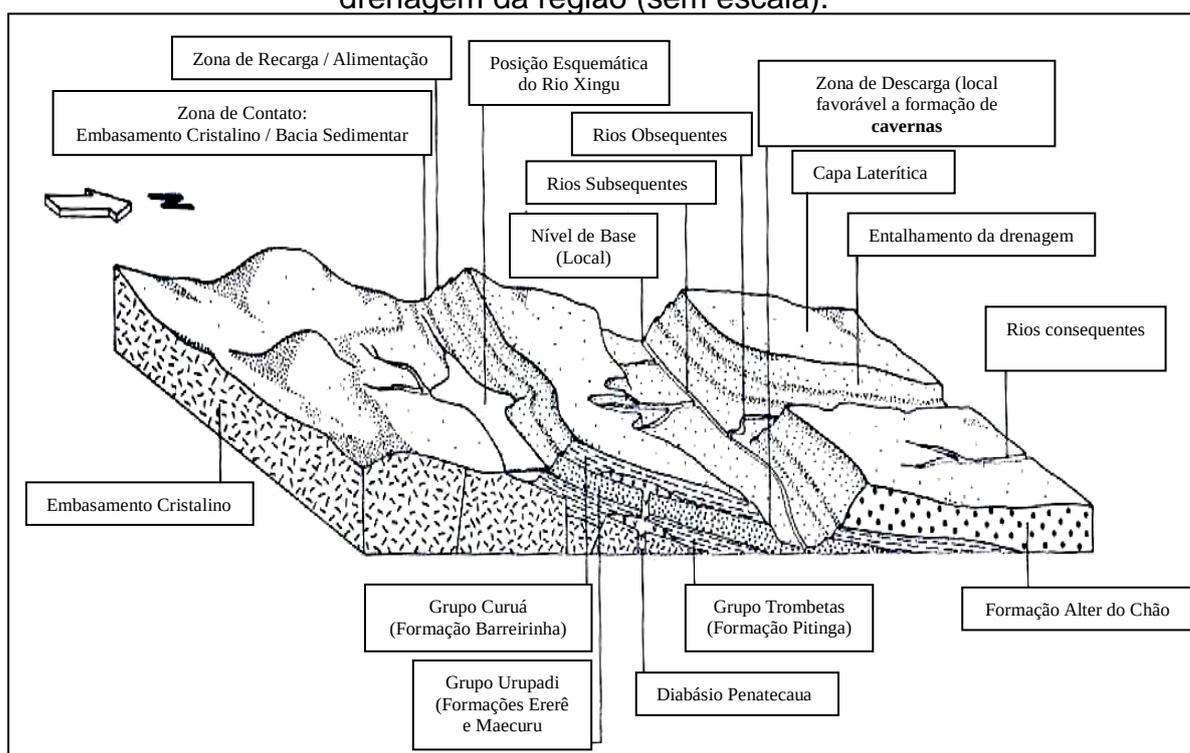
A Província Espeleológica Altamira-Itaituba ocorre próximo ao ambiente de contato entre a Bacia Sedimentar do Amazonas (em sua borda sul) e o Embasamento Pré-Cambriano Complexo Cristalino do Xingu. A grande Sinéclise Amazônica resultou de prolongados processos de sedimentação iniciados no Paleozoico, da qual a Bacia do Amazonas estende-se por uma área de aproximadamente quinhentos mil quilômetros quadrados. Esta bacia sedimentar foi formada por sucessivas transgressões marinhas epicontinentais sobre o Cráton Amazônico e exibe discordâncias erosivas e hiatos de sedimentação, entre o Neorodoviciano e o Neoperminiano, intercalados por soerguimentos vinculados às orogenias relacionadas a abertura do Atlântico Equatorial e à separação das placas Africana, Norte-Americana e Sul-Americana durante o Cretáceo e o Paleoceno (VASQUES e ROSA-COSTA, 2008).

Em seguida, sobreviveram processos de estruturação, morfogêneses e sedimentação até hoje em vigor, relacionadas à atividade neotectônica do tipo transcorrente. Dois pulsos de movimentação, atribuídos aos intervalos Mioceno-Plioceno e Pleistoceno superior-Holoceno, estão representados

por deslocamentos, sedimentação, morfogênese e controle de drenagem (SUGUIO, 2010, p.258).

A Província Espeleológica Altamira-Itaituba concentra-se em uma área ao sul da Bacia Sedimentar do Amazonas, na região entre os rios Xingu e Tapajós, delimitada numa estreita faixa com aproximadamente duzentos quilômetros de eixo maior e vinte e cinco quilômetros de eixo menor, com feições dispostas em faixas subparalelas com direção geral ENE-WSW, com o rio Xingu constituindo o limite leste (ELETROBRÁS, 2009; PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA, 2015). Por esse motivo, as estruturas escarpadas da borda de *cuستا*, com inclinações entre três e cinco graus, apresentam boa parte das cavidades naturais subterrâneas da província. (Figura 22).

Figura 22: Bloco diagrama esquemático da Borda Sul da Bacia Sedimentar do Amazonas – proximidades de Altamira, Estado do Pará, ilustrando o posicionamento das suas Formações Geológicas em relação aos elementos de relevo e padrão de drenagem da região (sem escala).



A Figura 22 apresenta uma ilustração do relevo da região da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, que possui amplitude de cotas altimétricas que variam entre 50m e 100-180m, com vales encaixados em baixas altitudes e colinas e topos de platôs em cotas em torno de 120m, com predominância de morros

aplainados e ocorrências eventuais de cristas suaves e recobertos por capa laterítica. Essa capa é resultado do arenito endurecido por silicificação e/ou ferruginização de origem intempérica, de idade terciária, desenvolvendo assim platôs mais resistentes ao desgaste físico-erosivo (erosão diferencial), aprofundando vales e gerando encostas íngremes nos *fronts* das *cuestas*. As frentes de *cuestas* são descontínuas, com *fronts* voltados para sul, onde as cavernas estão alocadas em suas bases, logo acima dos leques de colúvios (depósitos de talus), e em vales encaixados nas incisões dos platôs (PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA, 2015).

O posicionamento predominante das cavernas compreendem cotas altimétricas no intervalo entre de 80 e 190m, no *front* da *cuesta* da Bacia Sedimentar do Amazonas. O desenvolvimento das cavernas está vinculado à presença do sistema de fraturas, com orientações preferenciais NE-SW e SW-SE, além de outros secundárias N-S e E-W (ELETROBRÁS, 2009).

A combinação energética que ocorre na região Amazônica condiciona a presença do maior corpo hídrico continental do planeta, resultado direto dos altos índices de pluviosidade, com médias anuais acima de 2300 mm nas áreas úmidas (SCHNEIDER et al, 2000). “As drenagens estão regionalmente voltadas para o Norte, segundo um padrão retangular a subparalelo e de baixa densidade, o que caracteriza esta unidade como permeável e em parte controlada tectonicamente” (ELETROBRÁS, 2009, p.66). Configura-se por rios de grande extensão, caudalosos, tal como o rio Xingu, caracterizando uma drenagem predominantemente dendrítica.

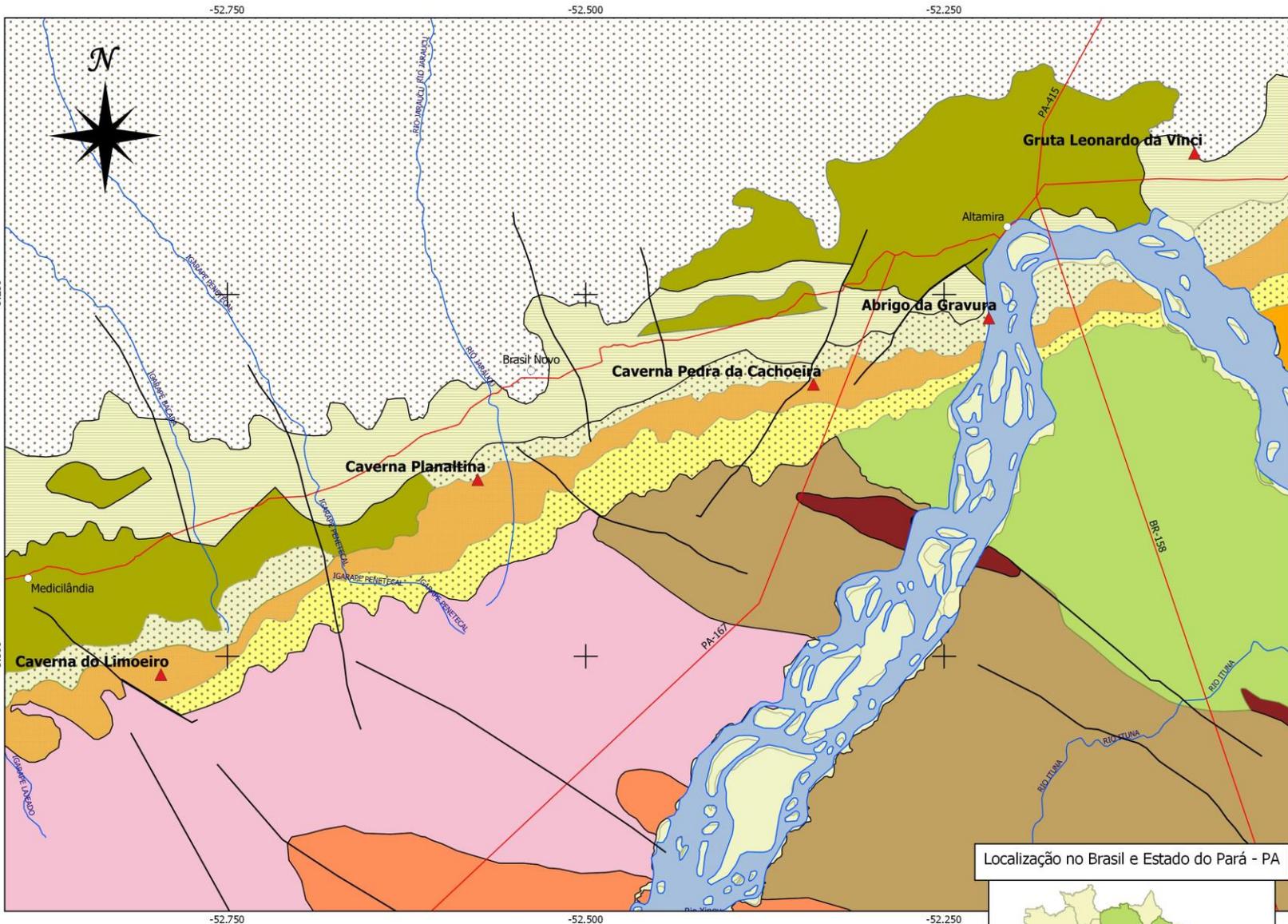
Localmente na área de estudo, além do rio Xingu há também a ocorrência de alguns afluentes (chamados regionalmente de igarapés) que se originam em nascentes dispostas ao longo dos vales e surgências de águas no interior das cavernas. A drenagem subterrânea (horizontal e vertical) é o principal responsável pelo padrão erosivo das paredes laterais. Em algumas cavernas da região, é possível perceber marcas de deslocamentos da drenagem em galerias atualmente secas.

Especificamente, a estrutura geológica das cavernas da província apresenta-se notadamente em arenitos friáveis da Formação Maecuru, pertencente ao Grupo Urupadi, de ampla ocorrência na Bacia do Amazonas e que registra um novo ciclo sedimentar. O Grupo Urupadi está sobreposto ao Grupo Trombetas, com posicionamento litoestratigráfico no Eo-Devoniano, entre 416 milhões e 397 milhões e 500 mil de anos atrás (VASQUES e ROSA-COSTA, 2008).

Na carta litoestratigráfica da Bacia do Amazonas (Figura 23) e Mapa 4 é possível visualizar as seqüências sedimentares da região estudada, bem como a evolução tectônica e o ambiente deposicional envolvidos na formação.

Figura 23: Carta litoestratigráfica da Bacia do Amazonas.

ERA	PERÍODO	LITOESTRATIGRAFIA	GRUPOS	Evolução Tectônica	Ambiente Depositional	
CENOZÓICO	NEÓGENO	Fm. Solimões	JAVARI	Sinéclise	Fluvial	
	PALEÓGENO	Fm. Alter do Chão				
MESOZÓICO	CRETÁCEO			Diatrofismo Juruá		
	JURÁSSICO	Diabásio Penatecaua		Magmatismo Penatecaua		
	TRIÁSSICO			Goduanide		
PALEOZÓICO	PERMIANO	Fm. Andirá	TAPAJÓS	Sinéclise	Flúvio-lacustre	
		Fm. Nova Olinda		Tardi-Herciniana	Marinho restrito hipersalino	
	CARBONÍFERO	PENSISSIL-VANIANO	Fm. Itaituba		Sinéclise	Marinho raso
			Fm. Monte Alegre		Eo-Herciniana	Fluvial
			Fm. Faro		CURUÁ	Sinéclise
	Fm. Oriximiná	Fluvial - Deltáico				
	DEVONIANO	NEO	Fm. Barreirinha	URUPADI	Sinéclise	Glácio-marinho
		MESO	Fm. Ererê			Marinho raso
		EO	Fm. Maecuru			Caledoniana
	SILURIANO		Fm. Manacapuru	TROMBETAS	Sinéclise	Nerítico e litorâneo
Fm. Pitinga			Glácio-marinho			
Fm. Nhamundá			Marinho raso			
ORDOVICIANO		Fm. Autás-Mirim			Nerítico	
PROTEROZÓICO		Fm. Acari	PURUS	Sinéclise	Planície de maré	
		Fm. Prosperança		Rifte	Fluvial	
			Província Amazônica Central	Província Maroni-Itacaiúnas		



Universidade Federal do Ceará - UFC  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

**MAPA 4:  
 LITOESTRATIGRAFIA DA ÁREA DO  
 CONJUNTO DE CAVERNAS DO  
 BAIXO XINGU**

**Título da Tese:  
 Geoconservação de Patrimônio  
 Espeleológico na Amazônia:  
 Proposta de Planejamento Ambiental  
 para a Província Espeleológica  
 Altamira-Itaituba (PA)**

Autora: Luciana Martins Freire  
 Orientador: Dr. Edson Vicente da Silva  
 Coorientador: Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

**Litoestratigrafia**

- Depósitos aluvionares
- Alter do Chão
- Diabásio Penatecaua
- Curuá
- Ererê
- Maecuru
- Trombetas
- Arapari
- Granodiorito Babaquara
- João Jorge
- Metatonalito Tapiranga
- Tonalito Brasil Novo
- Três Palmeiras

Localização no Brasil e Estado do Pará - PA



**Convenções Cartográficas**

- Sedes Municipais
- Cavernas
- Rodovias principais
- Estrutura
- Rede Hidrográfica



1:300.000  
 Projecção Geográfica: SIRGAS 2000



Fonte:  
 - Base de dados do IBGE (2010)  
 - Base de dados do CPRM-PA (2010)  
 - Base de Dados Geoespacializados do CECAV/ICMBio (2015)

Elaboração:  
 - Luciana Martins Freire  
 - Cesar Ulisses Vieira Veríssimo  
 - Edson Vicente da Silva

A Formação Maecuru é constituída por arenitos finos com intercalações siltosas e argilo-siltosas, amarelados e avermelhados, além de apresentar arenitos conglomeráticos, cuja formação está associada a “processos de silicificação denotados por crostas milimétricas a centimétricas de sílica amorfa recobrimdo as paredes das cavidades e planos de fratura” (ELETROBRÁS, 2009, p.67).

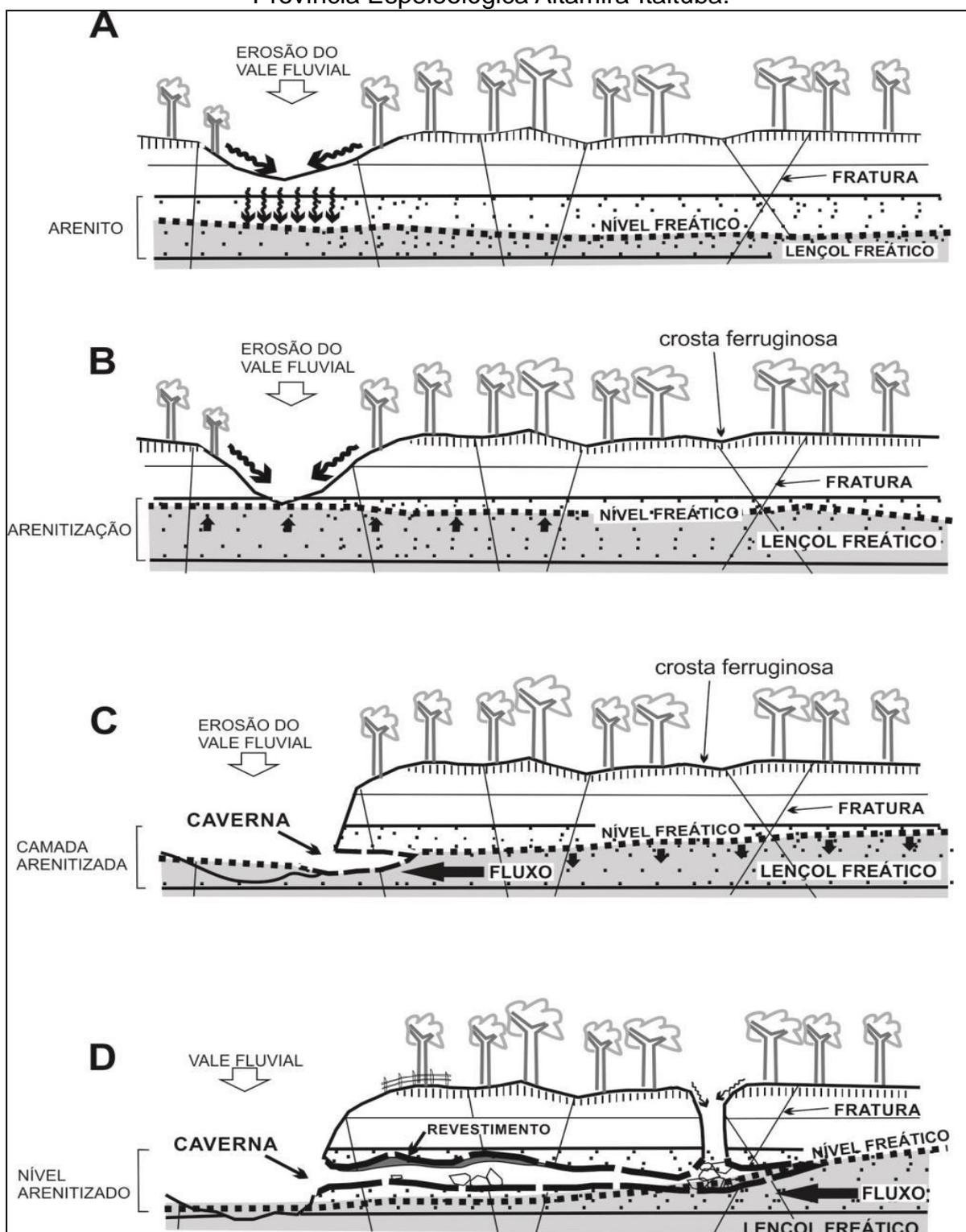
As cavidades em arenito são formadas pelo processo de arenitização, que representa o ataque geoquímico resultante da corrosão química das rochas por águas meteóricas ácidas, em que nesse estágio parte do cimento silicoso da rocha é dissolvido, deixando assim a rocha friável (PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA, 2015). Tal processo é iniciado no Quaternário, marcado pelas variações climáticas estabelecidas nesse período, levando assim ao entalhe dos padrões de escoamento que foram desenvolvendo-se ao longo do tempo.

A dissolução do quartzo durante o processo de *arenitização* da rocha pode tomar dois caminhos: se a taxa de dissolução da sílica é baixa, a dissolução fica restrita às bordas dos grãos ou cristais, ou seja, em seus contatos; se a taxa de dissolução é muito alta, sem aumento da solubilidade, a topografia pode ser afetada por ação desse processo e desenvolver morfologia característica de terrenos cársticos. (ELETROBRÁS, op. cit., p. 73).

Não muito diferente do que ocorre na Província Espeleológica Altamira-Itaituba, outras regiões brasileiras de rochas silicosas também apresentam processo de desenvolvimento das cavernas em arenitos muito semelhantes. Destacam-se, como exemplos, os estudos realizados na Gruta Refúgio do Maroaga – AM (KARMANN, 1986), em São Jerônimo da Serra – PR (SPOLADORE, 2006), no Vale do Rio Barra Grande – SC (SANTOS, 2006), em cavernas do Paraná (SPOLADORE; COTTAS, 2007), na Serra do Lajeado – TO (MORAIS; SOUZA, 2009), na Chapada dos Guimarães – MT e na Serra de Itaqueri – SP (HARDT; RODED; PINTO, 2009) e nos arenitos da Formação Furnas – PR (MASSUQUETO; GUIMARÃES; PONTES, 2011; MELO *et al*, 2011).

Diante dessas referências e outros modelos analisados, Pinheiro, Maurity e Pereira (2015) sugeriram episódios sequenciais para explicar a ocorrência de cavernas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba – PA, também representados na Figura 24:

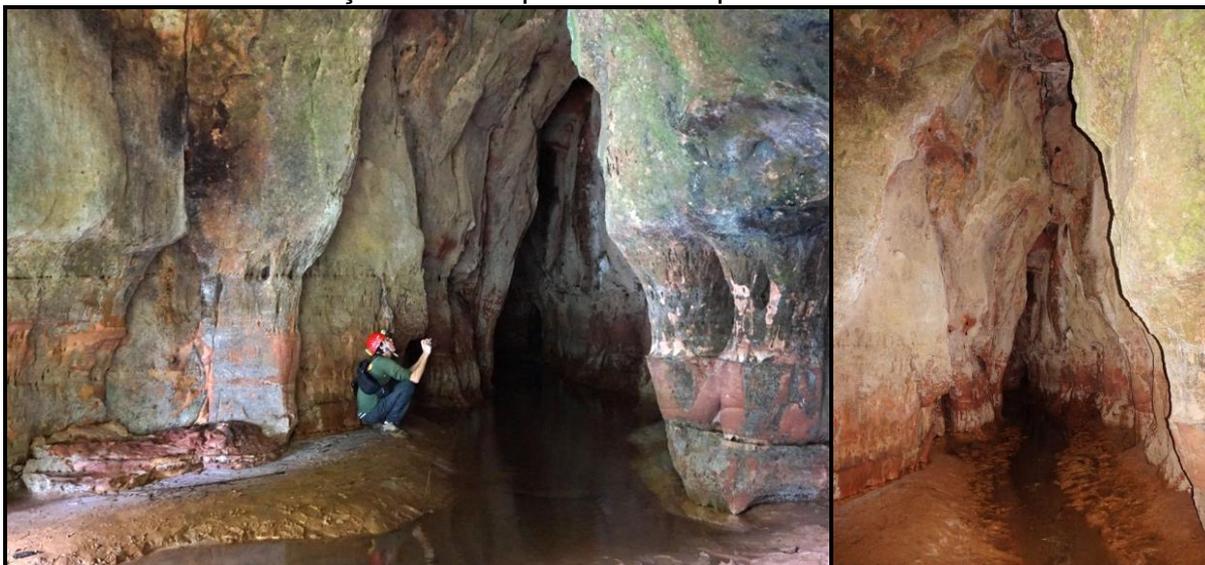
Figura 24: Explicação esquemática dos estágios de desenvolvimento de cavernas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba.



Fonte: Adaptado de Pinheiro, Maurity e Pereira (2015, p. 14)

- A. **Faturamento da estrutura geológica**, de origem tectônica, associado às **variações isostáticas** (processos de soerguimento regional da estrutura sedimentar), resultante da esculturação do relevo pela erosão (Figura 25);

Figura 25: Fraturamento na Caverna da Planaltina (Brasil Novo-PA) condicionando a esculptura cárstica por meio dos processos erosivos.



Fotos: Luciana Freire, 2015.

- B. **Processos erosivos e intempéricos** verificados pela subida do nível do lençol freático, submetendo o arenito a condições freáticas, configurando-se assim o início do processo de **arenitização**. A água que infiltra na rocha causa a corrosão química de minerais, como também a desagregação mecânica dos grãos, gerando rochas friáveis, susceptíveis à erosão (Figura 25). As condições de acidificação têm relação com a presença da floresta densa e clima quente e úmido da região, que elevam a concentração de ácido orgânico na água;
- C. **Oscilações do nível do lençol freático**. Com o soerguimento do relevo, as águas subterrâneas foram rebaixando e a distância do lençol freático em relação à cota de superfície dos vales e drenagens foi aumentando. Assim, o desnível entre estas duas superfícies ficou maior, induzindo fluxo sobre a rocha arenitizada e o início do processo de erosão mais ativo, que leva à formação da caverna, com o desenvolvimento de condutos e galerias subterrâneas (Figura 25);
- D. **Erosão da rocha friável** por fluxo dirigido pelas fraturas, levando a **ampliação e exposição dos condutos e galerias** em ambiente vadoso por meio da remoção de partículas da rocha induzida pelo fluxo hidráulico (*piping*), ação gravitacional e escavação fluvial. Verifica-se, nesse momento, ocorrência de colapsos de blocos rochosos acompanhado do avanço da precipitação mineral e do revestimento seletivo dos espaços internos da caverna (espeleotemas). Essa etapa constitui a configuração atual das cavernas, que apresentam processos dinâmicos ativos,

uma vez que a região Amazônica caracteriza-se pelo fluxo contínuo do ciclo hidrológico (Figura 26).

Figura 26: Ampliação e exposição dos condutos e galerias evidenciados pela oscilação do nível do lençol freático (caixa de ovos no teto), processos erosivos (escavamento do relevo pelo fluxo d'água), desagregação mecânica dos grãos (paredes) e intemperismo químico (parte escurecida do teto) na Caverna Pedra da Cachoeira (Altamira-PA).



Fotos: Luciana Freire, 2015.

Os estágios de desenvolvimento das cavernas e a distribuição das suas formas revelam um verdadeiro sistema organizado de acordo com a funcionalidade dos elementos envolvidos, o que caracteriza o **sistema cárstico**. Trata-se de um sistema aberto, em que há o ingresso, o transporte e a saída de água, além de outros elementos minerais e orgânicos carreados junto.

Sendo assim, a paisagem espeleológica surge como resultado de processos sequenciais organizados, que revelam uma distribuição espacial cárstica reconhecida, permitindo assim o entendimento do funcionamento do sistema. Constata-se aqui a aplicação da teoria dos geossistemas para a compreensão dos processos envolvidos na formação das unidades de estudo.

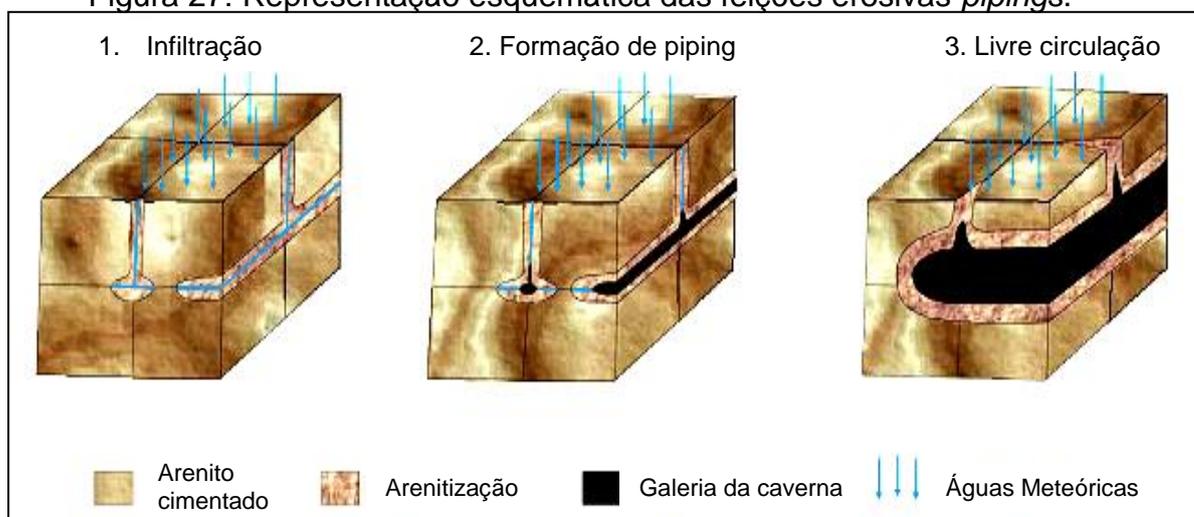
Diante do sistema apresentado, verifica-se que no desenvolvimento de cavernas em rochas silicosas é perceptível a presença da dissolução das rochas, o que torna impossível um evento unicamente associado à ação mecânica (intemperismo físico e erosão). Essa premissa reforça uma definição focada no termo carste vinculado a outras litologias que não sejam apenas de rochas

carbonáticas.

Tem-se, em rochas silicosas notadamente, condições que permitem o aparecimento de sistemas cársticos, produzindo um conjunto de formas, cuja origem teve forte contribuição do intemperismo químico. A distribuição das formas na paisagem permite, portanto, descrever o funcionamento do sistema, desde seus estágios de ingresso até a restituição das águas, da mesma forma que ambientes carbonáticos. (HARDT, 2011, p.155)

A partir da percolação de água infiltrada pelos sistemas de fraturas, o processo de formação das cavernas inicia-se após a desagregação e remoção dos grãos de quartzo por arenitização, com a dissolução parcial do cimento. Dessa maneira, o arenito fica mais poroso, permitindo a passagem de fluxo aquoso e deixando os grãos soltos. Nesse momento o ambiente subterrâneo fica susceptível à ampliação de condutos, galerias e salões, que se desenvolvem por meio de feições erosivas designadas como *pipings* (Figura 27).

Figura 27: Representação esquemática das feições erosivas *pipings*.



Fonte: Adaptado de FABRI e AUGUSTIN (2013)

Como a própria denominação afirma, as cavidades naturais subterrâneas desenvolvem-se a partir da erosão hídrica subterrânea, realizada pelo trabalho de escavamento dessas subsuperfícies, ao passo que as entradas das cavidades são expostas pelo recuo erosivo das escarpas da cuesta. Acrescenta-se ao fato de que as rochas areníticas da Formação Maecuru estão posicionadas imediatamente adjacente às rochas do embasamento cristalino, condicionando “a presença de uma zona de alto fluxo hidráulico, potencializando a ação geoquímica e erosiva das águas meteóricas para a formação das cavernas” (PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA,

2015, p.15).

Em um estudo sobre os processos de formação do relevo cárstico não carbonáticas de Arkansas, nos Estados Unidos, Ogdem (1981) destaca algumas características que são comuns às ocorrentes nas cavernas da região de Altamira-Itaituba: *piping*; dissolução de sílica; colapsos e quedas bruscas de grandes blocos rochosos; e movimento de massa por queda de blocos. Consideram-se, também, as semelhanças nas feições litológicas, geológicas e morfológicas em ambas regiões.

As feições cársticas então relacionadas com a morfologia da caverna, que abrangem as formas observadas nas paredes, no teto e no piso. Estas feições, também chamadas de ornamentos, podem ter duas designações: espeleotemas e espeleogens. De acordo com Auler (2006), os espeleotemas têm origem associada à deposição química secundária e os espeleogens à estrutura e à erosão, os quais fornecem importantes testemunhos acerca dos mecanismos hidrológicos e espeleogenéticos que atuaram no interior da caverna.

Os espeleotemas, termo proveniente das palavras gregas *spelaiou*, que significa caverna e *thema*, significando depósito, podem ser definidos como sendo os depósitos minerais secundários que se originam em uma caverna a partir de uma solução química ou a partir da solidificação de um fluido qualquer. Os espeleotemas, por definição, se originam após a fase de abertura da caverna (SPOLADORE; COTTAS, 2007, p. 289).

Na região interna das cavernas (endocarste) da província, as feições cársticas não apresentam estalactites nem estalagmites, aspectos morfológicos bastante comuns em cavernas carbonáticas. Os ornamentos mais comuns presentes nas cavernas areníticas têm esculturação ruiforme, tais como coralóides (corais de sílica, ou *coralloids*), pipocas de sílica, caixas de ovos, *scallops*, cascas de ovo, tetos anastomosados e cúpulas de dissolução ou chaminés de equilíbrio (SPOLADORE; COTTAS, 2007; ELETROBRÁS, 2009; HARDT, 2011).

As paredes internas das cavernas estão revestidas por cimento silicoso, ferruginoso e/ou fosfático, que formam os espeleotemas. Os coralóides de sílica (Figura 28) são proveniente da dissolução da rocha arenítica (arenitização), no qual Spoladore e Cottas (2007) explicam sua ação pelo gotejamento e escorrimento de soluções aquosas saturadas nestes compostos, movimentando-se mediante a ação da gravidade.

Figura 28: Aspectos de feições em coralóides e pipocas de sílica na gruta Leonardo

da Vinci, Vitória do Xingu (PA). O apito representa uma escala de 4cm.



Foto: Luciana Freire, 2015.

Os tetos anastomosados também têm composição silicática e/ou de óxido de ferro. Hardt (2011) considera que suas formas delicadas demonstram que sua evolução ocorreu em meio freático através do processo de dissolução química, com lenta movimentação de água entre as fraturas ou porosidade da rocha. Dessa maneira deduz-se que se houvesse ação mecânica tais formas delicadas não existiriam (Figura 29).

Figura 29: Teto anastomosado na Caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA).

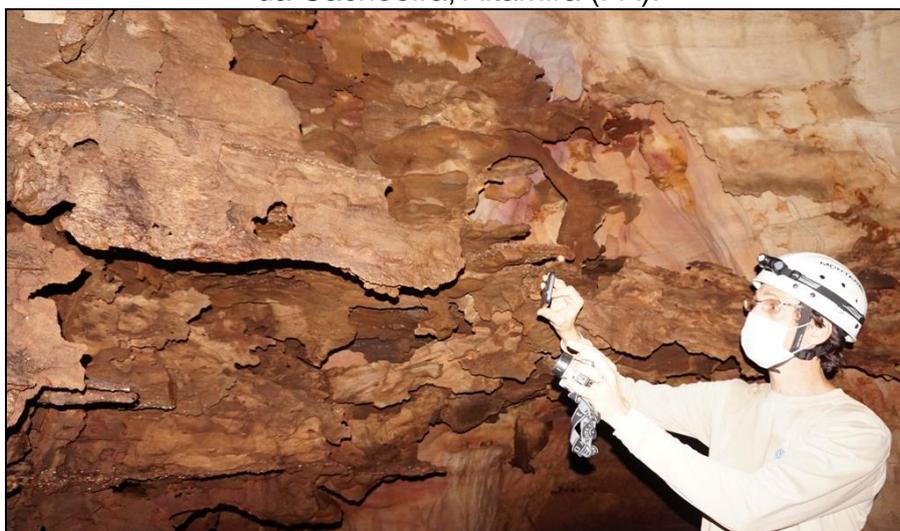
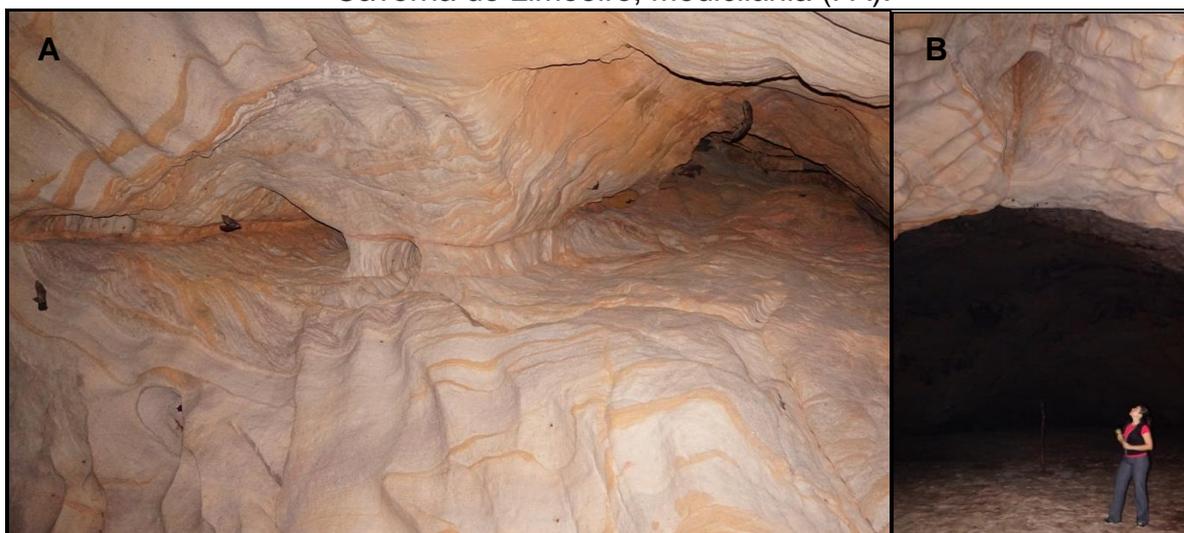


Foto: Luciana Freire, 2015.

Outro aspecto observado nas cavernas da Província apresentam diversos

pontos de ressurgência de água, principalmente no teto, formando chuveiros que originam os espeleotemas. Nesse caso, ainda dentro dos exemplos de feições desenvolvidas por dissolução, têm-se a presença de cúpulas de dissolução ou chaminés de equilíbrio (Figura 30). São cavidades formadas no teto da caverna, com formato arredondado, por meio do alargamento proveniente da passagem de água pelas fissuras (diáclase), por dissolução em função de uma maior exposição da superfície rochosa. “Entre o teto de uma cavidade e uma diáclase, aumenta-se a área de contato entre a rocha e a água. Neste contexto, a dissolução da rocha ocorre em escala maior nestas zonas de contato, ampliando-se o volume dissolvido.” (HARDT, op. cit., 2011, p.150).

Figura 30: (A) presença de cúpulas de dissolução, com presença de morcegos sobrevoando a área. (B) Detalhe do teto com noção de escala da área observada. Caverna do Limoeiro, Medicilândia (PA).



Fotos: Luciana Freire e Edson da Silva, 2015.

As caixas de ovos e *scallops* estão presentes em quase todas as cavernas da província, representando os principais espeleogens configurados (Figura 31). Estas feições são formadas pelo fluxo d'água ao longo do conduto atualmente seco e não apresentam prioritariamente a ocorrência de depósitos minerais, mas sim a retirada de fragmentos. “Todavia, a caixa de ovos também pode ser formada a partir da retirada, do transporte e da deposição de argila e areia fina pela água no teto da caverna” (SPOLADORE; COTTAS, 2007, p.291). Os *scallops* também são marcas onduladas e, especificamente, apontam a direção em que houve o fluxo de corrente d'água, muitas vezes turbulento.

Figura 31: Aspecto de *scallops* no teto da caverna

do Limoeiro, Medicilância (PA)



Foto: Luciana Freire, 2012.

Na Província Espeleológica Altamira-Itaituba destaca-se, contudo, um caso raro de formação espeleológica em folhelhos e siltitos: a Gruta Leonardo Da Vinci, localizada no município de Vitória do Xingu/PA. O controle estrutural e a presença de metamorfismo de contato da intrusão Diabásio Penatecaua levaram ao desenvolvimento da gruta na Formação Barreirinha, pertencente ao Grupo Curuá (Figura 22). A idade do Curuá corresponde ao Devoniano superior (PROJETO RADAMBRASIL, 1974).

A Formação Barreirinha encontra-se sobreposta logo acima do Grupo Urupadi, onde está registrada a maior parte das cavernas areníticas da Província. Esta formação, junto às demais formações desenvolvidas entre o Devoniano e o Carbonífero (Ererê, Oriximiná, Faro, Monte Alegre e Nova Olinda), apresentam características de serem menos resistentes ao processo de intemperismo químico e erosão. Nesse contexto, sofreram processos de arrasamento do relevo, estando modelados em superfícies de aplainamento bem conservadas (DANTAS; TEIXEIRA, 2013).

O desenvolvimento da gruta em folhelho está relacionado ao desenvolvimento de escarpas resultantes do retrabalhamento hidráulico (pé de cachoeira), ao passo que se situam em área de borda de *cuesta*. Aliados ao pacote de sedimentos enrijecidos com silicificação, por meio do metamorfismo de contato da intrusão Diabásio Penatecaua, a formação apresenta-se conjugada com zonas de descontinuidades, com a presença intensa de minerais expansivos, que são

considerados os principais fatores da evolução da Gruta Leonardo Da Vinci em folhelho.

O condicionamento principal resulta da conjugação de elementos estruturais com a presença, principalmente, de níveis de minerais expansivos provenientes da oxidação de sulfetos que se encontram disseminados ou em forma de concreções nodulares nos folhelhos do Grupo Curuá. Os sulfetos quando em ambiente úmido produzem o ácido sulfúrico, que, por sua vez, atacando alumino-silicatos hidratados, libera elementos como Al, Mg, e Fe, os quais combinados com íons sulfatos desenvolvem os minerais neoformados de forte natureza expansiva (ELETROBRÁS, 2009, p. 80).

A litologia da Formação Barreirinha é constituída por “folhelhos cinza-escuros, laminados, com raros acamamentos de arenitos muito finos e micáceos, folhelhos cinzentos, as vezes siltíticos, siltitos calcíferos e arenitos silicificados em delgadas camadas” (PROJETO RADAMBRASIL, 1974, p.32). De acordo com o relatório da ELETROBRÁS (2009), na gruta Leonardo da Vinci é registrada a presença de estruturas em forma de lâminas e superfícies concêntricas, de coloração creme-esbranquiçada a castanha, com manchas mais claras e/ou avermelhadas, e paredes revestidas com mineral fosfatado (Figura 32).

Figura 32: Aspectos do teto laminado da gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA).

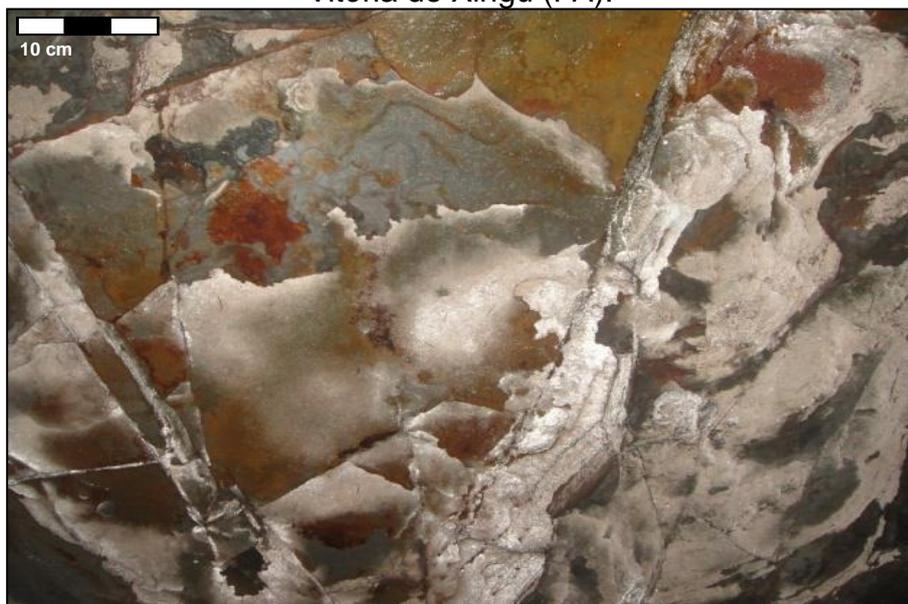


Foto: Luciana Freire, 2012

#### 4.2 Bioespeleologia local: riqueza biológica do ambiente subterrâneo

A Bioespeleologia é um ramo da espeleologia que trata de estudar a biodiversidade de espécies que habitam ou frequentam o ambiente cavernícola. Sabe-se que o ambiente espeleológico é caracterizado, principalmente, pela ausência de luz. Além disso, há uma menor variação ambiental relacionada ao ambiente externo, em que a temperatura das cavernas é estável e a umidade é geralmente elevada. Brandão *et. al.* (2015) destaca que a bioespeleologia tem papel fundamental por apresentar a possibilidade de detectar bioindicadores e correlacionar os mesmos aos impactos sofridos por cavernas.

Uma vez conhecidos os aspectos físicos da Província, importante se faz analisar também as características dos componentes bioespeleológicos, haja vista ser um reduto de seres vivos específicos a esses ambientes.

Baseado no EIA do AHE Belo Monte (ELETROBRÁS, 2009), a maior parte da fauna da Província Espeleológica Altamira-Itaituba configura-se como eventual (troglóxenos), tais como formigas, cupins, alguns coleópteros (besouros), caranguejos braquiuros, aranhas caranguejeiras e até sapos. Citam-se, mais frequentemente, alguns troglóxenos típicos como as espécies de baratas *Blaberus parabolicus* (Figura 30) e o oniscidea *Scleropactidae* (*Amazoniscus*), que são crustáceos (isótopo terrestres), importantes na reciclagem de nutrientes e habitam ambientes úmidos e abrigados da luz (Figura 33).

Figura 33: Espécie de barata (*Blaberus parabolicus*) e Oniscidea *Scleropactidae* (*Amazoniscus*) presentes na gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA)

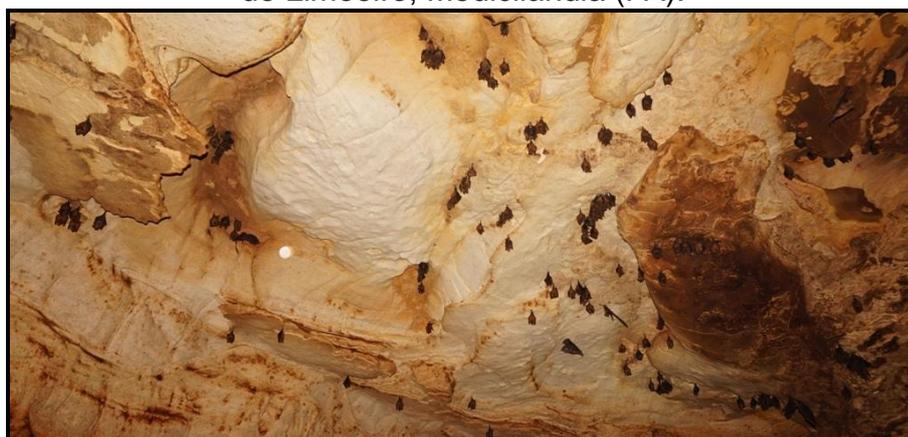


Fotos: Luciana Freire, 2015.

Espécies de vertebrados troglóxenos podem ser citadas, tais como a

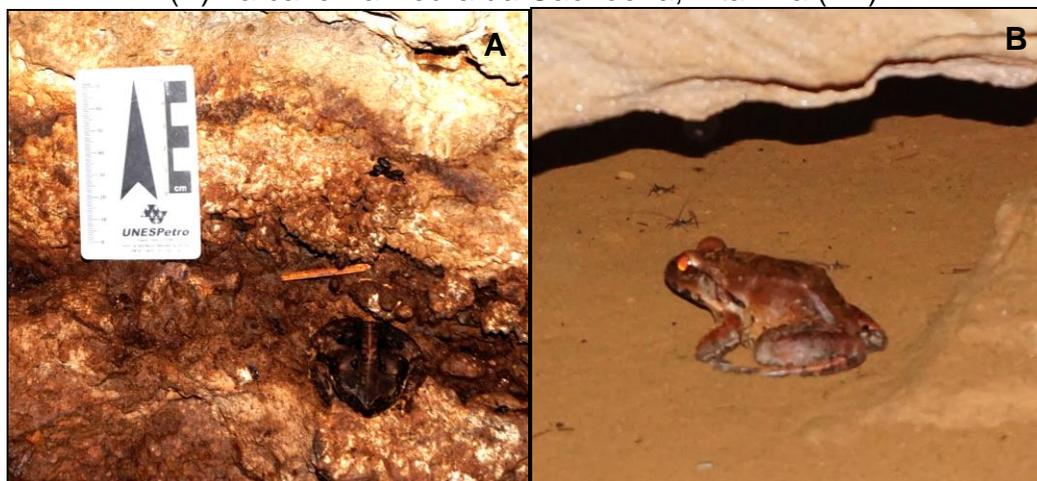
abundante presença de morcegos da espécie *Carollia perspicillata* (Figura 34), os registros de anfíbios (anuros vistos na gruta Leonardo da Vinci e caverna da Pedra da Cachoeira – Figura 35) e vestígios (pegadas e rastejamentos) de répteis e mamíferos. Além dos vestígios, existem relatos de moradores e frequentadores das cavernas que indicam uma ocorrência rara de espécie de jacaré que habita a Caverna da Planaltina (Brasil Novo – PA) e onça que adentra na caverna do Limoeiro (Medicilândia – PA) com frequência. Os vestígios e relatos mostram que existe uma macrofauna específica, ainda não confirmada, que utiliza com frequência tais ambientes como abrigo e/ou caça, contribuindo para o aporte de alimento dos ambientes espeleológicos.

Figura 34: Presença de morcegos agrupados no teto da caverna do Limoeiro, Medicilândia (PA).



Fotos: Luciana Freire, 2015.

Figura 35: Anuros (sapo): (A) Na gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA), e (B) na caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA).



Fotos: Luciana Freire, 2015.

Entre as espécies que vivem confinadas no ambiente cavernícola

(hipógeo) são comuns nas cavernas da Província os opiliões (aranhas) e ortópteros (grilos), os quais apresentam características fisiológicas vinculadas ao ambiente afótico. Em geral, essas espécies não possuem pigmentação e têm os olhos atrofiados ou ausentes, possuindo então longas antenas ou olfato mais apurado. Em pesquisa sobre levantamento da fauna cavernícola no Brasil, Trajano e Gnaspini-Netto (1991) citaram opiliões da família *Stygnidae* ocorrente nas cavernas da Província Altamira-Itaituba.

Na maioria das cavernas foi registrada ocorrência da espécie de Amblipígeo *Heterophrynus Longicornis*, aracnídeo que se mostrou amplamente distribuída nas cavernas (Figura 36).

Figura 36: Presença de Amblipígeo *Heterophrynus Longicornis* no teto da caverna Pedra da Cachoeira, Altamira (PA).



Foto: Luciana Freire, 2011.

Nesse contexto, as baratas como um todo, ao lado dos grilos *Endecous* e *Eidrruznacris*, também constituem, “um grupo de macroinvertebrados onívoros pré-adaptados à vida subterrânea, encontrados em diversos substratos e formando populações troglófilas” (TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1990, p. 400).

As características pedológicas dos ambientes endocársticos da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, de maneira geral, mostram substratos cobertos por camadas finas de sedimentos recém-depositados, com presença de solos arenosos e pedregosos, com blocos rochosos abatidos, além de pontos com a presença de matéria orgânica oriunda das acumulações de guano de morcegos. Em relação a alguns aspectos ecológicos gerais, nota-se que a cadeia trófica das cavernas da província é altamente dependente do recurso guano, gerado pelos morcegos que frequentam o ambiente.

Em cavernas com grande ocorrência de depósitos de guano, os ácaros são grupos bastante diversificados no ambiente cavernícola. De acordo com Trajano e Gnaspini-Netto (1991), o táxon de acarofauna mais comum em cavernas brasileiras são dos *Mesostigmata* (parasitiformes), registrando as famílias *Macrochelidae* (*Macrocheles* e *Macrolospis*) e *Uropodidae* (vários gêneros) frequentes nas cavernas da Província. Há registro de alguns grupos de insetos abundantes, tais como percevejos hemípteros da família *Cydnidae*; formigas da subfamília *Myrmicinae* e besouros da família *Hydrophilidae* e *Staphylinidae*. (ELETRONORTE, 2011).

Dentre os táxons de fauna registrados nos estudos espeleológicos realizados pela Eletronorte (2011), os grupos com maior número de espécies e sua ocorrência foram:

- *Araneae: Araneomorphae* (a maioria troglófilas);
- *Insecta: Diptera* (troglófilos e acidentais, maioria);
- *Arachnida: Acari* (muitas espécies restritas, mas sem caracteres troglomórficos);
- *Hymenoptera: Formicidae* (troglófilos);
- *Entognatha: Collembola* (troglóbios e troglófilos)
- *Coleoptera: Carabidae* e *Staphylinidae* (troglóbios, troglófilos e acidentais);
- *Insecta: Blattaria* (troglófilas);
- *Arachnida: Opiliones* (troglófilos);
- *Diplopoda*: (troglóbios, troglófilos e acidentais);
- *Araneae: Mygalomorphae* (troglófilas e acidentais);
- *Crustacea: Isopoda* (troglóbios e troglófilos);
- *Gastropoda: Pulmonata* (acidentais).

As informações em relação à ocorrência de espécies florísticas no interior das cavernas são bastante incipientes. Sabe-se, contudo, que com a ausência de luz só é possível o crescimento de vegetais que não realizam a fotossíntese. Em estudo realizado sobre a microbiologia nas cavernas areníticas Planaltina (Brasil Novo) e Pedra da Cachoeira, Santana *et. al.* (2011) afirmam que são ocorrentes fungos celulolíticos, proteolíticos e amilolíticos, em sua maioria presentes nos depósitos de guano e matéria orgânica em decomposição, os quais servem de alimento para bactérias, demais fungos e insetos.

Em pontos próximos da entrada de algumas cavernas é possível observar

plântulas (plantas brotando), provavelmente de sementes trazidas por animais que frequentam o ambiente e eventos hidroclimáticos. Estas plântulas, apesar de bem desenvolvidas, não evoluem por conta da falta de luz solar (Figura 37). Santana et. al. (2011) confirmaram a presença de fungos micorrízicos-arbusculares (FMA) em suas raízes e que estes estão ampliando a sobrevivência de plântulas da caverna da Planaltina (Brasil Novo – PA).

Figura 37: Ocorrência de plantas brotando no interior da gruta Leonardo da Vinci, Vitória do Xingu (PA).

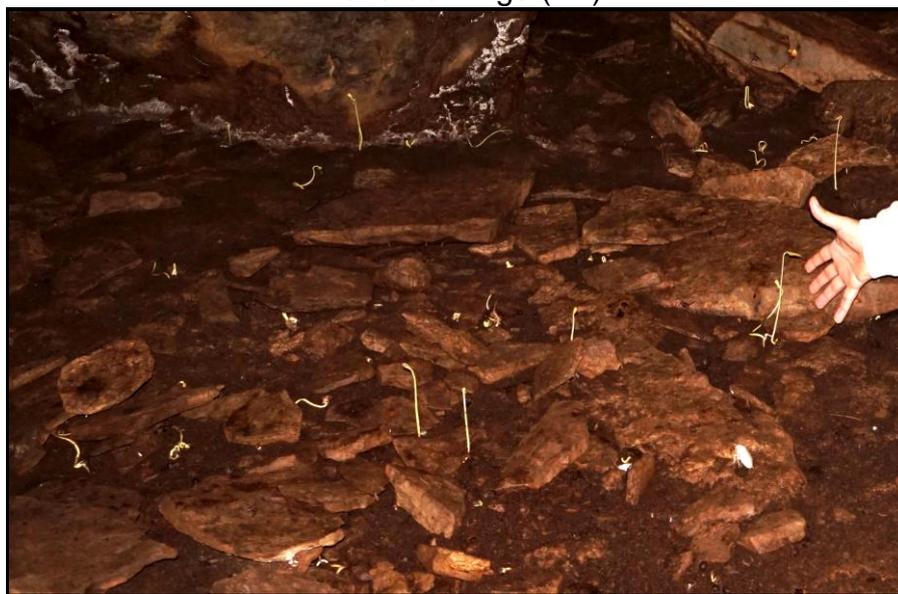


Foto: Luciana Freire, 2015.

### 4.3 Registros arqueológicos

A história de ocupação humana na região também resguarda alguns vestígios dos antepassados amazônicos. Os estudos arqueológicos têm registros nos arquivos das expedições do GEP à província, realizadas junto a equipes do Museu Paraense Emílio Goeldi, em que foram realizadas pequenas escavações no interior das cavernas para verificação de vestígios de material cultural. Nessa ocasião, foram encontrados alguns resquícios de atividades humanas do passado histórico da região, que demonstram o seu potencial arqueológico, tais como: solos de coloração mais escura, que evidenciam possibilidades de fogueiras; quantidade de material lítico e cacos de cerâmica; e um machado de pedra.

Mais recentemente, de acordo com Pereira e Silva (2015), a presença de arte rupestre em forma de pinturas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba foi

registrada em cavernas areníticas localizadas no município de Rurópolis – PA (Caverna das Mãos, Caverna do Caximbão, Caverna das Damas, Caverna do 110 e Caverna da Borboleta Azul). Estas também apresentam ocorrência de gravuras rupestres. As cavernas, contudo, merecem destaque por apresentação ocorrência de elementos arqueológicos em zonas afóticas (ambiente hipógeo), o que ainda era considerado desconhecido em cavernas amazônicas.

A importância da caverna, além de sua própria geologia e todo o conjunto rupestre em si, é aumentada pelo fato das pinturas terem sido feitas na zona afótica, totalmente sem incidência de luz natural. Infere-se que para sua realização, o indivíduo ou grupo que as pintou deveria dominar o fogo e saber manejá-lo até o interior (TRAVASSOS; RODRIGUES; MOTTA, 2013, p. 236).

A Caverna das Mãos é considerada como um caso inédito até então registrado no Brasil, uma vez que revela em seu interior um sítio de arte rupestre riquíssimo em zona afótica, com descrições presentes a uma distância de mais de 400 metros da entrada da caverna (Figura 38). Dentre as características das técnicas e dos estilos empregados nas gravuras, destaca-se:

... o uso da cor branca para a elaboração dos motivos (até o momento o uso dessa cor era inédito na arte rupestre da Amazônia brasileira); o uso da bicromia em vermelho e branco na composição dos motivos (também inédito na Amazônia brasileira); pinturas elaboradas em preto; motivos gravados elaborados com a técnica do gravado profundo que permite destacar fortemente a Figura no suporte rochoso. Os temas representados são diversos (zoomorfos, antropomorfos e grafismos puros) e possuem características estilísticas diferentes nos diversos sítios da área [do município de Rurópolis-PA] e até mesmo em um mesmo sítio o que sugere [...] diferentes momentos de ocupação em uma mesma caverna. (PEREIRA; SILVA, 2015).

Nas pesquisas realizadas para o Estudo de Impacto Ambiental da AHE Belo Monte (ELETROBRÁS, 2009), foram constatados alguns dos materiais arqueológicos citados (cacos de cerâmica), além da presença de petroglifos em baixo relevo no Abrigo da Gravura, em Altamira – PA (Figura 39). O abrigo localiza-se as margens do rio Xingu, em área caracterizada por uma escarpa voltada diretamente para o rio. Sua cota altimétrica é de 94,7, o que a faz estar ameaçada de submersão após a conclusão da obra, em que o represamento da barragem elevará o nível das águas em até 100m.

Figura 38: Pinturas rupestres localizadas em zonas afóticas da Caverna das Mãos,

Rurópolis – PA. (a,b,c) Mãos em positivo; (d) biomorfo.



Fotos: Edithe Pereira, em <<http://www.rupestreweb.info/cavernasruropolis.html>>

Figura 39: Detalhe de gravuras em baixo relevo observadas no interior do Abrigo da Gravura, Altamira (PA).

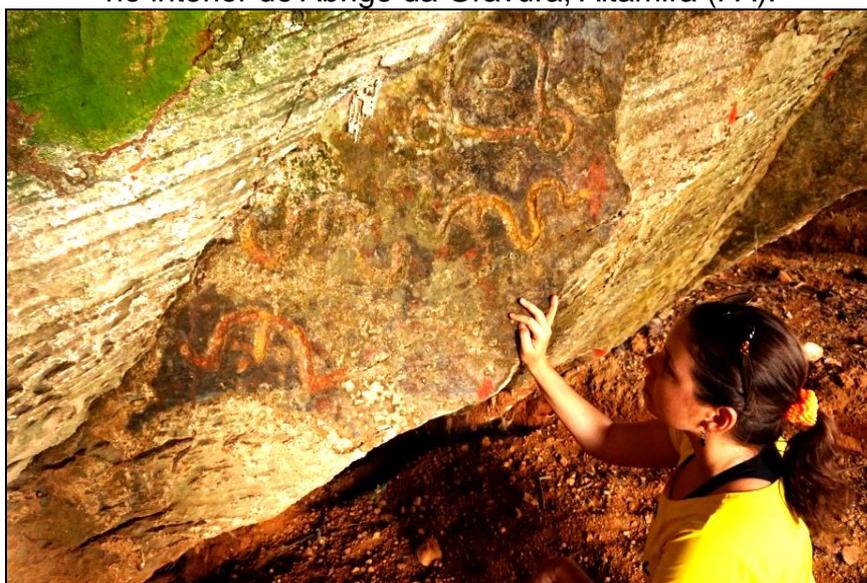


Foto: Cesar Veríssimo, 2015.

#### 4.4 Breve Histórico e Aspectos Socioeconômicos da Região do Xingu

Na Região Norte do Brasil, ocupada em grande parte pela floresta amazônica, o processo de desenvolvimento socioeconômico gerou uma forte exploração dos recursos naturais, que tem apresentado crescimento progressivo, evidenciado principalmente pelos elevados índices de desmatamento da vegetação nativa. Tal fato está relacionado, mais precisamente, com as políticas do modelo de desenvolvimento adotado para a Região Amazônica durante a década de 1970, em busca do crescimento econômico sem ater aos prejuízos decorrentes dos impactos ambientais.

No estado do Pará, além dos desmatamentos referentes à retirada de madeira, mineração, produção agropecuária e crescimento das áreas urbanizadas, ocorre o processo de instalação de empreendimentos hidrelétricos, como o caso da Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte, na Bacia Hidrográfica do rio Xingu, mais especificamente em seu baixo curso. Diante do cenário paraense, a área de estudo é reconhecida como Região Transamazônica e do Xingu. Sua nomenclatura está relacionada, respectivamente, às áreas urbanas e rurais alocadas às margens da rodovia Transamazônica (BR-230) e proximidades do baixo curso do rio Xingu.

A história de ocupação da região é relatada em quatro fases, iniciada junto à história de exploração do Brasil Colonial. A primeira fase é marcada por eventos de indefinição entre exploradores portugueses, espanhóis e holandeses. Sabe-se que a existência do Tratado de Tordesilhas vinculava a região Amazônica à Espanha, o que não permitia que os luso-brasileiros avançassem por essas terras. Porém, com a ocupação do trono português por Felipe II da Espanha (ocorrida entre os anos 1580 e 1640) e a presença de holandeses na Amazônia, abriam-se as fronteiras para avançar na região. “Sendo Espanha e Portugal um só reino, deixavam de existir fronteiras na América do Sul, visto que todo o continente passou a pertencer ao império luso-espanhol” (UMBUZEIRO, 2012, p.41). Nesse sentido, o objetivo era expulsar os holandeses que haviam se estabelecido em áreas nas proximidades da foz do Xingu e outras áreas da Amazônia. Após o fim da União Ibérica, a coroa portuguesa constituía a ocupação através de missões jesuítas, que ocorreram entre os anos de 1636 e 1883, as quais destacaram-se como as primeiras formas de aldeamentos na região da atual Transamazônica e do Xingu.

A outras três fases ocorreram mais especificamente durante o século XX, marcadas por imigração de população advinda de outras regiões do Brasil e que estabeleceram de maneira mais efetiva a implantação dos municípios que hoje constituem a Região Transamazônica e do Xingu. A segunda fase foi gerada pelo ciclo da borracha na Região Amazônica, que atraiu principalmente nordestinos que fugiam das dificuldades decorrentes da seca. Esse momento é marcado pelo desenvolvimento da atividade de extração do látex das seringueiras, impulsionado pela segunda revolução industrial e advento do automóvel.

No final do século 19, o auge da economia cafeeira no Sudeste brasileiro coincidiu com a expansão da indústria de extração de látex das seringueiras da floresta amazônica. [...] Entre 1872 e 1920, a população regional [da Amazônia] cresceu 4,3 vezes, passando de pouco mais de 330.000 para quase 1,5 milhão de pessoas. O crescimento mais acentuado aconteceu entre 1900 e 1920, quando a população mais que dobrou. Foi o primeiro grande empreendimento comercial levado a cabo no Brasil sem utilização de trabalho escravo. Beneficiada pelos altos preços da borracha no mercado mundial, a economia regional cresceu em ritmo vertiginoso (ARBEX JÚNIOR, 2005, p.31).

A terceira fase se desenvolve a partir da década de 1970, com a consolidação da BR-230, (Rodovia Transamazônica), e com a implantação da Política de Colonização da Amazônia, uma iniciativa do Governo Federal em busca de consolidar a ocupação territorial dos chamados “vazios demográficos” da Região Norte.

A ótica da ocupação dos espaços como estratégia de soberania e desenvolvimento do País guiou a quase totalidade dos projetos governamentais para a Amazônia nas décadas de sessenta e setenta. Nessa época, foi criada a Superintendência para Valorização Econômica da Amazônia e construída a Rodovia Belém-Brasília, iniciando-se o processo de ocupação, que visava ao aproveitamento dos recursos da região. (FVPP, 2006, p.13).

Nesse momento, percebia-se que a Amazônia na verdade representava um vasto campo para a expansão agrícola, levando o governo Médici a criar projetos de assentamento de produtores rurais, tornando assim a região integrada à economia nacional ao incorporar o “vazio” amazônico aos centros desenvolvidos do Brasil. Nesse sentido, em 16 de junho de 1970 foi criado o Programa de Integração Nacional (PIN), através do decreto lei nº. 1.106. O PIN apresentava “finalidade específica de financiar o plano de obras de infra-estrutura, nas regiões compreendidas nas áreas de atuação da SUDENE e da SUDAM e promover sua mais rápida integração à economia nacional” (BRASIL, 1970). Tratava-se de uma

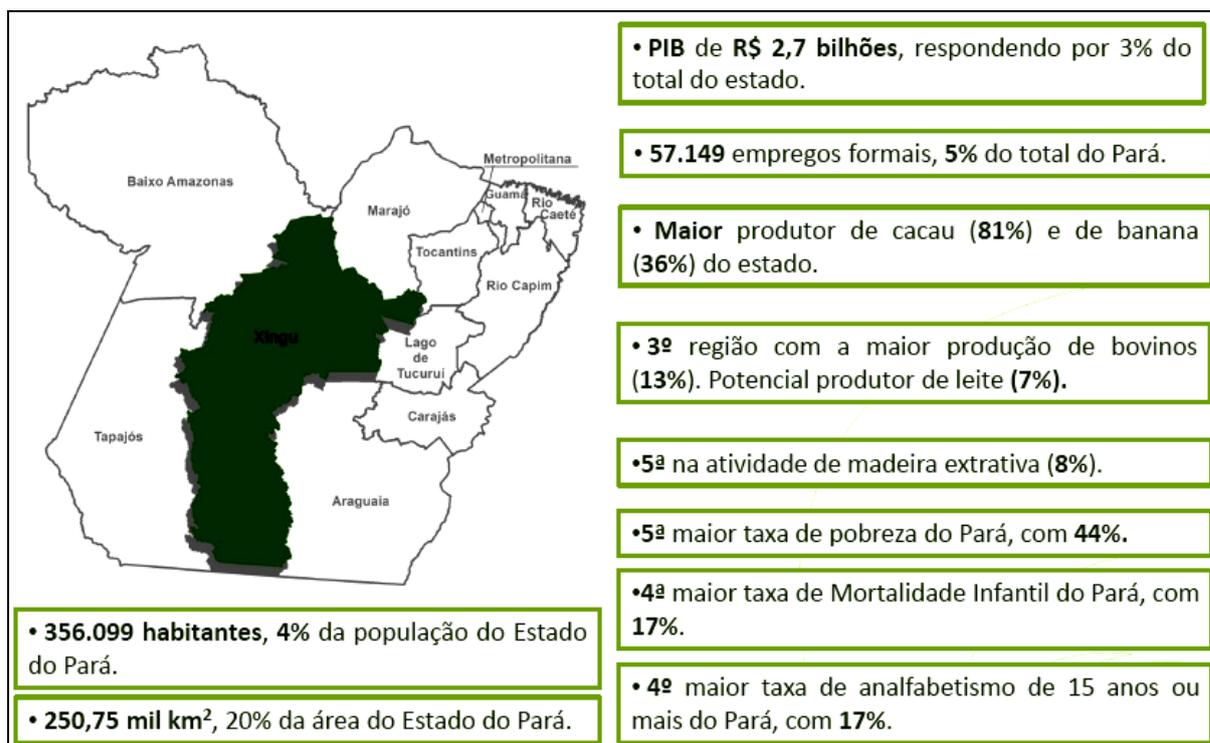
intervenção militar que ganhou fama pelo lema “ocupar para não entregar”, negando naquelas terras denominadas como “vazias” a existência de mais de 170 nações indígenas, além da ocupação antiga (relatada na primeira e na segunda fases), que acolheu posseiros, garimpeiros, populações quilombolas, entre outros indivíduos. (SANTANA, 2009). Muito antes de tornar-se um projeto de colonização, a região era habitada por tribos indígenas. Entre as principais tribos indígenas, citam-se Paquiçamba, Kararaô, Arara, Koatinemo, Ipixuna e Arara da Volta Grande.

O PIN e a ação de abertura da Rodovia Transamazônica atraiu famílias de todo o país. Ocorria, então, uma grande devastação da floresta Amazônica para abertura de áreas úteis para a economia agropecuária, que faz da região destaque nacional. Cidades polo estabeleceram-se na região, tais como Altamira e Itaituba, e núcleos urbanos (agrovilas e agrópolis) foram implantados, mais tarde tornando-se novos municípios paraenses, a exemplo de Brasil Novo, Medicilândia e Uruará. “Ocorrem modificações profundas no modo de viver, na qualidade de vida, no aumento da violência tanto nas cidades como no campo, no aparecimento das organizações sociais e indígenas (...)” (UMBUZEIRO, 2012, p.26).

A quarta fase trata do momento atual, a partir do ano de 2011, na ocupação do território, reflexo do aumento demográfico a partir da instalação da UHE de Belo Monte, que em seu Relatório de Impacto Ambiental previa um acréscimo de mais de 90 mil habitantes em toda a área afetada pelo projeto, sendo Altamira como principal município paraense atingido (ELETROBRÁS, 2009). Mais uma vez, pessoas de todo o país migraram para Altamira em busca de trabalho durante a construção da usina, com esperança de permanecerem após a conclusão da obra.

Apesar dos incentivos e avanços registrados desde as políticas de colonização até o momento atual, a região Transamazônica e do Xingu apresenta baixa densidade demográfica, ao se comparar com o conjunto do território brasileiro. Além dos impactos ambientais conferidos pelas atividades econômicas que estabeleceram na região, o setor desse trecho do rio Xingu apresenta sérios problemas sociais, principalmente referentes à precária infraestrutura de atendimento à população (saúde, educação, formalização da atividade trabalhista, etc) desigualdade social e concentração de renda (FAPESPA, 2015). As informações socioeconômicas referentes à região paraense são destacadas na Figura 40, que demonstra também a sua localização.

Figura 40: Dados gerais da Região do Xingu



Fonte: Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Região de Integração Xingu, FAPESPA, 2015.

Apesar de representar uma extensa área inabitada, os problemas de saúde pública têm relação direta com a falta de saneamento básico nas áreas de concentração urbana. A falta de serviços de água encanada, coleta de lixo e tratamento de esgoto são recorrentes na Amazônia. Com a instalação da UHE de Belo Monte, a região do Xingu está passando por uma melhor estruturação desses serviços, resultado do projeto para cumprimento das condicionantes necessário para a sua instalação.

#### 4.4.1 Contextualização histórica da Usina Hidrelétrica de Belo Monte

A Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte começou a ser construída em julho de 2010, englobando suas atividades nos municípios paraenses de Altamira, Vitória do Xingu e Senador José Porfírio. Porém, essa história começou bem antes de muita gente envolvida na construção ter nascido.

A ideia foi lançada em 1975, com os Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu, desenvolvidos pela recém criada Eletronorte, subsidiária da Eletrobrás. Seguindo para os anos 1980, o governo federal investe planejamento em energia hidrelétrica, com destaque na Amazônia, por meio do

Plano 2010 – Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010. O Plano 10 sugeria a construção de 165 usinas hidrelétricas até 2010, sendo 40 delas na Amazônia Legal. A Eletronorte, por sua vez, desenvolvia estudos de viabilidade técnica para o chamado Complexo Hidrelétrico de Altamira, que naquela ocasião levava o nome de Kararaô, que significa grito de guerra em Kaiapó, integrando parte de uma série de usinas a serem implantadas no rio Xingu (ARAUJO; PINTO; MENDES, 2014).

Diante dos planos, inquietações surgiam na região. Em 1989 foi realizado o 1º Encontro dos Povos Indígenas do Xingu, na cidade de Altamira, que foi um evento organizado por lideranças indígenas, com ajuda de entidades da sociedade civil.

(...) o encontro adquiriu imprevista notoriedade, contando com a maciça presença da mídia nacional e estrangeira, de movimentos ambientalistas e sociais. [...] Iconicamente, durante a exposição de Muniz Lopes [o então diretor e posterior presidente da Eletronorte] sobre a construção da usina Kararaô, a índia Kayapó Tuíra, levantou-se da plateia e encostou a lâmina de seu facão no rosto do diretor da estatal em um gesto de advertência, expressando sua indignação. A cena foi reproduzida em jornais de diversos países e tornou-se histórica. (FLEURY; ALMEIDA, 2013, p.142-143)

O fato fez o governo não mais denominar empreendimentos hidrelétricos com nomes indígenas, por demonstrar uma agressão cultural aos índios. A partir de então, agora seria chamada de Belo Monte, denominação referente à localidade do município de Anapú, que fica nas proximidades do sítio principal da UHE. Depois desse momento, já em 1994, o projeto foi remodelado e adaptado ambientalmente. O reservatório da usina foi consideravelmente reduzido (passou de 1.225 km<sup>2</sup> para 400 km<sup>2</sup>), evitando a inundação da Área Indígena Paquiçamba (LUNA, 2010). Hoje, de acordo com a Licença de Operação concedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2015), o reservatório representa 386 Km<sup>2</sup>.

Os anos que se seguiram foram representados por concessões e suspensões aos estudos para a construção da UHE de Belo Monte. Tratava-se de uma briga de força entre o governo federal, IBAMA, comunidades atingidas (ribeirinhos e população indígena), justiça federal e ministério público, até que em 2005 o Congresso Nacional aprovou o Decreto Legislativo nº 788/2005 que autorizou a implantação do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) de Belo Monte. Outros eventos de suspensões e concessões de limites se seguiram.

Em 2008 ocorre o Encontro Xingu Vivo para Sempre, com representações da população local e nacional, afim de debater os impactos de hidrelétricas na Bacia do Rio Xingu. Não diferente do que ocorreu no evento de 1989, este também é marcado pelo confronto entre os índios e o representante pelos estudos ambientais da hidrelétrica de Belo Monte. O Encontro tem como resultado a Carta Xingu Vivo para Sempre, documento que avalia as ameaças ao rio Xingu e apresenta à sociedade um projeto de desenvolvimento para a região, exigindo das autoridades públicas sua implementação (ARAUJO; PINTO; MENDES, 2014).

O Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impactos Ambientais (EIA-RIMA) de Belo Monte foi finalizado em 2009. Em meio a vários conflitos judiciais o IBAMA concede em 2010 a licença de prévia, em 2011 a licença de instalação da obra e em 2016 a licença de operação. Até a primeira fase da obra ser entregue houve atrasos, embargos e conflitos socioambientais.

Somente em abril de 2016 a UHE de Belo Monte iniciou sua operação comercial com a entrada de energia da primeira turbina, com potência instalada de mais 611,11 megawatts (MW) disponível para o Sistema Interligado Nacional. Seguem em fase de montagem outras 17 unidades geradoras, que serão concluídas e acionadas, gradativamente, até 2019 (PORTAL BRASIL, 2016).

## **5 CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS: uma amostra das principais unidades de paisagem da Província Espeleológica Altamira-Itaituba/PA**

O capítulo anterior realizou uma abordagem generalizada das características geoecológicas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, incluindo os aspectos físico ambientais, históricos e socioeconômicos da região em que está inserida. No levantamento publicado em 31 de julho de 2016, a CECAV contabilizou 235 cavidades naturais subterrâneas (entre abrigos, grutas e cavernas) inseridas na região que compreende a província.

Contudo, para uma análise mais aproximada e aprofundada voltada para propostas de planejamento ambiental, foi elencada uma amostra de cinco cavidades com maior representatividade regional (mais conhecidas na região), riqueza e excepcionalidade espeleológica (condições geológico-geomorfológica, hidrológica e biológica), além de referências cultural e social, além de serem as que apresentam maior viabilidade para atividades de lazer, turismo e educação ambiental.

### **5.1 Caverna da Pedra da Cachoeira**

A caverna Pedra da Cachoeira está localizada no município de Altamira, nas proximidades de sua sede municipal, a 52° 19' 52.7" W e 03° 19' 14.1" S, com cota altimétrica de 175 metros. O acesso conhecido se dá a partir da fazenda Boa Esperança, contudo está inserida na propriedade vizinha. Apesar de cercada por pastos das fazendas daquela área, a caverna está protegida por uma vegetação florestal, com árvores de médio e grande porte, preservando-se como um refúgio a vida silvestre.

A partir da fazenda Boa Esperança, o percurso que se segue até a caverna leva cerca de 3 km, passando ora por área de pasto ora por floresta preservada, onde se chega a uma pequena serra, local em que está localizada a caverna. A serra corresponde a um divisor de águas localizado a oeste do igarapé que forma a cachoeira que dá nome à caverna. A cachoeira apresenta queda d'água de aproximadamente 8m de altura, em paredão de arenito de coloração amarelada e alaranjada (Figura 41). "O paredão apresenta uma orientação próxima de NE-SW e se estende desde a cachoeira até a entrada da caverna" (ELETROBRÁS, 2009).

Figura 41: Cachoeira próxima a caverna da Pedra da Cachoeira, Altamira/PA.

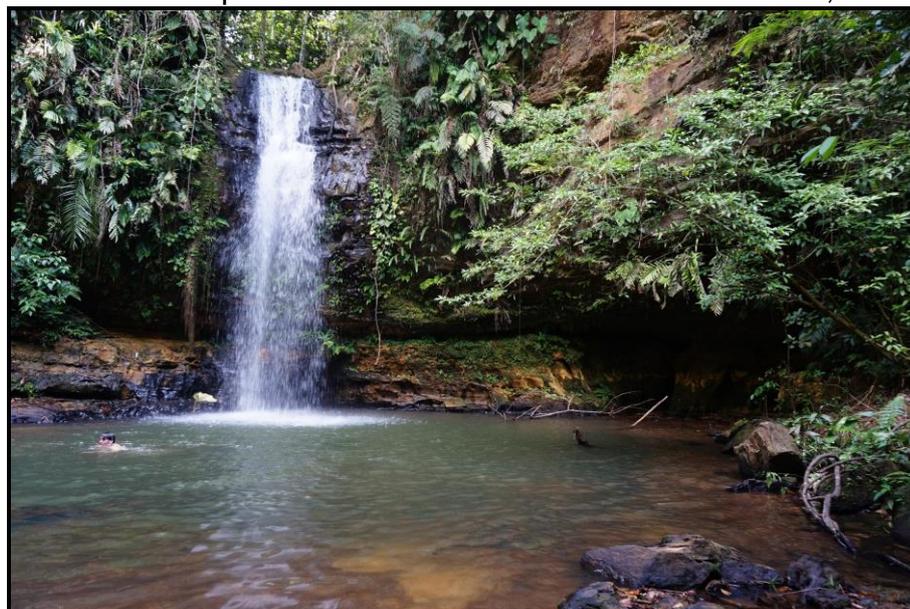


Foto: Luciana Freire, setembro/2015.

De acordo com relatos dos moradores da fazenda Boa Esperança, a caverna Pedra da Cachoeira foi descoberta no ano de 1977. Como já mencionado, sua denominação deve-se pelo fato da caverna encontrar-se a poucos metros de uma bela cachoeira, unida à formação de uma piscina natural, razão pela qual tem atraído a visitação local para práticas de lazer e esportes de aventura. Apesar de estar numa propriedade particular, não há controle de acesso à mesma. No ano de 2015, o acesso foi dificultado pelo proprietário da terra, que tentou esconder a trilha em meio a floresta conhecida pela comunidade local, que tinha demarcação realizada pelo grupo de escoteiros de Altamira. A atitude foi necessária, uma vez que ocorre naquele espaço a presença de frequentadores desconhecidos que deixam resíduos sólidos espalhados ao solo, pichações nas paredes da caverna e consumo de álcool. Mesmo com a dificuldade, alguns visitantes ainda conseguem chegar ao local, que tem recebido frequentadores principalmente nos finais de semana.

A caverna é formada por variações de arenitos (finos, médios e grossos, estratificados e friáveis), de colorações amarelados a avermelhados, com matizes alaranjados e rosados, além de algumas camadas de colocação mais escurecidas (amarronzados e acinzentados, pela forte evidência de ferro), originários da Formação Maecuru. Notam-se algumas estratificações cruzadas (Figura 42) e camadas de arenitos conglomeráticos ou mesmo conglomerados.

Figura 42: Ocorrência de estratificação cruzada em parede arenítica da caverna da Pedra da Cachoeira, resultado de rápidas mudanças de direção do agente de transporte durante a formação da estrutura sedimentar local (Formação Maecuru).

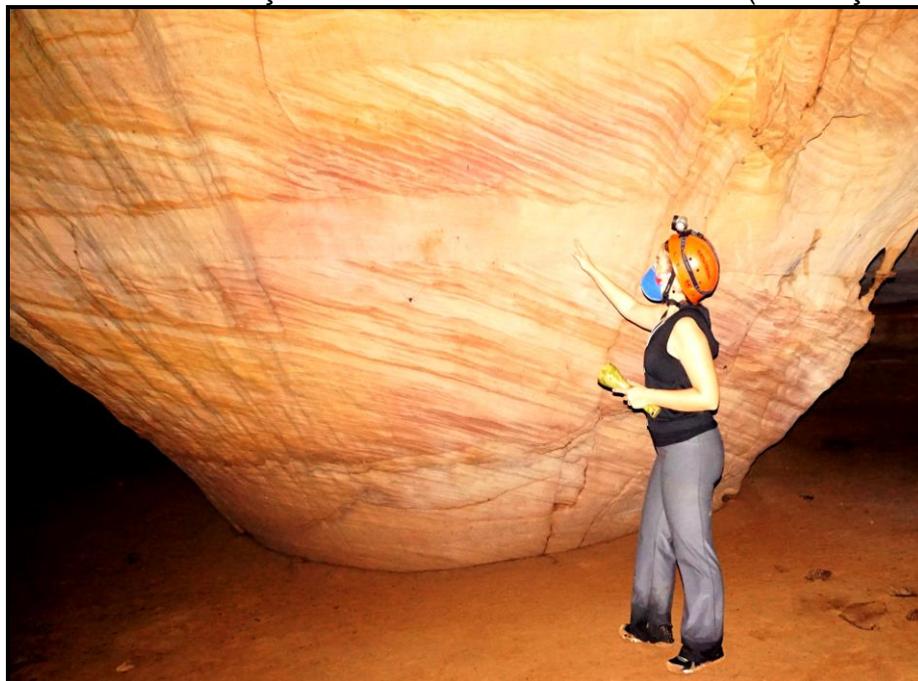


Foto: Ulisses Albino, setembro/2015

De acordo com o relatório realizado pela ELETROBRÁS (2009), observa-se que o eixo principal da caverna segue as orientações de dois sistemas de fraturas do maciço rochoso, nos quais a caverna está encaixada: N-S (N280/80) e E-W (N195/80) e um sistema secundário NE-SW (N140/80).

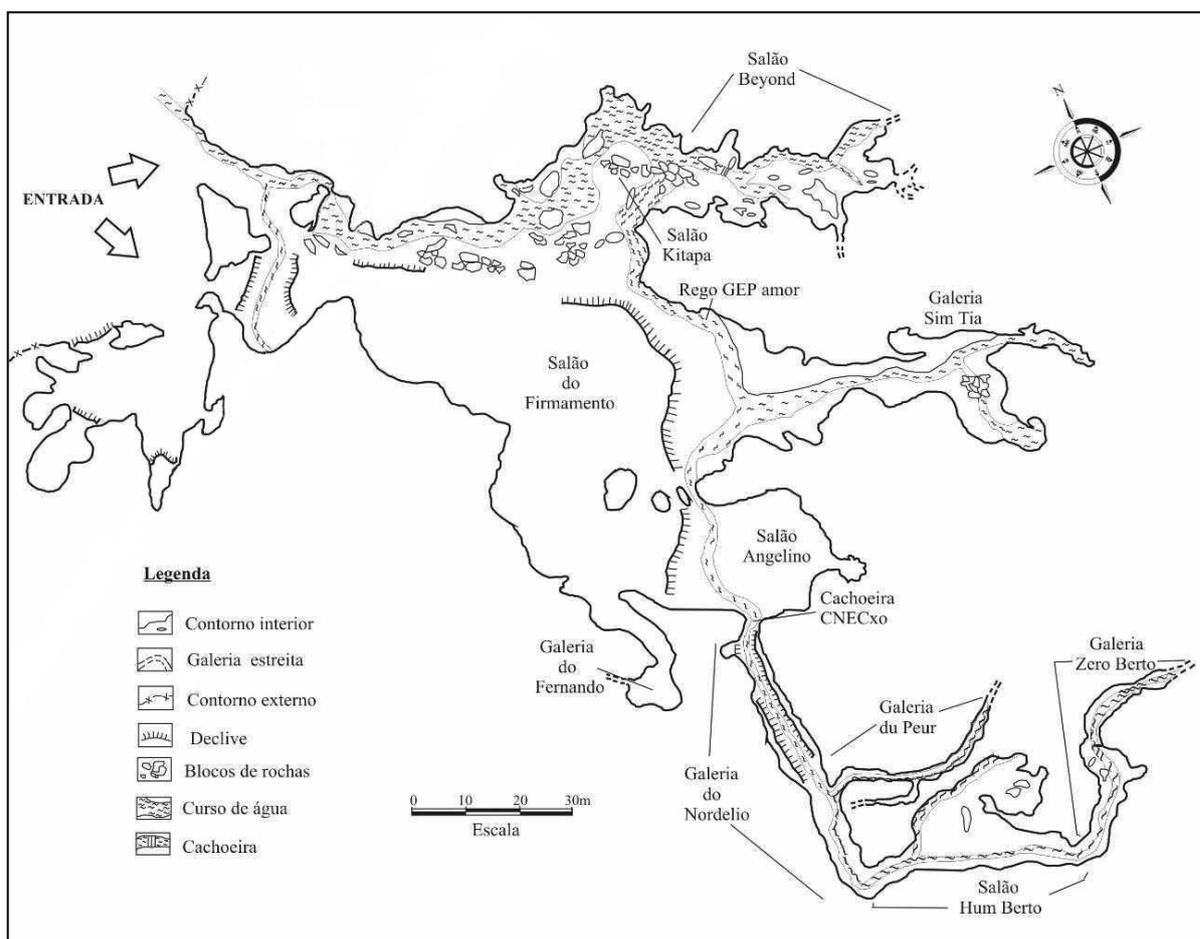
A estrutura endocárstica da caverna desenvolve-se em apenas um nível, apresentando desenvolvimento que chega aos 1.000m de extensão e desnível aproximado de 18m de profundidade. Sua abertura principal apresenta um grande pórtico de 30 metros de largura por 20 metros de altura (Figura 43). Tem duas entradas, além de um pequeno salão à direita da abertura. A entrada à norte caracteriza-se por ser a ressurgência do riacho que drena esta cavidade, denominado Rêgo GEP-Amor. A entrada à sul tem passagem baixa e estreita, dando acesso ao maior salão da caverna, o Salão do Firmamento, com mais de 70 metros de comprimento por 30 metros de largura. Ambas as entradas levam à zona afótica da caverna, que só é possível percorrer com uso de luz artificial. Na planta baixa detalhada da caverna é possível conhecer sua configuração interior, bem como os salões e galerias que a compõem (Figura 44).

Figura 43: Aspecto do pórtico e entradas da caverna Pedra da Cachoeira. A direita detalhe do salão, externo a caverna. A esquerda, passagem em teto baixo, configurando uma das entradas da caverna (entrada sul).



Foto: Cesar Veríssimo, setembro/2015.

Figura 44 - Planta Baixa detalhada da Caverna Pedra da Cachoeira.



Fonte: GEP, 2001.

Em seu interior ocorrem salões e galerias que demonstram uma diversidade de espeleotemas, abatimentos de blocos e lajes, com nítido entalhamento vadoso ao longo do córrego Rego GEP-Amor. O córrego, por sua vez, tem gradiente hidráulico baixo, com pequenos desníveis, destacando-se apenas uma pequena cachoeira denominada CNECxo, a qual apresenta desnível aproximado de 1,0 metro (Figura 45).

Figura 45: Córrego GEP-Amor e cachoeira CNECxo, visualizados a partir do salão Angelino, no interior da Caverna Pedra da Cachoeira.

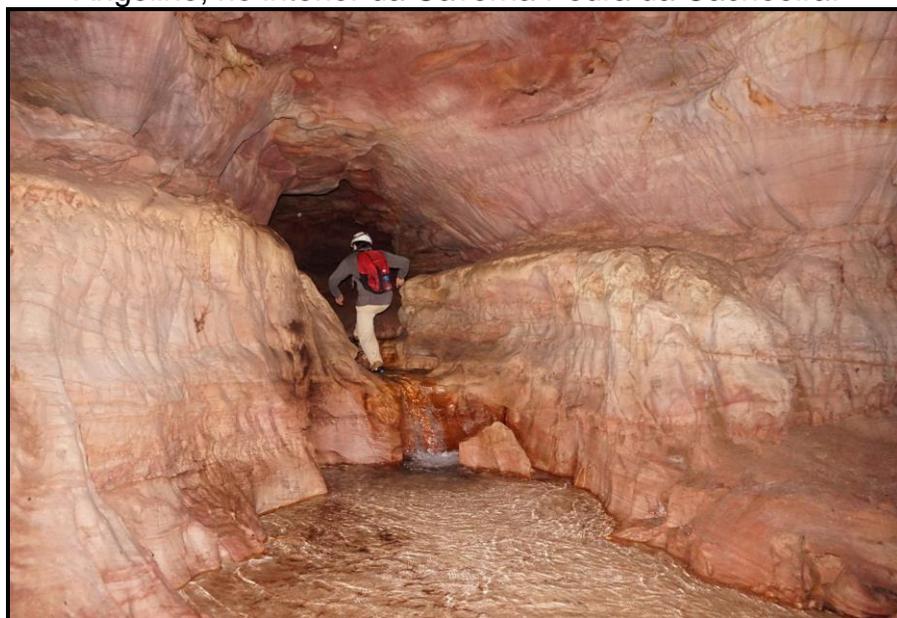
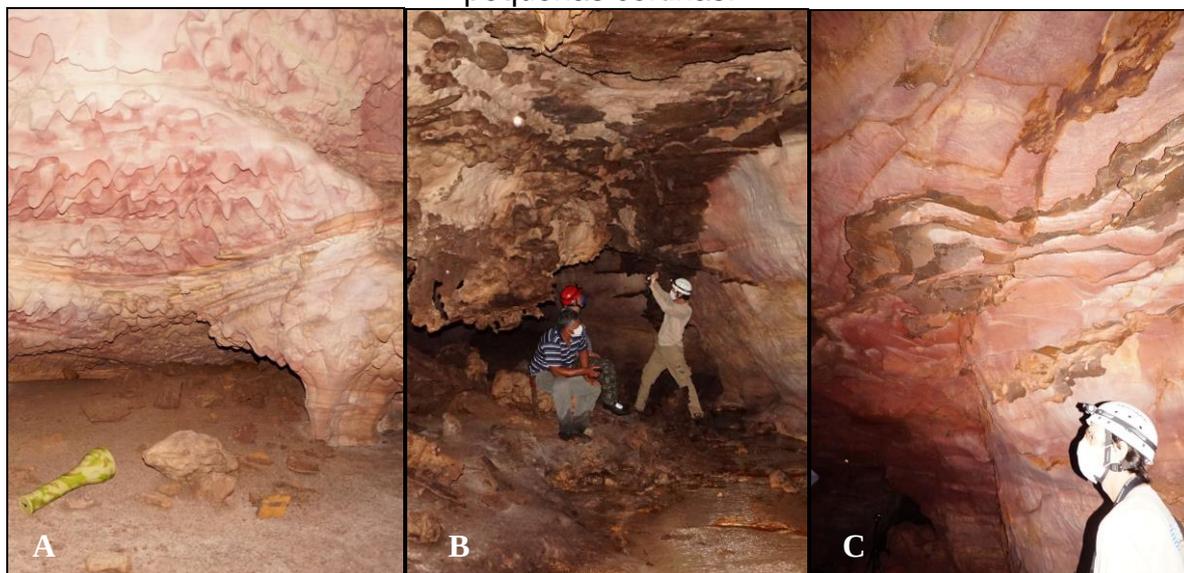


Foto: Luciana Freire, setembro/2015.

Entre o acervo de espeleotemas da caverna Pedra da Cachoeira, destacam-se coraloides esféricos, escorrimentos ou pequenas cortinas, teto de aspecto anastomosado e cúpulas de dissolução (Figura 46). As paredes exibem feições erosivas pelo desenvolvimento de *pipping* e *scallops*. Nos salões maiores, piso é plano, apresentando substrato composto por sedimentos arenosos, com blocos decimétricos a métricos de rocha que evidenciam os processos de abatimentos recorrentes na caverna. O piso apresenta-se mais acidentado nas galerias e por onde o córrego passa. São comuns acúmulos significativos de guano, haja vista a presença marcante de grupos de morcegos, somando-se a uma biodiversidade predominante de espécies de aracnídeos e amblipígios.

Figura 46: Feições dos espeleotemas da caverna Pedra da Cachoeira. (A) desenvolvimento de *scallops*; (B) teto anastomosado; (C) escorrimentos ou pequenas cortinas.



Fotos: Luciana Freire, setembro/2015.

Apesar de estar dentro de área particular, com atividade pecuária marcante em seu entorno, a caverna Pedra da Cachoeira encontra-se em área de floresta preservada, o que mantém o ciclo hídrico que proporciona o desenvolvimento de relevo cárstico ativo, elaborados por processos físicos (*pipping* e abatimentos) e, menos em menor presença, processos químicos (dissolução e corrosão).

## 5.2 Gruta Leonardo da Vinci

A Gruta Leonardo da Vinci está inserida em área do município paraense de Vitória do Xingu, contudo sua localização e toponímia faz referência à Agrovila Leonardo Da Vinci, pertencente ao município de Altamira, situada no Km 18 da rodovia Transamazônica (BR-230). Encontra-se em área particular, com coordenadas de 52° 04' 30.7" W e 03° 09' 07.2" S, apresentando cota altimétrica registrada em campo de 108 metros.

O acesso a gruta ocorre a partir de um travessão a esquerda do km 18 da rodovia Transamazônica (sentido Marabá). Seguindo-se cerca de 2km no travessão, chega-se à fazenda Santo Expedito. A partir de então, percorre-se uma trilha de quase 1km em meio a plantação de cacau e área de pasto até uma área de floresta preservada. O som das águas de um afluente do Igarapé do Jôa facilita a localização

da gruta Leonardo da Vinci, que está logo ao lado esquerdo de uma cachoeira com queda d'água de aproximadamente 4m de altura (Figura 47).

Figura 47: Gruta Leonardo da Vinci e cachoeira.

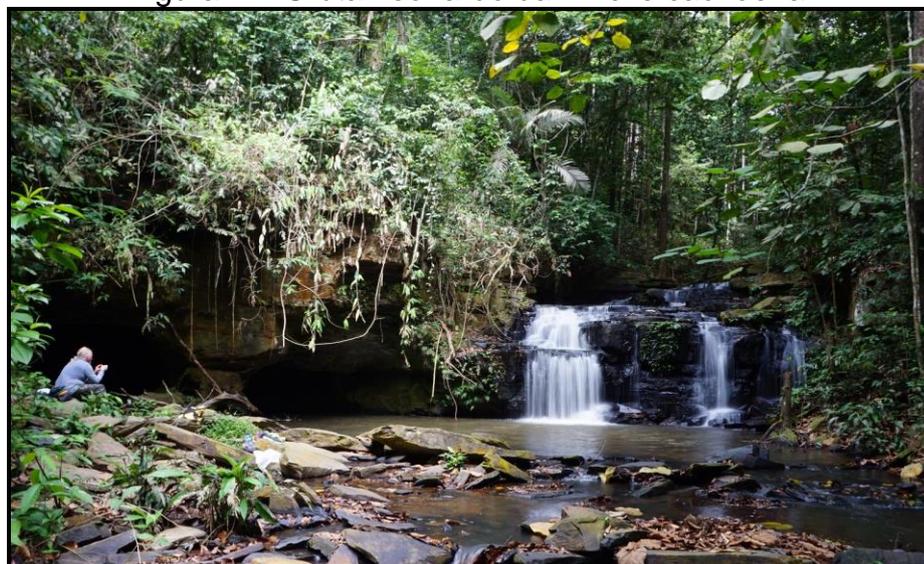
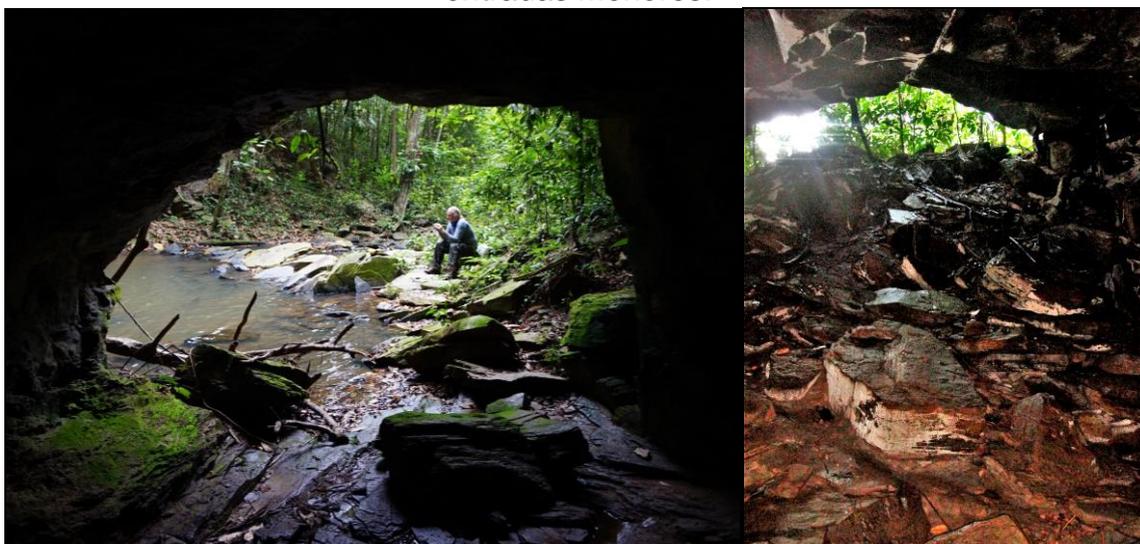


Foto: Luciana Freire, setembro/2015.

A gruta tem desenvolvimento cárstico pequeno, com apenas 176m de projeção horizontal, com desnível que não ultrapassa 1m. Sua estrutura de aspecto laminado desenvolve-se em rochas de folhelho e siltitos acinzentados da Formação Curuá. No levantamento de dados desta pesquisa não foram encontrados registros de outras cavidades exclusivamente formadas por folhelhos no mundo. A rocha apresenta laminação plano-paralela, ocorrendo sistemas de fratura subverticais de NE-SW, N-S e E-W (ELETROBRÁS, 2009).

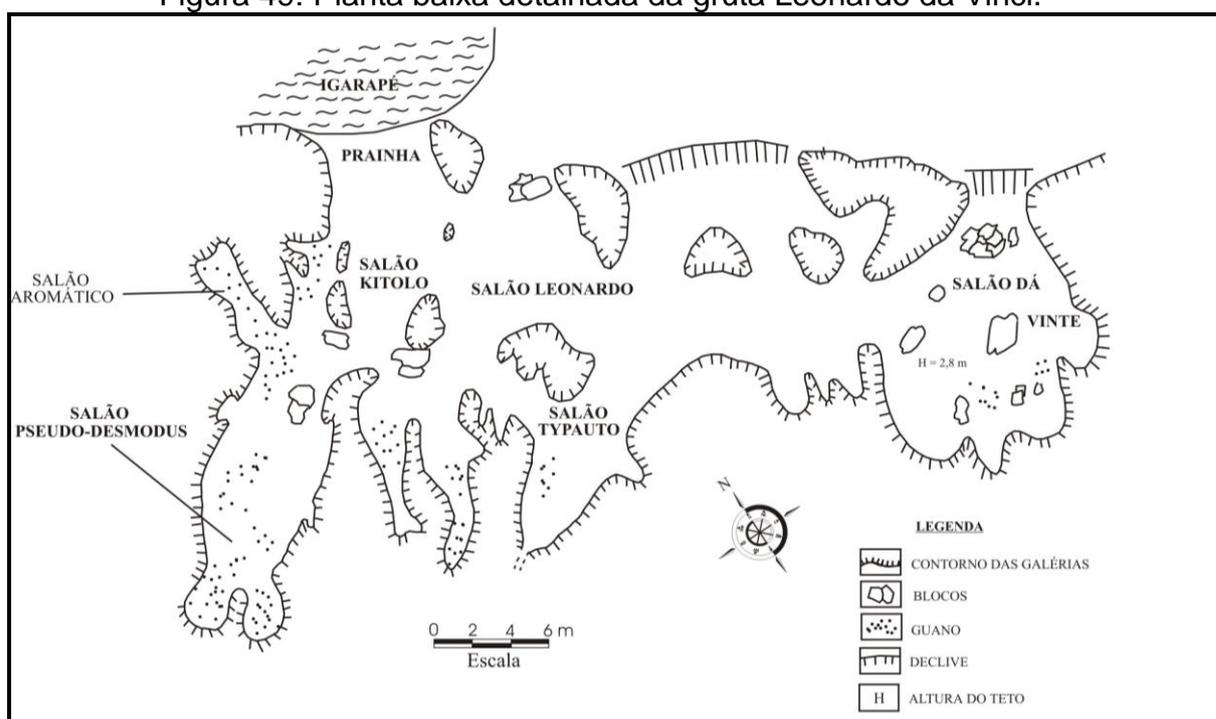
Constitui-se em sua estrutura, por cinco entradas muito próximas umas das outras. Duas das entradas encontram-se praticamente dentro da piscina natural formada pela cachoeira. A maior e mais alagada apresenta aproximadamente 3 metros de altura por 3,5 de largura. Ao seu lado, o acesso principal e menos alagado, tem aproximadamente 2,5m de altura por 3 de largura, com a presença de alguns blocos abatidos. As outras três entradas menores têm teto baixo, incluindo uma com a presença de muitos blocos abatidos, dificultando a entrada na gruta (Figura 48). A gruta apresenta somente um nível de desenvolvimento. Na Figura 49 é possível conhecer a configuração endocárstica, com salões apresentando dimensões máximas de 10m<sup>2</sup> e a altura do teto que não ultrapassam 4 m.

Figura 48: À esquerda, vista a partir do salão Leonardo, a entrada principal; e à direita, vista do salão Da Vinci detalhe do entulho de blocos abatidos de uma das entradas menores.



Fotos: Luciana Freire, setembro/2015 (esquerda) e março/2012 (direita).

Figura 49: Planta baixa detalhada da gruta Leonardo da Vinci.



Fonte: GEP, 2001.

Como observado na planta baixa da gruta, esta cavidade não apresenta ambiente totalmente afótico, uma vez que não há o desenvolvimento de galerias que levassem à salões escondidos. A menor incidência de luminosidade é percebida no salão Aromático, onde é possível encontrar grande concentração de morcegos e, por sua vez, piso coberto por guano. A luz presente na gruta permite, inclusive, a

germinação de algumas plântulas (Figura 50), até surgirem as primeiras folhas, não sendo encontradas espécies vegetais em maior desenvolvimento. A condição de germinação é possível também pela característica do material depositado ao piso da gruta, que contém pequenos acúmulos de sedimento, provavelmente originário do igarapé, além da alta concentração de matéria orgânica em decomposição (guano e detritos da biodiversidade local). Além da pouca luminosidade no ambiente cavernícola não há formação de solo para sustentação de plantas. Ocorre apenas o início do processo de crescimento, entretanto ao atingir um certo grau de desenvolvimento tombam e morrem.

Figura 50: Plântulas presentes no piso na gruta Leonardo da Vinci, em meio ao conjunto de blocos abatidos e sedimento rico em matéria orgânica.

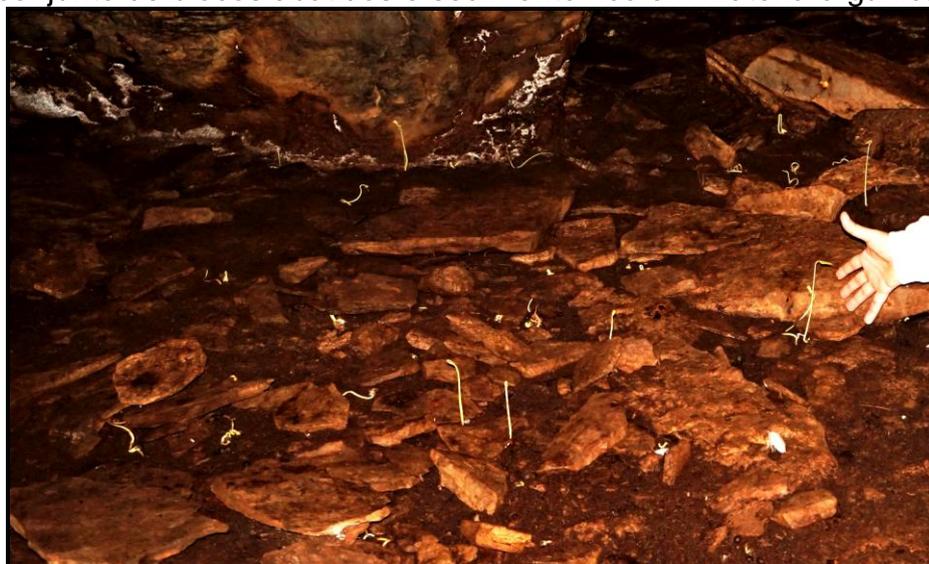


Foto: Luciana Freire, maio/2015.

No que se refere a hidrologia espeleológica, não foi observado curso d'água no interior da gruta, apenas alguns pontos de ressurgência de água na base das paredes, principalmente nos fundos dos salões, o que propõe uma relação direta com a construção dos salões da gruta. É comum visualizar água manando nas paredes (Figura 51) e gotejamentos no teto associados aos sistemas de fratura, formando chuveiros e originando os espeleotemas.

A diversidade tipológica dos espeleotemas da gruta Leonardo da Vinci não é muito expressiva, predominando coraloides (Figura 52), pequenos escorrimentos e blocos sobre o piso. Outro aspecto interessante presente na entrada da gruta é a ocorrência de marmitas, que são feições no piso geradas provavelmente pelo atrito dos sedimentos carregados pelo fluxo de água do igarapé

localizado ao lado (em período de cheia) ou pelo gotejamento contínuo. Tem-se, ainda, a ocorrência de cúpulas de dissolução no teto, caracterizadas por depressões arredondadas condicionadas por fraturas (Figura 53). De acordo com Auler e Piló (2011) existem várias ideias associadas ao processo de formação de cúpulas em cavernas, podendo originar-se da dissolução da rocha encaixante por águas meteóricas, ou pelo contato da água que desce pelas fraturas em contato com o ar da caverna ou, ainda, formadas durante a fase freática da caverna, quando o salão estava totalmente preenchido por água.

Figura 51: Ocorrência de água manando na parede da gruta Leonardo da Vinci e formação de pequenos escorrimentos (acinzentados e avermelhados), com 2 a 3 cm de desenvolvimento.

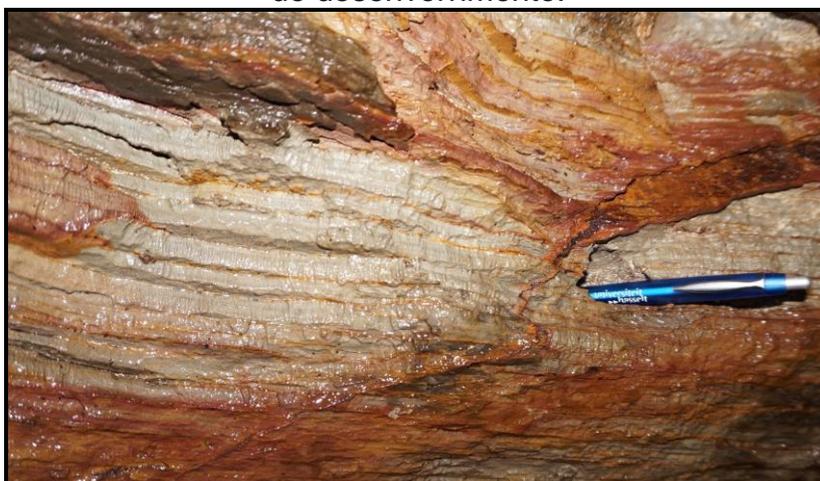


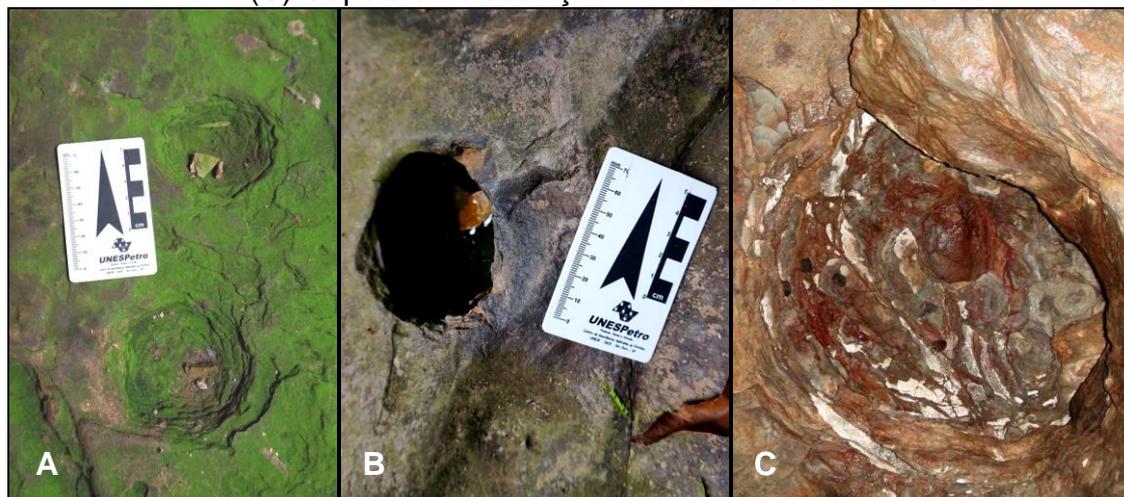
Foto: Luciana Freire, maio/2015

Figura 52: Detalhe do teto plano e a formação de coraloídes de dimensões bem reduzidas



Foto: Luciana Freire, setembro/2015.

Figura 53: (A) e (B) Marmitas ocorrentes no principal acesso da gruta Leonardo da Vinci e (C) Cúpula de dissolução no teto do salão Leonardo.



Uma particularidade marcante da morfologia da gruta Leonardo da Vinci incide sobre seu de aspecto laminado, que origina teto predominantemente plano. A formação da caverna está associada ao descolamento de lâminas do folhelho, por meio das zonas de discontinuidades com ocorrência de minerais expansivos (já descritos no capítulo 4).

Como já mencionado, a gruta encontra-se dentro de uma área particular, porém localizada em uma floresta preservada e com influência direta do igarapé que passa por cima dela e forma cachoeira ao lado. Trata-se de uma cavidade natural ativa.

Sobre o uso do ambiente espeleológico, há uma certa frequência de visitantes para práticas de lazer, principalmente atraídos pela cachoeira. A gruta em si, não é tão visitada, uma vez que há uma grande quantidade de baratas, outros insetos e morcegos, além do forte odor de oriundo do guano, que afugentam as pessoas. Mesmo assim, ainda foram observadas pichações nas paredes e lixo deixado em seu interior.

### 5.3 Caverna da Planaltina

A caverna da Planaltina destaca-se na região por ser registrada como a maior cavidade natural subterrânea em arenito no Brasil (CECAV/ICMBio, 2016), pertencente à formação Maecuru, apresentando desenvolvimento médio de 1.500 metros. Está localizada no município de Brasil Novo, em uma das encostas da Serra

Urubuquara, dentro da área de um balneário, de propriedade do Sr. Eduardo Modesto, posicionada nas coordenadas geográficas 03° 22' 40.8" S e 52° 34' 30.4" W, com cota altimétrica em torno de 178 metros.

O fato de estar inserida dentro dos limites do balneário Sítio Ecológico Raízes do Xingu faz com que a chegada até a caverna seja facilitado. Seguindo-se pela rodovia Transamazônica, pelo trecho sentido Altamira-Itaituba, no Km 50 a esquerda há o Travessão 15, de onde percorre-se 6km até chegar ao balneário. A propriedade conta com estrutura de lazer e turismo, com piscinas de água natural, hospedagem, restaurante e uma cachoeira que faz parte da paisagem durante o período chuvoso, com queda d'água de 27 metros, formando um lago que chega a ter 3 metros de profundidade.

O conjunto paisagístico da cachoeira Planaltina ainda conta com três pequenas cavidades na base da cachoeira: Gruta do Preus, Gruta Urubuquara e Gruta do Arrependido. Estas três grutas concentram-se no sopé da encosta norte da Serra Urubuquara, com entradas dispostas à distâncias que variam entre 30m a 20m umas das outras, com livre acesso dos visitantes do balneário, não fazendo parte da caverna da Planaltina (Figura 54).

Figura 54: Cachoeira Planaltina, Brasil Novo/PA.

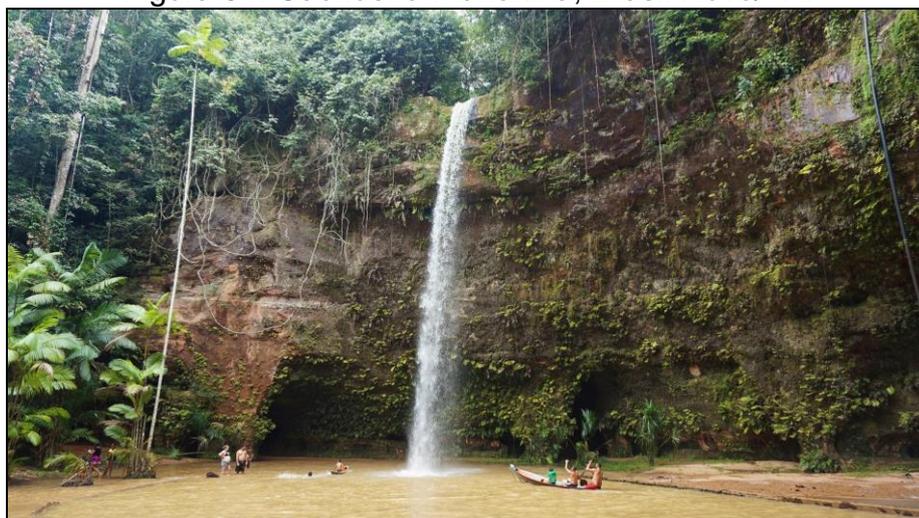
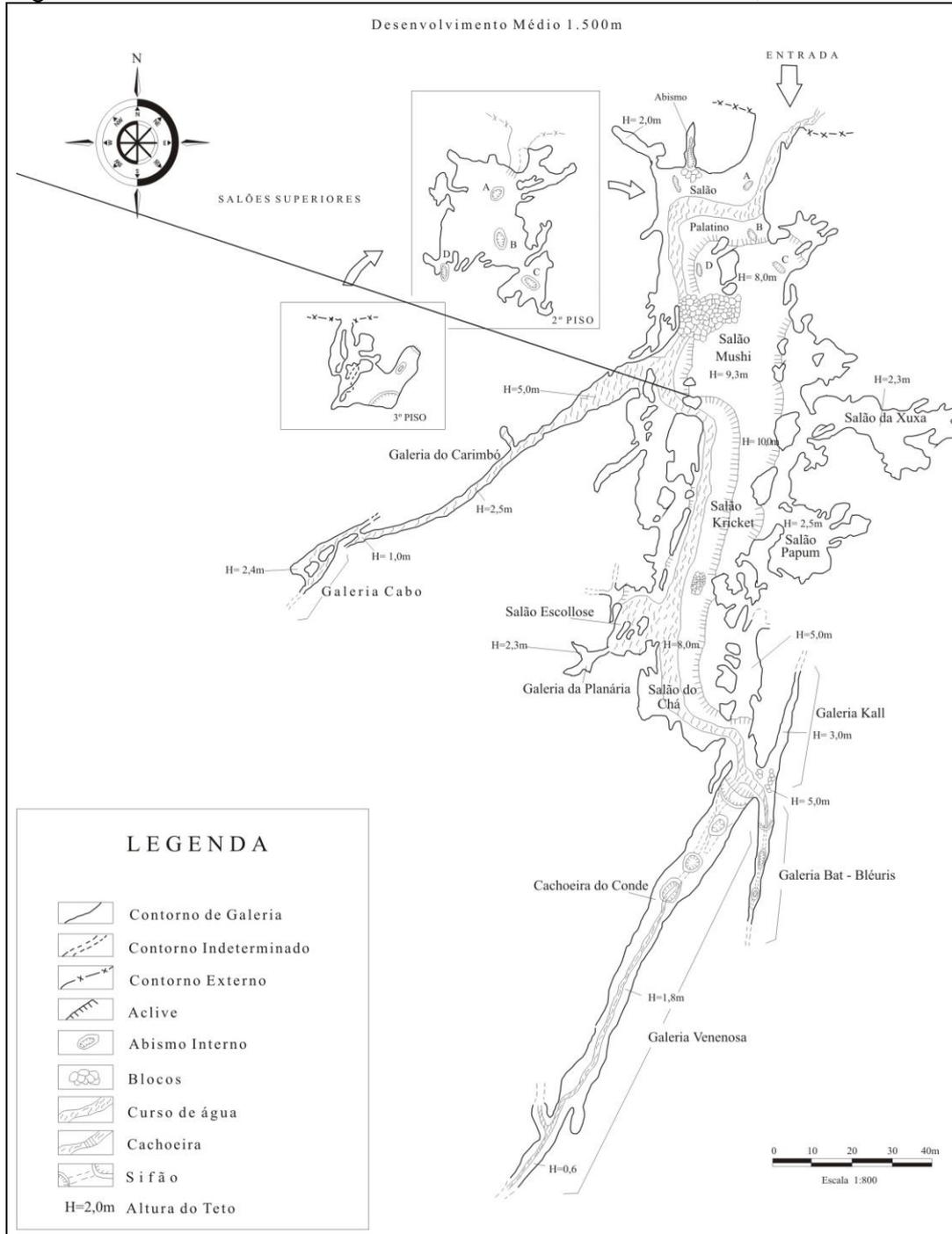


Foto: Luciana Freire, maio/2015.

A caverna da Planaltina está distante da cachoeira cerca de 150 metros a esquerda. Os visitantes do local não tem entrada permitida à caverna, restrição promovida pelo proprietário da área como forma de preservar o elemento espeleológico e evitar acidentes. A caverna está à margem de um afluente do

igarapé Arrependido, o qual também funciona como fonte hídrica a partir de sua estrutura e dinâmica cárstica. Caracteriza-se por uma grande entrada, medindo aproximadamente 8 metros de largura por 7 metros de altura, apresentando à sua esquerda uma ressurgência do córrego do Jejú, provindo do interior da caverna e que drena boa parte de suas galerias e salões (Figura 55).

Figura 55: Planta baixa detalhada da Caverna da Planaltina, Brasil Novo/PA



Fonte: GEP, 2001.

Como pode-se notar em sua planta baixa (Figura 55), a configuração da caverna da Planaltina apresenta padrões retilíneos, com sentido predominante norte-sul. Outra curiosidade é que a caverna desenvolve-se em três níveis, de difícil acesso e bastante labiríntico, além de exibirem alguns abismos internos. Entre os dois maiores salões, Palatino e Mushi, há uma grande quantidade de blocos abatidos (Figura 56). A única parte da caverna possível de visualizar pelos visitantes é o amplo salão Palatino, logo em sua entrada, parcialmente iluminado pela luz solar. Os demais condutos e salões apresentam zonas afólicas, em sua maioria drenados pelo córrego do Jejú. Os salões a leste, da Xuxa e Papum, apresentam-se posicionados alguns metros acima do nível de drenagens ativas, estando portanto secos.

Figura 56: À esquerda, entrada da caverna da Planaltina. À direita, o salão Palatino com blocos abatidos ao fundo e feições do teto anastomosado.



Entre os principais espeleotemas da caverna citam-se tetos anastomosados, feições erosivas pelo desenvolvimento de *pipping* e *scallops* ou 'caixas de ovos'. Vale destacar que a caverna da Planaltina, apesar de sua dimensão, é extremamente insalubre. Mesmo contando com amplos salões que chegam a alcançar 10 metros de altura, tem uma grande quantidade de elementos espeleológicos perigosos, tais como seu aspecto labiríntico, presença de estruturas mineralógicas cortantes em suas paredes e teto (de coloração ferruginosa, provavelmente proveniente de ferro), além da presença maciça de morcegos que levam à acumulação de guano no solo. A galeria Venenosa, por exemplo, não recebeu esta denominação a toa.

Tal galeria recebeu o nome de "Venenosa" pelo fato de causar um

acentuado desconforto físico à quem a visita, provocando tosse, enjoos e tonteados quando lá se permanece por mais de 5 minutos. O ar, neste trecho da caverna, apresenta-se enevoado e apesar de inodoro no geral, em alguns locais apresenta odor amoniacal proveniente do acúmulo de fezes de morcego (FADESP, 2001).

Tal fato demonstra que a caverna não tem indicação para visitação turística. Não apenas pelo odor e incômodo descrito, mas pelo risco do visitante que respirando aquele ar pode contrair histoplasmose, que é uma doença causada por um fungo existente no guano (*Histoplasma capsulatum*). A movimentação no ambiente cavernícola, seja pela revoada de morcegos ou pelo pisoteio do visitante, faz com que o guano ressecado seja agitado e as partículas contendo esporos do fungo espalhem-se no ar. A infecção ocorre quando essa poeira é inalada.

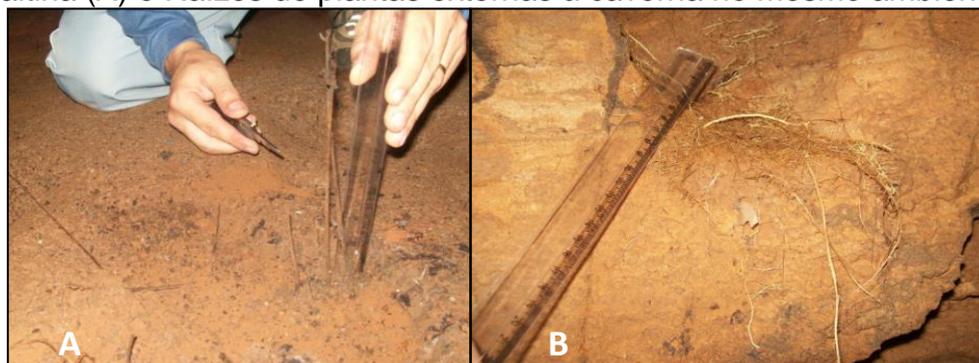
Em versão preliminar dos estudos realizados no patrimônio espeleológico da região, desenvolvidos pela Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa – FADESP (2001) para o EIA-RIMA da UHE de Belo Monte, somam-se aos morcegos o registro de uma grande biomassa composta por baratas de espécie de grande porte (*Blattellidae*), relativa frequência de formigas *Ponerinae* do gênero *Pachycondyla*, um tipo de percevejo aquático (*Heteróptero* do gênero *Veliidae*), indivíduos da família *Naucoridae*, um único espécime de camarão com olhos despigmentados do gênero *Macrobrachium*, isópodes presentes em depósitos de guano, amblipígijs (*Amblypygi*) e uma variedade de mosquitos (*Diptera*).

Por outro lado, o guano presente em cavernas pode evidenciar informações interessantes. Uma série de estudos realizados na Faculdade de Ciências Biológicas da UFPA, Campus Universitário de Altamira, e grupo de pesquisas em biologia subterrânea na Amazônia, sediado no campus Bragança da UFPA, tem revelado a capacidade de sobrevivência de plântulas provenientes da germinação de sementes trazidas por morcegos.

Diferente do que acontece na gruta Leonardo da Vinci, na caverna da Planaltina chamou atenção as elevadas contagens microbianas em diferentes substratos (MURIEL-CUNHA et al., 2010) e o estágio de desenvolvimento de algumas plantas em ambientes afóticos (Figura 57), alguns destes penetrados por raízes de plantas externas à caverna (SANTANA et al., 2010) e que sugere a presença de fungos micorrízicos-arbusculares (FMA) em suas raízes.

Figura 57: Plântulas bem desenvolvidas em câmara escura da Caverna da

Planaltina (A) e Raízes de plantas externas à caverna no mesmo ambiente (B).



Fotos: ALBINO et al., 2016.

Microrganismos isolados, dos diversos ambientes, integrantes dos vários ciclos biogeoquímicos podem ter aplicabilidade na produção de biofertilizantes, descontaminação de ambientes e tratamento de resíduos minerais, algo importante para a região da rodovia Transamazônica. Quanto às interações micorrízicas, esta investigação é complexa, porém, merece atenção. De algum modo, os FMA estão ampliando a sobrevivência de plântulas na caverna da Planaltina (SANTANA et al., 2011, p.01).

Os estudos do grupo de pesquisas em biologia subterrânea da UFPA afirmam ainda que nas cavernas areníticas da região a participação dos microrganismos pode estar ligada à manutenção e proteção de espeleotemas, cimentando partículas e revestindo as rochas, em sua maioria bastante friáveis, retardando a deterioração provocada por água corrente e gotejamentos (SANTANA *op.cit.*, 2011).

No que se refere ao uso e ocupação da caverna da Planaltina, apesar de estar em uma área particular, seu entorno apresenta-se bem florestado, principalmente por parte do proprietário do balneário, que está desenvolvendo estudos técnicos para legitimar a licença ambiental. Como já mencionado, o interior da caverna não tem e nem terá futuramente livre acesso, ficando restrito apenas a visitas técnicas e para fins de estudos científicos. Para isso, foram colocadas placas de recomendação e correntes de proteção limitando a visita a fim de preservar a segurança local (Figura 58).

A área que se sobrepõe a caverna já não faz parte do balneário. Esta propriedade vizinha tem área desmatada, com uso de atividade pecuária, o que interfere diretamente na alimentação hídrica no sistema cárstico, além de ressecamento da fonte que alimenta a cachoeira próxima à caverna durante do período seco.

Não diferindo das demais unidades espeleológicas aqui apresentadas,

foram observadas pichações nas paredes, a maioria realizada antes da aquisição do terreno pelo atual proprietário. Visualizou-se, também, algumas interferências no primeiro salão, com objetivo de direcionar o curso do córrego que nasce do interior da caverna (Figura 58).

Figura 58: Entrada da caverna da Planaltina com placas de recomendação e correntes de proteção, inibindo o acesso ao seu interior.



Foto: Luciana Freire, agosto/2015

Figura 59: À esquerda, parede com pichações em baixo relevo. À direita, colocação de sacas de areia para direcionamento do córrego.



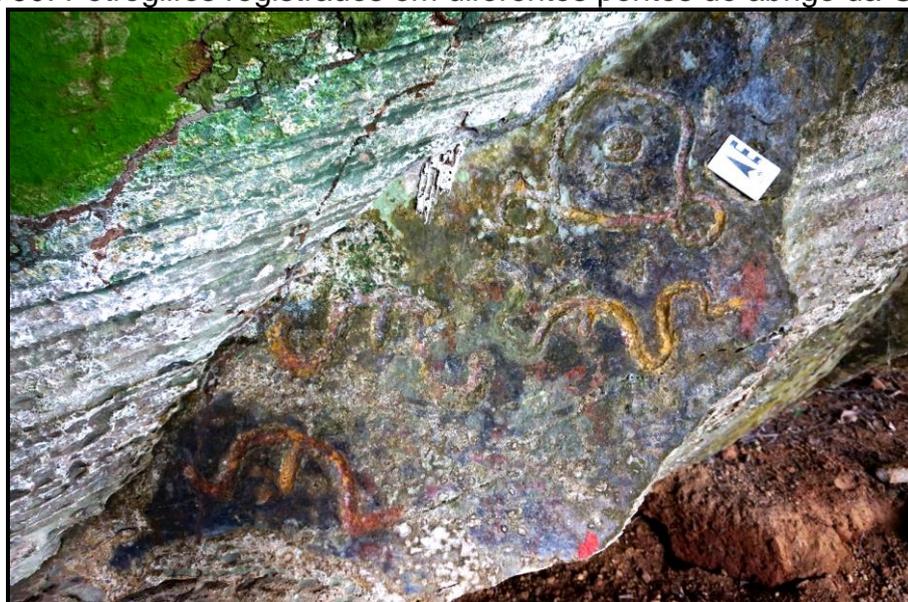
Fotos: Luciana Freire, maio/2015

#### 5.4 Abrigo da Gravura

O abrigo da Gravura está localizado na margem esquerda do rio Xingu (sentido montante-jusante), sendo uma das cavidades mais próximas da área urbana do município de Altamira/PA, com coordenadas 03° 15.5' 52.9" S e 52° 13' 03.8" W, registrando cota altimétrica de 94,7 metros. O acesso pode ser realizado por navegação em barco pelo rio Xingu, em direção à montante da cidade. Havia uma trilha a partir da praia do Pedral, margeando o rio que levava ao abrigo, porém com a conclusão da obra de instauração do reservatório da UHE de Belo Monte não é mais possível realizar o percurso a pé. De acordo com o EIA (ELETROBRÁS, 2009), o abrigo pertence à fazenda Canaã, contudo alguns relatórios técnicos sobre o registro como patrimônio arqueológico no IPHAN, citam o local como Paredão Valha-me Deus.

A excepcionalidade do abrigo diante das demais unidades espeleológicas é o fato de nele terem sido identificadas 15 Figuras de inscrições rupestres (Figura 60), daí vem a denominação gravura. As inscrições encontradas no abrigo da Gravura são petroglifos, Figuras registradas em baixo relevo na parede rochosa, indicando ocupação humana pretérita.

Figura 60: Petroglifos registrados em diferentes pontos do abrigo da Gravura.



Fotos: Luciana Freire, agosto/2015.

Além das gravuras rupestres, o levantamento arqueológico realizado pelo Projeto de Registro e Análise das Inscrições Rupestres previsto no Plano Básico

Ambiental – PBA (NORTE ENERGIA, 2013) encontrou material arqueológico (fragmentos cerâmicos) em superfície. Nesse sentido, destaca-se a ocorrência de um elemento cultural de fundamental importância para o conhecimento da história arqueológica da região.

As Figuras foram consideradas por formas variadas, entre antropomorfas, zoomorfas, zooantropomorfas, geométricas e indefinidas, sendo as indefinidas as mais frequentes no sítio.

As duas sondagens arqueológicas resultaram na identificação de um pacote arqueológico, desde a superfície até aproximadamente 50 cm de profundidade, com presença em sua maioria de fragmentos cerâmicos e carvão, com algumas raras peças líticas lascadas. (NORTE ENERGIA, 2013, p. 9.2.3-2)

As inscrições rupestre estão submetidas a processo de perdas das formas e polimento decorrente da deterioração causada pelas constantes inundações que ocorrem anualmente no abrigo, durante as cheias do rio Xingu. Outro fator de desgaste refere-se ao processo de intemperismo natural ocasionado por resíduos orgânicos, tais como um tipo de musgo.

O abrigo da Gravura é uma das cavidade naturais que não apresenta desenvolvimento subterrâneo, sem a caracterização padrão de cavernas com salões ou condutos. Sua configuração é marcada por uma escarpa de arenitos da formação Maecuru, que tem aproximadamente 8m de altura e coberta pela vegetação preservada, a qual desenvolve-se na base do paredão (Figura 61).

Figura 61: Vista da área onde está localizado o Abrigo da Gravura (antes da cheia da represa), na margem esquerda do rio Xingu, com destaque para a vegetação preservada no local.

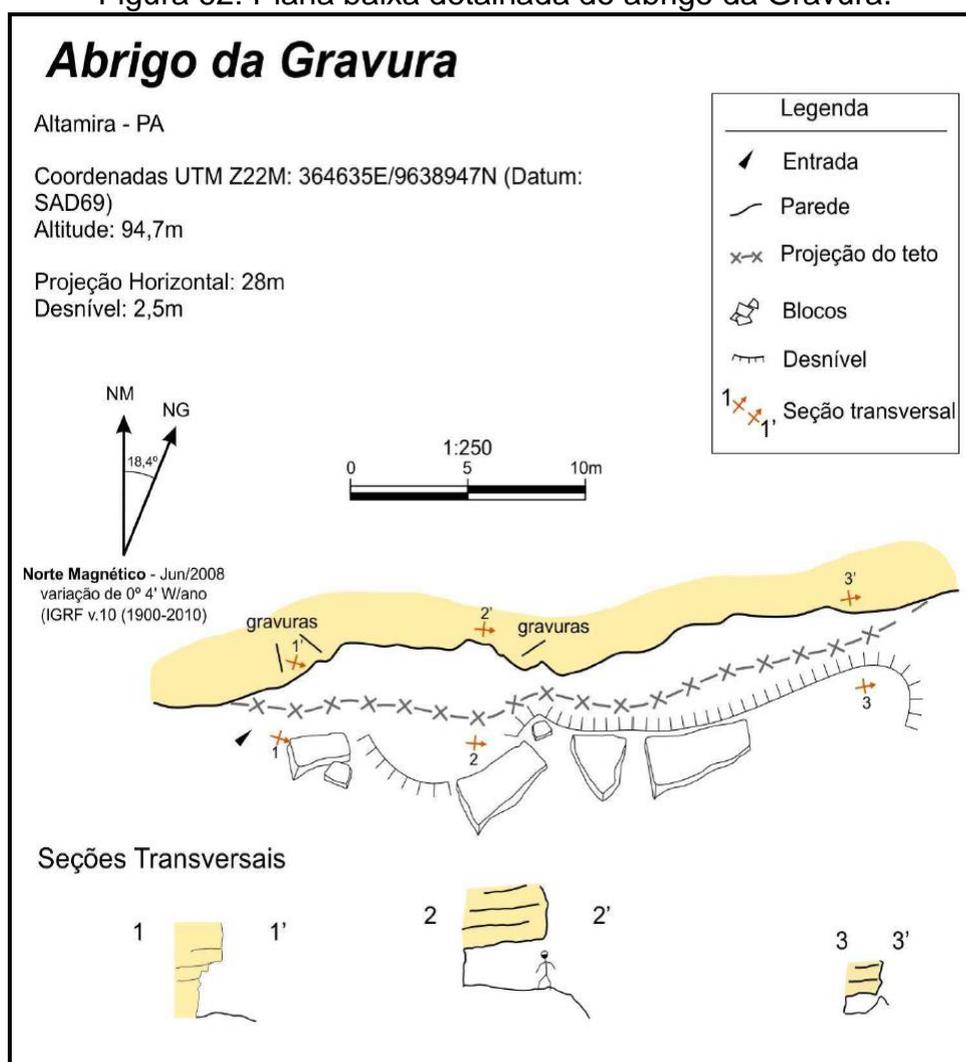


Foto: Luciana Freire, agosto/2015.

O abrigo, por sua vez, dista cerca de 10m da margem do rio, quando em épocas de estiagem. No período chuvoso, com a cheia do rio Xingu, pode ser atingido pelas águas, estando inundado periodicamente. Contudo, esta cavidade está sob ameaça de permanecer submerso após a conclusão do reservatório obra da UHE Belo Monte.

Por ser um abrigo, não apresenta desenvolvimento linear, apresentando projeção horizontal de 28m, com desnível que chega a 2,5m e altura máxima de 3m (Figura 62). Seu piso é caracterizado por sedimentos aluvionares trazidos pelo rio durante o alcance das águas no período de cheia. Não são destacados espeleotemas, além de blocos e uma quantidade representativa de feições associadas com processos de erosão subterrânea, tais com os *pippings* (ELETROBRÁS, 2009).

Figura 62: Plana baixa detalhada do abrigo da Gravura.



Fonte: Eletrobrás, 2009.

O processo de formação do abrigo da Gravura está associado às ações erosivas do rio sobre o afloramento rochoso, com ocorrências de abatimento de blocos. A escarpa onde se desenvolveu a cavidade é composta por variações de arenitos da Formação Maecuru, inclusive com ocorrência de camada de arenito conglomerático com seixos de quartzo leitoso (NORTE ENERGIA, 2013).

Por ser uma cavidade de difícil acesso por trilha, em terreno as margens do rio Xingu, e escondida quando vista da navegação no rio, o abrigo apresenta-se bem conservado, sem alterações ou pichações. Foram observados trabalhos de escavação no solo, para identificação de material arqueológico, marcações com estacas e com tinta na parede (Figura 63). Estas, por sua vez, são resultantes das pesquisas do Programa de Registro e Armazenamento Cartográfico, Fotográfico, e Acervo de Elementos Espeleológicos, parte integrante do Projeto Básico Ambiental (PBA).

Figura 63: Abrigo da Gravura, com marcações dos trabalhos de escavação arqueológica. Na foto da esquerda detalhe de um dos locais onde estão gravados os petroglifos.



Fotos: Luciana Freire, dezembro/2016.

O EIA da UHE Belo Monte previa que com a instauração do reservatório do Xingu e a elevação do nível das águas do rio o abrigo ficaria constantemente inundado. Nesse sentido, tal constatação demandou a elaboração PBA, amparado pela legislação espeleológica pertinente, com o objetivo de documentar de maneira criteriosa e mais abrangente possível todos os aspectos espeleológicos do abrigo da Gravura (NORTE ENERGIA, 2013). Contudo, em visita ao local já após a cheia do reservatório, que fica estabilizada na cota de 97 metros, foi confirmado que as águas do rio não atingiu o abrigo, constatando assim que o mesmo não foi inundando como previsto. As características espeleológicas e os petroglifos continuam aparentes em superfície, as margens do rio Xingu (Figura 64), o que possibilita a preservação da

cavidade.

Figura 64: Abrigo da Gravura antes (à esquerda) e depois (à direita) da cheia do rio Xingu pela represa da UHE Belo Monte, com destaque do local da margem.



Fotos: Luciana Freire, agosto/2015 e dezembro/2016.

### 5.5 Caverna do Limoeiro

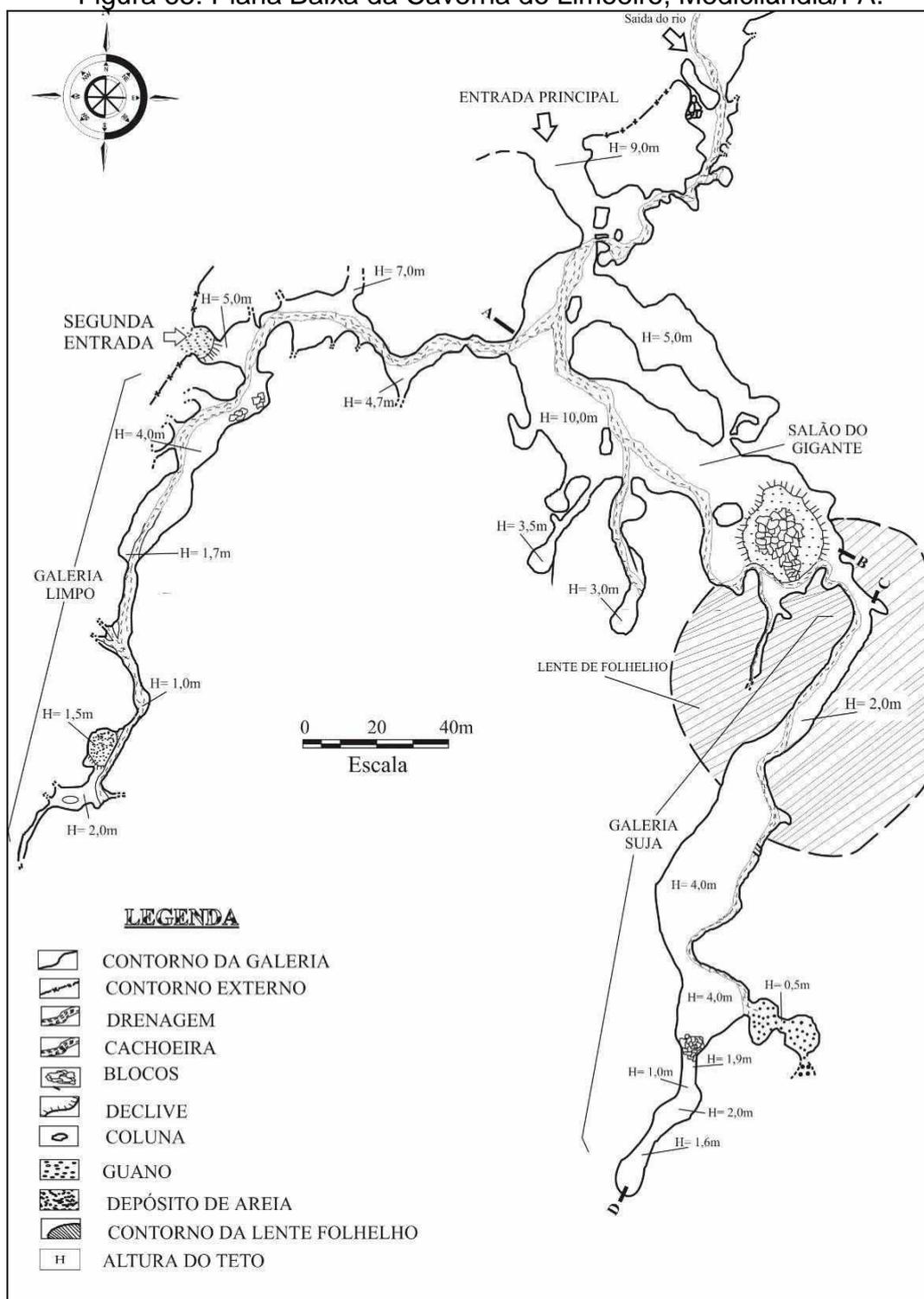
Localizada no município de Medicilândia, a caverna do Limoeiro tem coordenadas  $03^{\circ} 30' 43.1''$  S e  $52^{\circ} 47' 49.1''$  W, registrando cota altimétrica aproximada de 142 metros. Desenvolve-se na encosta abrupta de uma serra onde afloram arenitos friáveis da Formação Maecuru, pertencente a Bacia Amazônica. O acesso a caverna do Limoeiro é feito a partir da rodovia Transamazônia (BR-230), através do Km 80 no sentido Altamira-Itaituba, já nas proximidades da sede do município de Medicilândia, por meio do travessão Sul, onde estão localizadas as agrovilas Nova Fronteira e Tiradentes. A caverna está inserida dentro de uma fazenda produtora de cacau. A partir da sua sede, faz-se percurso em trilha de 7 km, quase toda em veículo 4x4 (terreno de pasto e mata florestada), finalizando uma pequena trilha dentro da mata de cerca de 300 metros a pé.

De acordo com a versão preliminar dos estudos do Patrimônio Espeleológico para o EIA-RIMA da UHE Belo Monte (FADESP, 2001), a caverna do Limoeiro apresenta cerca de 1.200m de desenvolvimento subterrâneo, com os eixos principais de suas galerias estendendo-se nas direções WNW-ESE, em forma aproximada de U.

A planta baixa da caverna mostra três acessos: a entrada principal, que tem aproximadamente 15 m de largura e 9 m de altura; a segunda entrada, com 5 m de altura; e uma menor, onde está configurada saída do rio (Figura 65). Em campo

constatou-se que o acesso mais utilizado pelos visitantes configura-se a 'segunda entrada', uma vez que esta tem o acesso facilitado e logo que se chega a caverna. A terceira entrada, por onde sai água que vem de um rio que surge no interior da caverna, caracteriza-se por um amplo salão quase isolado da caverna.

Figura 65: Plana Baixa da Caverna do Limoeiro, Medicilândia/PA.



Fonte: GEP, 2001.

Em toda a extensão da caverna do Limoeiro há dois braços de rio que se cruzam a cerca de 60m da entrada principal, saindo em direção à parte externa por uma abertura localizada 30 m à noroeste da entrada principal. Por esta saída do rio (como indicado na planta da caverna) há uma pequena abertura na rocha em que seu interior fica inacessível. Esta terceira entrada, por sua vez, em período chuvoso encontra-se alagada. No verão é possível notar as marcas deixadas pela água (Figura 66).

Figura 66: Salão de saída do rio da Caverna do Limoeiro

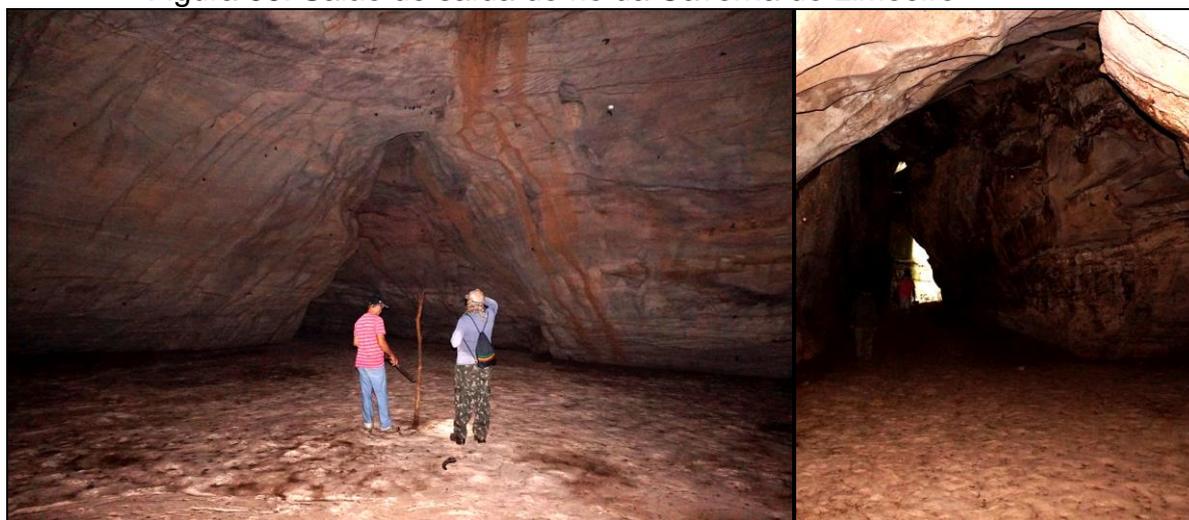


Foto: Luciana Freire, agosto/2015 e dezembro/2016.

A caverna do Limoeiro é a segunda maior da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, perdendo apenas para a caverna da Planaltina (1.500m, inclusive a maior de arenito no Brasil). Contudo, sua configuração ajuda no acesso aos seus salões e galerias, já que na Caverna da Planaltina o acesso é dificultado logo na primeira galeria, com a presença de muitos blocos abatidos, além do forte odor ocasionado pela ocorrência de guano. A caverna do Limoeiro apresenta-se mais propícia para visita controlada, tendo concentração maior de guano somente nas galerias mais interiores.

Somado ao desejo do proprietário da fazenda onde está localizada a caverna do Limoeiro, nesta há qualidades para que o turismo e lazer, por meio de passeios guiados, sejam empregados. Suas características paisagísticas, com amostras interessantes de espeleotemas em arenitos, belas sequências de estratificações aparentes nas paredes e afloramentos de rochas argilosas (folhelho negro, em forma de lente), além das condições de salubridade mais favoráveis que

as de outras cavernas da província justificam o incentivo ao geoturismo e/ou espeleoturismo (Figura 67).

Figura 67: (A) Afloramento de folhelhos ao longo da Galeria Suja; (B) Estrutura tipo *caixa-de-ovos* observada no teto da galeria suja; (C) Detalhe de *scallops* observados localmente nas paredes e teto da galeria suja.

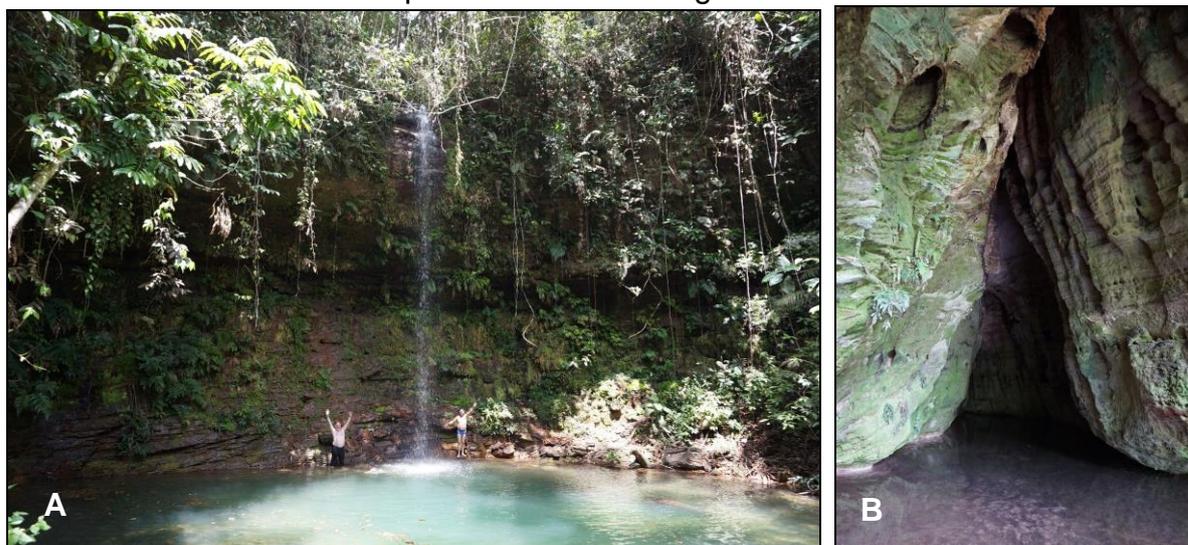


Fotos: Luciana Freire e Cesar Veríssimo, maio/2015.

Os atrativos não estariam restritos somente pela caverna em si. Retornando pela trilha que leva a caverna do Limoeiro e seguindo por outra pequena trilha em mata preservada, nas suas proximidades há uma lagoa, o qual chamam de lagoa Azul. Nela apresenta-se uma cachoeira com queda d'água proveniente de um paredão de arenito com aproximadamente 10 metros de altura. A cachoeira é alimentada por uma nascente, localizada em área de floresta preservada, o que mantém sua fonte durante o ano todo.

A lagoa Azul representa um valor paisagístico elevado, com um belo atrativo estético que desperta desejo nos visitantes em utilizá-lo para banhos após a caminhada pelas trilhas da fazenda. A lagoa é alimentada pelo lençol freático, não dependendo das águas que caem da cachoeira. Trata-se de um ambiente lântico que favorece a decantação de materiais particulados, os quais acabam depositando-se no fundo e gerando característica de águas cristalinas e azuladas, além de encontrar-se em meio as rochas areníticas (Figura 67). Essa área conta ainda com um pequeno abrigo inundado, sem denominação nem registro junto a CECAV, que pode também gerar um atrativo espeleológico, apenas para observação. Este abrigo contém uma nascente que foi represada, provavelmente justificando a situação inundado (Figura 68).

Figura 68: (A) Lagoa Azul e cachoeira; (B) Pequena cavidade inundada a poucos metros da lagoa Azul.



Fotos: Luciana Freire, agosto/2015

Diante das características endógenas e exógenas da caverna do Limoeiro, pelos valores dos atrativos no seu entorno e incentivo do proprietário da fazenda em fazer dali um ponto de turismo e lazer, a tese buscou exemplificar um modelo de proposta de planejamento ambiental e geoconservação, o qual servirá como exemplo para demais unidades espeleológicas semelhantes.

## **6 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO**

A fase de diagnóstico refere-se ao procedimento que sucede o momento de conhecimento integrado dos componentes ambientais da Província Espeleológica Altamira-Itaituba. A partir da análise geoecológica da área estudada, tem-se como objetivo a obtenção de uma caracterização da sua qualidade ambiental, de maneira integrada. Não somente os conhecimentos das cavernas estudadas, mas também a região em que as mesmas estão inseridas, bem como a análise da interação de seus componentes e processos.

O diagnóstico ambiental integrado reúne os problemas ambientais configurados, as limitações de uso e as potencialidades para o desenvolvimento socioeconômico local e regional. A identificação dessas observações permite o desenvolvimento de um conjunto de alternativas para a solução ou mitigação de impactos ambientais, em função das estratégias de conservação ambiental. De acordo com Santos (2004), compreende o momento do planejamento que abrange a seleção e aquisição de dados de entrada, a análise integrada e a elaboração de informações e indicadores que serão base para a tomada de decisões.

Os problemas ambientais são provenientes das diferentes formas de uso e ocupação do solo, os quais estão diretamente relacionadas a impactos ambientais. Compreende-se como impacto ambiental qualquer alteração no meio e/ou componente ambiental biótico ou abiótico causado por uma ação antrópica, que venha desencadear desequilíbrio dos sistemas ambientais naturais.

### **6.1 Impactos Ambientais constatados**

A avaliação de impactos ambientais segue critérios ou métodos diversos, dependendo do tema que se está desenvolvendo o estudo. No caso de ambientes espeleológicos, existem particularidades que devem ser consideradas, tais como a presença de uma biodiversidade ecologicamente isolada e específica, muitas endêmicas e extremamente frágeis. Os elementos da geomorfologia cárstica também são delicados e qualquer alteração na dinâmica ambiental pode levar a consequências irreversíveis. As cavernas são sempre lembradas como ambiente de refúgio, é importante enfatizar a possível vinculação a sítios paleontológicos e arqueológicos.

Dentre as unidades da província espeleológica analisadas, constata-se, de maneira geral, o uso do entorno das cavernas principalmente para atividades de lazer, atraídos pelos seus igarapés e rios encachoeirados, que em geral encontram-se as margens das cavidades. Contudo, a curiosidade também faz com que os visitantes percorram parte do interior das cavernas, sem qualquer restrição ou mesmo cuidado com os possíveis riscos à saúde do ser humano.

Os principais problemas percebidos nas cavernas pesquisadas são a degradação e a depredação do patrimônio espeleológico, constatado pela visita indiscriminada. Por consequência, tem-se a poluição do ambiente endocárstico, com lançamento de resíduos sólidos ao solo e acendimento de fogueiras. A presença de lixo pode atrair outras espécies, não comuns a cavernas, que venham ocasionar o desequilíbrio biológico. Além disso, pode acarretar a poluição da água ali presente e da sua atmosfera interior.

São comuns os resquícios de fogueira no interior das grutas e cavernas, próximos de suas entradas. O fogo gera fumaça e uma quantidade de fuligem que pode marcar as rochas e espeleotemas, além de gases que venham causar perturbação no equilíbrio ambiental da atmosfera da caverna e, por sua vez, impactar na fauna. A visita sem o devido planejamento leva, também, à depredação do patrimônio espeleológico, em que é perceptível ocorrência de pichações, pinturas e rasuras nas rochas das paredes e feições cársticas (Figura 69).

Figura 69: (A) Lixo e resquício de fogueira na Gruta Leornado da Vinci;  
(B) Pichações em parede da Caverna do Limoeiro.



Fotos: Luciana Freire, agosto/2015 e dezembro/2016.

Em relação a alterações no meio cárstico com interferência antrópica, na Caverna da Planaltina, município de Brasil Novo, constatou-se o barramento e canalização de cursos d'água. Foi realizada a colocação de sacas de areia e

remoção de blocos de rocha de arenito do interior da cavidade para desviar o curso do córrego, que tem função de girar a roda d'água no bombeamento hidráulico da água que abastece as piscinas naturais do balneário (Figura 70). Importante lembrar que o uso de água proveniente de nascentes do interior de cavernas deve ter sérios cuidados, pois pode interferir na dinâmica cárstica. Outro ponto importante a ser considerado é a possibilidade de uso da água para fins de consumo. Apesar da aparência translúcida, a água proveniente de cavernas pode apresentar microorganismos e/ou minerais nocivos à saúde humana. Em todo caso, recomenda-se análise da água antes de qualquer uso, seja para banho ou para consumo.

O balneário que se encontra a caverna da Planaltina está em processo de licença ambiental para um projeto ecoturístico, em que haverá (como já há!) a proibição ao acesso a caverna, ocorrendo apenas com autorização do proprietário e para fins de estudos científicos, com prévia autorização.

Figura 70: Desvio do curso d'água na caverna da Planaltina para fins de movimentação da roda para bombear água.



Fotos: Luciana Freire, maio e outubro de 2015.

Já a caverna da Pedra da Cachoeira, no município de Altamira, que tem estrutura semelhante a da Planaltina, localiza-se em área de floresta preservada, sem interferências antrópicas (elementos construídos). Mesmo estando em propriedade privada e de atividade pecuária, assim como as demais cavernas pesquisa está localizada uma área preservada. Seu acesso, inclusive não é fácil. O atual proprietário da área, incomodado com visitantes inoportunos, dificultou a trilha que antes era demarcada pela equipe de escotismos da cidade. Esse fato é positivo

para que haja a preservação do ambiente espeleológico.

Como visto, as cavidades naturais subterrâneas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, em sua maioria, encontram-se inseridas dentro de uma área particular, que no caso do estado do Pará tem como principal atividade econômica a pecuária extensiva. Por conta desta atividade, apresentam extensas áreas desflorestadas no entorno das cavernas e grutas, o que vem prejudicando na alimentação dos recursos hídricos subterrâneos, responsáveis pela dinâmica natural de esculturação do revelo cárstico (Figura 71). O ponto onde estão localizadas as cavernas apresenta área florestada, formando quase como ilhas de vegetação preservada, retendo ali um pouco de umidade responsável pela dinâmica cárstica.

Figura 71: Área de pasto limite da caverna da Planaltina em propriedade vizinha.



Fotos: Luciana Freire, maio/2015.

Em nenhuma das cavidades há uso constante de iluminação artificial, apenas de lanternas quando há visitação. Reconhece-se que a poluição luminosa pode causar alteração na temperatura de grutas e cavernas, favorecer o aparecimento de fungos nas rochas e afugentar animais.

A identificação dos impactos observados em campo e dos possíveis causadores foi registrada em uma tabela, baseada da matriz de Leopold (SANTOS, 2004; SOBRAL et al., 2007), a qual possui parâmetros qualitativos. Assim, como forma de sintetizar as informações, a tabela 03 demonstra a definição dos fatores de impactos avaliados em função das características:

- Temporalidade: temporário (T), permanente (Pr) ou cíclico (C)
- Reversibilidade: reversível (Rv) ou irreversível (Ir)

- Extensão: local (L) ou regional (Rg)
- Duração: curto prazo (Cp), médio prazo (Mp) ou longo prazo (Lp)
- Origem: direta (D) ou indireta (I)
- Sentido: positivo (P+) ou negativo (N)
- Grau de impacto: baixo (B), médio (M) ou alto (A)

Tabela 03: Matriz de avaliação qualitativa dos impactos ambientais nas cavernas estudadas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba.

Impactos Ambientais	Caverna Pedra da Cachoeira	Gruta Leonardo da Vinci	Abrigo da Gravura	Caverna da Planaltina	Caverna do Limoeiro
Desmatamentos	T, Rv, L, Mp, I, N, M	T, Rv, L, Mp, I, N, M	-	T, Rv, L, Mp, I, N, M	T, Rv, L, Mp, I, N, M
Desvio de curso d'água	-	-	-	T, Rv, L, Mp, D, N, A	-
Visitação desordenada	C, Rv, L, Cp, D, N, M	C, Rv, L, Cp, D, N, M	C, Rv, L, Cp, D, N, B	*	C, Rv, L, Cp, D, N, B
Presença de lixo interno e externo	C, Rv, L, Cp, D, N, B	C, Rv, L, Cp, D, N, B	C, Rv, L, Cp, D, N, B	-	C, Rv, L, Cp, D, N, B
Depredação do carste	Pr, Ir, L, Lp, D, N, A	Pr, Ir, L, Lp, D, N, A	-	Pr, Ir, L, Lp, D, N, A	Pr, Ir, L, Lp, D, N, A

\* Pertencente a área do balneário, com restrição a visitação no interior da caverna.  
Fonte: Adaptado de Cajaiba (2014).

A adaptação a matriz de Leopold apresenta resultados que demonstram-se como importantes fontes de dados para a construção de planos de gestão ambiental. A partir da identificação do grau dos impactos ambientais, as características dos impactos servem como auxílio na tomada de decisão e na análise do atual estado de conservação das cavernas da província.

## 6.2 Riscos Ambientais: limitações ao uso.

Os cuidados com os riscos em cavernas devem ter atenção redobrada. Nenhuma das cavernas visitadas tem qualquer equipamento ou estrutura de segurança instalado. Sabe-se que o relevo cárstico é bastante acidentado e escorregadio, de maneira que exige cuidados redobrados na caminhada a fim de

evitar quedas. Além disso, a formação cárstica apresenta estruturas tão frágeis que até pequenos ruídos podem ocasionar o desmoronamento de espeleotemas.

As cavernas são sinônimo de refúgio, de maneira que alguns animais perigosos podem estar dentro desses ambientes. Existem relatos de onças como visitas constantes tanto na Caverna do Limoeiro como na Caverna Pedra da Cachoeira. Outro relato recorrente é a presença de um possível jacaré que habita a Caverna da Planaltina, devido a rastros e vultos percebidos por quem visita. Sendo assim, a sugestão é perceber se na entrada das cavernas há restos de carcaças de presas ou pegadas de possíveis predadores.

Outro risco decorre da presença de animais peçonhentos como escorpiões, aranhas e até possíveis répteis. Nesse sentido, o uso de botas e roupas que protejam pernas e braços minimiza o risco de envenenamento. Dentre enfermidades que podem ser adquiridas em cavernas citam-se a hidrofobia (raiva) e a histoplasmose, que estão ligadas a presença de morcegos. Apesar dos morcegos não costumarem atacar diretamente as pessoas, a raiva pode ser transmitida por contato acidental com unhas e dentes, no momento da revoada. A histoplasmose é adquirida por via respiratória através da inalação dos esporos do fungo *Histoplasma capsulatum*, presente no guano de morcegos. É uma doença que ataca pessoas com baixa resistência, levando a problemas respiratórios. Por esta razão é recomendável a utilização de máscaras.

Em qualquer atividade ou uma simples visita que for realizada dentro das cavernas da região deve ser acompanhado por guia local e deve haver uso de equipamentos de proteção individual, como pelo menos capacete, máscara e botas. Uso de lanternas deve ser constante, pois não há estrutura de iluminação artificial em nenhuma das cavernas da província, o que aumenta o risco de queda e perda dentro do ambiente labiríntico e escuro.

### **6.3 Estado de conservação e relevância ambiental**

Esta pesquisa confirma que não existem políticas públicas de planejamento voltadas para a conservação e preservação ambiental dos patrimônios espeleológicos da Província Espeleológica Altamira-Itaituba – Pará. Como exposto, as principais formas de uso das cavernas da Província está relacionada a atividades de lazer, com exceção ao Abrigo da Gravura.

Nota-se que com a busca do lazer por parte dos visitantes, o turismo poderia ser empregado como uma atividade nova na região, de forma organizada, como proposta de educação ambiental e turismo ecológico. Apesar de conhecidas na região, são poucos os visitantes que se aventuram em conhecer as unidades espeleológicas, tanto pela falta de informações, como também pela falta de infraestrutura e orientação adequada.

Um importante ponto a ser considerado no diagnóstico ambiental integrado é a definição do estado de conservação e grau de estabilidade ambiental das cavernas da província. Nesse sentido, a análise ecodinâmica das unidades de paisagem elencadas nesta pesquisa foi fundamentada de acordo com os critérios proposto por Tricart (1977) e adaptados por Souza (2000), que classificam os graus de estabilidade ambiental. Esta, por sua vez, estão relacionadas ao comportamento e à vulnerabilidade das condições geoambientais de acordo com os impactos ambientais sofridos.

Por tratarem-se de ambientes frágeis, as cavernas da província são classificadas como ambientes moderadamente instáveis, com alta vulnerabilidade à ocupação. Uma vez constatados os desmatamentos no entorno das cavernas, há possibilidade de desestabilização do equilíbrio dinâmico cárstico, intensificando, assim, os processos erosivos e diminuindo a carga hídrica, que é o principal motor impulsionador do desenvolvimento das feições e elementos espeleológicos.

A classificação também leva em conta ao estado de depredação das feições cársticas, ocorrência comum principalmente na entradas das cavernas, onde são perceptíveis pichações e rasuras em suas paredes e tetos decorrentes da visitação desordenada e sem qualquer conscientização ambiental. Esta ação torna a recuperação dos elementos espeleológicos irreversível, uma vez que trata-se de um impacto físico-ambiental permanente.

Dentre as cinco cavidades pesquisadas, a única que não apresenta depredação é o Abrigo da Gravura, que é uma pequena cavidade localizada as margens do rio Xingu e pouco conhecida na região. Sua relevância deve-se por ser a única que contém inscrições rupestres, contudo estão constantemente submetidas aos processos de degradação natural. Por estar localizado na planície fluvial do rio Xingu, está sujeito a inundações sazonais e acumulação de sedimentos fluviais, além das ações intempéricas físicas, químicas e biológicas, como a presença de fungos liquenizados sobre a rocha (Figura 72).

Figura 72: Detalhe de gravuras registradas na parede do Abrigo da Gravura, em processo de degradação natural.

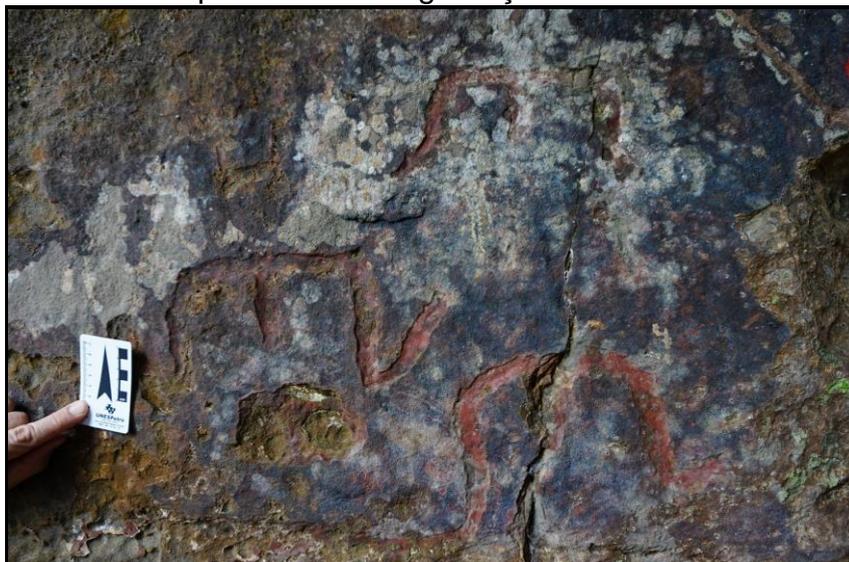


Foto: Luciana Freire, agosto/2016

Vários fatores são considerados para definição da relevância ambiental em patrimônios espeleológicos. Marra (2008), por exemplo, desenvolveu uma pesquisa em que definiu alguns critérios, de acordo com atributos de qualidade para as cavidades naturais subterrâneas:

- Ecológico: Quando determinada cavidade natural subterrânea contribui para a manutenção do equilíbrio ecológico de sua área de influência e vice-versa, bem como colabora nas interações entre a fauna, flora, demais recursos abióticos da região, além de outros atributos naturais existentes.
- Ambiental: Quando determinada cavidade natural subterrânea esta encravada em área merecedora de ser consagrada a criação de unidade de conservação, ou já está inserida nos limites uma categoria de UC, objetivando proteger e manter a diversidade biológica, bem como os recursos naturais e culturais associados, sendo essencial ser manejada por meios jurídicos ou outros eficazes da política ambiental brasileira.
- Cênico: Quando determinada cavidade natural subterrânea reúne atributos especiais de beleza cênica em seu interior, tais como espeleotemas raros e/ou exuberantes, lagos translúcidos, cachoeiras, galerias ornamentadas e/ou outros atributos de embelezamento no seu interior.
- Científico: Quando determinada cavidade natural subterrânea reúne atributos especiais para o desenvolvimento da ciência, seja para produzir e aplicar em objetivos práticos ou para a produção de informações científicas rigorosas das ciências da natureza, bem como dentro do campo de interesse de outras ciências afins, ou ainda servir como laboratório de pesquisa.
- Histórico-cultural: Quando determinada cavidade natural subterrânea é parte integrante da história regional e de um modo geral contém valores simbólicos imateriais significativos, tais como expressões, conhecimentos, práticas religiosas, além dos valores materiais do tipo bens culturais e outros atributos de interesse histórico-cultural.
- Socioeconômico: Quando determinada cavidade natural subterrânea é utilizada com finalidade socioeconômica e/ou pode contribuir para trazer

subsistência as comunidades do entorno, ou ainda está inserida em área de interesse da mineração e/ou outros projetos de benefício social ou econômico (MARRA, 2008, p. 186).

Tais atributos ressaltam a importância para a conservação a partir do momento em que são percebidas as suas funcionalidades. A proposta de Marra (2008) é bastante semelhante à de Gray (2004), que sugeriu atribuição de valores da geodiversidade como uma das ferramentas para se obter a geoconservação.

A relevância ecológica das cavidades é constatada a partir da biodiversidade específica ali presente, principalmente nas cavernas em que existem as suas três zonas ambientais: entrada, penumbra e afótica. A zona afótica abriga espécies troglóbias, adaptadas às condições específicas de isolamento subterrâneo. Esta característica está presente nas cavernas da Pedra da Cachoeira, do Limoeiro e da Planaltina. A ocorrência de espécies endêmicas é fato que decorre da real necessidade do estabelecimento de medidas de proteção ambiental.

Nesse contexto, inclui-se também a relevância científica, em que microrganismos isolados e fungos micorrízicos presentes nas cavernas da Planaltina e Pedra da Cachoeira têm sido alvo de investigação científica em busca de novos produtos que venham a ser úteis à saúde do ser humano e na produção agrícola.

A Gruta Leonardo da Vinci, por conter sua estrutura formada por folhelhos, até então sendo o único registro conhecido, tem atributo científico importante, em que nela possam vir a desenvolver estudos espeleológicos específicos de como ocorreram os processos de desenvolvimento cárstico.

O Abrigo da Gravura destaca-se por conter pistas de povos antigos que ali habitaram, por meio de registros arqueológicos, tais como os petroglifos presentes em diferentes pontos do paredão. Tem-se, então, o atributo histórico-cultural. Dentre as cinco cavernas pesquisadas, nenhuma outra apresenta inscrições rupestres, nem mesmo atividades religiosas ou outras formas de rituais culturais.

No que se refere à possibilidade de desenvolver atividades geoturísticas nas cavernas, o atributo cênico costuma ser o principal fator. Para esse fim, as cavernas de maior porte apresentam uma diversidade de espeleotemas, bem como belos desenhos das estratificações expostas em suas paredes. Contudo, a intensa presença de morcegos na caverna da Planaltina, a maior formada por arenitos do Brasil, faz com que seja desaconselhado qualquer atividade de lazer, pela forte presença de guano, que apresenta-se nocivo à saúde do ser humano, e exala forte

odor mesmo a alguns metros de distância de sua entrada. Esta, por sua vez, é citada como atrativo ao balneário em que está inserida, mesmo com restrição a visitação, mas contendo em si o atributo socioeconômico.

As cavernas da Pedra da Cachoeira e do Limoeiro são as que apresentam melhores condições para o desenvolvimento de atividade geoturísticas, contudo dificuldades maiores no acesso a Pedra da Cachoeira impedem que haja a estruturação da atividade. Na Caverna do Limoeiro, além de haver um acesso menos desgastante, há o desejo do proprietário da área em realizar passeios no local, aliados a outras atividades socioeconômicas da região.

Unindo a todos os atributos, têm-se o ambiental, que a pesquisa julga ser um conjunto dos demais e que justifica ações futuras de proteção ambiental.

De modo sintético e claro, no quadro 01 é apresentada a síntese do diagnóstico ambiental integrado, resultado da conjunção de informações apresentadas na análise geoecológica da região da Província Espeleológica Altamira-Itaituba e da descrição das unidades espeleológicas. O quadro apresenta as cavidades naturais subterrâneas estudadas, suas potencialidades, limitações e problemas ambientais e, por fim o resultado da ecodinâmica estabelecida a partir do modelo de Tricart (1977), adaptados por Souza (2000).

**Quadro 01 – Síntese do Diagnóstico Ambiental Integrado**

<b>Cavidades</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Limitações</b>	<b>Problemas</b>	<b>Ecodinâmica</b>
Caverna Pedra da Cachoeira	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belezas cênicas (cachoeira e diversidade de espeleotemas);</li> <li>- Mata úmida preservada;</li> <li>- Biodiversidade espeleológica;</li> <li>- Pesquisa Científica;</li> <li>- Nascente hídrica;</li> <li>- Atrativo turístico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de acesso;</li> <li>- Pontos com Insalubridade a visitação;</li> <li>- Necessidade de guia;</li> <li>- Pontos com depósitos de guano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de pastagem no entorno;</li> <li>- Pichações e riscos nas paredes;</li> <li>- Resíduo sólido ao solo;</li> <li>- Visitação desordenada;</li> <li>- Acendimento de fogueira.</li> </ul>	<p>- Ambientes moderadamente instáveis;</p> <p>- alta vulnerabilidade a ocupação</p>
Gruta Leonardo da Vinci	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cachoeira;</li> <li>- Raridade cárstica;</li> <li>- Espeleotemas diferenciados;</li> <li>- Mata úmida preservada;</li> <li>- Biodiversidade espeleológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insalubridade a visitação;</li> <li>- Trilha em propriedade privada;</li> <li>- Alto índice de comunidade de espécies cavernícolas.</li> <li>- Presença de depósitos de guano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de pastagem no entorno;</li> <li>- Pichações e riscos nas paredes;</li> <li>- Resíduos sólidos ao solo;</li> <li>- Acendimento de fogueira.</li> </ul>	
Caverna da Planaltina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belezas cênicas (cachoeira e espeleotemas);</li> <li>- Diversidade de espeleotemas;</li> <li>- Vegetação de mata úmida preservada em seu entorno;</li> <li>- Biodiversidade espeleológica;</li> <li>- Fácil acesso;</li> <li>- Pesquisa Científica;</li> <li>- Maior caverna de arenito do Brasil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insalubridade a visitação;</li> <li>- Caminhamento acidentado;</li> <li>- Alto índice de comunidades de espécies cavernícolas;</li> <li>- Presença constante de depósitos de guano, exalando forte odor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de pastagem no entorno da propriedade;</li> <li>- Canalização de cursos d'água;</li> <li>- Interferência antrópica desordenada.</li> <li>- Pichações e riscos nas paredes;</li> </ul>	
Abrigo da Gravura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registro arqueológico;</li> <li>- Mata ciliar preservada;</li> <li>- Pesquisa técnico-científica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de acesso;</li> <li>- Possibilidade de inundação;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resíduo sólido ao solo;</li> <li>- Visitação desordenada;</li> <li>- Acendimento de fogueira.</li> </ul>	
Caverna do Limoeiro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belezas cênicas (espeleotemas);</li> <li>- Mata úmida preservada;</li> <li>- Biodiversidade espeleológica;</li> <li>- Pesquisa Científica;</li> <li>- Nascente hídrica;</li> <li>- Lente de folhelho;</li> <li>- Atrativo turístico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pontos com Insalubridade a visitação;</li> <li>- Trilha em propriedade privada;</li> <li>- Necessidade de guia;</li> <li>- Pontos com depósitos de guano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área de pastagem no entorno;</li> <li>- Pichações e riscos nas paredes;</li> <li>- Zonas com insalubridade a visitação;</li> <li>- Resíduos sólidos ao solo;</li> <li>- Visitação desordenada.</li> </ul>	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

## **7 PROPOSTA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO E GEOCONSERVAÇÃO DA CAVERNA DO LIMOEIRO E SEU ENTORNO**

Neste capítulo foi desenvolvido uma proposta de planejamento para uma das cavernas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA). Haja vista o grande número de cavernas (235 unidades registradas, entre abrigos, grutas e cavernas) e a extensa área territorial da província que concentra essas unidades, as quais abrangem mais de 20.000 km<sup>2</sup>, optou-se por desenvolver um plano focado em um exemplo em que pode ser praticada um conjunto de atividades relacionadas ao turismo e lazer. Tem-se, como modelo, a Caverna do Limoeiro, localizada no município de Medicilância – PA, que se mostra bem conservada e adequada ao geoturismo.

Como já mencionado, a extensão da caverna é de 1.200m de desenvolvimento subterrâneo em arenitos, a qual oferece uma diversidade de espeleotemas em seus condutos e salões. A caverna apresenta-se em condições propícias para o desenvolvimento de atividades de lazer e turismo, uma vez que se constitui de amplos salões, com áreas internas com terreno subterrâneo não tão acidentado como nas demais cavernas da província.

Está localizada dentro de uma área particular, em que a principal atividade econômica desenvolvida é o cultivo de cacau. Existe, contudo, por parte do proprietário, uma futura pretensão de desenvolver em suas terras um plano de atividades voltadas para o turismo rural, ambiental e espeleológico. Além dos atrativos da própria caverna, bela em ornamentos, a área também conta com uma fonte natural d'água para banho, a lagoa Azul, com uma queda d'água de aproximadamente 10 m de altura, e área de floresta preservada com possibilidades de inserção de trilhas ecológicas.

A proposta de planejamento e geoconservação da caverna do Limoeiro desenvolve-se a partir dos conceitos de geodiversidade, geoconservação e geoturismo, pensando-se na implementação de projetos e planos de ação e proteção do meio abiótico, porém abrangendo na área também os elementos do meio biótico, cultural, econômico e histórico. O objetivo central é a exploração de forma sustentável, valorizando as riquezas paisagísticas locais e regionais.

No capítulo anterior foram apresentadas cinco unidades espeleológicas elencadas nesta pesquisa pelos seus valores na província, além do reconhecimento

local de seus usos por parte da população, como áreas atrativas para os visitantes, e características espeleológicas, estéticas e histórico-culturais presentes nelas. A caverna do Limoeiro fecha o capítulo ligando-se a este, por meio de um levantamento de suas características principais necessárias para a construção do planejamento e geoconservação.

Nesse contexto, a caverna do Limoeiro e a lagoa Azul podem vir a integrar um conjunto de atrativos voltados para o turismo e lazer da região Transamazônica. No próprio município de Medicilândia há outro elemento da geodiversidade já valorizado e transformado em atrativo na região: a “Ponte de Pedra”. Em seu entorno, consolidou-se um ponto turístico e de lazer chamado Balneário Ponte de Pedra. O local recebeu essa denominação por uma formação rochosa que ao longo dos anos, com os processos de intemperismo e erosão, desenvolveu-se naturalmente uma ponte sobre um igarapé (Figura 73).

Figura 73: (A) Formação rochosa “Ponte de Pedra”, localizada dentro do (B) Balneário de mesmo nome, no município de Medicilândia/PA.



Foto: Luciana Freire, dezembro/2016.

Vale lembrar que os atrativos de geodiversidade local podem unir-se ainda à característica principal do município de Medicilândia, que é a maior produtora de cacau do Pará. O estado do Pará, inclusive, compete ano a ano a posição de maior produção nacional junto com a Bahia. Conhecer a principal atividade econômica local também é um atrativo de interesse do visitante. Além disso, na cidade foi implantada a primeira fábrica de chocolate da Amazônia, que surgiu a partir da união de agricultores familiares no município de Medicilândia que

fundaram a COOPATRANS – Cooperativa Agroindustrial da Transamazônica, iniciando produção no ano de 2010 (Figura 74).

Figura 74: Fábrica de Chocolates Cacaway, Medicilândia/PA



Foto: Luciana Freire, dezembro/2016.

A geodiversidade representa o conceito-chave essencial na definição dos elementos naturais e culturais que irão compor os valores que fundamentam a estratégia de geoconservação.

Uma vez que as ações de proteção do meio ambiente estão vinculadas à definição de valores que hierarquizam os lugares de maior necessidade de proteção, seja por serem lugares de extrema beleza ou por terem importância para os ecossistemas regionais ou mundiais, os locais em que a geodiversidade está presente também têm valores que precisam ser definidos pelas pessoas que trabalham com tal enfoque (SILVA; NASCIMENTO, 2016, p. 340).

Os parâmetros de valores que serão apresentados têm fundamentação não somente na geodiversidade representada pelos componentes de natureza abiótica (tais como rochas, solos, minerais, rios), mas também nas paisagens resultantes das relações estabelecidas entre o ser humano e a natureza (história da região, atividades econômicas, urbanização), contextualizados e reconhecidos pela geocologia de paisagens. Por mais que o objeto de estudo esteja focado no elemento abiótico seria impossível não considerar o conjunto de elementos que o integram, justificando assim as propostas de planejamento ambiental e geoconservação.

Em seguida, será apresentada uma proposta de planejamento ambiental,

com foco na geoconservação, que deverá contribuir para proteção, promoção e valorização do patrimônio geológico da caverna do Limoeiro e seu entorno. Esta proposta visa colaborar para a criação de atividades sustentáveis de geração de renda através do geoturismo, consolidando o desenvolvimento social e sustentável naquela área, unindo ao fortalecimento da sua identidade cultural representada pelo cultivo do cacau.

## **7.1 Valores da Geodiversidade local**

De acordo com Brilha (2016), as estratégias de geoconservação devem ser aplicadas a partir da constatação de ocorrência de diversidade natural, representadas pela geodiversidade e biodiversidade, as quais serão avaliadas e classificadas para o desenvolvimento de ações de proteção. No caso da geodiversidade, o autor elenca os pontos que apresentam valores a serem considerados como elementos do Patrimônio Geológico.

Para a definição dos elementos da paisagem a serem protegidos faz-se necessário classificar os valores da geodiversidade dos lugares propostos, os chamados *geossítios*, afim de facilitar o processo de geoconservação e determinar os usos adequados. Essa valoração está baseada em Gray (2004, 2013), como apresentado no capítulo 2. O ponto de partida refere-se ao reconhecimento do valor intrínseco, que é o valor do elemento paisagístico simplesmente pelo que ele é, sequenciado pelos serviços por ele ofertado. Para cada serviço tem-se bens e processos naturais que o caracterizam. O valor intrínseco é correspondente ao valor científico da geodiversidade, uma vez que está disponível para o ser humano avaliar e valorar.

### **7.1.1 Caverna do Limoeiro**

Como já descrito no capítulo anterior, a caverna do Limoeiro destaca-se por ser uma unidade cárstica formada por rochas areníticas e representar a 2ª maior em extensão da Província Espeleológica Altamira-Itaituba. Trata-se de um geossítio de destaque na paisagem amazônica, sendo valorizado por visitantes e pesquisadores da região (Figura 75). Uma vez definido o valor intrínseco da caverna, são identificados os serviços de conhecimento, de regulação, suporte e cultural.

Figura 75: Entrada principal da caverna do Limoeiro

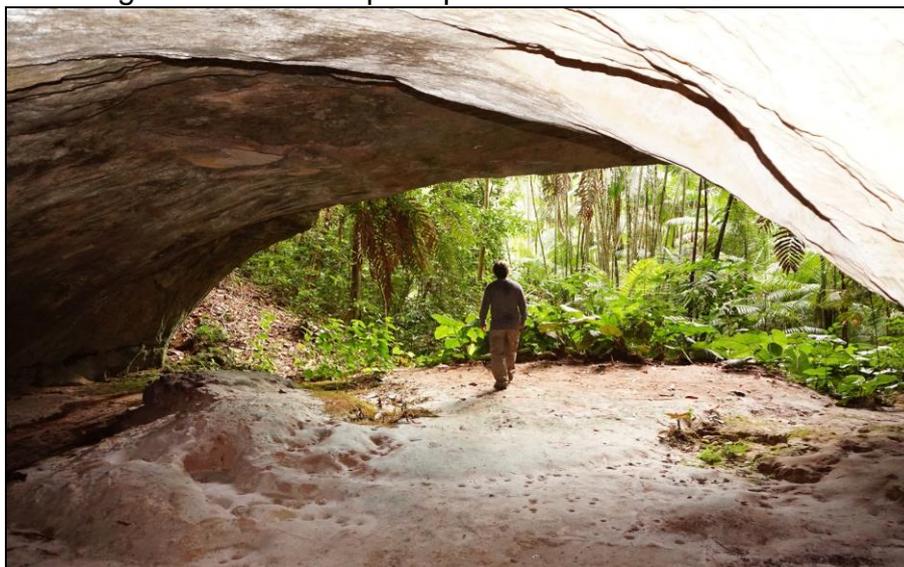


Foto: Luciana Freire, dezembro/2016.

O serviço de conhecimento ganha ênfase, uma vez que a partir das pesquisas desenvolvidas sobre a caverna pode-se obter dados que colaborem para entender sua estrutura, características, formação cárstica, por meio da história da terra e emprego de usos nesse elemento da geodiversidade. Tais estudos permitem a formação de profissionais ligados à pesquisa e incentivo à educação ambiental. Vale ressaltar que os estudos em cavernas de arenito ainda são poucos, sendo o serviço de conhecimento fundamental para os diversos estudos sobre geomorfologia cárstica em rochas não carbonáticas.

A partir do conhecimento, pode-se entender o serviço de regulação, referente à presença de processos geomorfogenéticos, nesse caso representados pela dinâmica cárstica envolvida na modelagem das feições da caverna.

Já o serviço de suporte é identificado principalmente em como as características do ambiente espeleológico, com pouca ou nenhuma luminosidade (ambiente afótico), são utilizados como habitat de determinadas espécies (Figura 76). Sabe-se que o ambiente cavernícola apresenta uma fauna diversificada, em que determinadas espécies adaptaram-se e/ou desenvolveram-se para viverem em completo isolamento geográfico, assim classificados como os troglóbios, tais como os ambliópigeos. Existem outras espécies, exemplificadas pelos morcegos, não exclusivos dali, utilizando-se da caverna apenas para abrigo ou local de reprodução, classificados como Troglóxenos.

Figura 76: Presença de amblipígeo (à esquerda) e morcegos (à direita) em diferentes ambientes da caverna do Limoeiro, Mecedilândia/PA.



Fotos: Luciana Freire, agosto/2015 e dezembro/2016.

O serviço cultural é identificado pela própria paisagem espeleológica, que contrasta com a paisagem florestal que encontra-se no entorno da caverna. O interior da caverna demonstra formas que atraem a curiosidade do ser humano, bem como espeleotemas que apresentam formas que aguçam a imaginação, inspirando significados culturais e históricos. Assim, a caverna do Limoeiro desperta para a prática de atividades de lazer e geoturismo, as quais possam vir a oferecer o desenvolvimento social e a educação ambiental.

### **7.1.2 Lagoa Azul**

Ressurgências como nas proximidades da caverna do Limoeiro existem vários pontos de nascentes fluviais, as quais desempenham papel fundamental no sistema hídrico da região. Por vezes, essas nascentes encontram-se em áreas mais rebaixadas, assemelhando-se a um afloramento de água subterrânea que, exposta, forma um lago. Nesse contexto, tem-se o geossítio da lagoa Azul, que com sua beleza paisagística representa um atrativo nos caminhos da visita da caverna no município de Mecedilândia. A paisagem é composta não apenas pelo manancial de hídrico da lagoa Azul, mas também por uma queda d'água de aproximadamente 10 metros de altura. Trata-se de outra fonte de nascente fluvial que escoar para um precipício formado por um paredão de arenito (Figura 77).

Figura 77: Lagoa Azul, Medicilândia/PA.

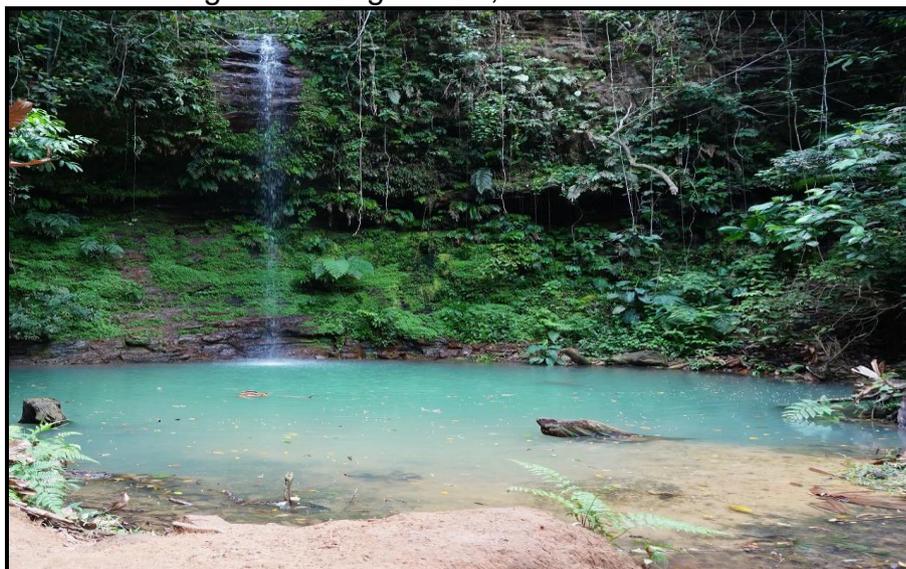


Foto: Luciana Freire, dezembro 2016.

Uma vez valorizado simplesmente pelas potencialidades naturais, no geossítio da lagoa Azul são identificados os serviços de regulação, de conhecimento, suporte e cultural.

Inserido no contexto de um sistema hidrológico, o serviço de regulação é explicado devido à participação das nascentes que alimentam a lagoa, as quais são fundamentais para que os igarapés e os rios da região mantenham-se sua dinâmica fluvial. Vale lembrar que tais nascentes estão inseridas em um sistema maior, que é a bacia do rio Xingu e, por sua vez, participa da Bacia Hidrográfica Amazônica, caracterizando assim os processos atmosféricos e oceânicos.

O serviço de conhecimento é importante na medida em que estudos sobre a capacidade de suporte e análise dos processos hidrológicos servem como subsídios para propostas de utilização da lagoa, bem como sua exploração educacional e voltadas para práticas de lazer (rapel, banhos, mergulho, etc). A base e o processo principal desse serviço da geodiversidade é o monitoramento ambiental, caracterizado pelo estudo e acompanhamento sistemático da lagoa, o qual irá subsidiar medidas de planejamento das formas de uso capazes de manter as condições ideais dos recursos naturais (equilíbrio ecológico).

O serviço de suporte apresentado pelo sistema lacustre (a lagoa em si) configura-se como o ambiente de habitat natural para o desenvolvimento de um ecossistema específico, o quais abrange uma biodiversidade de espécies da fauna e flora dependentes dali.

Já como serviço cultural, se vê a relação da sociedade com o geossítio e seu significado social ou comunitário, a lagoa Azul destaca-se à primeira vista, pela estética da paisagem. Esta paisagem revela o bem da qualidade ambiental, trazendo benefícios psicológicos ou fisiológicos para o ser humano e melhorando a vida das pessoas de forma não material (SILVA, 2016). Na mesma linha de raciocínio, o que é belo aos olhos serve de inspiração artística, no momento em que essa paisagem pode ser projetada em pinturas e fotografias, ou mesmo ser lembrada para composição de músicas ou poesias. Nesse contexto, a proposição de práticas de geoturismo e de lazer, tal como ocorre na caverna do Limoeiro, desperta para que haja o processo de desenvolvimento social.

### **7.1.3 Ponte de Pedra**

A Ponte de Pedra é uma escultura em rocha, de origem sedimentar, esculpida naturalmente pelos processos de intemperismo e erosão. Está localizada em um igarapé que, ao longo dos anos, traçou um caminho sobre a estrutura rochosa. A “ponte”, porém, resistiu até a atualidade, chamando atenção como elemento natural. Provavelmente tratam-se de rochas sedimentares da Formação Ererê, da Bacia do Amazonas, de acordo com sua localização no mapa geológico da CPRM (2008). Esta formação geológica é constituída por siltitos, folhelhos e arenitos, formados a partir de sedimentos depositados no Mesodevoniano, a cerca de 390 Ma atrás (CUNHA *et al.* 2007). Localmente, ocorreu um contínuo processo de erosão que atuou de forma diferencial, uma vez que os níveis mais resistentes à erosão preservaram-se, formando assim a “ponte de pedra” (Figura 78).

A partir do valor intrínseco do geossítio, na Ponte de Pedra destacam-se os serviços de conhecimento e cultural. O serviços de conhecimento se deve, primeiramente, pela sua história geológica, a qual possibilita entender sua estrutura e os processos envolvidos para obter as respostas sobre sua formação. Os afloramentos rochosos da ‘ponte’ permitem assim descrever a história da Terra, sua idade e transformações ao longo do tempo geológico. Esse conhecimento científico, por sua vez, são essenciais para que o ser humano possa monitorar o geossítio e definir suas condições atuais e ações de preservação a fim de mitigar impacto ambientais. Por fim, um bem de suma importância para a região é a educação e emprego, com o desenvolvimento de ações de educação ambiental e trabalhos de

campo para o conhecimento geocientífico.

Figura 78: “Ponte de Pedra”, localizada no balneário de mesma denominação no município de Medicilândia/PA.



Foto: Luciana Freire, dezembro/2016.

No serviço cultural, não muito diferente do que ocorre na lagoa Azul, destacam-se os bens e processos do turismo e lazer, que já se desenvolvem por fazer parte de um balneário, trazendo o desenvolvendo social e qualidade ambiental para a população da região. A paisagem da Ponte de Pedra também inspira artística e culturalmente os que a frequentam, evocando lendas e histórias que envolvem a comunidade local.

## **7.2 Uma proposta de gestão: fase de prognóstico**

A partir dos geossítios reconhecidos no tópico anterior, é possível empreender um plano que vise a conservação do patrimônio geológico, tendo como foco central o elemento espeleológico aqui exemplificado pela Caverna do Limoeiro. A proposta de geoconservação da caverna objetiva integrar os pontos de interesse da geodiversidade inventariados, tomando-se como base os serviços e bens por eles oferecidos.

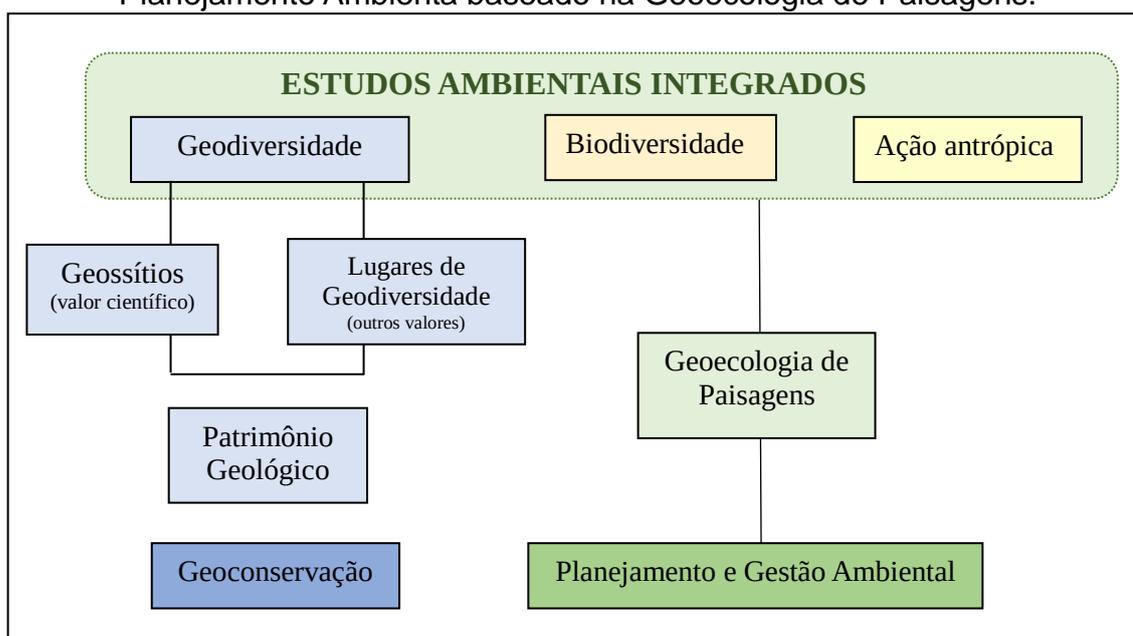
Esta fase de prognóstico, ou de projeção, refere-se aos cenários idealizados para ordenar as formas de uso, por meio da elaboração de um plano

ambiental. Trata-se do desenho de um modelo com as perspectivas das atividades a serem desempenhadas aliadas às alternativas de proteção ambiental.

A proposição de geoconservação apresenta-se baseada no alicerce da geodiversidade que, por sua vez, está inserido no grupo que compõe a metodologia desenvolvida pela Geoecologia de Paisagens.

Apesar do conceito de geoconservação estar baseado no uso e gestão sustentável dos elementos da geodiversidade (solo, rocha, água, formas de relevo, etc.), impossível se pensar em conserva-lo sem levar em conta a manutenção da biodiversidade, dos processos ecológicos e das formas de uso empregadas pelo ser humano. Tem-se assim uma estreita relação entre Geoconservação e Planejamento Ambiental, como pode ser melhor visualizado no esquema da Figura 79.

Figura 79: Esquema metodológico da relação entre a Geoconservação e o Planejamento Ambiental baseado na Geoecologia de Paisagens.



Fonte: Elaborado por Luciana Freire, 2017.

Vale salientar que a necessidade de geoconservação parte do fato de que muitos dos recursos da geodiversidade existentes são peças únicas da composição de uma paisagem. Além da valoração aqui apresentada, é importante que haja uma participação da população e gestores locais.

Esta proposta de planejamento ambiental e geoconservação molda-se em algumas partes, dentre as quais são destacados o levantamento do potencial geoturístico e as propostas de ações de proteção e gestão ambiental.

### **7.2.1 Potencial Geoturístico: projeção de cenários de visitação**

A Província Espeleológica Altamira-Itaituba encontra-se inserida na região Xingu, definida pelo estado do Pará por meio do decreto estadual nº 1.066, de 19 de junho de 2008. Assim, a Secretaria de Estado do Turismo (SETUR) considerou o Polo Xingu, representado pelos mesmos municípios que compõe a divisão regional administrativa: Altamira, Anapu, Brasil Novo, Gurupá, Medicilândia, Pacajá, Placas, Porto de Moz, Senador José Porfírio, Uruará e Vitória do Xingu.

Turisticamente, o Polo Xingu ainda precisa de grandes avanços, não apresentando investimentos por parte dos governos municipais e estadual. O que se observa é um turismo individualizado, voltado mais especificamente para a pesca esportiva ou navegação no rio Xingu para conhecer de perto tribos indígenas, porém tratando-se de visitantes bastante restritos. A porta de entrada principal do Polo é o município de Altamira, onde está localizado o aeroporto e uma infraestrutura que atende a toda a região.

A riqueza espeleológica do Polo Xingu ainda é objeto de curiosidade local, seja de moradores das proximidades, seja por pesquisadores universitários. Quando são alvo de busca por lazer, em geral está associada a outros elementos atrativos, como as cachoeiras, por exemplo.

A caverna do Limoeiro, mesmo não estando ao lado de uma cachoeira ou outro atrativo recreativo, uma vez que a Lagoa Azul ainda está a cerca de 1 quilômetro do local, tem potencialidade para o espeleoturismo que merece destaque. A frequência de visitantes é baixa, em geral por parte dos moradores da propriedade particular onde está localizada.

Além do turismo motivado pela contemplação e aventura, o espeleoturismo inclui também visitas com objetivos para fins de estudos técnicos e científicos, bem como práticas de educação ambiental através de aulas de campo. Esse contraponto entre atividades de lazer e educacional caracteriza-se pelo número reduzido de visitantes (LOBO et al, 2010).

A partir da proposta de se criar um ponto de visitação turística na caverna do Limoeiro, é preciso criar um plano de manejo espeleológico e inseri-la em uma rota de visitação turística.

O plano de manejo espeleológico (PME) é um instrumento que visa criar normas e realizar o ordenamento sobre o uso da cavidade natural subterrânea, seja

para atividades turísticas, religiosas ou culturais, inseridos no contexto jurídico brasileiro pela Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2004). A proposta estabelece um zoneamento adequado da caverna e de sua área de entorno, proporcionando meios e condições para seu uso sustentável, inclusive com a possibilidade de implantação de estruturas físicas necessárias ao seu acesso e sua gestão.

O processo de planejar e implementar os Planos de Manejo Espeleológico é complexo, dispendioso e requer dos profissionais envolvidos observações anteriores para definição do quadro em seu estado natural e após o início da implantação de visitação mais intensiva. A observação e o controle também devem ocorrer a *posteriori* e por tempo indeterminado. (SCALEANTE, 2003, p. 14)

Antes mesmo de desenvolver o PME da caverna é importante realizar uma análise integrada do ambiente em que está inserida, por meio de uma delimitação espacial que leva em conta critérios de atratividade, público interessado e contextualização local e regional. Seria uma associação do espeleoturismo a outras modalidades de turismo (tais como o turismo de aventura, o ecoturismo e o turismo rural), demonstrando que o atrativo vai além do aproveitamento da paisagem cárstica.

Os potenciais da geodiversidade local já foram definidos em três geossítios: caverna do Limoeiro, Lagoa Azul e Ponte de Pedra. Todos pertencem ao município de Medicilândia, que seria então uma primeira aproximação a delimitação espacial para a integração dos geossítios. O município ainda ganha destaque por contar com a maior produção de cacau da região Amazônica. E, por tratar de Amazônia, tem ainda área de floresta nativa, onde estão inseridos os potenciais de geodiversidade.

A rota de visitação turística estaria ligada a três tipos de atrativos locais: a geodiversidade, a biodiversidade e a cultura do cacau. A ideia seria unir essas três fontes de interesse, desenvolvendo atividades em conjunto para os visitantes do município de Medicilândia. Assim, baseado em Lobo *et al* (2010), no quadro 02 são apresentados os pontos turísticos sugeridos e as formas de uso considerando-se uma proposta para visitação. No mapa 5, tem-se a espacialização desse roteiro de visitação.

Quadro 02: Perfis de visitantes considerados para a análise do uso público

Atrativo turístico	Perfil geral	Perfis específicos	Descrição de atividades
Caverna do Limoeiro	Espeleoturismo  Monitoria	Contemplanção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lazer contemplativo em cavernas;</li> <li>• Educação ambiental com escolas;</li> <li>• Práticas de ensino com universidades, para visualização <i>in loco</i> das teorias estudadas;</li> <li>• Lazer ativo/interativo, com ou sem o uso de técnicas verticais;</li> <li>• Condução de turistas.</li> </ul>
		Estudo do meio  Aula de campo  Aventura	
	Espeleologia Técnica	Prospecção Espeleotopografia  Espeleofotografia	
	Espeleologia Científica	Pesquisa Básica  Pesquisa Aplicada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciação de membros de grupos de espeleologia;</li> <li>• Análise do impacto da visitação na fauna cavernícola;</li> </ul>
Lagoa Azul	Ecoturismo  Turismo de Aventura	Contemplanção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lazer contemplativo dos recursos naturais;</li> <li>• Recreação, com banhos;</li> <li>• Educação ambiental com escolas e universidades;</li> <li>• Lazer ativo/interativo, com trilha ecológica e o uso de técnicas verticais;</li> <li>• Condução de turistas;</li> </ul>
Floresta Nativa		Estudo do meio	
Ponte de Pedra		Aula de campo  Aventura	
Propriedades rurais	Turismo Rural ou agroturismo	Conhecimento da Tradição local	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lazer contemplativo na visitação de propriedades rurais tradicionais;</li> <li>• Hospedagem domiciliar e familiar;</li> <li>• Apreciação da comida regional;</li> <li>• Recreação, entretenimento e atividades pedagógicas vinculadas ao contexto rural;</li> <li>• Práticas de ensino com universidades, para visualização <i>in loco</i> das teorias estudadas;</li> <li>• Conhecer a produção de chocolate e compras de produtos derivados do cacau.</li> </ul>
Fábrica de Chocolate		Estudo do meio  Beneficiamento industrial do cacau	

Fonte: Adaptado de Lobo et al, 2010.

A definição do perfil de visitantes é importante para se conhecer o que e como serão aplicadas as atividades turísticas, além do fato de que a intensidade e os tipos de impactos podem ser maiores ou menores. Cada grupo de visitantes tem uma percepção diferente sobre o meio que visita: existe o turista aventureiro, o turista familiar, ou mesmo o turista interessado somente na contemplação da paisagem. Lobo *et al* (2010) citam que o último passo para a análise do potencial turístico em cavernas é a definição dos volumes de visitação. Nesse sentido, criou uma tabela considerando cinco níveis de escala de visitação (Tabela 04).

52°54.000'W

52°51.000'W

52°48.000'W



3°27.000'S

3°30.000'S

52°54.000'W

52°51.000'W

52°48.000'W

3°27.000'S

3°30.000'S



Universidade Federal do Ceará - UFC  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

**MAPA 5:  
ROTEIRO DE VISITAÇÃO DOS  
ATRATIVOS TURÍSTICO NO  
MUNICÍPIO DE MEDICILÂNCIA**

**Título da Tese:  
Geoconservação de Patrimônio  
Espeleológico na Amazônia: proposta  
de planejamento ambiental para a  
Província Espeleológica Altamira-  
Itaituba (PA)**

Autora: Luciana Martins Freire  
Orientador: Dr. Edson Vicente da Silva  
Coorientador: Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

Localização no Brasil e Estado do Pará - PA



1:50.000

Projeção Geográfica: SIRGAS 2000

**Legenda**

- Rodovias principais
- Sedes Municipais
- Fábrika de Chocolate
- Lagoa Azul
- ◆ Ponte de Pedra
- ★ Sede da Fazenda
- ▲ Caverna do Limoeiro
- Trilha a pé para Lagoa Azul
- Trilha a pé para caverna
- Rota Caverna do Limoeiro
- Rota Ponte de Pedra

Fonte:  
- Base de dados do IBGE (2010)  
- Base de Dados Geoespacializados do CECAV/ICMBio (2016)  
- Imagem Landsat, fonte Nasa (2016)  
- U.S. Geological Survey (2016-10-05)

Elaboração:  
- Luciana Martins Freire  
- Edson Vicente da Silva  
- Cesar Ulisses Vieira Veríssimo



Tabela 04 – Escalas de visitação para a projeção de cenários de uso público

<b>Escala de visitação</b>	<b>Total de visitantes (inclui guias)/grupo</b>
Restrita	Até 7
Baixa	Até 10
Média	Até 20
Alta	Até 30
Intensa	Até 50

Fonte: Lobo *et al*, 2010.

Contudo, o volume de visitação está diretamente ligado à definição da capacidade de carga de cada ponto turístico. É neste momento que entra em discussão a proteção do ambiente natural, bem como suas características de fragilidade diante da pressão pelo uso antrópico. É interessante frisar que com a criação de uma rota geoturística ou ecoturística haverá uma proteção quanto às formas de uso dos pontos elencados, a partir do ordenamento que está sendo proposto. Não há nenhuma forma de plano ambiental, o que implica em uso e ocupação indiscriminado.

A partir do perfil de visitantes e da definição de escalas de visitação em cada ponto turístico é possível projetar os cenários de visitação para o roteiro geoturístico dentro do município de Medicilândia. A tabela 05 apresenta exemplo dos cenários projetados para o exemplo proposto, referente a cada atrativo turístico. De acordo com Lobo *et al* (2010), a projeção dos cenários deve levar em conta os perfis de público e seu nível de interesse de acordo com os diferentes tipos de experiência de visitação, tendo como principal condicionante o grau de risco ao visitante. Inclui, ainda, o importante fator referente a necessidade de sustentabilidade socioeconômica das comunidades locais focadas para o desenvolvimento turístico da região.

Tabela 05: Cenários de visitação projetados

<b>Atrativo turístico</b>	<b>Escala (pessoas/grupo)</b>	<b>Total proposto (visitas/dia)</b>
Caverna do Limoeiro	Restrita (6)	24
Lagoa Azul e Floresta Nativa	Baixa (10)	40
Ponte de Pedra (Balneário)	Média (20)	200
Propriedades rurais	Alta (30)	60
Fábrica de Chocolate	Média (20)	80

Fonte: Baseado em Lobo *et al*, 2010.

### **7.2.2 Ações de proteção e gestão ambiental: modelos e propostas**

Em estudos direcionados para a proteção e gestão ambiental em cavernas, as fragilidades são identificadas a partir de diagnósticos específicos, por meio de análise e interpretação de dados coletados *in loco*, a partir de uma equipe multidisciplinar que abranja os temas espeleogeologia, paleontologia, climatologia, bioespeleologia e arqueologia. Não é possível, portanto, definir um planejamento sem que haja essa equipe, cabendo nesta pesquisa propor tão somente um subsídio para a fase de execução.

Nesse sentido, tomou-se como base a análise geocológica da Província Espeleológica Altamira-Itaituba e a realização de um diagnóstico ambiental integrado, os quais ampliaram o conhecimento sobre os meios físico, biótico, socioeconômico, potencialidades, limitações e problemas ambientais constatados relacionados à área.

A geoconservação e o planejamento ambiental caminham na mesma linha de pensamento, porém com focos diferentes. Enquanto a geoconservação define-se pela proteção da geodiversidade, bem como do patrimônio geológico, o planejamento ambiental propõe-se a proteção de um conjunto de elementos que envolve além da geodiversidade, mas também a biodiversidade e as ações do ser humano.

O cenário de visitação projetado para o potencial geoturístico traz como premissa ações que devem ser levadas em conta no planejamento de proteção, aliado importante para a manutenção dos elementos da geodiversidade, com foco principal na Caverna do Limoeiro. Nesse contexto, tem-se a necessidade de implementação de um Plano de Manejo Espeleológico (PME) a fim de se ter o ordenamento seguro para a definição das atividades a serem desenvolvidas na caverna e seu entorno.

O PME foi inserido na legislação brasileira por meio da Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2004). Em seu artigo 2º, a Resolução estabelece as seguintes definições:

V - plano de manejo espeleológico: documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais da área, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da cavidade natural subterrânea; e

VI - zoneamento espeleológico: definição de setores ou zonas em uma cavidade natural subterrânea, com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos do manejo sejam atingidos.

No que se refere a implementação de atividades, a referida Resolução CONAMA ainda institui que:

Art. 6º Os empreendimentos ou atividades turísticos, religiosos ou culturais que utilizem o ambiente constituído pelo patrimônio espeleológico deverão respeitar o Plano de Manejo Espeleológico, elaborado pelo órgão gestor ou o proprietário da terra onde se encontra a caverna, aprovado pelo IBAMA.

§ 1º O IBAMA disponibilizará termo de referência para elaboração do Plano de Manejo Espeleológico de que trata este artigo, consideradas as diferentes categorias de uso do patrimônio espeleológico ou de cavidades naturais subterrâneas.

§ 2º No caso das cavidades localizadas em propriedades privadas o uso das mesmas dependerá de plano de manejo espeleológico submetido à aprovação do IBAMA.

Além do PME, a partir da constatação das potencialidades, limitações e fragilidade ambiental identificadas, verificou-se a necessidade de se propor instrumentos específicos de proteção e conservação, indo muito além das propostas de lazer e turismo em conjunto com os demais elementos da geodiversidade local.

Não obstante e elaborado junto ao PME, denota-se também a importância de se indicar a criação de uma Unidade de Conservação (UC), haja vista a importância biológica, cultural (beleza cênica) e científica de relevância multidisciplinar. Deste modo, dentre as categorias de UC do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), recomenda-se o Monumento Natural, que está entre as unidades de proteção integral. De acordo com a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o SNUC, justifica-se a indicação pelas suas características:

Art. 12. O Monumento Natural tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.

§ 1º O Monumento Natural pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.

§ 2º Havendo incompatibilidade entre os objetivos da área e as atividades privadas ou não havendo aquiescência do proprietário às condições propostas pelo órgão responsável pela administração da unidade para a coexistência do Monumento Natural com o uso da propriedade, a área deve ser desapropriada, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 3o A visitação pública está sujeita às condições e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração e àquelas previstas em regulamento. (BRASIL, 2000).

Como modelo indicativo dessa categoria de UC, a proposta aqui exposta pode espelhar-se ao *Monumento Natural da Gruta do Lago Azul*, localizada em Bonito-MS, por também tratar-se de um elemento espeleológico que a partir de sua criação, pela Portaria IMASUL nº 073 de 14 de julho de 2008, estabeleceram-se procedimentos para regularizar a atividade de visitação turística, na modalidade contemplativa, tal como propõe-se para a Caverna do Limoeiro.

Mais além disso, a proposta de Monumento Natural poderia estender-se num conjunto maior que não somente a área da Caverna do Limoeiro, mas num contexto territorial que abrangesse o patrimônio da Província Espeleológica Altamira-Itaituba. A exemplo disso, tem-se o *Monumento Natural do Conjunto Espeleológico do Morro da Pedreira*, situada na Região Administrativa de Sobradinho-DF (Decreto nº 31.758, de 02 de junho de 2010, DODF), um modelo que pode ser empregado igualmente à província. Ao mesmo tempo, nesse Monumento Natural foi incluída a Zona de Proteção do Patrimônio Natural – ZPPN, que tem as seguintes diretrizes específicas de uso:

- I - promover o desenvolvimento de pesquisas visando à proteção do patrimônio arqueológico, paleontológico e espeleológico;
- II - promover a prática de turismo ecológico;
- III - promover a recuperação da vegetação nas áreas de proteção das cavernas;
- IV - obedecer às diretrizes constantes no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/DF, para a Zona Rural de Uso Controlado II e Área Especial de Proteção de Lazer Ecológico;

Parágrafo único.

Nesta zona ficam proibidos:

- I - o parcelamento urbano ou rural;
- II - a extração mineral;
- III - qualquer uso que não esteja licenciado pelo órgão ambiental competente;
- IV - a exploração dos sítios arqueológicos, paleontológicos e espeleológicos existentes na ZPPN, por pessoas e/ou entidades não credenciadas e qualificadas, para retirada, guarda ou a manutenção de peças originárias desses locais;
- V - o desmatamento na faixa de 250m (duzentos e cinquenta metros) no entorno da projeção horizontal de proteção das cavernas;
- VI - a agricultura e a pecuária;
- VII - a prática de queimada. (DISTRITO FEDERAL, 2010).

Diferente ao que ocorre nas cavernas pesquisas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, o único item exposto no exemplo do Conjunto

Espeleológico do Morro da Pedreira não verificado, trata-se da ocorrência de sítios paleontológicos, o que não nega sua existência que pode vir a ser confirmada em caso de estudos futuros mais aprofundados.

### 7.3 Proposta de Zoneamento Ambiental Espeleológico

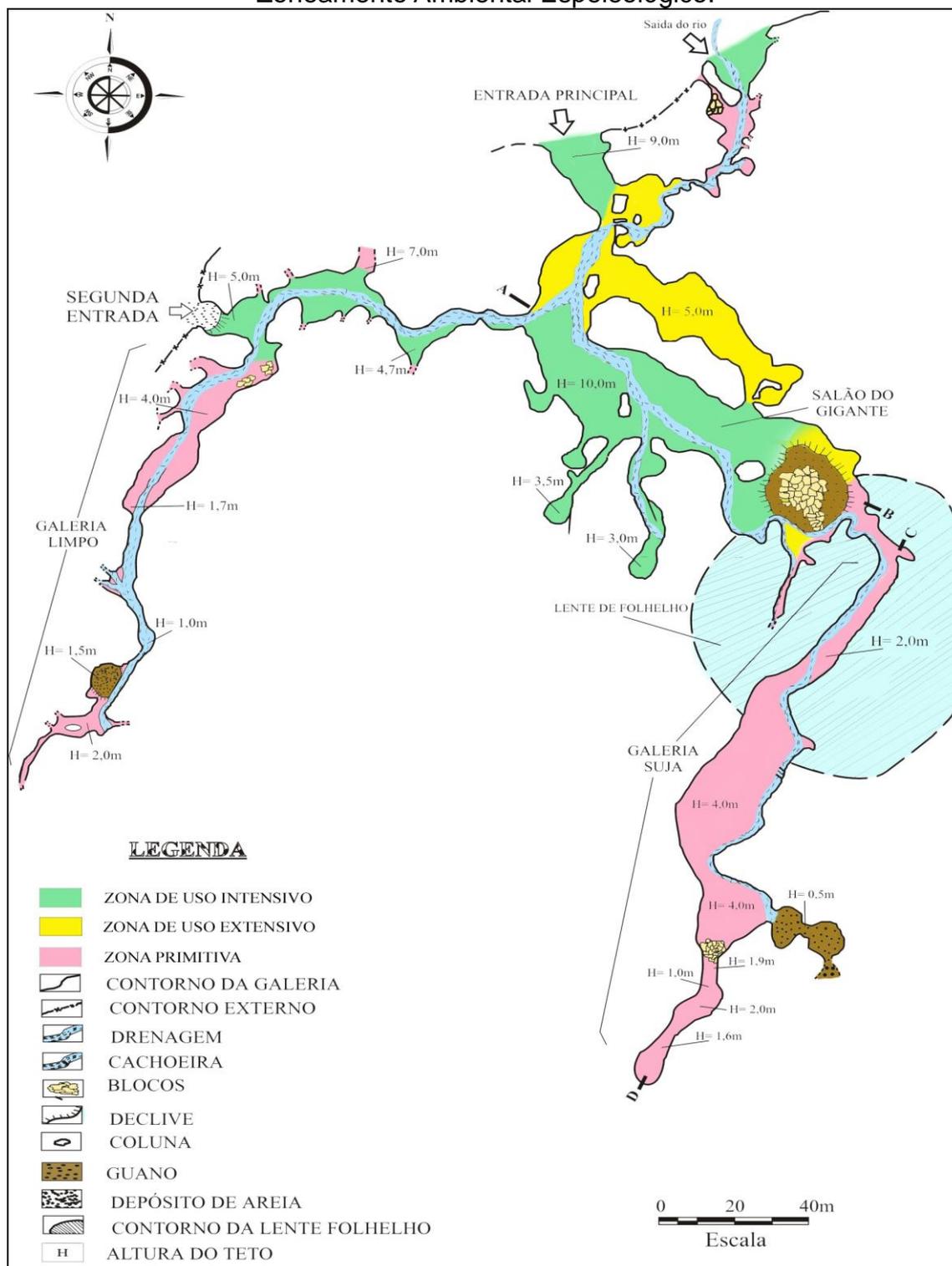
O Zoneamento Ambiental Espeleológico (ZAE) constitui uma das etapas necessárias na construção do PME, o qual realiza o ordenamento territorial das áreas pertencentes a cavidade natural subterrânea, através do estabelecimento de zonas com usos diferenciados de acordo com suas características ambientais. A ideia é aumentar a proteção ambiental, mas oportunizando a contemplação e, em alguns casos, a prática de atividades de lazer, educacional e científico em ambientes espeleológicos.

Considerando-se a possibilidade de visitação e as características geoecológicas conhecidas ao longo desta pesquisa, definiu-se uma proposta de zoneamento espeleológico para a Caverna do Limoeiro (Figura 80). As zonas foram definidas a partir dos modelos consultados (Caverna do Maroaga - AM e Gruta do Bom Sucesso – PR), em que os objetivos são semelhantes a presente proposta. Estes, por sua vez, foram baseados nos critérios de zoneamento propostos pelas *Diretrizes e orientações técnicas para a elaboração de Planos de Manejo Espeleológico (PME)*, documento elaborado pelo CECAV/ICMBio:

- a) Distribuição da fauna terrestre;
- b) Diversidade da fauna (número de espécies e de indivíduos);
- c) Ocorrência de espécies em extinção, em perigo de extinção, raras, indicadoras, endêmicas e frágeis;
- d) Manchas de guano, localização de focos de histoplasmose ou outros patogênicos;
- e) Peculiaridades geológicas, geomorfológicas ou mineralógicas;
- f) Fragilidade ou vulnerabilidade geotécnica;
- g) Estabilidade do substrato;
- h) Estado de conservação da caverna;
- i) Recursos hídricos significativos;
- j) Presença de sítios arqueológicos ou paleontológicos;
- k) Relevância histórico-cultural ou socioeconômica na área de estudo;
- l) Dimensão, morfologia ou valores paisagísticos;
- m) Grau de conservação da vegetação;
- n) Variabilidade ambiental (compartimentação que o relevo apresentar, em relação a altitudes e declividades);
- o) Vulnerabilidade ambiental;
- p) Potencial de visitação atual e proposta;
- q) Riscos ao visitante; e
- r) Presença de infraestrutura. (CEVAC, 2017)

A partir desses critérios, foram definidas três zonas para a Caverna do Limoeiro: Zona de Uso Intensivo; Zona de Uso Extensivo e Zona Primitiva (Figura 80).

Figura 80: Planta baixa da Caverna do Limoeiro com apresentação da proposta de Zoneamento Ambiental Espeleológico.



Zoneamento: elaborado por Luciana Freire; arte de Jhonata Ribeiro da Silva, 2017.  
Fonte da planta baixa: GEP, 2001.

### 7.3.1 Zona de Uso Intensivo

A Zona de Uso Intensivo, como o próprio nome já diz, é a área da caverna onde será permitido o uso para fins de visitação turística, sempre com o objetivo de estimular a conscientização e a educação ambiental, bem como compartilhar o conhecimento sobre os processos geológicos que a geraram.

É uma zona constituída por áreas naturais nas quais a intervenção humana é permitida, porém deve ser a menor possível. Na maioria dos planos de manejo propõe-se a instalação de benfeitorias de acesso, tais como passarelas, corrimãos e iluminação artificial. Contudo, na Caverna do Limoeiro é possível realizar a visitação sem a instalação destes equipamentos, sendo garantida a segurança do caminhar de seus visitantes com uso de capacetes e botas de borracha. Para evitar maiores interferências no interior e entorno da caverna, a iluminação artificial pode ser aplicada com uso de lanternas de mão ou inseridas no suporte do capacete (Figura 81).

Figura 81: Área da Caverna do Limoeiro, próxima da segunda entrada, onde seria permitida visitação do público com uso de equipamento de proteção individual.



Foto: Cesar Verissimo, maio/2015.

Importante frisar que não é porque nesta zona é permitida visitação, ainda que controlada, que não haja um ecossistema dependente daquele espaço e uma dinâmica geológica-geomorfológica ocorrendo constantemente. O ecossistema cavernícola e os fenômenos naturais detêm de grande valor científico, daí a

possibilidade de observação e conhecimento sobre a necessidade de conscientização sobre o uso sem maiores impactos.

A zona de uso intensivo da Caverna do Limoeiro constitui-se, inicialmente, pelas áreas da entrada principal, segunda entrada (Figura 82) e de saída do rio (que também pode ser reconhecida como uma terceira entrada), as quais constam de uma zona de pouca iluminação ou penumbra. Seguindo para o interior da caverna pela chamada segunda entrada, tem-se uma área afótica que seria destinada a visitação do público, sempre com acompanhamento de guias locais. Esta zona de uso intensivo estende-se junto ao rio até o Salão do Gigante, finalizando ao se deparar com o paredão que apresenta a lente de folhelho.

Figura 82: Ponto de visitação do público localizado próximo a segunda entrada da Caverna do Limoeiro.

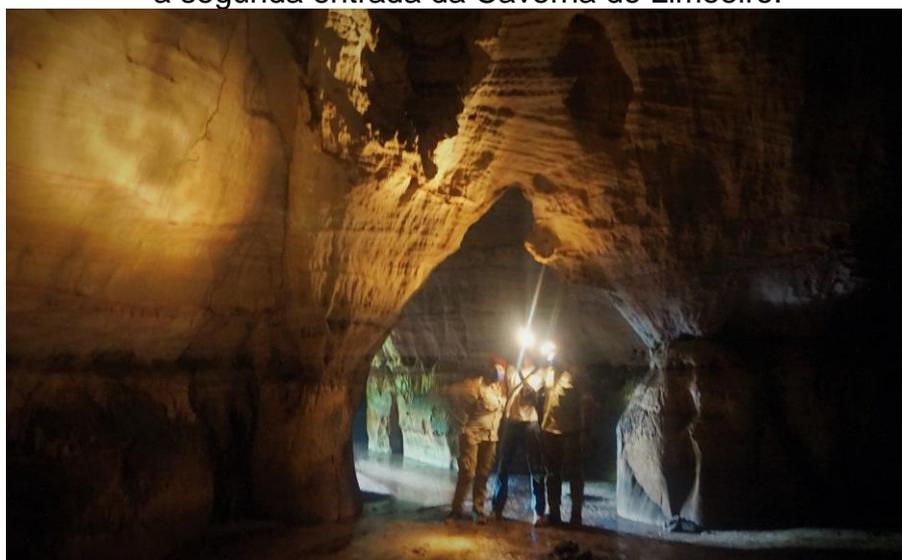


Foto: Luciana Freire, maio/2015.

Vale ressaltar que qualquer tipo de visitação deverá ser suspensa a partir do momento em que se constatarem riscos de escorregamento ou acidentes para os visitantes, sejam de ordem turística ou técnico-científica.

### 7.3.2 Zona de Uso Extensivo

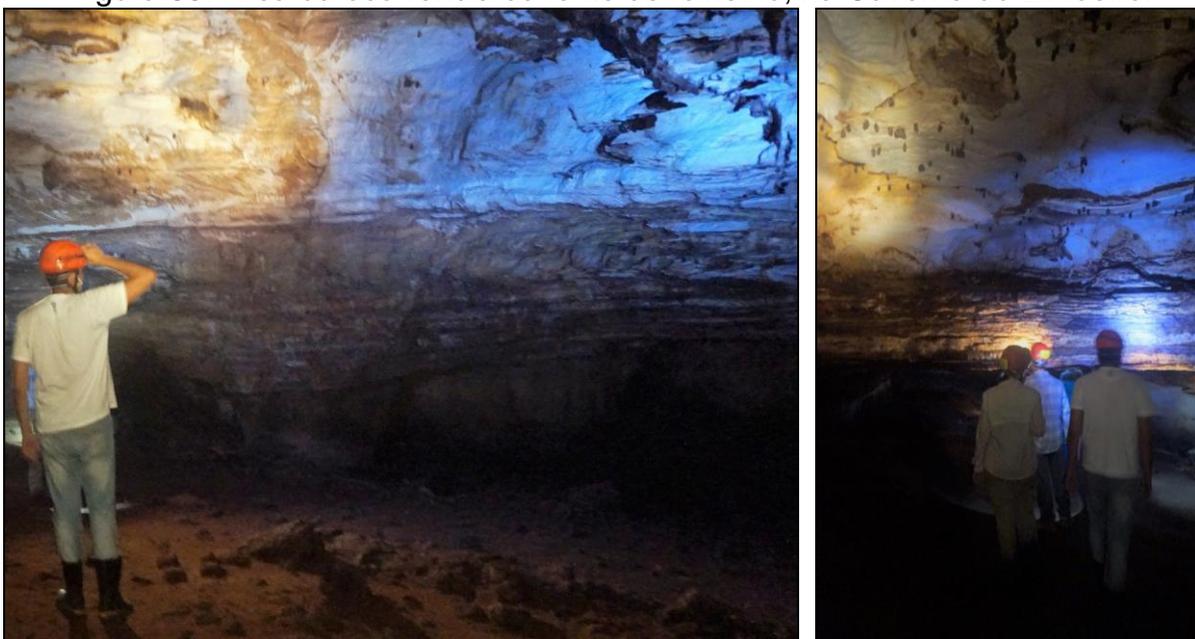
A Zona de Uso Extensivo corresponde a partes da caverna constituídas por áreas naturais, ainda que possam apresentar alterações antrópicas como forma de facilitar a acessibilidade, mesmo não sendo recomendado. Em alguns pontos, corresponde às áreas de transição entre a zona primitiva e a de uso intensivo, uma

vez que apresenta caminhamento e pontos interpretativos que venham a ser utilizados pela visitação pública.

Esta zona está mais voltada ao desenvolvimento de atividades educativas controladas, tais como práticas de campo de cursos técnicos e universitários, onde o ambiente é mantido o mais próximo possível do natural. Trata-se do ambiente em que é permitida a visitação, mesmo com o mínimo de impacto por parte do ser humano, destinada à estudos específicos, além de abranger uma área para manutenção e conservação do ecossistema cavernícola. Sendo assim, como é uma zona além do uso intensivo, seria permitido o acesso de grupos pré-agendados e com o mínimo de conhecimentos espeleológicos.

Dentro da Caverna do Limoeiro, algumas das áreas destinadas a compor a zona de uso extensivo apresentam feições de interesse do público especializado (formados por estudiosos e técnicos que possuem conhecimentos espeleológicos). Logo no final do Salão do Gigante, junto a um conjunto de blocos abatidos, tem-se uma das áreas de transição entre a zona primitiva e a de uso intensivo. Nesta zona, inicia-se um afloramento da lente de folhelho, espaço onde existe uma presença marcante de biodiversidade cavernícola (Figura 83).

Figura 83: Área da ocorrência da lente de folhelho, na Caverna do Limoeiro.



Fotos: Luciana Freire, maio/2015.

Outro ponto sugerido como zona de uso extensivo encontra-se próximo à entrada principal até o início do Salão Gigante. Na segunda entrada, a sua esquerda,

tem-se mais uma ocorrência desta zona, logo a sua direita. Interessante destacar que diante de uma análise espeleológica esta zona pode representar uma futura ampliação da zona de uso intensivo.

### 7.3.3 Zona Primitiva

A Zona Primitiva é uma área da caverna a ser destinada a preservação, sem que haja alteração ou intervenção do ser humano. Esse ambiente espeleológico reserva-se a permanência intocada dos elementos bióticos e físicos. Trata-se da zona destinada à manutenção da integridade dos seus elementos.

Justifica-se, contudo, a importância ambiental da Zona Primitiva, uma vez que as características naturais da caverna representam grande valor científico, tais como feições espeleológicas especiais e maior ocorrências de espécies endêmicas, principalmente as dependentes do meio afótico. Os processos mais significativos da dinâmica dos sistemas cársticos subterrâneos encontram-se nessa área, além de preservar as nascentes dos fluxos d'água.

A visitação é extremamente restrita, sendo destinada à pesquisa técnico-científica, com rara possibilidade para fins de roteiro turístico (visitação somente em baixa escala e intensidade, além de requerer segurança redobrada). Haja vista a maior ocorrência de espécies cavernícolas, são mais comuns depósitos de guano e insetos diversos, dentre os quais alguns podem ser desconhecidos quanto a sua nocividade.

Foram sugeridas para reserva da zona primitiva as áreas em que ocorrem:

- as nascentes dos fluxos hídricos subterrâneos;
- interrupção do mapeamento de sua planta baixa (ambientes sem passagem para o ser humano);
- expressivos depósitos de guano;
- maior parte do afloramento da lente de folhelho, localizado no início da Galeria Suja, área popularmente conhecida como Salão Vermelho, devido à forte cor avermelhada presente no teto (Figura 84);
- feições cársticas comuns ao arenito, tais como ocorrência de *scallops* (Figura 85);
- e maior agrupamento de comunidade de espécies biológicas (Figura 85).

Figura 84: Salão Vermelho com lente de folhelho, localizado no início da Galeria Suja da Caverna do Limoeiro. Detalhe da presença marcante de morcegos no teto.



Foto: Luciana Freire, agosto/2015.

Figura 85: Galeria Suja, com ocorrência de *scallops* (a esquerda) e presença de comunidade de amblipígeos (a direita).



Fotos: Luciana Freire, maio/2015.

As galerias Limpo e Suja apresentam-se totalmente preservadas, pois além de conterem as características descritas acima, ainda apresentam-se com maior risco a segurança do ser humano para o seu caminhar, por conta da passagem de fluxo d'água em quase toda extensão.

## 8 CONSIDERAÇÃO FINAIS

Considerando que a Espeleologia é uma atividade de múltiplo sentido (científico, esportivo, turístico e sociocultural), o objetivo principal dessa pesquisa foi o de realizar uma análise geocológica e diagnóstico ambiental integrado das paisagens naturais e culturais da Província Espeleológica Altamira-Itaituba (PA), tendo como produto final uma proposta de planejamento ambiental e geoconservação, tomando-se como exemplo a Caverna do Limoeiro e seu entorno.

A pesquisa revelou que, de fato, não há qualquer forma de conservação desses elementos da geodiversidade, além de destacar o desenvolvimento de carste não carbonático. As características geoespeleológicas da província confirmam o desenvolvimento de carste em arenitos, somando-se ainda um caso raro em folhelho. Os processos de formação das cavernas são bastante específicos, uma vez que estão condicionados pelo desgaste mecânico das rochas, iniciados pela arenitização. Tem-se, então, uma ampliação dos estudos sobre carste em rochas não carbonáticas, contribuindo para os estudos espeleológicos no Brasil.

Em termos gerais, a pesquisa apresenta uma discussão sobre a importância desses ambientes cársticos não carbonáticos como um elemento norteador para a necessidade em medidas espeleoconservationistas, vinculados ao conceito de geoconservação. Constatou-se que a área de influência da província espeleológica apresenta processos de degradação florestal, o que interfere na alimentação dos recursos hídricos subterrâneos, responsáveis pela dinâmica, evolução e esculturação do sistema cárstico.

A partir da análise e diagnóstico das cinco cavidades naturais subterrâneas selecionadas para essa pesquisa, pode-se ter uma noção do potencial ambiental e do seu estado de conservação para então propor ações para o planejamento ambiental, sempre enfatizando os valores da geodiversidade.

A fundamentação teórico-metodológica utilizada foi a Geoecologia das Paisagens, que trouxe todo o embasamento para a construção da proposta de planejamento ambiental, focalizado no conceito de geoconservação. Por meio da visão sistêmica e integrada, a Geoecologia das Paisagens possibilitou uma maior articulação entre os diferentes aspectos de formação e funcionamento da paisagem. Assim, a pesquisa dividiu-se em fases, que são características inerentes ao planejamento ambiental utilizadas pela Geoecologia: organização e inventário;

análise; diagnóstico; e prognóstico.

Os conceitos apresentados e discutidos no capítulo 2 forneceram as bases para compreender a paisagem espeleológica, a partir das definições de carste. Tem-se uma contextualização sobre a formação do relevo cárstico e uma discussão sobre uma nova abordagem voltada para carste em rochas não carbonáticas. Ainda que já haja uma discussão em desenvolvimento sobre o assunto, existem muitas controvérsias em si considerar o carste em arenitos. Nesse sentido, essa pesquisa reforça tal questão, corroborando com o tema de que as cavernas em rochas não carbonáticas (aqui exemplificadas em arenitos e folhelhos) também venham congregar ao conjunto de conhecimento sobre Geomorfologia Cárstica, mostrando então que o tema é muito mais diverso do que se pensa.

Outro tópico de destaque no capítulo 2 é a apresentação da geodiversidade aliada à proteção ambiental, configurada pelo conceito de geoconservação. O estudo da geodiversidade eleva a importância quando se trata de proteção dos elementos abióticos. As geociências desenvolveram um instrumento de análise da paisagem de forma integrada, a qual alia-se perfeitamente a metodologia da Geoecologia das Paisagens. Soma-se, ainda, a atribuição dos valores da geodiversidade para enfatizar a importância ambiental a fim de se estabelecer a proposta de geoconservação.

Na sequência, no capítulo 3 apresentou-se a fundamentação teórico-metodológica, em que se discutiram os percursos da pesquisa entre os conceitos e temas envolvidos pela Geoecologia das Paisagens. A metodologia foi aplicada para o entendimento da junção de conhecimentos integrados e interdisciplinares da área estudada, facilitando o descobrimento de causa e efeito das problemáticas paisagísticas.

A área compreendida pela região onde está inserida a Província Espeleológica Altamira-Itaituba foi apresentada em seus diferentes aspectos no capítulo 4. No contexto da geodinâmica de formação da paisagem, aferiu-se o conhecimento da estrutura geológica e geomorfológica da Bacia Sedimentar do Amazônia, base essencial no entendimento dos processos de desenvolvimento cárstico. A sequência evolutiva do relevo cárstico no arenito inicia-se pelo gradiente hidráulico e as zonas de percolação de água (planos de falhas/fraturas, acamamento, estratificação plano-paralela/cruzada, etc.), onde se desenvolvem fenômenos de dissolução por silícia. Na sequência, ocorre a perda de coesão do material arenoso,

levando a remoção de partículas mais finas, processo denominado *pipping*. A abertura de condutos e salões subterrâneos segue com colapsos e deslizamentos por desabamento de blocos.

No caso do carste em folhelho, presente unicamente na Gruta Leonardo da Vinci, ainda há muito que se estudar para sugerir teses sobre a sua espeleogênese. Aliás, tal assunto merece um estudo específico na área das Geociências a fim de se defender uma tese sobre sua formação, bem como confirmar casos semelhantes existente em outras partes do planeta. Contudo, tem-se como premissa que seu desenvolvimento está relacionado ao pacote de sedimentos enrijecidos com silicificação, resultante do metamorfismo de contato da intrusão magmática Diabásio Penatecaua.

Sobre a análise da bioespeleologia local foi constatado que, em meio a floresta Amazônica e unida a grande umidade e riqueza biológica desse bioma, as características sobre a biodiversidade não seriam diferentes para o interior das cavernas. Diante o isolamento condicionado pela pouca ou ausência de luz, a maior parte da fauna das cavernas da província espeleológica configura-se por espécies troglóxenas, que se utilizam desses ambientes como abrigo ou uma fase do ciclo de vida. Já as espécies troglóbias, totalmente confinadas ao isolamento, a biodiversidade é menor, sendo registrados mais frequentemente espécies de aranhas e grilos. A compreensão da vida que se instala nos ambientes hipógeos (sem luminosidade), bem como sua adaptação, é explicada pela Teoria da Biogeografia de Ilhas, um dos conceitos que foi abordado ainda no capítulo 2.

No que se refere aos registros arqueológicos da província, dentre as cinco cavernas analisadas apenas uma confirmou ocorrência de petroglifos em baixo relevo, com Figuras sem um significado específico. Trata-se do Abrigo da Gravura, que por estar localizado as margens do rio Xingu e com difícil acesso pelas margens, tem se mantido preservado. Dentre outros registros, foram encontrados alguns resquícios de atividades humanas do passado histórico da região: solos de coloração mais escura (evidência de fogueiras); material lítico e cacos de cerâmica; e um machado de pedra. Contudo, concluiu-se que não há confirmação sobre a origem dessas peças. Acredita-se que sejam de tribos indígenas que habitaram essas áreas.

A história socioeconômica da região foi retratada por várias políticas de incentivos de colonização por parte do governo federal, afim de se manter a

soberania sobre a região Amazônica brasileira. Foram momentos de grande devastação florestal, conflitos com indígenas e, mais recentemente, com a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Apesar de todos os esforços de ocupação, a região da Transamazônica e do Xingu apresenta baixa densidade demográfica, comparando-se com as demais regiões do Brasil. Mesmo assim, registra altos índices de impactos ambientais, o que afeta diretamente na dinâmica de desenvolvimento das cavernas.

Além dos impactos ambientais, citam-se os sérios problemas sociais, principalmente referentes à precária infraestrutura de atendimento à população (saúde, educação, formalização da atividade trabalhista, etc.), desigualdade social e concentração de renda. Faz-se necessário a inserção de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento socioeconômico da região, que inclusive tem potencialidades para atividades turísticas.

A partir da análise geoecológica e entendimento sobre as características geodinâmicas de formação do relevo, o capítulo 5 reuniu uma amostra de cinco cavidade naturais subterrâneas, dentre um número de 235 pertencentes a Província Espeleológica Altamira-Itaituba. Foram selecionadas as mais conhecidas na região, as que detém maior significado quanto a sua extensão, características específicas e viabilidade para atividades de lazer e turismo. Conclui-se, contudo, que a maior caverna em arenito do Brasil, a Caverna da Planaltina, não apresenta condições propícias para visitação, uma vez que é extremamente insalubre, por conter grande quantidade de elementos espeleológicos perigosos tais como: aspecto labiríntico; presença de estruturas mineralógicas cortantes em suas paredes teto; e acúmulo de guano ao solo.

A Caverna de Pedra da Cachoeira tem características interessantes e atrativas ao lazer e turismo, porém a dificuldade de acesso e impedimento por parte do proprietário da fazenda em que ela se encontra não colaboram para uma futura proposição de espeleoturismo. A caverna também é formada por estruturas de arenitos, com uma bela diversidade de espeleotemas entre os seus salões e galerias. A poucos metros está a cachoeira que denomina a caverna, com uma queda d'água de aproximadamente 8m de altura, em paredão de arenito.

Outra cavidade de destaque nesta pesquisa é o Abrigo da Gravura, que detém de 15 Figuras de inscrições rupestres em petroglifos de baixo relevo gravados no paredão de arenito. No início da pesquisa havia o receio desta cavidade

desaparecer com a conclusão do reservatório da obra da UHE Belo Monte, como era previsto no EIA do projeto. Contudo, em visita de campo realizada após esse evento, ficou confirmado que as água do rio Xingu não atingiram o abrigo, porém as dificuldades de acesso aumentaram, sendo agora somente realizada por navegação pelo rio.

A Gruta Leonardo da Vinci tem livre acesso, por uma trilha a parte de uma propriedade particular que não requer tanta ajuda de guias locais, ainda que seja o ideal. O atrativo ao local se deve pela presença de uma cachoeira sempre perene que está logo ao lado direito da gruta. A gruta não é muito visitada por conta de uma grande quantidade de baratas e outros insetos, além do forte odor de guano oriundo dos muito morcegos de ali habitam. A grande particularidade da Gruta Leonardo da Vinci é o fato de sua estrutura cárstica ser desenvolvida em rochas de folhelho. O levantamento de informações realizado por nesta pesquisa não encontrou outros registros dessa tipologia em cavernas mundo a fora.

Por fim, tem-se a Caverna do Limoeiro, dentre as quais apresentou as reais condições para visitação controlada aliada a geoconservação. Registrada com a segunda maior caverna da província espeleológica, a Caverna do Limoeiro é formada por arenitos, bem semelhantes das observadas nas cavernas da Planaltina e Pedra da Cachoeira. Parte da configuração endocárstica permite o caminhamento para visitantes, além de que a maior concentração de guano encontra-se nas galerias mais interiores. Junto a suas características espeleológicas, existem no seu entorno outros elementos que juntos compõe um potencial geoturístico.

O diagnóstico ambiental integrado foi apresentado no capítulo 6, o qual reuniu os principais problemas ambientais constatados, as limitações para o uso e as potencialidades. As informações levantadas serviram de base para proposição do planejamento ambiental e sobre formas de aproveitamento das paisagens e sua geodiversidade no desenvolvimento socioeconômico na região. Nesse sentido, permitiu-se o incremento de um conjunto de alternativas para a solução ou mitigação de impactos ambientais, em função da conservação ambiental.

As cavernas são locais que necessitam de cuidados quanto à segurança de seus visitantes no ambiente endoc rstico, haja vista os riscos gerados pelos processos erosivos dinâmicos, em que são imprevisíveis, por exemplo, os momentos em que possam ocorrer colapsos de blocos. Diante desse fato, não foram constatados Planos de Manejo para estas áreas, que exigem uma abordagem

especial, por tratarem de ambientes onde a dinâmica da paisagem é contínua e suas potencialidades contam com altos índices de fragilidade e vulnerabilidade ambiental.

Diante do diagnóstico, as cavernas da província são classificadas como ambientes moderadamente instáveis, com alta vulnerabilidade a ocupação. A classificação se deve primeiramente pela constatação de áreas desmatadas no entorno das cavernas, havendo possibilidade de desestabilização do equilíbrio dinâmico cárstico, o que intensifica os processos erosivos e diminui a carga hídrica, que é o principal motor impulsionador do desenvolvimento das feições e elementos espeleológicos. Além disso, estado de depredação das feições cársticas é ocorrência comum, principalmente na áreas mais próximas a entradas das cavernas, em que são visíveis pichações e rasuras em suas paredes e tetos decorrentes da visitação desordenada e sem conscientização ambiental. Infelizmente, tal ação torna a recuperação dos elementos espeleológicos irreversível, por se tratar de um impacto físico-ambiental permanente.

Nessa sequência de informações, conclui-se que são inexistentes políticas de proteção e preservação ambiental do patrimônio espeleológico, fazendo-se necessário pensar sobre propostas de geoconservação, uma vez que o escopo principal desses ambientes é a geodiversidade. Assim, o capítulo 7 apresenta uma proposta de planejamento ambiental para a Província Espeleológica Altamira-Itaituba, em que tomou como modelo a Caverna do Limoeiro. Trata-se da fase de prognóstico, que refere-se aos cenários idealizados para ordenar as formas de uso, por meio da elaboração de um plano ambiental e diante de um modelo com as perspectivas das atividades a serem desempenhadas, aliadas às alternativas de proteção ambiental. A proposta de planejamento ambiental e geoconservação desenvolveu-se por meio do levantamento do potencial geoturístico e das propostas de ações de proteção e gestão ambiental.

Os potenciais da geodiversidade local foram definidos por atrativos localizados no entorno da Caverna do Limoeiro, que são a Lagoa Azul e a Ponte de Pedra, todos pertencente ao município de Medicilândia. O cenário de visitação projetado para o potencial geoturístico conta com a característica do município ser o maior produtor de cacau da região Amazônica em conjunto com a presença da floresta nativa. Tal cenário traz como premissa ações necessárias ao planejamento de proteção, aliado importante para a manutenção dos elementos da geodiversidade, com foco principal na Caverna do Limoeiro.

Pelo estudo apresentado, a pesquisa revela a importância de se indicar a criação de uma Unidade de Conservação, haja vista a importância biológica, cultural (beleza cênica) e científica de relevância multidisciplinar. Dentre as categorias, recomenda-se o Monumento Natural, que está entre as unidades de proteção integral e que pode estabelecer procedimentos para regularizar a atividade de visitação turística, na modalidade contemplativa, tal como propõe-se para a Caverna do Limoeiro. A proposta de Monumento Natural pode ainda estender-se num conjunto maior, contemplando outras cavidades naturais subterrâneas de grande interesse do patrimônio da Província Espeleológica Altamira-Itaituba.

Uma das ferramentas necessárias a proposta de proteção de cavernas é o Plano de Manejo Espeleológico (PME). A pesquisa não construiu um PME, mas traz subsídios imprescindíveis para compor partes desse documento, tais como a análise geoecológica da província, o diagnóstico ambiental integrado e, por fim, o zoneamento ambiental espeleológico. Assim, para a Caverna do Limoeiro foram estabelecidas zonas com usos diferenciados de acordo com suas características ambientais: Zona de Uso Intensivo; Zona de Uso Extensivo e Zona Primitiva. A ideia é aumentar a proteção ambiental, mas oportunizando a contemplação e a prática de atividades de lazer, educacional e científico em ambientes espeleológicos.

À vista do exposto, uma das hipóteses apresentadas na tese é se a Geoecologia das Paisagens aplica-se a elaboração de propostas de planejamento ambiental em unidades espeleológicas. Contudo, baseados nos dados levantados, nas discussões realizadas e nos resultados gerados pela pesquisa, conclui-se que a análise geoecológica não contemplou, uma vez que faz-se necessário que fique definida uma área de gestão do território para que seja aplicada de forma eficaz.

Nesse sentido, os resultados da pesquisa revelaram que os estudos ambientais integrados foram importantes para a definição dos valores da geodiversidade, que indicaram os serviços ofertados pelos chamados *geossítios* a fim de se chegar ao modelo de geoconservação. Assim, espera-se que a pesquisa sirva de exemplo a ser aplicada em diferentes paisagens espeleológicas, e ainda outros lugares de geodiversidade marcante, a partir de alguns ajustes a realidade do objeto investigado. Tem-se aqui uma importante contribuição aos estudos espeleológicos na Amazônia, no âmbito dos estudos ambientais integrados.

## REFERÊNCIAS

AB´SABER, A. **Os Domínios de Natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo, SP: Ateliê Editorial, 2003.

\_\_\_\_\_. **A teoria dos refúgios**: Origem e significado. Revista do Instituto florestal, Edição especial, São Paulo, março de 1992.

ANDREYCHOUK, V.; DUBLYANSKY, Y; EZHOV, Y; LYSENIN, G. **Karst in the Earth's Crust**: its distribution and principal types. Poland: University of Silesia/ Ukrainian Academy of Sciences/ Tavrichesky National University-Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, 2009.

ARAÚJO, M. M. V; PINTO, K. J.; MENDES, F. O. A Usina de Belo Monte e os impactos nas terras indígenas. **Planeta Amazônia**: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas. n. 6, Macapá: 2014. p. 43-51.

ARBEX JÚNIOR, José. **"Terra sem povo", crime sem castigo**. In: TORRES, Maurício (org.). **Amazônia revelada: os descaminhos ao longo da BR-163**. Brasília: CNPq, 2005.

AULER, A. S. Karst Areas in Brazil and the Potential for Major Caves - An Overview. **Bol. Soc. Venezolana Espel.**, Caracas, 2012. Disponível em <[http://www2.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-77312002000100006&lng=es&nrm=iso](http://www2.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-77312002000100006&lng=es&nrm=iso)>. Acessado em 14 dez. 2012.

\_\_\_\_\_. **Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas** – Contextualização, Impactos Ambientais e Aspectos Turísticos. Relatório 01. Projeto BRA/01/039. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Executiva. 166pp; Brasília, DF. 2006.

\_\_\_\_\_. **Karst evolution and paleoclimate of eastern Brazil**. Tese (Ciências), Bristol: Faculty of Science, University of Bristol, 1999.

\_\_\_\_\_. **Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos – Pedro Leopoldo Karst, Brazil**. Dissertação de Mestrado (Ciências). Bowling Gren: Faculty of the Departamento de Geography and Geology, Western Kentucky, 1994.

AULER, A. S.; BASÍLIO, M. S. **Geologia da região a lesta de Santana do Riacho com ênfase ao estudo das feições cársticas**. Monografia de Graduação. Belo Horizonte: Instituto de Geociências da UFMG, 1988.

AULER, A; ZOGBI, L. **Espeleologia**: noções básicas. São Paulo: Redespéleo Brasil. 2005.

AULER, A. S.; RUBIOLI, E. BRANDI, R. (eds.) **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001.

BARBOSA, G. V. Notícia sobre o Karst na Mata de Pains. **Boletim Mineiro de Geografia**, Belo Horizonte, n.2 e 3, 1961. p.03-21

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/ MMA-Ministério do Meio Ambiente, 1996.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global** - esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo, SP: Instituto de Geografia – USP, 1972

BERTRAND, C; BERTRAND, G. o Geossistema: um espaço-tempo antropizado – esboço de uma temporalidade ambiental. In: BERTRAND, G; BERTRAND, C. **Uma Geografia Transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais: fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas e relevo cárstico e dômico**. Florianópolis, Editora da UFSC, 1994. 425p

BRANDÃO, I.L.; et al.. **Bioindicadores de impactos a ecossistemas cavernícolas: uma revisão**. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013. Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p.87-94. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe\\_087-094.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_087-094.pdf)>. Acesso em: 7 set. 2015.

BRANDT, W. **Espeleologia aplicada aos estudos de impacto ambiental**. In: Congresso de Espeleologia da América Latina e Caribe. Belo Horizonte: Anais..., Unicop, 1988. p.197-207.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **AAI – Avaliação Ambiental Integrada Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu**. Volumes I e II. São Paulo: Eletrobrás, 2009.

BRASIL, Câmara dos Deputados. **Decreto-Lei 1.106, de 17 de junho de 1970**. Cria o Programa de Integração Nacional, altera a legislação do imposto de renda das pessoas jurídicas na parte referente a incentivos fiscais e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/De1106.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/De1106.htm)> Acesso em: 4 ago. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 de Julho de 2000.

BRILHA J. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Palimage Editores, Viseu, 2005. 190p.

\_\_\_\_\_. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. Geoheritage, 2016.

CAJAIBA, R. L. Diagnóstico dos Impactos Ambientais Causados por Ações Antrópicas em Cavernas no Município de Uruará-Pa. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**. v. 6, n.3, p. 490-507, jul-dez, 2014.

CARRENO B., Rafael y URBANI, Franco. Observaciones Sobre Las Espeleotemas Del Sistema Roraima Sur . **Bol. Soc. Venezolana Espel.** [online]. 2004, vol.38, pp. 28-33.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de Paisagens: fundamentos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS (CECAV/ICMBIO). **II Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental.** Brasília: CECAV/ICMBio, 2008.

\_\_\_\_\_. **Diretrizes e Orientações Técnicas para a Elaboração de Planos de Manejo Espeleológico.** Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Orientacoes/Diretrizes\\_PME\\_sito\\_CECAV.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Orientacoes/Diretrizes_PME_sito_CECAV.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2017.

\_\_\_\_\_. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – Canie.** Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

CHABERT, C. & COURBON, P. **Atlas des Cavités non Calcaires du Monde.** Union Internationale de Spéléologie, 1997.

CHOPPY, J.; CHABERT, J.; CHAILLOUX, D. **Spéléologie: Du sport à la science.** Paris: Fédération Française de Spéléologie, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1980.

\_\_\_\_\_. **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo, SP: Hucitec / Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 347, de 10 de setembro de 2004. Institui o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas-CANIE, e estabelece, para fins de proteção ambiental das cavidades naturais subterrâneas, os procedimentos de uso e exploração do patrimônio espeleológico nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 set. 2004.

COX, C. B.; MOORE, P. D. **Biogeografia: uma abordagem ecológica e evolucionária.** Ed. 7. Tradução e revisão técnica Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CRESCENCIO, G. A Proto-História da Espeleologia na Amazônia. **Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia.** Ponta Grossa: SBE, 2011. p.299-305.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das Paisagens. In: JOÃO, X. S. J. **Geodiversidade do Estado do Pará.** Belém: CPRM, 2013.

DE PAULA, E. M.; SILVA, E. V.; GORAYEB, A. Percepção ambiental e dinâmica geoecológica: Premissas para o planejamento e gestão ambiental. **Sociedade &**

**Natureza**. Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 511-518, 2014.

DISTRITO FEDERAL. **Decreto nº 31.758, de 02 de junho de 2010**. Dispõe sobre a criação da Unidade de Conservação denominada Monumento Natural do Conjunto Espeleológico do Morro da Pedreira, 2010. Disponível em:

<[http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id\\_norma\\_consolidado=63168](http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id_norma_consolidado=63168)> Acesso em: 09 jan. 2017.

DONATO, C.R.; RIBEIRO, A.S. Caracterização dos impactos ambientais de cavernas do município de Laranjeiras, Sergipe. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 12, n. 40, p. 243 – 255, 2011.

ELETRONORTE. **Projeto Básico Ambiental: Usina Hidrelétrica Belo Monte**. Brasília: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE) e Leme Engenharia, 2011.

ELETROBRÁS. **Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental**. Brasília: Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), 2009.

FABRI, F. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Fatores e processos envolvidos no desenvolvimento de formas cársticas em rochas siliciclásticas em Minas Gerais, Brasil. **Revista Geografias**. Vol. 9, nº 1, UFMG: Belo Horizonte, 2013. p. 86-96.

FLEURY, L. C.; ALMEIDA, J. A Construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento. **Rev. Ambiente & Sociedade**. v. XVI, n. 4, São Paulo: 2013. p. 141-158.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa do Pará – FAPESPA.

**Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Região de Integração Xingu**.

Belém: Fapespa – Governo do Estado do Pará. Disponível em <

[http://seplan.pa.gov.br/ppasite/perfisregionais/Perfil\\_Regiao\\_Xingu.pdf](http://seplan.pa.gov.br/ppasite/perfisregionais/Perfil_Regiao_Xingu.pdf)>. Acesso em 15 nov. 2015.

FADESP – Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa. **EIA –RIMA UHE Belo Monte, Estudo do Meio Físico: Patrimônio Espeleológico – Relatório Final (Versão Preliminar I)**. Belém: Fadesp, 2001.

FARIAS, J. F. **Aplicabilidade da Geoecologia das Paisagens no Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Palmeira-Ceará/Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

FERRARI, J. A. 1990. **Interpretação de feições cársticas na região de Iraquara-Bahia**. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Geociências), Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1990.

FIGUEIREDO, Luiz Afonso Vaz de. **Cavernas como paisagens racionais e simbólicas: imaginário coletivo, narrativas visuais e representações da paisagem e das práticas espeleológicas**. 2010. 466 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos básicos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

FORD, D.C. & WILLIAMS, P. W. **Karst geomorphology and hydrology**. London: Urwin Hyman, 1989.

FREIRE, L. M. **Paisagens de Exceção**: problemas ambientais no município de Mulungu, Serra de Baturité – CE. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

FUNDAÇÃO VIVER, PRODUZIR E PRESERVAR – FVPP. **A história do movimento pelo desenvolvimento da Transamazônica e Xingu**. SDS/PDA/PPG7 – Brasília: MMA, 2006.

GLAZEK, J. Karst Related Phenomena – The Problem of Proper Nomenclature. **9<sup>th</sup> International Symposium on Pseudokarst (Abstracts)**. Institute of Nature Conservation. 2006. p. 47-48.

GONÇALVES, Carlos Walter Porto. **Os (Des) Caminhos do Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 2013.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 1<sup>a</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 434p.

\_\_\_\_\_. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2<sup>a</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. 495p.

GRUPO ESPELEOLÓGICO PARAENSE - GEP. **Patrimônio Espeleológico**: Cavernas Areníticas do Trecho Altamira- Itaituba, PA. Relatório Interno, inédito, 2001.

GUARESCHI, V. D. ; NUMMER, A. V. Relevos cársticos em rochas não calcárias: uma revisão de conceitos. In: FIGUEIREDO, L. C.; FIGUEIRÓ, A. S. (Org.). **Geografia do Rio Grande do Sul**: Temas em debate. Santa Maria: UFSM, 2010. p. 183-194.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de base e conceitos. Ed. 9. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

HARDT, R. **Da carstificação em arenitos**. Aproximação com o suporte de geotecnologias. À propos de la karsification dans les grès. Traitement par les technologies SIG. (Tese de Doutorado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2011.

\_\_\_\_\_. Carste em Arenito: considerações gerais. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia**. Januária: SBE, 2003, 163-167.

HARDT, R.; RODET, J. **O primocarte**. Um novo paradigma de carstificação e sua importância no carste não carbonático. Anais do 9<sup>o</sup> Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2013.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. dos A.F.; WILLEMS, L. Exemplos Brasileiros de Carste em Arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema**, v.20, n.1/2, 2009. p.07-23.

HARDT, R.; PINTO, S. A. F. Carste em Litologias não carbonáticas. **Revista**

**Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, 2009. v.10, n.2, p.99-105.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Ibama multa Norte Energia em R\$ 35 milhões por mortandade de peixes em Belo Monte**. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/ibama-multa-norte-energia-em-r-35-milhoes-por-mortandade-de-peixes-em-belo-monte>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **Roteiro Metodológico de Planejamento** – Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas. 1. ed. Brasília, 2002.

JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell, 1985.

KARMANN, I. Caracterização geral e aspectos genéticos da gruta arenítica “Refúgio do Maroaga”, AM-02. **Espeleo-Tema**. Campinas, v.15, p. 9-18, 1986.

KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. E. Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 13, 1979, p. 105-167.

KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, Sudeste do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências), São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

KLIMCHOUK, A. B. **Hypogene Speleogenesis**: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, 2007.

KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (ed.). **Speleogenesis** - Evolution of Karst Aquifers. Huntsville (USA): National Speleological Society, 2000.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: GUERRA, A. T. G.; e CUNHA, S. B. **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.309-329

LINO, C. F. **Cavernas**: o fascinante Brasil subterrâneo. Ed. 2. São Paulo: Gaia, 2009.

LINO, C. F.; ALLIEVI, J. **Cavernas Brasileiras**. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1980.

LOBO, H.A.S. Zoneamento ambiental espeleológico (ZAE): aproximação teórica e delimitação metodológica. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, v.2, n.2, 2009, p.113-129.

LOBO, H.A.S.; *et al.* Planejamento ambiental integrado e participativo na determinação da capacidade de carga turística provisória em cavernas. **Turismo e Paisagens Cársticas**, v.3, n.1, p.31-43, 2010.

LUNA, Denise. Cronologia - Facões, artistas e contradições cercam Belo Monte. **Reuters**, São Paulo, 2010. Disponível em <<http://br.reuters.com/article/domesticNews/idBRSPE63I0QO20100419?sp=true>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

MacARTHUR, R. H. e WILSON, E. O. . 1963. **An equilibrium theory of insular zoogeography**. *Evolution*. v.17, n. 04, 1963. p.373-387.

\_\_\_\_\_. **The theory of island Biogeography**. New Jersey, USA: Princeton University Press, Princeton, 1967.

MASSUQUETO, L.L.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S. Geossítio do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa, PR, Brasil): relevante exemplo de sistema cárstico nos arenitos da Formação Furnas. **Espeleo-Tema**: Campinas, SBE, v.22, n.1, 2011.

MARRA, R. J. C. **Espeleo Turismo**: Planejamento e Manejo de Cavernas. Brasília: Editora WD Ambiental, 2001.

\_\_\_\_\_. **Plano de manejo para cavernas turísticas**: procedimentos para elaboração e aplicabilidade. Brasília: UnB, 2000. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. 2000.

\_\_\_\_\_. **Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. 2008.

MELIC, A. De los jeroglíficos a los tebeos: Los Artrópodos em La Cultura. **Bol. S.E.A.**, nº 32, 2003. p. 325-357.

MELO, *et al.* Carste em Rochas Não-Carbonáticas: o exemplo dos arenitos da formação furnas, campos gerais do paraná/brasil e as implicações para a região. **Espeleo-Tema**. Campinas, v.22, n.1, p.81 – 97, 2011.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: A História de uma Procura. São Paulo, SP: Contexto, 2000.

MONTEIRO, F. A. D. **A Espeleologia e as cavernas no Ceará**: conhecimentos, proteção ambiental e panorama atual. 2014. 145 f. Dissertação de Mestrado (Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MORAIS, F.; ROCHA, S. Cavernas em arenito no planalto residual do Tocantins. **Espeleo-Tema**. Campinas, v.22, n.1, p. 127-137, 2011.

MORAIS, F.; SOUZA, L. B. Cavernas em arenito na porção Setentrional da Serra do Lajeado Estado do Tocantins, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.9 (2), p. 1-13, 2009.

MURIEL-CUNHA, J., *et al.* A fauna subterrânea e habitats na província espeleológica Altamira-Itaituba: A caverna planaltina revisitada 21 anos depois. In: **XXVIII Congresso Brasileiro de Zoologia, 2010**. Belém. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Zoologia, Belém: UFPA, 2010.

NASCIMENTO, M. A. L.; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo** – trinômio importante para a proteção do

patrimônio geológico. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

NASCIMENTO, M. A. L.; SCHOBENHAUS, C; MEDINA, A. I. M. Patrimônio Geológico: Turismo Sustentável. In: SILVA, C. R (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 147-162.

NORTE ENERGIA. **Relatório Técnico-Científico de Acervo Espeleológico**. Brasília: IBAMA/Norte Energia S/A/CEVAC, 2013.

OGDEN, A.E. **Pseudo karst caves of Arkansas**. Proc. of the Eughth International Cong. Spel., VOL. I & II, 1981. p.766-767.

PALMER, A. N. **Origin and Morphology of Limestone Caves**. Geological Society of America Bulletin, v. 103. 1991. p. 1-25.

\_\_\_\_\_. **Cave Geology**. Dayton, OH: Cave Books, 2007.

PEREIRA, E. e SILVA, E. de S. Da penumbra à escuridão - A arte rupestre das cavernas de Ruropólis, Pará, Amazônia, Brasil. In: **Rupestreweb**, Disponível em <<http://www.rupestreweb.info/cavernasruropolis.html>>. Acessado em .

PILÓ, L. B. Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, 2000. p. 88-102.

PILÓ, L. B. **A morfologia cárstica do baixo curso do rio Peruaçu, Januária-Itacarambi, MG**. Monografia de Graduação (Geografia), Belo Horizonte: Depto. Geografia, 1989.

\_\_\_\_\_. **Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú – Carste de Lagoa Santa, MG**. Tese de Doutorado (Geografia). São Paulo: Depto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1998.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, 2000. p. 88-102.

PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. PEREIRA, E. Cavernas em arenito da Província Espeleológica Altamira Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das Mãos (PA), Amazônia, Brasil. **Espeleo-Tema**. v.26, n.1, Campinas: SBE, 2015. p.5-18.

PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás Brasil. **Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe**. 1, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SBE, p.179-186, 1988.

PORTAL BRASIL. **Usina de Belo Monte inicia operação comercial**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/04/usina-de-belo-monte-inicia-operacao-comercial>>. Acesso em: 09 set. 2016.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais Volume 05: Folha SA22 Belém; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Ministério das Minas e Energia – MME/DNPM, Rio de Janeiro, 1974.

REBOLEIRA, Ana S. P. S.; OROMÍ, Pedro; GONÇALVES, Fernando. Biologia subterrânea em zonas cársticas portuguesas. **Revista do Núcleo de Espeleologia**, 2010. p. 22-31.

RITTER, L. M.; MORO, R. G. Epistemological bases of landscape ecology. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, vol. 3, n. 3: pp. 58-61, 2012.

RODRIGUES, Cleide. A Teoria Geossistêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia** n.14. São Paulo: USP, 2001. p. 69-77.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e Gestão Ambiental**: subsídios da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistemas. Fortaleza, CE: Editorial UFC, 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza, CE: Editorial UFC, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; LEAL, A. C. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: SILVA, E. V. da; RODRIGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. A. (org.). **Planejamento Ambiental de Bacias Hidrográficas** (Tomo 1) "Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. Fortaleza: Edições UFC, 2011.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Ed. Contexto, 1997.

SALLUM FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em Arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**. 37(3): 551-564. 2007.

SANTANA, A. B. A BR-163: "ocupar para não entregar", a política da ditadura militar para a ocupação do "vazio" Amazônico. In: **ANPUH – XXV Simpósio Nacional de História**, UFC: Fortaleza, 2009.

SANTANA, M. D. F. **Microbiologia em Cavernas Areníticas do Território Transamazônica-Xingu**. 63º REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 2011. Goiania, Anais... São Paulo: SBPC, 2011. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/resumos/resumos/4400.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SANTANA, M. D. F. *et al.* Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em plântulas na caverna da Planaltina, Brasil Novo-PA. In: **3º Congresso sobre Diversidade Microbiana da Amazônia e XII Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental (ENAMA), Manaus, 2010**. Anais do 3º Congresso sobre Diversidade Microbiana da Amazônia e XII Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental: UFAM, 2010.

SANTANA, M.D.F., *et al.* Aspectos da microbiota em duas cavernas de arenito da

região de Altamira-PA. In: **Encontro Amazônico de Agrárias (ENAAG)**, Belém,3, 2011. Anais do Encontro Amazônico de Agrárias: UFRA, 2011.

SANTOS, M. **Pensando o Espaço do Homem**. São Paulo, SP: Edusp, 2004.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

SANTOS, S. R. F. **Espeleogênese dos abrigos areníticos com registros arqueológicos no Centro-Norte Catarinense**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2006.

SASOWSKY, I. D.; MYLROIE, J. **Studies of Cave Sediments**. Physical and Chemical Records of Paleoclimate. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, 2003.

SAUER, C. O. A Morfologia da Paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (org.) **Paisagem, Tempo e Cultura**. Rio de Janeiro, RJ: EdUERJ, 2004, pp. 12-74.

SCALEANTE, J.A.B. **Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

SENDRA, A.; REBOLEIRA, A. S P. S. Extensión y límites del ecosistema subterráneo. **Boletín nº 9. SEDECK**, año 2013, Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst, 2013.

SCHNEIDER, et al. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural**. Brasília: Banco Mundial; Belém: Imazon, 2000.

SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. da (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. v.1. 748 p.

SILVA, M. L. N; NASCIMENTO, M. A. L. Os Valores da Geodiversidade de Acordo com os Serviços Ecossistêmicos Sensu Murray Gray Aplicados a Estudos In Situ na Cidade do Natal (RN). **Caderno de Geografia**. Belo Horizonte, v.26, n. 2, p. 338-354, 2016.

SIMMERT, H. What is Pseudokarst? In: **Proceedings of the 11th International Symposium on Pseudokarst**. Saupsdorf – Saxon Switzerland, Germany: UIS, 2010. p.97-100.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Published electronically on the Tasmanin Parks & Wildlife Service web site. 3. ed. Set, 2002. 79p.

Shaw T. **History of Cave Science**. 2nd. Sydney: Ed.- Sydney Speleological. Soc., 1992.

SILVA, C. R. *et. al.* Aplicações Múltiplas do Conhecimento da Geodiversidade. In: SILVA, C. R (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 181-204.

SILVA, M. L. N. da. **Geodiversidade da cidade do Natal (RN):** valores, classificações e ameaças. 2016. 170 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SOBRAL, I.S.; *et al.* Avaliação dos impactos ambientais no Parque Nacional Serra de Itabaiana – SE. **Caminhos da Geografia**, v.8. n. 24, p.102-110, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA - SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil.** Disponível em <<http://cnc.cavernas.org.br/cnc/Stats.aspx>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L. C.; SOUZA, M. J. N.; MORAES, J. O. **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará.** Fortaleza: FUNECE, 2000, p. 6-104.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre.** São Paulo: Instituto de Geografia USP, 1978.

\_\_\_\_\_. **O estudo de geossistemas.** São Paulo: Instituto de Geografia USP, 1977.

SPOLADORE, A. A **Geologia e a Geoespeleologia como instrumentos de planejamento para o desenvolvimento do turismo** - o caso de São Jerônimo da Serra / PR. Tese de Doutorado. UNESP / Campus de Rio Claro, SP. 2006.

SPOLADORE, A.; COTTAS, L. R. Ornamentos de cavernas areníticas. **Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia.** Ouro Preto – MG. Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2007.

STOKES, T; GRIFFITHS, P; RAMSEY, C. Karst Geomorphology, Hydrology, and Management. In: PIKE, R. G. et al. (editors). **Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia.** Volume 1 of 2. B.C. Min. For. Range, For. Sci. Prog., Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, B.C. Land Manag. Handb, 2010.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais.** São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

TRAJANO, Eleonora; ANDRADE, Renata de. Biologia Subterrânea. In: AULER, Augusto; ZOGBI, Leda. **Espeleologia – noções básicas.** São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005, pp. 25-32.

TRAJANO, E.; GNASPINI-NETTO, P. **Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos taxons.** Rev. Bras. Zool. [online]. 1990, vol.7, n.3, pp. 383-407.

TRAVASSOS, L. E. P. Espeleologia, Carstologia e a Pesquisa Científica. **Revista Territorium Terram.** v. 02, n. 04, 2014. p. 2-14.

TRAVASSOS, L. E. P; RODRIGUES, B. D; MOTTA, A. R. S. **Caverna Das Mãos, Rurópolis, Pará:** importante exemplo brasileiro de arte rupestre em zona afótica. **RA'E GA**, 28, 2013. p.226-241.

TRICART, J. O Karts das vizinhanças Setentrionais de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 4, 1956. p. 03-20.

\_\_\_\_\_. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, SUPREN, 1977.

UMBUZEIRO, A. U. B; UMBUZEIRO, U. M. **Altamira e sua História**. Ed.4, Ponto Press: Belém, 2012.

URBAN, J., OTESKA-BUDZYN, J. **Geodiversity of pseudokarst caves as the reason for their scientific importance and motive of protection**. *Geologica Balcanica*, 28, 3-4, Sofia, 1998. p. 163-166.

VASQUES, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (Orgs.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

VERISSIMO, C. U. V.; SPOLADORE, A. Gruta do Fazendão (SP-170): considerações geológicas e genéticas. **Espeleo-Tema**, SBE, v. 17, p. 7-17, 1994.

WERNIK, E.; PASTORE, E. R. B.; PIRES NETO, A. Cavernas em arenito. **Notícia Geomorfológica**, 13(26): 55-67, 1976.

WHITE, W. B. Fifty years of karst hydrology and hydrogeology: 1953-2003. In: HARMON; R. S; WICKS, C. M (ed.). **Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology, and Geochemistry** - A Tribute Volume to Derek C. Ford and William B. White. Boulder: The Geological Society of America, 2006.

WHITE, W. B. **Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains**. New York: Oxford University Press, 1988.

YOUNGER, P. L. ; STUNELL, J. M. Karst and pseudokarst : An artificial distinction ? In : Brown, A.G. (ed.). **Geomorphology and Groundwater**. John Wiley & Sons, 1995. p. 121-142.

ZALÁN, P. V. Evolução Fanerozóica das Bacias Sedimentares Brasileiras. Separata de MANTESSO NETO, V. et al. **Geologia do Continente Sul Americano**. São Paulo: BECA Produções Culturais, 2004, p. 593-613.