



TESOUROS DA TERRA

DESCOBRINDO A GEODIVERSIDADE
NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS FERRUGINOSOS
E NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS – PA

TESOUROS DA TERRA

DESCOBRINDO A GEODIVERSIDADE
NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS FERRUGINOSOS
E NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS - PA



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Ministra
MARINA SILVA

Secretário-Executivo
JOÃO PAULO CAPOBIANCO

Secretária Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais
RITA DA CÁSSIA GUIMARÃES MESQUITA

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Presidente
MAURO PIRES

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
MARCELO MARCELINO DE OLIVEIRA

Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
JOCY BRANDÃO CRUZ

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
DIRETORIA DE PESQUISA, AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS

TESOUROS DA TERRA

DESCOBRINDO A GEODIVERSIDADE
NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS FERRUGINOSOS
E NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS – PA

AUTORES

Darcy José dos Santos
Luiz Eduardo Panisset Travassos
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Mauro Gomes



Brasília, 2025

©ICMBio 2025.
©dos autores 2025.

TÍTULO

Descobrimos a geodiversidade no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e na Floresta Nacional de Carajás - PA

AUTORES

Darcy José dos Santos
Luiz Eduardo Panisset Travassos
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Mauro Gomes

EDITORACÃO

Javiera de la Fuente C. (Editora IABS)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMACÃO

Javiera de la Fuente C. (Editora IABS)

ILUSTRAÇÕES E FOTOS

Equipe do projeto

REVISÃO TEXTUAL

Lorene Lima

Tesouros da terra [livro eletrônico] : descobrimos a geodiversidade no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e na Floresta Nacional de Carajás - PA / Darcy José dos Santos...[et al.] ; organização Darcy José dos Santos. -- Brasília, DF : Instituto Chico Mendes - ICMBio, 2025. PDF

Outros autores: Luiz Eduardo Panisset Travassos, Úrsula de Azevedo Ruchkys, Mauro Gomes.

ISBN 978-65-5693-119-7

1. Cavernas - Ecologia 2. Espeleologia 3. Educação ambiental 4. Geodiversidade - Brasil 5. Meio ambiente - Conservação e Proteção I. Santos, Darcy José dos. II. Travassos, Luiz Eduardo Panisset. III. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. IV. Gomes, Mauro. V. Santos, Darcy José dos.

25-249828

CDD-551.4470981

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil : Espeleologia 551.4470981

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

A reprodução total ou parcial desta obra é permitida desde que citada a fonte.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

Rodovia BR 450, km 8,5, via Epia, Parque Nacional de Brasília

CEP 70635-800 - Brasília/DF - Tel: (61) 2028-9792

<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>

Termo de compromisso

Coordenação Executiva

Gestão Operacional



O projeto "Valores e usos da Geodiversidade em parques nacionais considerando sua contribuição na conservação e valorização do patrimônio espeleológico" foi contemplado por meio do TCCE ICMBio/Ferro Puro nº. 1/2020. O termo de compromisso de compensação espeleológica foi firmado entre a Mineração Ferro Puro e o Instituto Chico Mendes de Conservação para a Biodiversidade (ICMBio), com gestão operacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS).

O nosso planeta tem cerca de 4,6 bilhões de anos.
Seus momentos importantes estão impressos nas rochas,
nos vales, nas montanhas, nas cavernas.

O Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e a
Floresta Nacional de Carajás contêm algumas páginas
dessa incrível história e, se tivermos um olhar atento,
consequiremos conhecê-la.

A seguir, elaboramos alguns capítulos que podem te
ajudar a embarcar nessa viagem.

Coordenação



Parceiro executor



Apoio



Gestão Operacional





SUMÁRIO

Floresta Nacional de Carajás e Parque Nacional dos Campos Ferruginosos	8
Mas, o que é Geodiversidade?	10
A canga.....	16
Cavernas.....	18
Visitando as grutas Guarita e Mapinguari	28
Gruta da Guarita.....	31
Gruta do Mapinguari.....	32
Gruta da Dolina	37
Lagoa de N1.....	38
Lagoa da Trilha da Mata.....	38
Mirante de N4	40
Lagoas da Serra da Bocaina.....	42
Gruta do Pulpito	44
Serviços Ecossistêmicos	46
Agradecimentos	50
Figuras	51
Para saber mais	53

Floresta Nacional de CARAJÁS e Parque Nacional dos CAMPOS FERRUGINOSOS



A Floresta Nacional de Carajás (Flona Carajás) abrange parte dos municípios de Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás e Parauapebas. Possui área de 411.948,87 hectares, composta principalmente por floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta e campos ferruginosos. Entre os objetivos de sua criação está o de conciliar a conservação de seus atributos ambientais e a exploração mineral. A Flona abriga uma das maiores reservas minerais do mundo, com destaque para o minério de ferro.



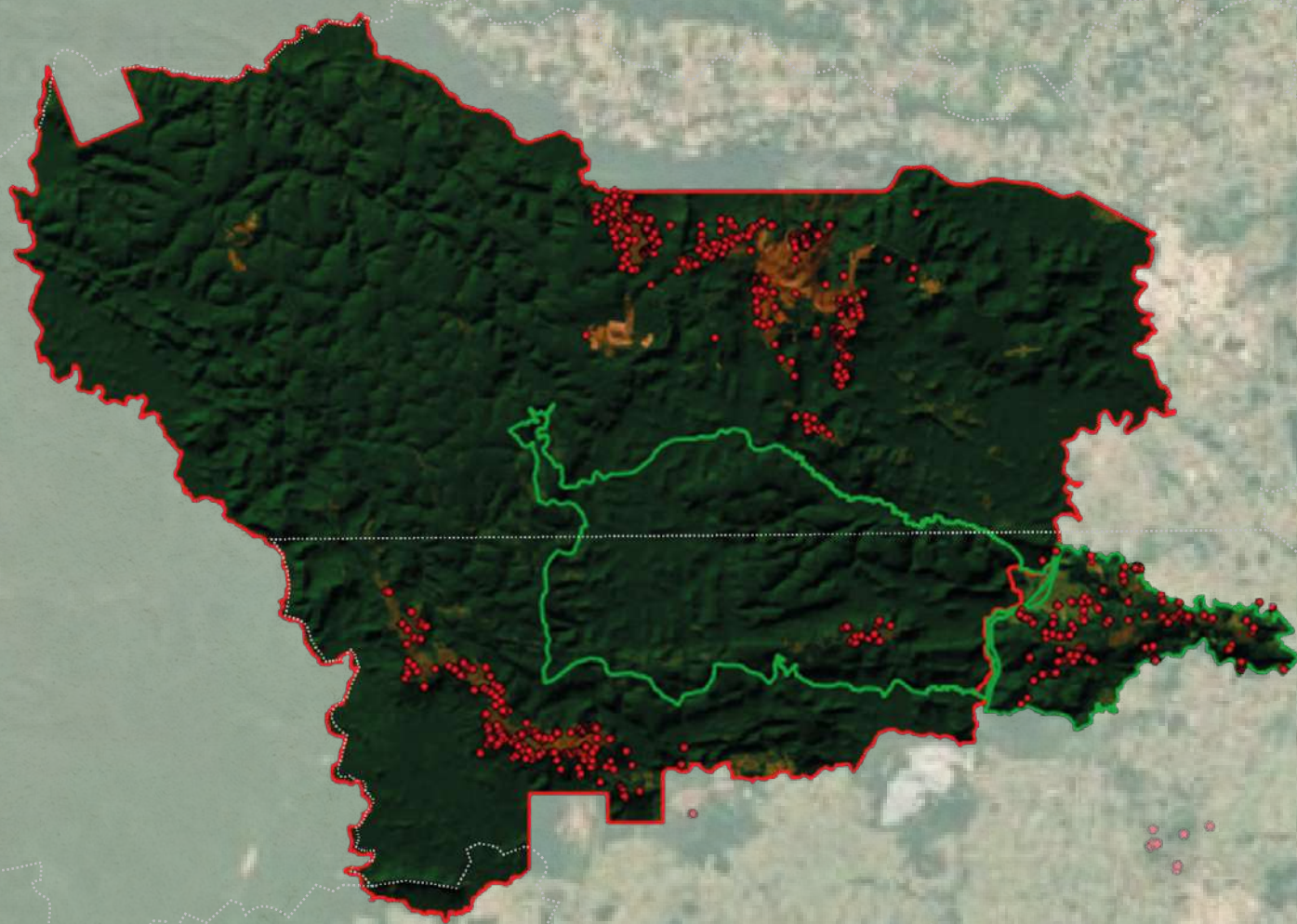
O Parna dos Campos Ferruginosos (PNCF) abrange parte dos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas, estando parcialmente sobreposto à Flona de Carajás. Possui área 79.029 hectares divididos em duas partes. Entre os objetivos de sua criação estão a proteção do patrimônio espeleológico e da vegetação de campos rupestres ferruginosos, o desenvolvimento de atividades de recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico.



O patrimônio espeleológico da Flona e do PNCF conta com cerca de 1600 cavernas conhecidas, de acordo com dados do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE).

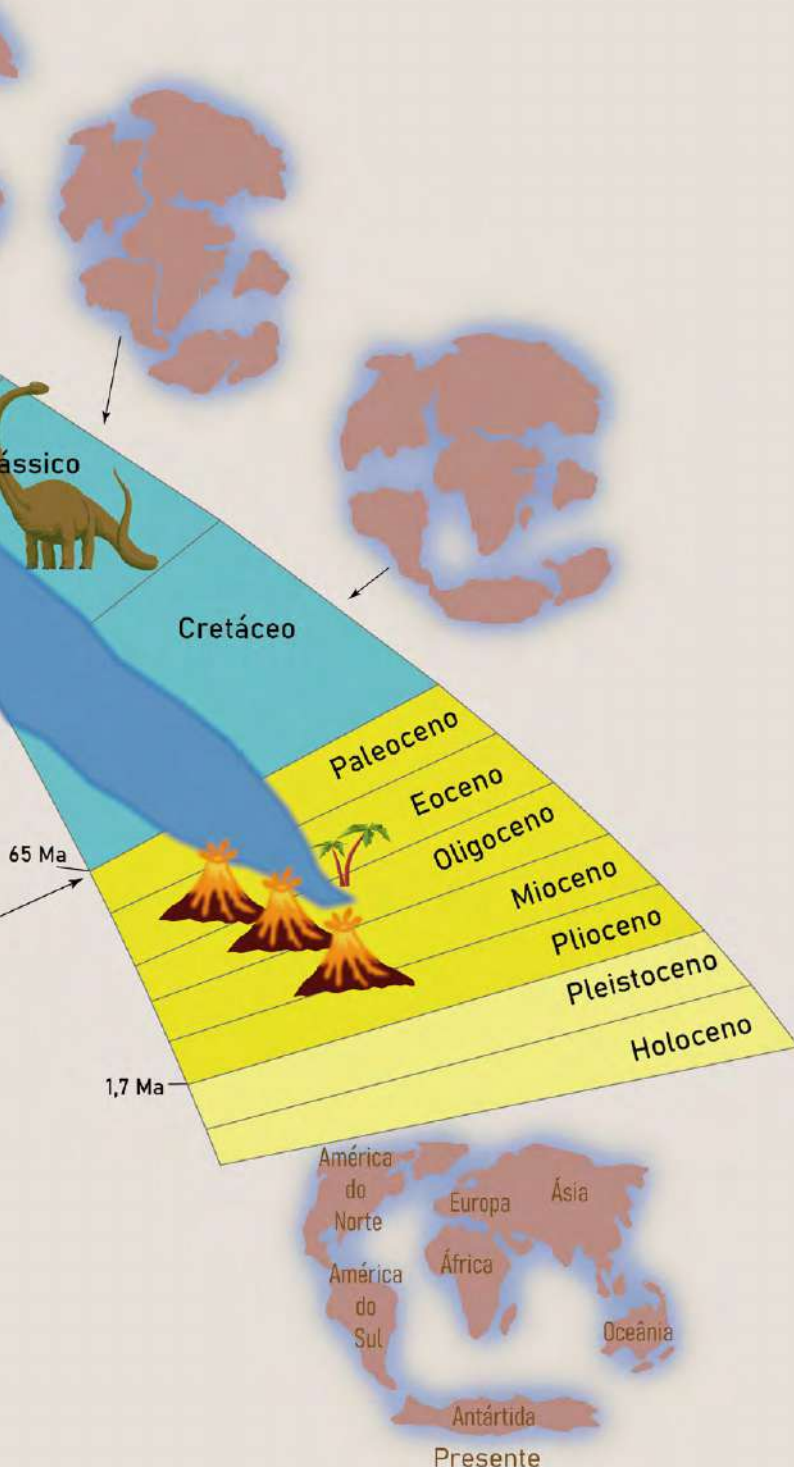
O patrimônio espeleológico juntamente com outros elementos abióticos integra a rica geodiversidade dessas unidades de conservação.

Situada no sudeste do Pará, a região possui seis unidades de conservação e uma terra indígena que, juntas, compõem o mosaico de áreas protegidas de Carajás. Além da Flona de Carajás e do Parna dos Campos Ferruginosos, fazem parte do mosaico a Área de Proteção Ambiental (APA) do Igarapé Gelado, Flona Tapirapé Aquirí, Reserva Biológica (REBIO) do Tapirapé, Flona Itacaiúnas e Terra Indígena Xicrin do Cateté.



Mas, o que é GEODIVERSIDADE?





A ciência estima que a Terra tenha aproximadamente 4,6 bilhões de anos. Contudo, nosso planeta não foi sempre como o conhecemos hoje. Ao longo de sua evolução, a Terra passou por constantes transformações.

A crosta do planeta está segmentada em placas tectônicas. Essas placas podem ser constituídas por crosta oceânica, continental ou por parte oceânica e continental que se movimentam, emergem, submergem, afastando-se ou se aproximando, por vezes colidindo umas com as outras.

Continentes são formados e transformados, oceanos são abertos e modificados. Montanhas se elevam, rios esculpem vales, vulcões se tornam ativos.

Neste processo, os minerais e rochas são formados, transformados, novamente fundidos, outros surgem, em escalas de tempo dificilmente observáveis pelo olhar humano.

Essa longa e contínua transformação deixa marcas que nos permitem decifrar a história evolutiva de nosso planeta, como se fosse um livro aberto.

Toda a diversidade natural destes elementos abióticos, sejam feições e processos, compõe a geodiversidade.

A geodiversidade e a biodiversidade, elementos essenciais do ambiente natural, estão intrinsecamente conectadas. Portanto, podemos afirmar que a conservação bem-sucedida da natureza requer uma abordagem abrangente que integre tanto a geoconservação quanto a bioconservação.

O que a geodiversidade do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e da Floresta Nacional de Carajás têm a nos contar sobre a história da Terra?

Muitos tipos de rocha ocorrem na região de Carajás e cada uma conta parte da história da Terra. Nesta cartilha, vamos conhecer um pouco mais sobre a geodiversidade associada às rochas ferruginosas.

As duas unidades de conservação guardam rochas em formações ferríferas onde estão registrados bilhões de anos da história do nosso planeta. Suas paisagens guardam algumas das formas de relevo mais antigas da Terra.

Condições muito específicas relacionadas a um determinado tempo da evolução do planeta foram responsáveis pela presença dos tipos de rochas nessas unidades de conservação. Essas rochas são consideradas importantes marcadores paleoambientais, pois registraram a transição entre dois grandes capítulos geológicos (Eons) da Terra, chamados Arqueano e Proterozóico.

No início da história da Terra, nosso planeta era como uma bola incandescente. Com o passar do tempo geológico, foi se resfriando e consolidando. O magma ou lava da superfície foi se transformando em rochas sólidas.

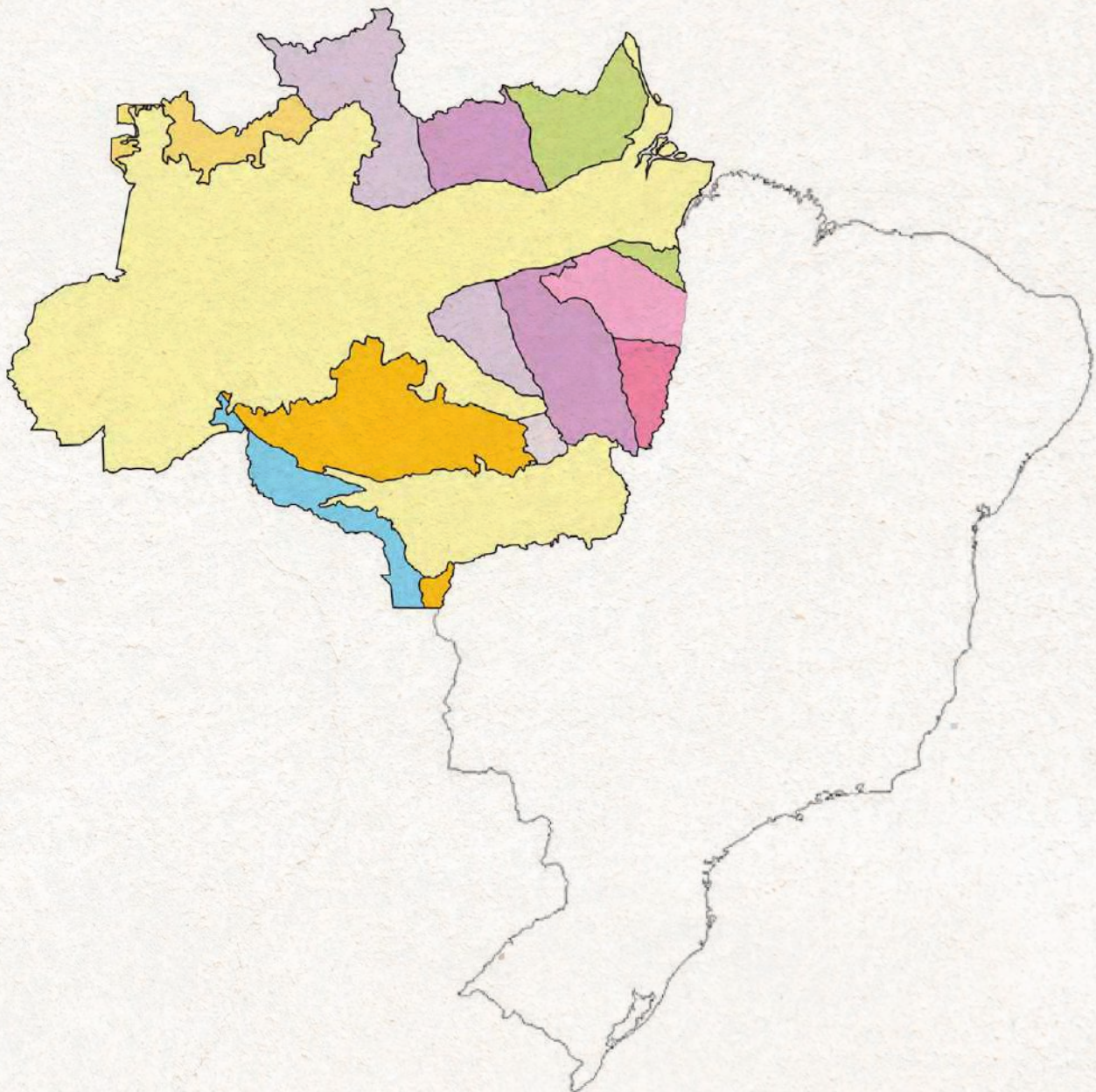
Submetidas à forte pressão e temperaturas extremas durante milhares de anos, essas rochas foram se aglutinando, tornando-se maiores, mais espessas, sólidas e estáveis. Essas estruturas geológicas mais antigas formadas na litosfera são chamadas crátons. A Flona e o Parna estão inseridos no contexto geológico do Cráton Amazônico.

Esse Cráton teve sua estrutura cristalina (núcleo) consolidada há aproximadamente 2,83 bilhões de anos, no Eon Arqueano.

Os geólogos subdividem os crátons em partes, de acordo com períodos e características de sua evolução, chamadas de províncias tectônicas ou geocronológicas.

As unidades de conservação estão localizadas na Província Mineral de Carajás, que abriga importantes depósitos minerais, especialmente de ferro, ouro, cobre, manganês, molibdênio e níquel, constituindo a mais expressiva província mineral do país. Esses minerais foram depositados na Bacia Carajás.

Províncias Geológicas Cráton Amazônico



Coberturas Fanerozóicas

PROTEROZÓICO

- Sansás (Mesoproterozóico-Neoproterozóico)
- Rio Negro (Paleoproterozóico-Mesoproterozóico)
- Rondônia-Juruena (Paleoproterozóico)
- Tapajós-Parima (Paleoproterozóico)
- Transamazonas (Paleoproterozóico)
- Amazônia Central (Paleoproterozóico)

ARQUEANO

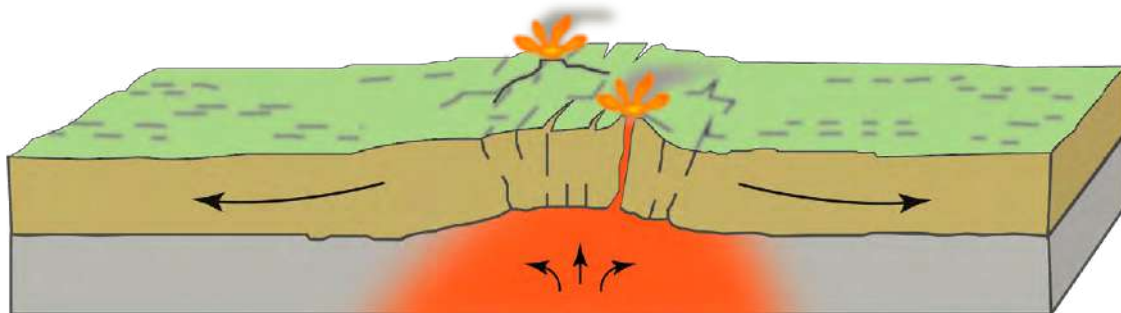
- Carajás (Neoarqueano)
- Carajás (Mesoarqueano)

BACIA CARAJÁS

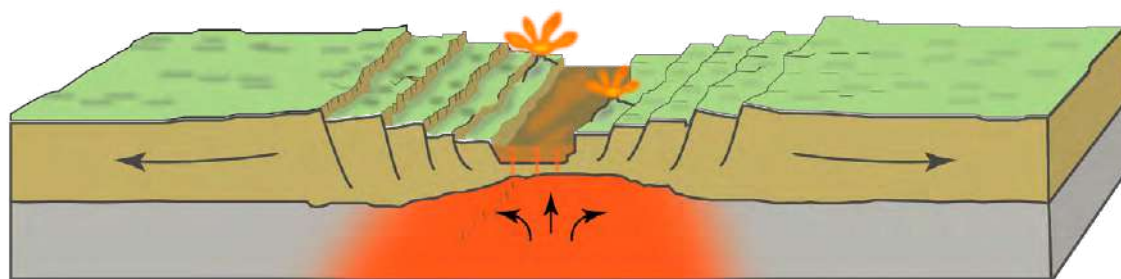
Uma bacia pode ser definida como uma área que apresenta depressões de relevo causadas por processos de subsidência.

Para a formação da Bacia Carajás, forças atuantes em sentidos opostos levaram à ruptura da crosta em um processo chamado rifte continental.

Calor vindo do manto da terra começou a soerguer a crosta, causando falhas.

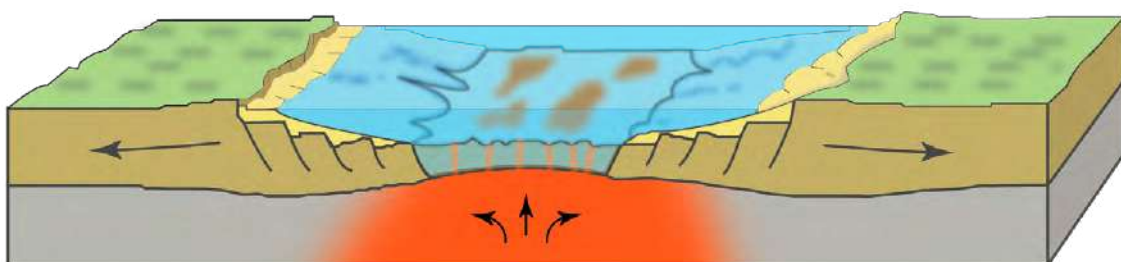


Com a extensão da crosta, as falhas cresceram, gerando vales profundos.



Com a ruptura da crosta, a Bacia Carajás foi formada e a água salgada dos oceanos entrou, originando um mar. Muitos tipos de sedimentos foram depositados na Bacia, dando origem a diferentes tipos de rocha. Vamos destacar uma dessas rochas, relacionada ao ferro.

O ferro, oriundo de camadas profundas do planeta, foi liberado no mar devido à atividade vulcânica ou hidrotermal. A princípio, o ferro permaneceu dissolvido. Para formar óxido de ferro e ser depositado no fundo do mar, seria necessário que existisse oxigênio disponível. Porém, nesse momento da evolução de nosso planeta, não havia oxigênio livre.

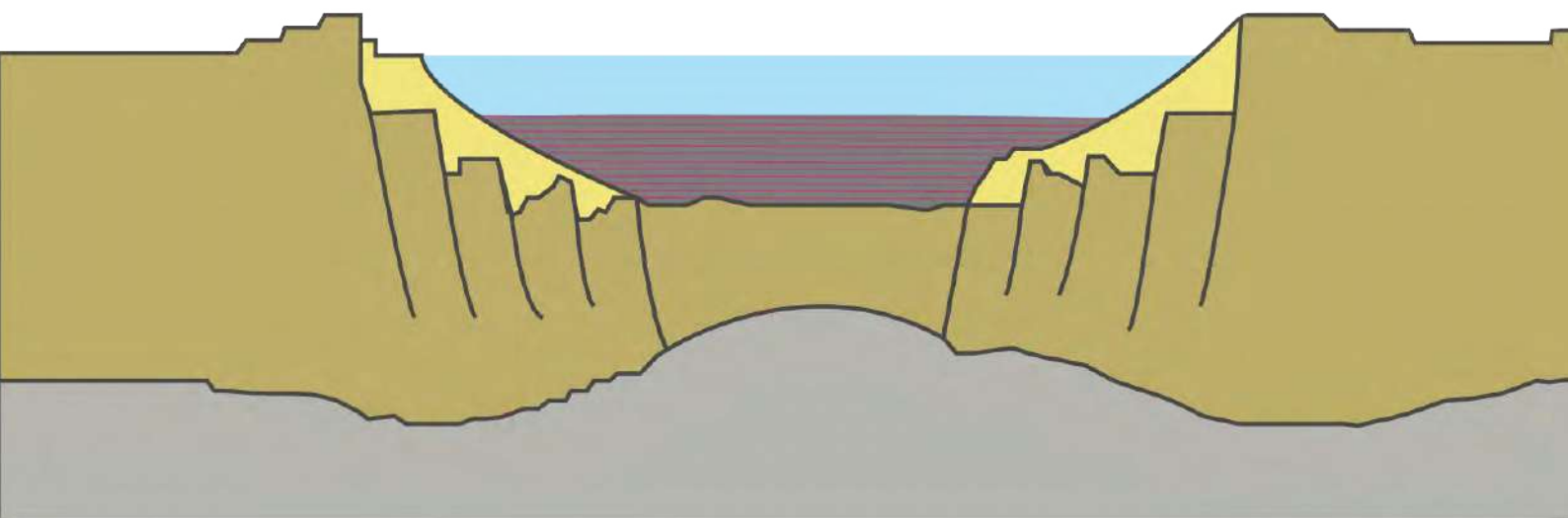


Posteriormente, formas de vida incipientes começaram a liberar oxigênio na água por meio da fotossíntese. O oxigênio reagiu com o ferro formando óxidos de ferro, que são insolúveis e, por isso, foram depositados no fundo.

Outros micro-organismos presentes no mar podem ter participado do processo por meio de

oxidação metabólica de ferro. Isso quer dizer que eles se alimentavam de ferro e, durante seu metabolismo, o ferro ingerido reagiu com oxigênio, formando também óxido de ferro.

Óxidos de silício (jaspe) foram depositados em camadas intercaladas com o óxido de ferro (hematita).



Ao longo de milhares de anos, camadas alternadas desses sedimentos foram depositadas. Com a evolução da região, esses sedimentos passaram por transformações, devido a mudanças de pressão e temperatura. Foram compactados, solidificados, transformados, levando à formação da rocha que conhecemos como jaspilito, formado por camadas de hematita e jaspe.

O jaspe é uma variedade de quartzo encontrado na natureza, geralmente em tons de vermelho, marrom ou amarelo. Ele se forma pela deposição e consolidação de sílica (SiO₂). A palavra “jaspe” vem do latim “jaspis”, que derivou do grego “iaspis”, possivelmente originado do hebraico “yashpeh”, usado para nomear variedades preciosas desse mineral.

Originalmente, os jaspilitos apresentavam teores de ferro em torno de 30%. Para se transformarem nas rochas com alto teor de ferro (acima de 60% de ferro) que conhecemos, elas passaram por processos que levaram ao enriquecimento de ferro.

Os geólogos apontam fatores que podem ter contribuído para esse enriquecimento, como a injeção de mais ferro através de fumarolas presentes no fundo do mar e a remoção do jaspe devido à circulação de água.

Por apresentarem camadas alternadas de minerais, as rochas são chamadas de Formação Ferrífera Bandada.





A CANGA

A crosta terrestre é como a “casca” do nosso planeta e é dividida em placas que se movem lentamente. Essas placas podem se afastar umas das outras ou se chocar, o que causa mudanças na superfície da Terra. Esses movimentos são chamados de movimentos tectônicos e são responsáveis, por exemplo, pela formação de falhas geológicas e montanhas.

De acordo com os geólogos, em diversos momentos de sua evolução, a região de Carajás foi submetida a forças tectônicas que permitiram a formação e transformação de suas rochas.

Entre o final do período geológico conhecido como Cretáceo superior e o Paleoceno, uma dessas transformações teve início. Movimentos tectônicos iniciaram o soerguimento da paisagem de Carajás. Consequentemente, as rochas ferríferas foram lentamente sendo expostas na superfície. Com o tempo, essas rochas ficaram sujeitas ao intemperismo, que são as alterações causadas pelos elementos naturais como sol e chuva. Isso



Abaixo e no interior da canga, em zonas porosas onde a água pôde circular com maior facilidade, diversas cavernas se desenvolveram.



DETALHE DA CANGA



DETALHE DA CANGA

fez com que as rochas sofressem mudanças físicas (quebra e desagregação), químicas (decomposição, dissolução) e biológicas.

Na parte superior da formação ferrífera, processos químicos e biológicos fizeram com que parte do ferro reagisse com a água. Essa reação formou compostos que funcionaram como um cimento, unindo os diversos fragmentos de rocha e assim, formando uma couraça ferruginosa, conhecida como canga.

Sob ela, as rochas ferríferas também passaram por intemperismo. As águas que atravessaram aquela

crosta, ocasionaram a dissolução e remoção de compostos presentes na rocha, principalmente a sílica (intemperismo químico). Desta forma, as águas das chuvas contribuíram no longo processo de enriquecimento do ferro.

Para a exploração do minério de ferro é necessário remover a canga. Por isso, esse elemento da geodiversidade e todos os ambientes que se estabeleceram sobre ele estão entre os mais ameaçados do país, devido à importância econômica associada ao ferro.

CAVERNAS

As cavernas e todos os elementos a elas associados, sejam bióticos, abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, tanto subterrâneos quanto superficiais constituem nosso patrimônio espeleológico, conforme a legislação ambiental brasileira. As cavernas foram declaradas bens da União pela Constituição Federal de 1988, guardando estreita relação com outras categorias de patrimônio, especialmente o arqueológico e o paleontológico.

A Serra dos Carajás constitui uma das maiores e mais expressivas áreas de ocorrência de cavernas em rochas ferruginosas em termos mundiais. São conhecidas mais de 1.500 cavernas na região compondo importante parcela do patrimônio espeleológico do país.

A gênese e evolução dessas cavernas são parte da história do planeta.



FORMAÇÃO DAS CAVERNAS

Muitas pesquisas foram realizadas para compreender os processos que levaram ao desenvolvimento das cavernas em rochas ferruginosas, como as de Carajás.

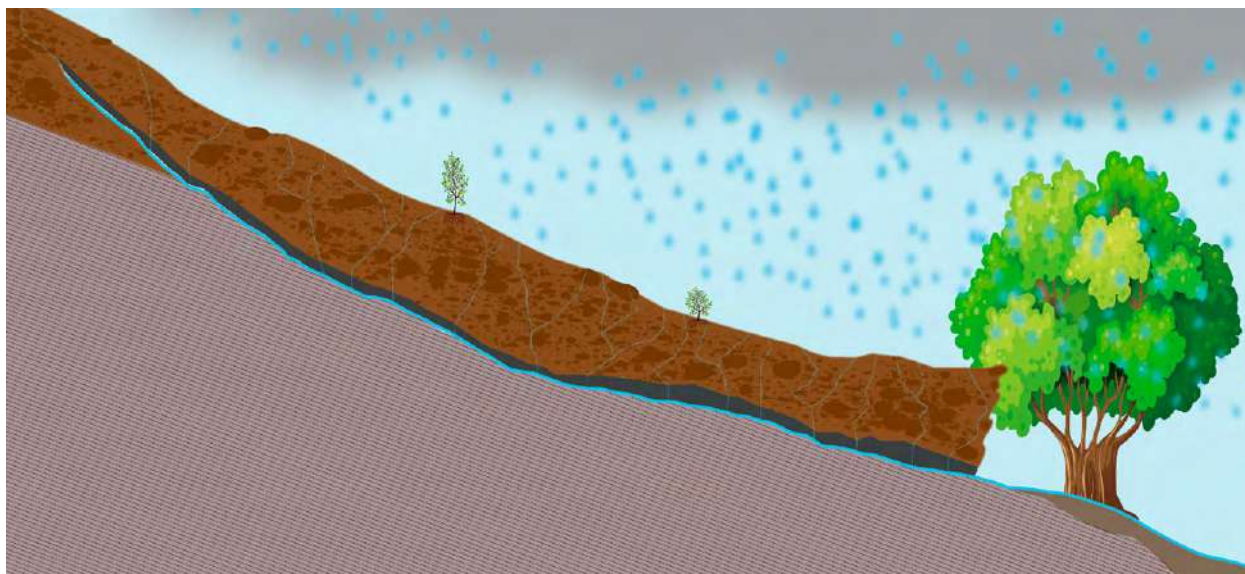
Esses estudos apontam que a formação dessas cavernas envolve processos complexos e ainda não totalmente compreendidos. Grande parte delas se desenvolve no interior da canga ou abaixo dela, no contato dessa com a formação

ferrífera bandada. A maioria delas ocorre nas quebras do relevo.

Alguns estudos apontam que a erosão seria o principal processo atuante para a formação das cavernas em rochas ferruginosas.

Destacamos alguns mecanismos relacionados à erosão na gênese de cavernas:

Erosão em cabeceiras de drenagens

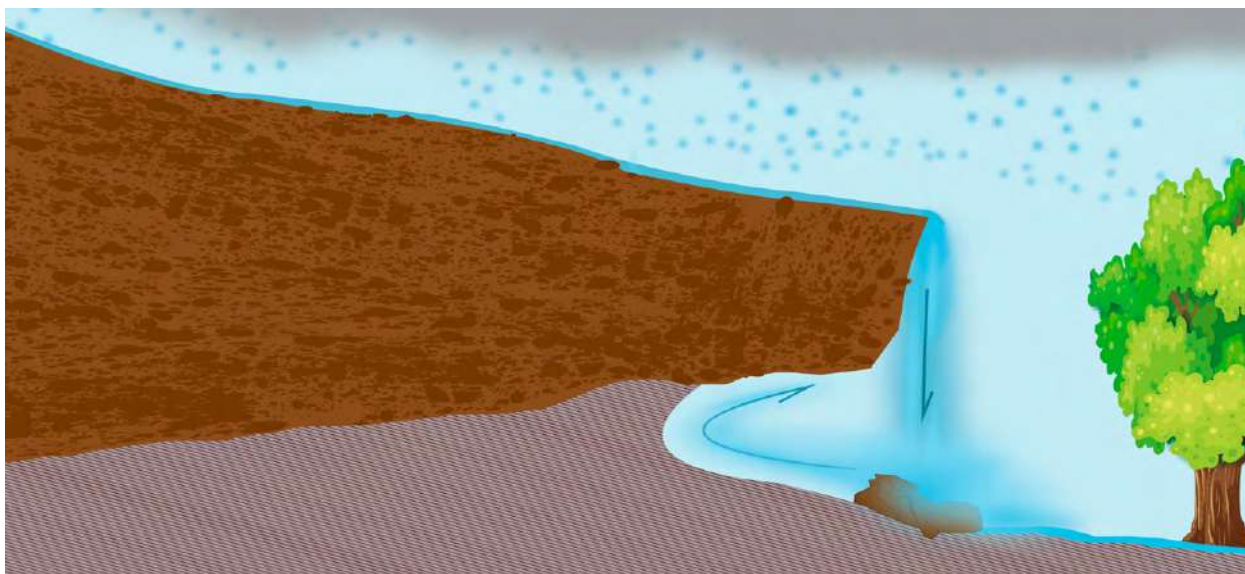


A canga, mais resistente à ação da água, sofre pouco os efeitos da erosão. Porém, por ser muito porosa, permite a infiltração da água nos períodos chuvosos. A existência de inclinação favorece a concentração da drenagem e geração de gradiente hidráulico, o que aumenta a energia dos fluxos de água. A formação ferrífera sob a canga é mais susceptível à erosão. Aos poucos, a água remove partículas dessa formação, levando à geração de canalículos. Nessa fase, podem ocorrer pequenas nascentes na base da canga.



Após longos períodos de evolução (talvez milênios), os canalículos vão aumentando de tamanho e volume, até formarem condutos. Paralelamente, partes das rochas presentes nas paredes e teto perdem sustentação e desmorona, ampliando os condutos.

Erosão por cachoeira



A energia potencial da queda d'água leva à desagregação das rochas abaixo, podendo formar abrigos (cavidade com desenvolvimento menor que a altura da entrada).

Erosão nas margens de drenagens



Ocorre especialmente durante os períodos de chuva. Em locais onde ocorrem rochas pouco solúveis, como a canga, a água leva à erosão mecânica das camadas inferiores, mais solúveis, criando reentrâncias.

PROCESSOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Além da erosão, outros estudos têm apontado o importante papel exercido por processos químicos e microbiológicos para o desenvolvimento das cavernas em rochas ferruginosas.

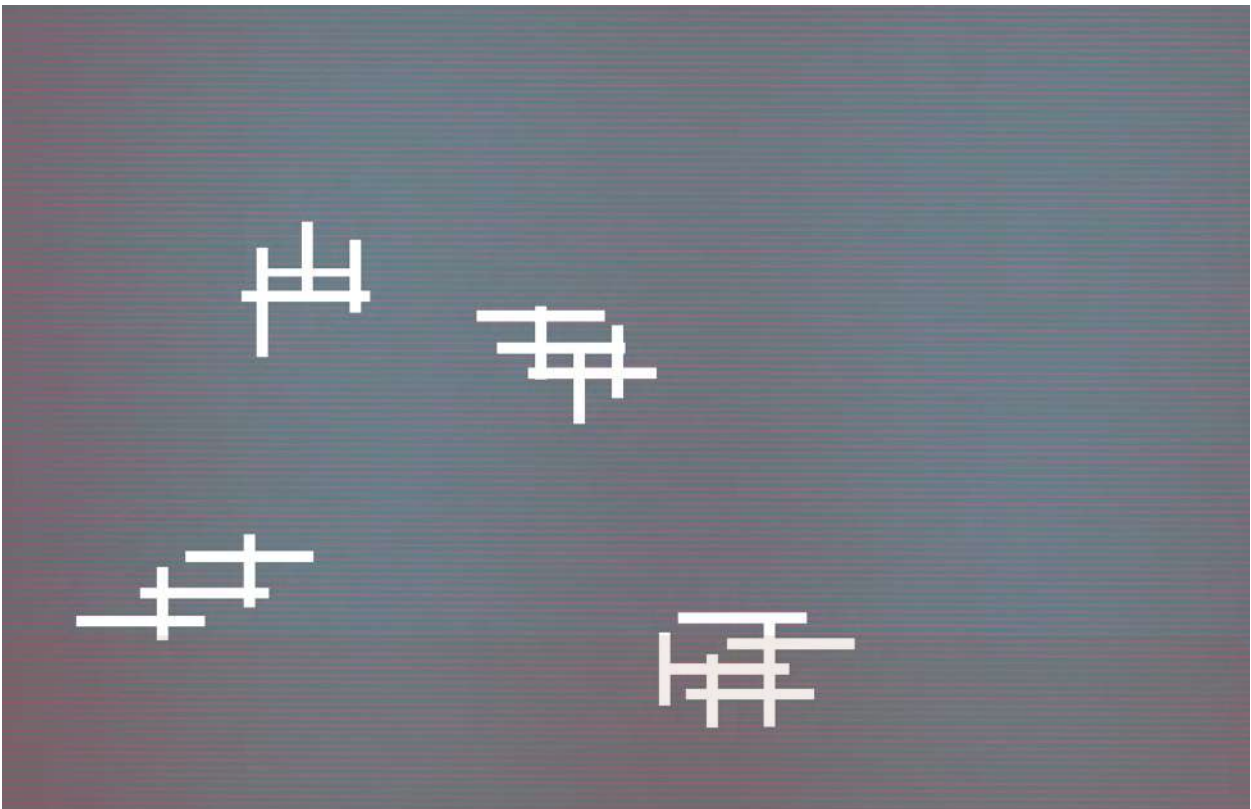
Sugerem que o início da formação das cavernas em Carajás pode ser muito mais antigo do que considerávamos.

Elas poderiam ter se iniciado em decorrência dos mesmos processos que levaram as rochas a se tornarem tão ricas em ferro.

Teriam se iniciado numa época em que os jaspilitos não estavam na superfície, mas em camadas mais profundas da crosta.

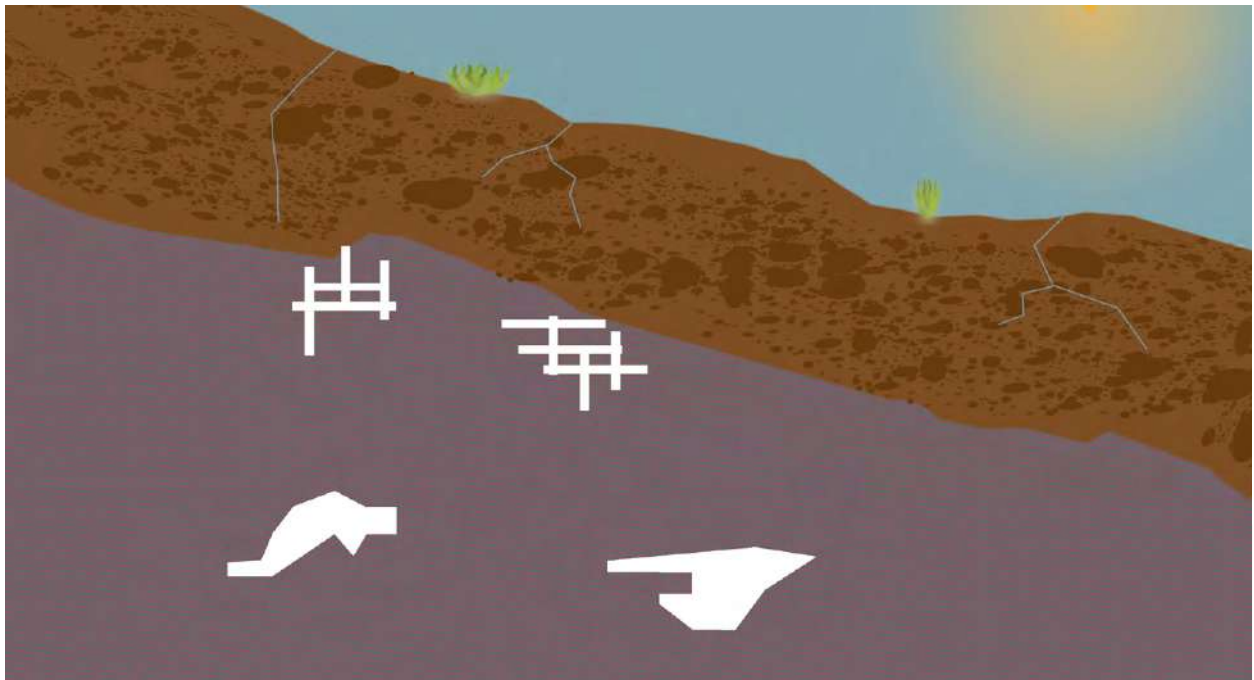
Trata-se de um processo complexo, com evolução ao longo de milhares de anos.

De modo simplificado: inicialmente, o jaspilito foi submetido à ação de águas subterrâneas, levando à remoção de componentes da rocha, principalmente parte da sílica.

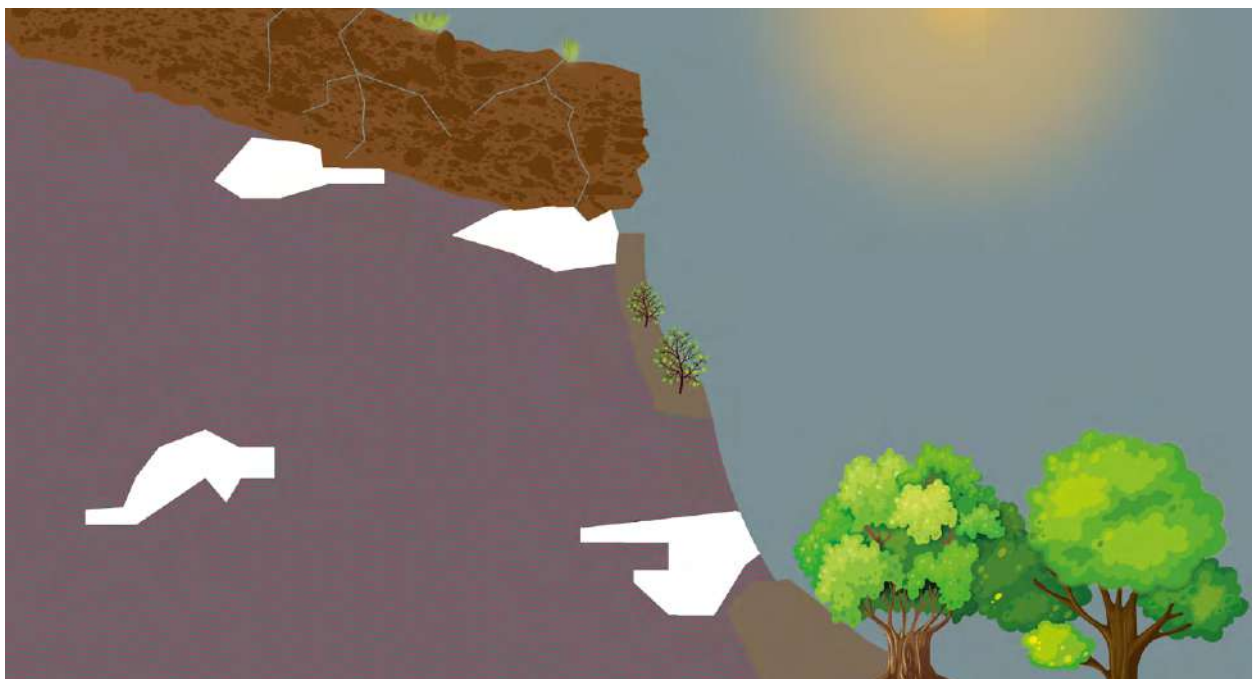


Uma das consequências da remoção da sílica foi a geração de porosidade (vazios) na rocha.

Posteriormente, movimentos da crosta terrestre levaram ao soerguimento da região.



Em alguns pontos, a porosidade levou à formação de vazios na rocha. A rocha foi exposta às ações do sol, das chuvas e dos ventos. Ocorreu a formação canga. Os vazios ficaram mais próximos da superfície.



A exposição às intempéries causou grandes mudanças na paisagem. Algumas rochas menos resistentes foram removidas. A canga, muito resistente à erosão, permaneceu, protegendo a formação ferrífera.

Alguns vazios foram expostos ao ambiente externo. Aqueles em contato com a canga, foram ampliados e passaram por outras transformações...

Próximo à superfície, os vazios também podem ocorrer. Além da erosão, os estudos mostram que reações químicas alterando a rocha seriam a causa para isso, pois promovem a remoção de parte do ferro e consequentemente gera ou amplia os vazios.

Porém, da forma em que o ferro se encontra nas rochas, ele não é solúvel. Portanto, seria necessária uma alteração química para que isso ocorresse. Além disso, a mudança teria que ocorrer em um ambiente sem oxigênio, pois em contato com esse elemento, o ferro retorna à sua forma insolúvel.

Então, como isso acontece?

Para responder essa questão, vamos olhar bem de perto.

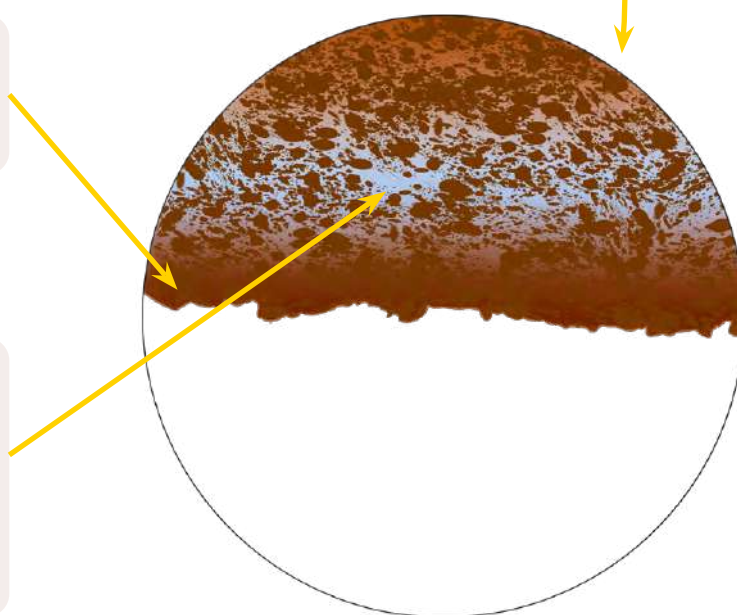


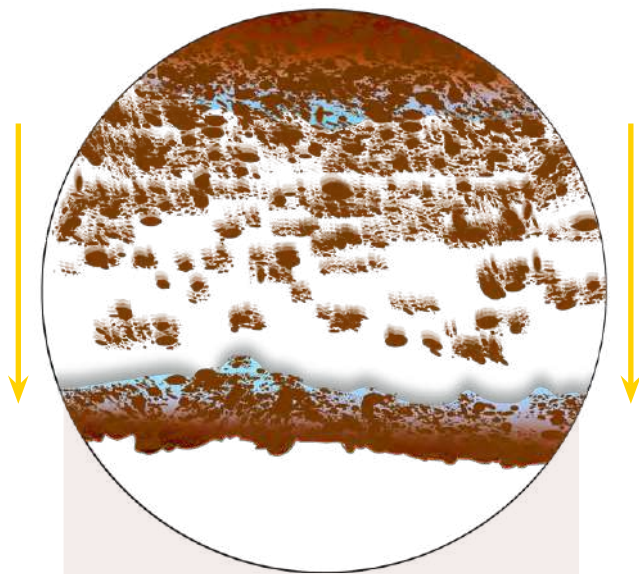
O ferro em contato com o ar origina compostos insolúveis, criando uma crosta nas paredes da caverna.

A água das chuvas infiltra pela canga trazendo compostos orgânicos ricos em carbono.

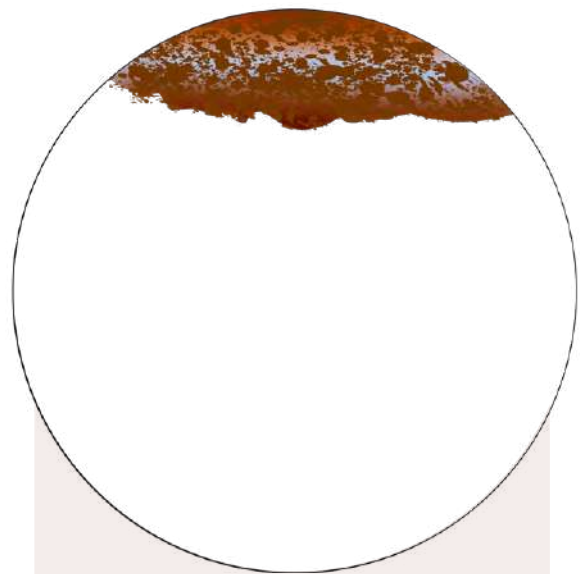
Atrás da crosta, a ausência de oxigênio permite o desenvolvimento de micro-organismos. Esse ambiente apresenta as condições para transformação do ferro para uma forma solúvel.

O “cimento” rico em ferro que mantém a canga coesa é dissolvido e removido pelos fluxos de água.





Com a remoção do “cimento”, a canga atrás da crosta vai perdendo sua coesão e desaba.



Com a remoção do “cimento”, a canga atrás da crosta vai perdendo sua coesão e desaba.



A repetição desse processo vai, lentamente, ampliando a caverna. Podendo inclusive conectar salões independentes. Os estudos apontam que essa poderia ser uma das causas para o formato de cavernas em rochas ferruginosas, frequentemente composto de salões maiores conectados por passagens estreitas.

Cavernas e morcegos

Estudos recentes apontam outro importante fator que pode estar relacionado ao processo de desenvolvimento das cavernas: morcegos.

Conhecidas como bat caves, algumas cavernas abrigam ou abrigaram colônias de morcegos com milhares de indivíduos. Nessas cavernas ocorreram processos únicos que só agora começam a ser investigados pela ciência.

O guano (fezes dos morcegos) aumenta a acidez nos substratos além de fornecer compostos químicos, principalmente fosfatos e sulfatos, para o interior da caverna tornando esse ambiente adequado para o desenvolvimento de fauna microbiana especializada. Ao mesmo tempo, a presença das grandes colônias de morcegos altera o microclima das cavernas tornando-as mais quentes e úmidas, favorecendo o desencadeamento de reações químicas entre a rocha e o guano.

De acordo com os estudos, esse processo pode levar à corrosão da rocha nas paredes, teto e piso da caverna, favorecendo a expansão de suas dimensões.

O material dissolvido reage com os compostos do guano podendo reprecipitar, formando espeleotemas que são raros em cavernas ferruginosas, com destaque para estalactites, estalagmites e colunas.

Vamos conhecer alguns pontos privilegiados da flona e do parna para aprendermos um pouco mais sobre a geodiversidade.





Visitando as grutas GUARITA E MAPINGUARI

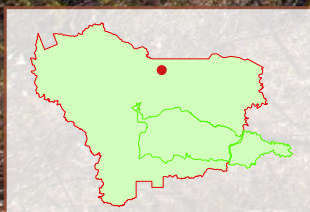
Essas cavernas situadas no platô N1 estão entre as mais visitadas da flona, pois, juntamente com outros atrativos, compõem a Rota Carajás, utilizadas para atividades didáticas.

A Canga

O primeiro elemento que vemos é a canga.

Como dissemos antes, por ser muito resistente à erosão e apresentar grande estabilidade química, a canga forma uma carapaça rochosa que protege o relevo das transformações causadas pelo intemperismo. Desta forma sua ocorrência está associada a áreas elevadas da paisagem.

Aproveite o mirante!



Observe que a vegetação sobre a canga é diferente da floresta ombrófila no entorno. Alguns fatores nos ajudam a compreender por que isso ocorre:

A resistência da canga dificulta a formação e desenvolvimento de solos profundos.

Por estar exposta ao sol, a canga apresenta grande variação de temperatura entre os dias e as noites (Experimente tocar a rocha com as mãos em um dia quente!)

Em decorrência, estabeleceu-se uma vegetação diferente e rara na Amazônia, os campos rupes-
tres ferruginosos. Esse tipo de vegetação possui muitas variações. Em algumas áreas, apresenta espécies mais herbáceas e arbustivas, em outras, espécies que se desenvolvem em áreas úmidas e muitas outras. Cada uma dessas variações compõe um geoambiente. As espécies de plantas apresentam características adaptativas específicas para se desenvolverem sobre a canga. Além disso, existe ali uma elevada quantidade de endemismos, ou seja, espécies que só ocorrem nesses ambientes.



O exemplo mais conhecido e emblemático desse endemismo é a Flor de Carajás (*Ipomoea cavalcantei*).

Ela tem ocorrência restrita a alguns locais na flona, em especial platô N1.







Gruta da GUARITA

Situada no contato da canga com a formação ferrífera, logo abaixo da quebra do relevo. Apresenta um padrão característico de cavernas ferríferas chamado de câmaras irregulares. Possui dois salões maiores conectados por uma passagem mais estreita. A grande quantidade de blocos em seu interior indica que, após a formação inicial da caverna, sua ampliação ocorreu pela perda de sustentação e consequente queda de blocos do teto e paredes. Cada um dos salões possui uma entrada para a caverna, com leve declividade, acompanhando o relevo.



No interior da caverna, podem ser vistas algumas formações características desses ambientes naturais: os espeleotemas. Eles são resultantes da sedimentação química: a água, ao percolar pela rocha, dissolve parte dos minerais presentes.

Posteriormente, esses minerais reprecipitam (tornam-se sólidos) no interior das cavernas. A maioria dos espeleotemas presentes na Gruta da Guarita são coraloides (A) e crostas (B). Estudos realizados com espeleotemas semelhantes em outras cavernas de Carajás indicaram que esses tipos de espeleotemas são formados principalmente por minerais compostos por oxihidróxidos de ferro, fosfatos e sulfatos.

Gruta do MAPINGUARI

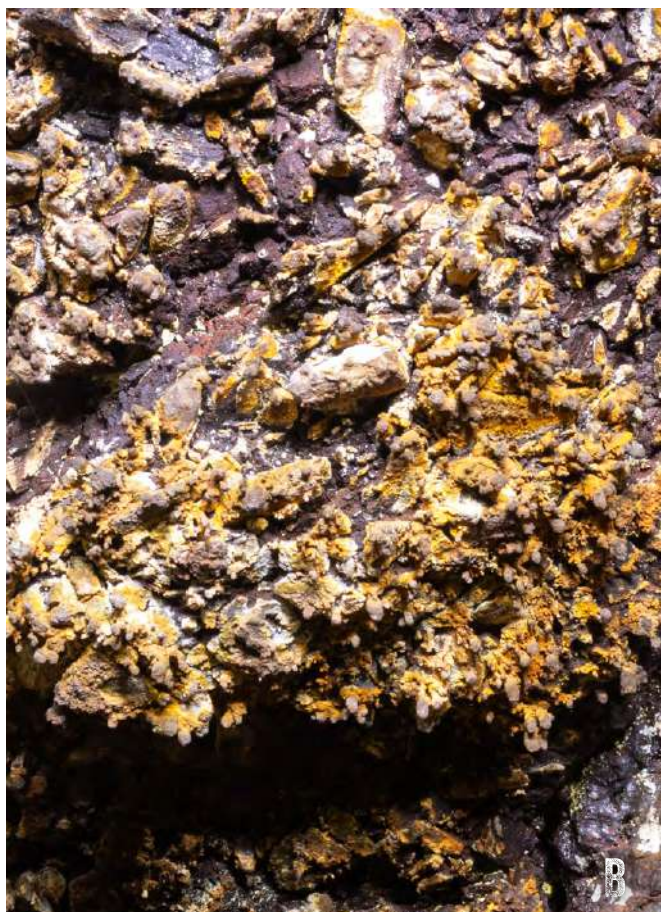
Situada próxima à gruta da Guarita, possui um único salão. A entrada ampla e o volume considerável permitem boa entrada de luz, favorecendo a visualização da caverna. Inserida na canga, apresenta o mesmo padrão de câmara irregular. A presença de grandes blocos no solo indica seu processo de ampliação.

Canalículos podem ser facilmente observados (A). São canais de drenagem importantes nos processos de formação das cavernas, por isso são chamados de estruturas espeleogenéticas.

Por serem pontos de maior fluxo de água, sua presença indica as direções de desenvolvimento da caverna e auxiliam no padrão geométrico desse desenvolvimento. Podem ocorrer nas paredes, teto ou no contato entre o piso e as paredes.

Os espeleotemas mais presentes são coraloides (B) e crostas (C). Grandes blocos de canga no interior da caverna encontram-se em sua maior parte cobertos por uma crosta de textura lisa.



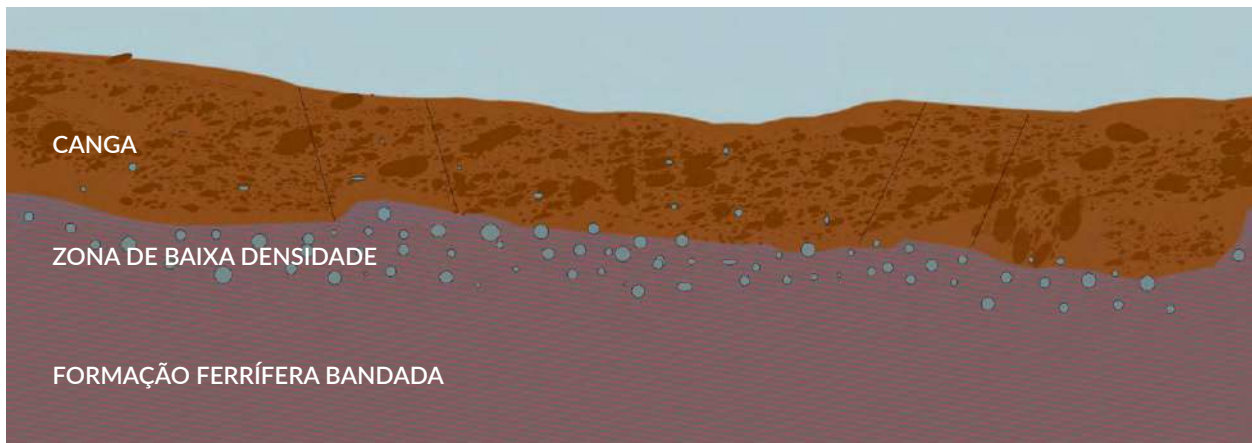


Depressões fechadas (Dolinas)

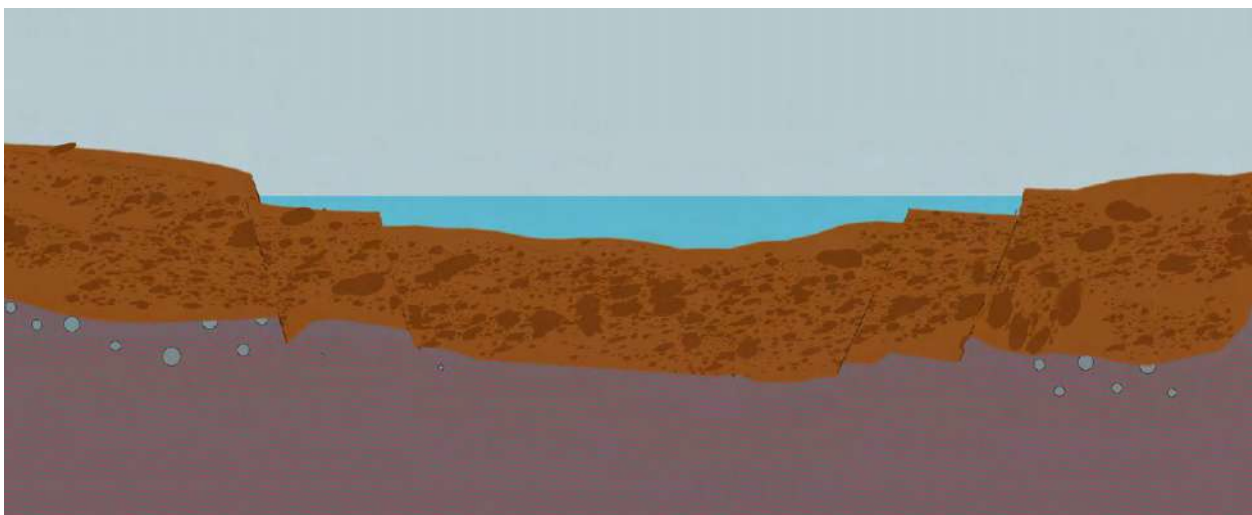
São depressões circulares ou ovais que ocorrem na superfície da canga. Existem diversos tipos classificadas de acordo com o processo que levou à sua formação.

Dois tipos podem ser vistos nos platôs de canga da flona e do parque nacional.

Algumas são preenchidas por água, formando lagoas perenes ou temporárias.



Os estudos indicam que, durante a evolução do relevo, zonas de baixa densidade (rocha com porosidade), surgiram no interior da canga e no contato dela com a formação ferrífera.

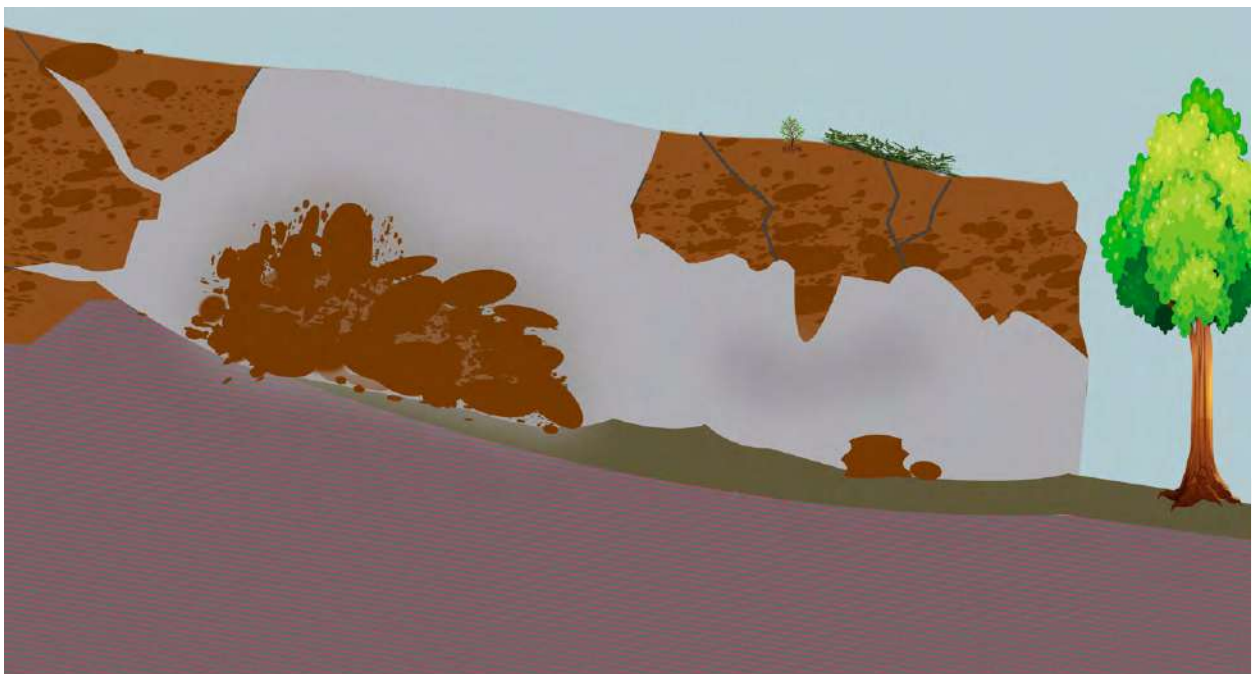


Com o desenvolvimento desses poros, surgiram fraturas concêntricas culminando na subsidência da crosta. A superfície rebaixada formou uma laje impermeável possibilitando o acúmulo de água.

Outras são resultantes da evolução de cavernas.



Durante a evolução da caverna, o teto pode ter se tornado muito fino, ou muito pesado.



Parte do teto perde sustentação e sofre colapso. Em geral, apresentam bordas mais abruptas e não são preenchidas por água. São chamadas de dolinas de abatimento ou calapso.



As paredes da dolina apresentam desnível médio de 3 metros. Em seu interior, houve o acúmulo de matéria orgânica (folhas e galhos) e o desenvolvimento de solo, permitindo a fixação de vegetação arbórea. A parte externa apresenta vegetação arbustiva, característica de campo ferruginoso.



Gruta da DOLINA

Localizada no platô N1, essa depressão doliniforme causada por abatimento é um bom exemplo desse tipo de formação em rochas ferruginosas. A presença de condutos permite supor que salões de uma caverna se desenvolveram no local. Durante o processo natural de evolução da caverna, parte do teto, formado por canga, perdeu sustentação e desabou, originando a dolina.



A escavação presente na entrada da caverna indica que foram buscados vestígios arqueológicos (sinais de antigos habitantes que poderiam ter usado a caverna como refúgio).

Lascas de ametista vistas no local reforçam essa possibilidade. Esse é um tipo de mineral muito resistente utilizado como ferramenta por populações antigas.

LAGOA DE N1

Ampla depressão doliniforme, abrigando lago perene no platô N1.



Lagoa da TRILHA DA MATA

Depressão doliniforme em afloramento de canga em meio à vegetação arbórea.





Nos períodos chuvosos, abriga uma lagoa intermitente, de grande importância para a fauna. Além disso, as macrófitas (plantas submersas na água) criam um ambiente de grande beleza cênica.



MIRANTE DE N4

As formações ferríferas de Carajás constituem um dos mais importantes depósitos de ferro do mundo, com teores acima de 60%. As reservas em Carajás estão estimadas em 50 gigatoneladas (50 bilhões de toneladas) de minério de ferro.

A grandiosidade de cavas, estruturas e equipamentos evidenciam nossa enorme dependência dos recursos da geodiversidade. Ao mesmo tempo em que nos desafia a pensar formas de conciliar mineração, bioconservação e geoconservação.





Lagoas da SERRA DA BOCAINA

Localizada no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, a Serra da Bocaina possui belas paisagens associadas a elementos da geodiversidade.

Diversas lagoas perenes ou sazonais ocupam depressões doliniformes, possibilitando o desenvolvimento de vegetação adaptada a áreas úmidas, com destaque para os buritis (*Mauritia flexuosa*) e buritiranas.

A canga forma uma laje impermeável no piso da depressão, possibilitando o acúmulo de água das chuvas.

Fraturas na borda indicam os processos de subsidência da canga atuantes na formação da depressão.





GRUTA DO PULPITO

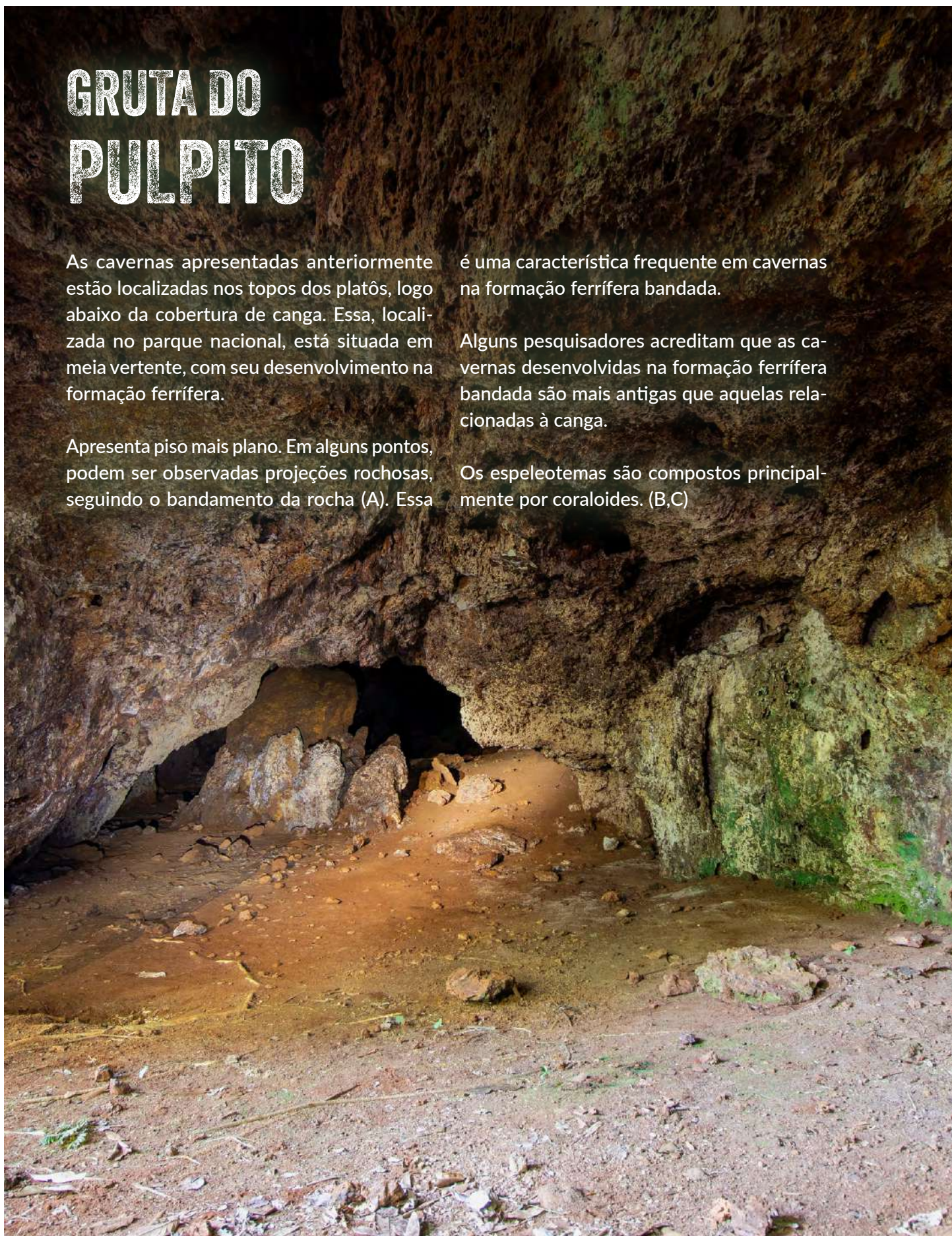
As cavernas apresentadas anteriormente estão localizadas nos topos dos platôs, logo abaixo da cobertura de canga. Essa, localizada no parque nacional, está situada em meia vertente, com seu desenvolvimento na formação ferrífera.

Apresenta piso mais plano. Em alguns pontos, podem ser observadas projeções rochosas, seguindo o bandamento da rocha (A). Essa

é uma característica frequente em cavernas na formação ferrífera bandada.

Alguns pesquisadores acreditam que as cavernas desenvolvidas na formação ferrífera bandada são mais antigas que aquelas relacionadas à canga.

Os espeleotemas são compostos principalmente por coralloides. (B,C)



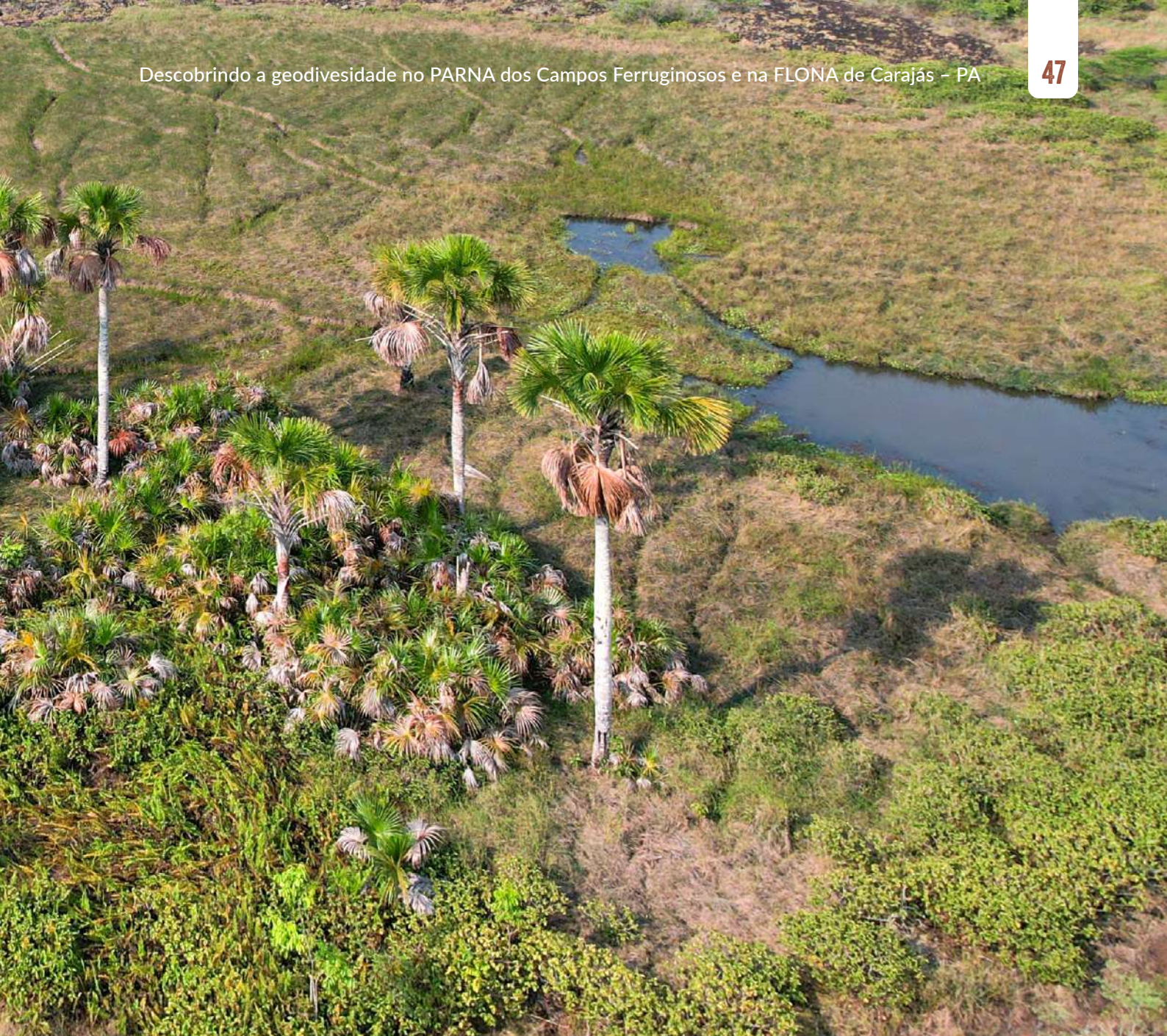




SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Os elementos não vivos da natureza (abióticos) exercem diferentes funções para a humanidade, com implicações econômicas e culturais significativas. Compreender essas funções é essencial para reconhecer o valor dos serviços ecossistêmicos prestados pela geodiversidade e a importância de sua conservação.

Os serviços ecossistêmicos da geodiversidade incluem a oferta de base para os habitats, o fornecimento de água doce, a geração de solos e reciclagem de nutrientes para produção de alimentos. Minerais e combustíveis fósseis também são bens fornecidos pela geodiversidade fundamentais para a manutenção de



nossas sociedades. Os serviços ecossistêmicos da geodiversidade são organizados em cinco grupos, serviços de **REGULAÇÃO, SUPORTE, PROVISÃO, CULTURAIS** e **CONHECIMENTO**.

A Floresta Nacional de Carajás e o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos apresentam diversos elementos e processos abióticos e, consequentemente, os serviços a eles associados. Vamos conhecer uma parcela deles.

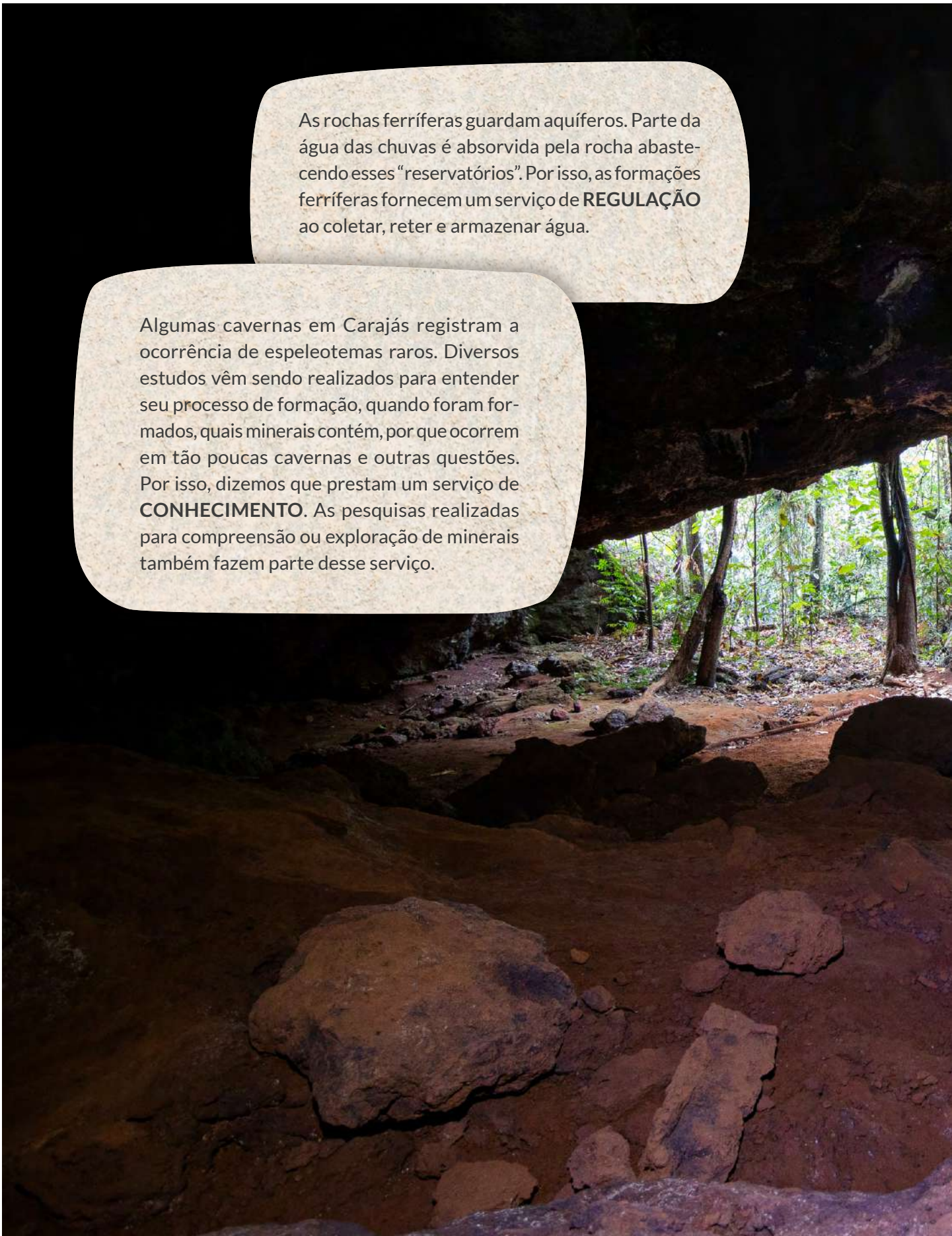
As duas unidades de conservação guardam um rico patrimônio espeleológico, com mais de 1.600 cavernas conhecidas. Essas cavernas possuem ambientes únicos, propiciando a ocorrência de

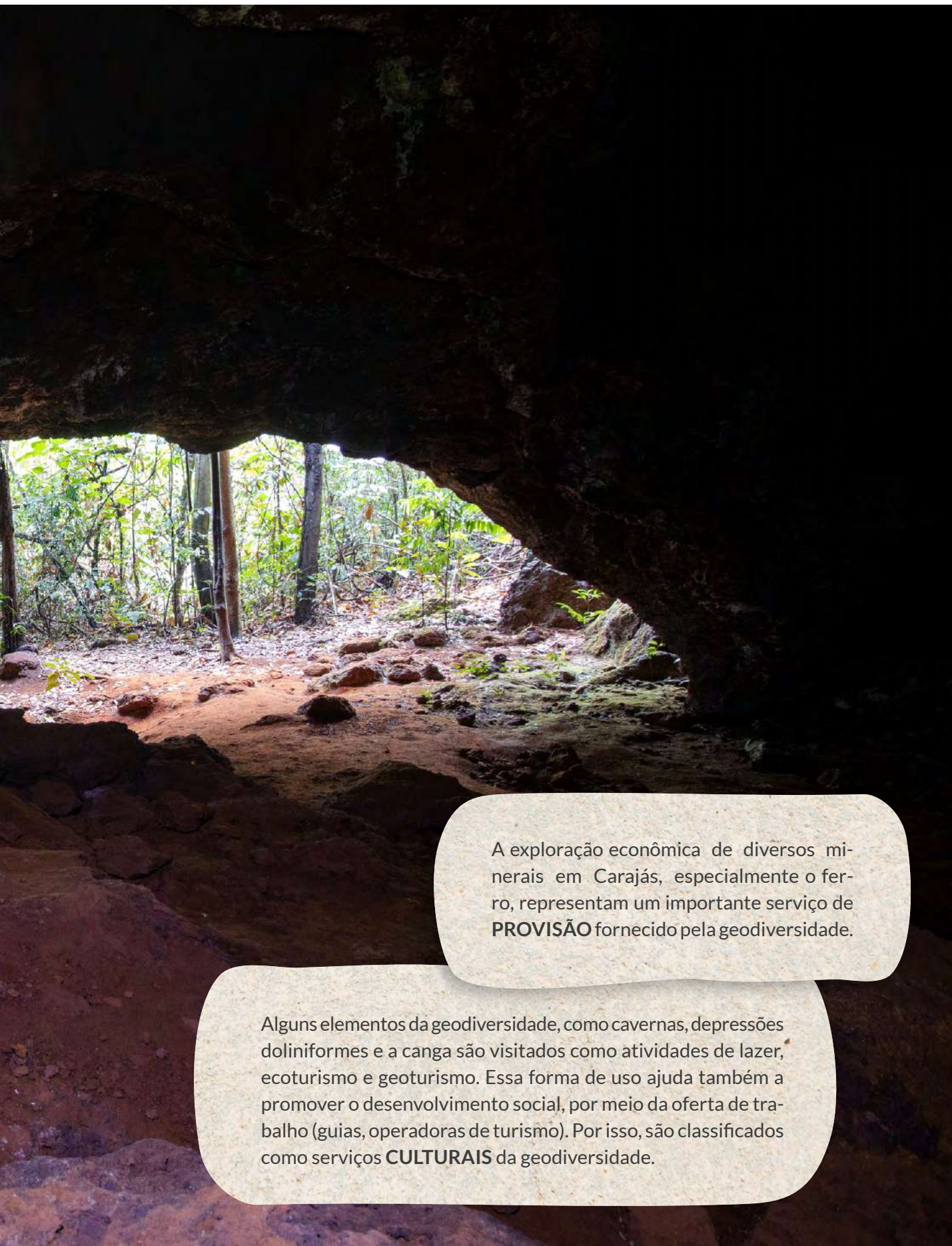
diversos habitats, onde vivem diferentes seres vivos. As cavernas ferríferas são conhecidas por apresentarem a maior variedade de espécies, dentre todos os tipos de cavernas existentes no país. Elas abrigam desde espécies que utilizam as cavernas de forma sazonal ou esporádica até espécies que dependem exclusivamente do ambiente cavernícola para viver. Por isso, as cavernas prestam um serviço de **SUPORTE** para a natureza.

As cangas também prestam serviço de **SUPORTE**. Sobre elas se desenvolvem diversos geoambientes, onde muitos habitats puderam se estabelecer.

As rochas ferríferas guardam aquíferos. Parte da água das chuvas é absorvida pela rocha abastecendo esses “reservatórios”. Por isso, as formações ferríferas fornecem um serviço de **REGULAÇÃO** ao coletar, reter e armazenar água.

Algumas cavernas em Carajás registram a ocorrência de espeleotemas raros. Diversos estudos vêm sendo realizados para entender seu processo de formação, quando foram formados, quais minerais contém, por que ocorrem em tão poucas cavernas e outras questões. Por isso, dizemos que prestam um serviço de **CONHECIMENTO**. As pesquisas realizadas para compreensão ou exploração de minerais também fazem parte desse serviço.





A exploração econômica de diversos minerais em Carajás, especialmente o ferro, representam um importante serviço de **PROVISÃO** fornecido pela geodiversidade.

Alguns elementos da geodiversidade, como cavernas, depressões doliniformes e a canga são visitados como atividades de lazer, ecoturismo e geoturismo. Essa forma de uso ajuda também a promover o desenvolvimento social, por meio da oferta de trabalho (guias, operadoras de turismo). Por isso, são classificados como serviços **CULTURAIS** da geodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão a toda equipe do NGI Carajás por todo apoio para realização dessa cartilha, especialmente ao Vítor Garcia. Reconhecemos o trabalho árduo da Silvana, Gabriela e Amanda para nos auxiliarem na logística dos campos. Esperamos poder contar novamente com todo o apoio da NGI para realizarmos novos desafios.

Agradecemos imensamente à equipe da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Parauapebas, Nívea, Pricila, William e Nathália. Somos gratos por terem nos apresentado os sítios que compõem a cartilha, pelo o apoio nos trabalhos de campo e pela troca de ideias para realização desse trabalho.

Agradecemos a todos os guias e brigadistas que nos acompanharam nos trabalhos de campo, abrindo e mostrando caminhos, garantindo a segurança e trocando ideias. Vocês foram fundamentais para o trabalho.

FIGURAS

1- Localização do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e da Floresta Nacional de Carajás. Imagens Google Earth.

2- Figura Eras Geológicas. Adaptado de L'échelle des temps géologiques. Disponível em <https://drive.google.com/file/d/1WPS2nsSWvs-M9owBkLJMs0nZh2BA97SnA/view>

3- Figura Cráton Amazônico. Adaptado de SANTOS, J. O. S. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS C.; VIDOTTI, R.M. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003, p. 169-226. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/cap_IV_a.pdf

4- Figura Rift. Adaptado de Plate tectonic theory. Disponível em https://www.jncpasighat.edu.in/file/ppt/geo/plate_tectonic_theory.pdf

5- Figuras de processos erosivos na formação das cavernas ferríferas adaptado de DUTRA, G.. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 32, 2013. Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p.415-426. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_415-426.pdf>. Acesso em: fevereiro/2024.

6- Figuras de processos de dissolução na formação das cavernas ferríferas adaptado de AULER, A et al. Silica and iron mobilization, cave development and landscape evolution in iron formations in Brazil. *Geomorphology*, v398, 1 February 2022.

7- Figura de processo para formação de depressões doliniformes com lagoas adaptado de MAURITY, C. ; KOTSCHOUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás - PA. D-graduação, pseudocarstificação, espeleotemas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra 7, 1995.

Demais figuras e fotos elaboradas pelos autores.



PARA SABER MAIS

AULER, A et al. Silica and iron mobilization, cave development and landscape evolution in iron formations in Brazil. **Geomorphology**, v398, 1 February 2022.

BRILHA, J. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. **Geoheritage**, 2015.

CALLUX, A. S. **Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero**. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Belo Horizonte-MG, 2013.

DUTRA, G. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 32, 2013. Barreiras. **Anais...** Campinas: SBE, 2013. p.415-426. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_415-426.pdf>. Acesso em: fevereiro/2024.

JUSTO, A. P. **As formações ferríferas bandadas (BIFs) e a evolução paleoambiental e geodinâmica da Bacia de Carajás**. Tese. Brasília-DF. UnB/IG, 2018.

MARTINS, F.D.; KAMINO, L.H.Y.; RIBEIRO, K.T. (organizadores). **Projeto Cenários: Conservação de campos ferruginosos diante da mineração em Carajás**. 1 ed.- Tubarão-SC. 467p.2018.

GRAY, M.; GORDON, J. E., BROWN, E. J. **Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management**. Proc. Geol. Assoc. (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>.

MAURITY, C. ; KOTSCHOUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás - PA. D-graduação, pseudocarstificação, espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Ciências da Terra 7, 1995.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE**. Disponível

em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie>.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Espeleologia e licenciamento ambiental**. Cruz, J. B.; Piló, L. B. (org.) – Brasília: ICMBio, 2019.

MARTINS-NETO, M. A. Classificação de bacias sedimentares: uma revisão comentada. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 36, p. 165-176, março 2006.

PARKER, C.W., SENKO, J.M., AULER, A.S. et al. Enhanced terrestrial Fe(II) mobilization identified through a novel mechanism of microbially driven cave formation in Fe(III)-rich rocks. **Sci Rep** **12**, 17062 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21365-3>.

PILÓ, L.B.; AULER, A. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA, XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais**. Montes Claros-MG, 2009. P. 181-186.

PILÓ, L.B.; CALUX, A.; SCHERER, R.; BERNARD, E. (2023) Bats as ecosystem engineers in iron ore caves in the Carajás National Forest, Brazilian Amazonia. **PLoS ONE** 18(5): e0267870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267870>.

SCHERER, R.S. **Ocorrência de espeleotemas fosfáticos e feições morfológicas raras em cavernas ferríferas da Serra de Carajás, no Pará**. Dissertação. Instituto Tecnológico Vale. Belém-PA, 2017.

SILVA, M. L. N.; NASCIMENTO, M; A; L. O sistema de valoração da geodiversidade, com enfoque nos serviços ecossistêmicos sensu Murray Gray. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais 14(1): p. 79-90, 2019.

TAVARES, F. M. **Evolução Geotectônica do nordeste da Província Carajás**. UFRJ/IGEO. Tese, 2015.



