

Plano de Pesquisa Geossistemas Ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás



Presidente da República

Michel Temer

Ministro do Meio Ambiente

José Sarney Filho

Presidente do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Ricardo José Soavinski

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade

Marcelo Marcelino de Oliveira

Coordenadora Geral de Pesquisa e Monitoramento da Biodiversidade

Kátia Torres Ribeiro

Coordenadora de Pesquisa e Gestão da Informação sobre Biodiversidade

Ana Elisa de Faria Bacellar

Floresta Nacional de Carajás

Marcel Régis Machado





Plano de Pesquisa Geossistemas Ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás

**Temas prioritários para pesquisa
e diretrizes para ampliação do
conhecimento sobre os
geossistemas ferruginosos da
Floresta Nacional de Carajás
e seu entorno**

Brasília

Agosto – 2017



Redação

Liliane Bezerra

Revisão

Katia Torres Ribeiro, Frederico Drumond Martins e Ivan Salzo

Colaboradores

André Afonso Ribeiro, Daniela Tomasio Apolinario da Luz, Felipe Sodrê Mendes Barros, Frederico Drumond Martins, Ivan Salzo, Jocy Brandão Cruz, José Carlos Ribeiro Reino, Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros Ferraz, Katia Torres Ribeiro, Laise Carvalho Silva, Lara Gomes Cortes, Leonardo Vianna Silva, Luis Beethoven Piló, Marínez Ferreira de Siqueira, Rafael Loyola, Tiago Castro Silva, Tulio Batitucci Jorge (pesquisadores do Projeto Cenários); Andréa Siqueira Carvalho, Renato Kipnis, Haroldo C. de Lima, Paulo Pessoa, Pedro Lage Viana, Valéria da Cunha Tavares (pesquisadores consultados sobre as questões de pesquisa)

Projeto gráfico e diagramação

Denys Márcio de Sousa

Foto da capa

João Marcos Rosa

Foto: Frederico Drumond Martins



Catálogo na fonte – Biblioteca do ICMBio

P712 Plano de pesquisa geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás : temas prioritários... / organizadora Liliane Bezerra ; colaboradores André Afonso Ribeiro... [et al.]. — Brasília : ICMBIO, 2017.

82 p. : il. color. ; 21 x 23 cm.

ISBN: 978-85-61842-71-0

1. Biologia, ciências da vida. 2. Geociências, ciências da terra. I. Bezerra, Liliane II. Ribeiro, André Afonso.

Sumário

Apresentação	07
PARTE I – Escopo e contexto	
1 Introdução	11
2 Breve caracterização das especificidades ambientais da Floresta Nacional de Carajás	14
3 História de exploração e conservação da Serra dos Carajás	21
4 O Projeto Cenários e a definição dos alvos de conservação em áreas de mineração	25
4.1 Alvos de conservação selecionados	26
4.1.1 Biodiversidade	27
4.1.2 Cavernas naturais subterrâneas	27
4.1.3 Geoambientes	28
4.2 Análise de dados	28
4.3 Base de dados geográficos	29



PARTE II – Linhas temáticas e recomendações prioritárias

1	Introdução	31
2	FLORA	33
3	FAUNA.....	37
4	CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS	45
5	GEOAMBIENTES	55
6	RECURSOS HÍDRICOS.....	61
7	ARQUEOLOGIA	65
	Pesquisadores consultados.....	67
	QUADRO 1 – Sugestão de campos para padronização da coleta de dados sobre fauna e flora na Floresta Nacional de Carajás	68
PARTE III – Desafios para geração de conhecimento aplicado ao manejo		
1	Introdução	71
2	Produção do conhecimento.....	73
3	Organização do conhecimento	74
4	Comunicação e difusão do conhecimento	75
5	Plano de ação	76
	Referências.....	77





Apresentação

A taxa de degradação ambiental, o aumento do consumo de recursos naturais, as crises humanitárias e a dificuldade de implementar atividades econômicas mais sustentáveis em termos ambientais, sociais e também econômicos nos mostram que os desafios de conservação ambiental são sistêmicos, exigem uma integração entre diferentes setores da sociedade e articulação dos diversos tipos e fontes de conhecimento. No âmbito do conhecimento científico, percebemos a necessidade de delinear problemas que nucleiam iniciativas das várias áreas específicas, de modo a efetivamente trazer transformação na ação. Chamamos isso de *problem-oriented research*, de implementação não trivial, porque a formação de quase todos os profissionais é voltada para disciplinas específicas, assim como o funcionamento das instituições, muito setorializadas e estanques (KUEFFER *et al.* 2012). A gestão de unidades de conservação, que são territórios com diversos espaços de governança, tem trazido oportunidades ímpares de diálogo entre setores da sociedade e distintas áreas do conhecimento em torno de questões que passam a ser priorizadas e mobilizam diferentes atores.



Essa propriedade foi refletida na elaboração do Plano Estratégico de Pesquisa do ICMBio (2017), para cuja construção identificamos as principais ameaças à conservação dos biomas brasileiros, às suas unidades de conservação, bem como oportunidades e estratégias de conservação. Com esta abordagem, chegamos a cadeias de resultados esperados que conectam as grandes estratégias territoriais, setoriais ou institucionais aos principais fatores atuantes no território e aos resultados de conservação esperados, o que facilita nossa visualização de como os conhecimentos poderiam e deveriam se encontrar. No bioma amazônico, a mineração foi identificada como uma das principais ameaças à conservação da biodiversidade – não necessariamente por seus impactos diretos – que levam à conversão de habitat de áreas relativamente pequenas, tendo em vista a extensão do bioma. Mas torna-se uma ameaça significativa pela incidência em ecossistemas raros, por provocar fluxos migratórios desordenados e complexos, pela infraestrutura associada (estradas de ferro, barragens, hidrelétricas), pela contaminação ambiental e impactos sobre serviços ecossistêmicos, com destaque para a água.

As unidades de conservação abarcam 27,3% do bioma amazônico, além das áreas protegidas em Terras Indígenas. As áreas protegidas são estratégias de conservação efetivas, mesmo que em geral com baixo índice de implementação e crônica falta de recursos e pessoal (TCU 2014). Algumas unidades de conservação de destacam pela complexidade dos desafios de gestão, como é o caso das florestas nacionais que abrigam empreendimentos minerários. Por outro lado, estas áreas têm em geral condições melhores financeiras, pelos recursos compensatórios atrelados aos empreendimentos, e detêm parte significativa do esforço de pesquisa realizado no bioma amazônico, em sua maioria relacionados às exigências do processo de licenciamento ambiental. É o caso da região da Floresta Nacional de Saracá-Taquera/Reserva Biológica do Rio Trombetas, com estudos no Lago Batata que formaram gerações de ecólogos e limnólogos (ver Bozelli et al. 2009), e a Floresta Nacional de Carajás, localizada na maior província mineral do mundo e com história totalmente imbricada à da mineração na região.

É cada vez mais evidente e assumido que um bom processo decisório no âmbito do licenciamento de grandes empreendimentos, como é o caso da mineração nas principais províncias minerais, requer o subsídio de avaliações ambientais integradas, mas existem barreiras relacionadas à fragmentação dos processos, à dispersão da informação, à baixa otimização e integração dos esforços.

Nos últimos anos a Floresta Nacional de Carajás abrigou uma experiência ainda rara no país – a elaboração de uma proposta de zoneamento da unidade que protegesse áreas significativas dos geossistemas ferruginosos, onde ocorre a mineração de ferro e com alta riqueza de atributos específicos e endêmicos, a partir da organização e análise da melhor informação disponível, com uso de técnicas do planejamento sistemático para conservação, que resultou em um ganho expressivo de conservação no novo plano de manejo, publicado em 2016. Esta experiência se deu no âmbito do Projeto Cenários, nome resumido para o estudo Estratégia para Conservação da Savana Metalófila da Floresta Nacional de Carajás, realizado a partir de recursos disponibilizados pela Vale como parte das condicionantes do licenciamento do empreendimento S11D.

Vemos em Carajás uma mudança de paradigma importante – a adoção cada vez mais clara da opção de aprofundar o conhecimento científico e fortalecer os espaços de debate técnico, em substituição à estratégia permanente contraposição de interesses. Tal mudança pode em paralelo levar ao fortalecimento da pesquisa no país, ao associá-la explicitamente a questões territoriais complexas, por sua vez abrindo as portas para o aumento da produção científica com reconhecimento internacional, a inovação, inclusive tecnológica e a formação de recursos humanos qualificados para atuação em agendas complexas e multidisciplinares.

O Plano de Pesquisa, elaborado a partir da consulta a pesquisadores e beneficiado pelas apresentações e discussões realizadas no I Seminário de Pesquisa da Floresta Nacional de Carajás¹, tem o desafio de orientar a pesquisa de modo a reduzir as fortes assimetrias na distribuição espacial do conhecimento (a maioria das pesquisas ocorre nas áreas já em licenciamento), a identificação de lacunas de conhecimento que trazem dificuldades ao processo decisório, bem como de identificar diretrizes para a gestão de dados e informações, formação de recursos humanos.

O documento está organizado em três partes maiores, que podem ser lidas separadamente sem grande prejuízo ao entendimento:

Parte I – Escopo e contexto: uma apresentação da Floresta Nacional de Carajás, seus desafios de conservação e o contexto em que se dá este planejamento;

Parte II – Linhas temáticas e recomendações prioritárias para pesquisa ambiental nos geossistemas ferruginos da Floresta Nacional de Carajás e entorno: as principais linhas de pesquisa, conforme percepção de pesquisadores e gestores fortemente envolvidos na área;

Parte III – Desafios para geração de conhecimento aplicado ao manejo: diretrizes gerais para a gestão do conhecimento.

Esperamos que este Plano ajude a orientar a gestão do conhecimento, apoie o processo de licenciamento, fortaleça a relação com a comunidade científica e amplie os espaços de comunicação com a sociedade.

¹ O I Seminário da Floresta Nacional de Carajás foi realizado no *campus* da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), nos dias 21 a 24 de novembro de 2016, também como parte do Projeto Cenários e com a participação de pesquisadores do Projeto, da Vale S.A. e institutos e empresas de consultoria associados, e de institutos de pesquisa públicos – UFRA, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).



Foto: João Marcos Rosa

Foto: João Marcos Rosa



Parte I

Escopo e contexto

1 Introdução

A Floresta Nacional de Carajás, localizada no sudeste do Pará, na Amazônia, é uma unidade de conservação federal, criada em 1998, em partes dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte (Figura 1). Seus objetivos de criação convergem com os do decreto de 1994 que estabeleceu o regulamento para as Florestas Nacionais, com previsão de livre continuidade da atividade de mineração (Decreto nº 1.298 de 1994, Brasil, 1994). No entanto, com a Lei nº 9.985 de 2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), as florestas nacionais passaram a ter papel mais explícito na conservação da biodiversidade, sendo fortalecido o processo de valorização dessas áreas como território para a salvaguarda do patrimônio biológico e dos serviços ambientais: *“A Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas”* (BRASIL, 2000).



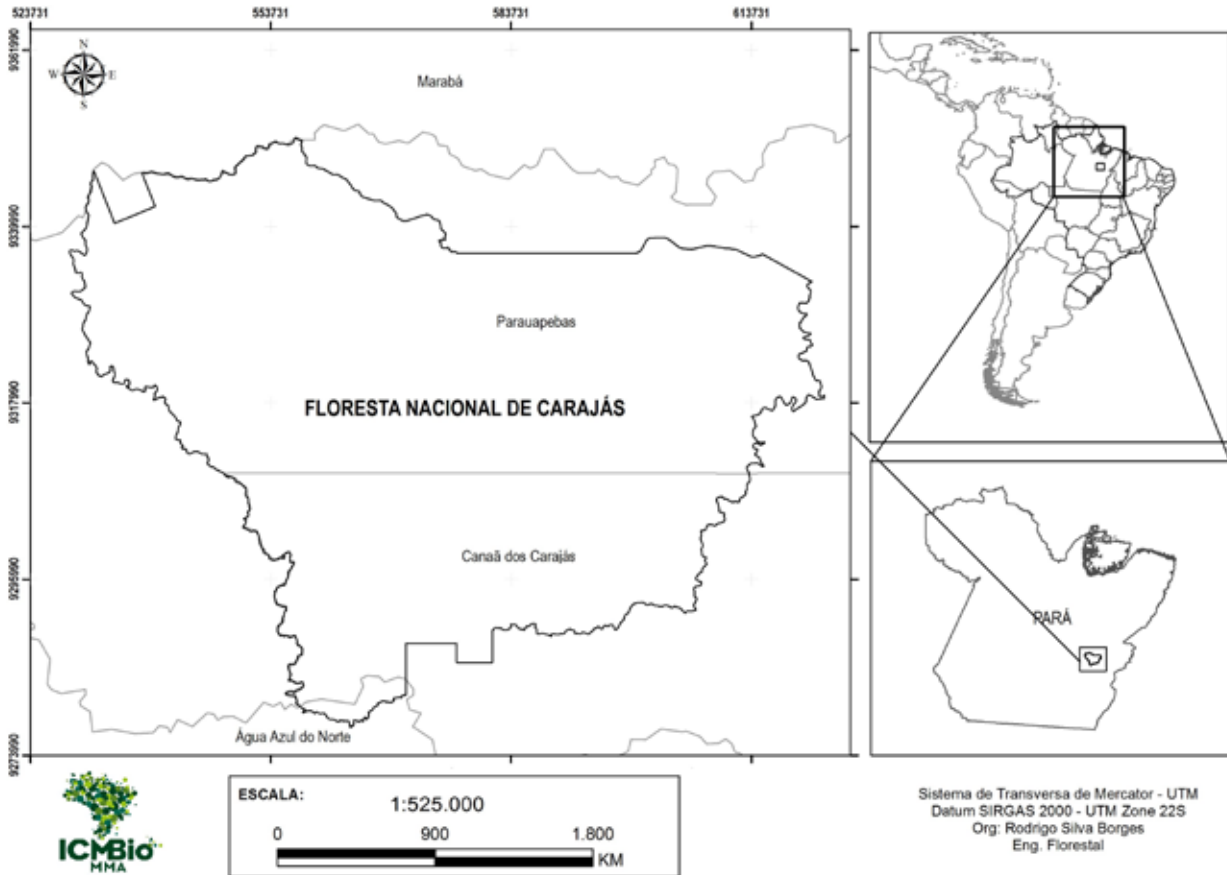


Figura 1 – Localização geográfica da Floresta Nacional de Carajás.

Os maciços florestais da Flona Carajás são em geral bem conservados – há expressivo investimento em sua proteção, incluindo fiscalização e prevenção e combate a incêndios florestais. No entanto, as serras, onde se localizam as formações ferríferas, caracterizadas por formações vegetais mais abertas com alto grau de especialização e riquíssimo patrimônio espeleológico – parte dos geossistemas ferruginosos, são diretamente afetadas pela mineração, de forma praticamente irreversível, com fortes consequências também sobre os corpos hídricos subterrâneos ou superficiais.

No plano de manejo publicado em 2004, estas cumeeiras de serras ricas em depósitos de ferro ficaram integralmente inseridas em Zonas de Mineração. A análise do impacto da mineração sobre a biodiversidade e sobre o patrimônio espeleológico vinha se dando empreendimento a empreendimento, com muita dificuldade de se realizar uma análise abrangente e integrada.

Já o Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás de 2016 trouxe a conservação dos geossistemas ferruginos para um outro patamar – a zona de mineração foi reduzida a ca. 30%, junto ao reconhecimento de 30% de sua extensão como zona de conservação e o restante como zona de manejo sustentável, em que a prospecção mineral é permitida e a pesquisa em biodiversidade, para subsidiar decisões futuras. Tal mudança se deve aos estudos integrados realizados no âmbito do Projeto Cenários, que subsidiou tecnicamente a negociação do novo zoneamento da unidade de conservação, com base no pressuposto de não haver perda de biodiversidade e a partir de ampla compilação de dados ambientais (principalmente sobre biodiversidade e cavidades naturais subterrâneas), oriundos de pesquisas independentes ou vinculadas ao licenciamento, e com uso de técnicas de planejamento sistemático para a conservação.

O novo zoneamento representa um avanço para a conservação, mas a proteção definitiva de ecossistemas associados às rochas ferríferas no interior da Flona não está garantida, uma vez que as proporções e delimitações podem ser revistas em futuros planos de manejo. A fim de ampliar a garantia dessa proteção e atender às exigências de compensação espeleológica, após toda a construção aqui reportada e após a publicação do novo plano de manejo da Flona, em junho de 2017 foi criado o Parque Nacional dos Campos Ferruginos, cujos limites abarcam as zonas de conservação estabelecidas no zoneamento da Flona (Serra do Tarzan) e a Serra da Bocaina, a leste da unidade (Figuras 2 e 3).

O Plano de Manejo da Flona de Carajás tem um conjunto de programas, dentre eles o Programa de Pesquisa e Monitoramento, que traz diretrizes gerais para aprofundamento e gestão do conhecimento da unidade e região². O Plano de Pesquisa para os Geossistemas Ferruginos é um desdobramento do Programa de Pesquisa, com foco nas estratégias para ampliação do conhecimento sobre ecossistemas, espécies, processos ecológicos, espeleologia, arqueologia e outros temas associados às formações ferríferas, de modo a continuamente fortalecer a pesquisa em temas chave e incorporar novas informações na elaboração de estratégias e na análise do impacto das decisões de conservação e mineração. O documento identifica questões relevantes para alimentar o processo decisório sobre conservação e mineração, no entendimento de pesquisadores envolvidos com a unidade, em uma perspectiva de contribuição com o processo de licenciamento e de revisita periódica ao zoneamento e outras decisões de manejo, incluindo novos dados e componentes nas análises, como previsto no próprio Plano de Manejo.

² Os demais programas que compõem o Plano de Manejo são: Programa de Administração, Programa de Proteção; Programa de Educação Ambiental; Programa de Manejo Florestal Sustentável; Programa de Uso Público; Programa de Incentivo ao Desenvolvimento Sustentável do Entorno.

2 Breve caracterização das especificidades ambientais da Floresta Nacional de Carajás³

A Serra dos Carajás destaca-se na paisagem de terras predominantemente baixas no sudeste do Pará. A Serra está quase toda inserida Floresta Nacional de Carajás, que junto a outras áreas protegidas compõe o chamado “Mosaico Carajás⁴”, com cerca de 1.207.000 hectares. São elas: Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, Reserva Biológica do Tapirapé, Florestas Nacionais de Itacaiúnas, de Tapirapé-Aquiri e de Carajás e a Terra Indígena Xikrin do Cateté. O Mosaico é de grande importância para a conservação da biodiversidade, de processos ecológicos e de serviços ecossistêmicos haja vista a intensa degradação ambiental da região em que se insere (Figura 2).

Em meio à densa floresta ombrófila, fitofisionomia predominante na Flona de Carajás, distingue-se em clareiras nos topos aplainados das serras uma vegetação rara, de forma herbáceo-arbustiva, que se desenvolve sobre a canga hematítica. Ela está presente em cerca de 3% da área da Floresta Nacional de Carajás, que guarda sua principal representação na região amazônica, e onde ocupa os platôs que marcam os divisores de água desta unidade de conservação (AB’SABER 1986; CAMPOS e CASTILHO 2012; MOTA *et al.* 2015). Os platôs são em geral formados pela cobertura laterítica chamada de “canga”⁵. Nestas formações é registrada a maior riqueza de cavidades naturais subterrâneas associadas ao minério de ferro no mundo (WILLIAMS, BARTON, JOHNSON 2005) e elevado grau de endemismo biológico.

As elevações da Serra dos Carajás afloram descontinuamente na direção leste – oeste, a uma altitude média de 700 metros (Figura 3). São conhecidas localmente como Serra Norte e Serra Sul, dois grandes conjuntos onde estão localizadas as principais jazidas de minério de ferro no interior da Flona de Carajás. A leste da Serra Sul estão a Serra do Tarzan e a Serra da Bocaina, esta separada da Serra Sul pelo rio Parauapebas, e já fora dos limites da Flona de Carajás (IBAMA 2004). Os maciços ferríferos estão associados às rochas do grupo Grão-Pará, constituídas por formações ferríferas bandadas (itabiritos e principalmente jaspelitos) e minério de ferro de alto teor que pertencem ao conjunto denominado Formação Carajás. Essas serras guardam as mais importantes reservas de minério de ferro de alto teor do mundo, além de outros corpos de minério, o que conferiu à região o título de maior província mineral do planeta (MACAMBIRA 2003).

³ O diagnóstico completo da unidade de conservação é apresentado no volume I (Diagnóstico) do Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás (ICMBIO 2016) que se baseia na literatura mais recente sobre os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos da unidade de conservação e sua zona de amortecimento, bem como nas informações geradas ao longo do período de implementação do planejamento anterior e os aprendizados da gestão da área.

⁴ O Mosaico Carajás não foi ainda reconhecido formalmente pelo Ministério do Meio Ambiente.

⁵ Sobre a formação da canga ver Souza e Carmo (2015).

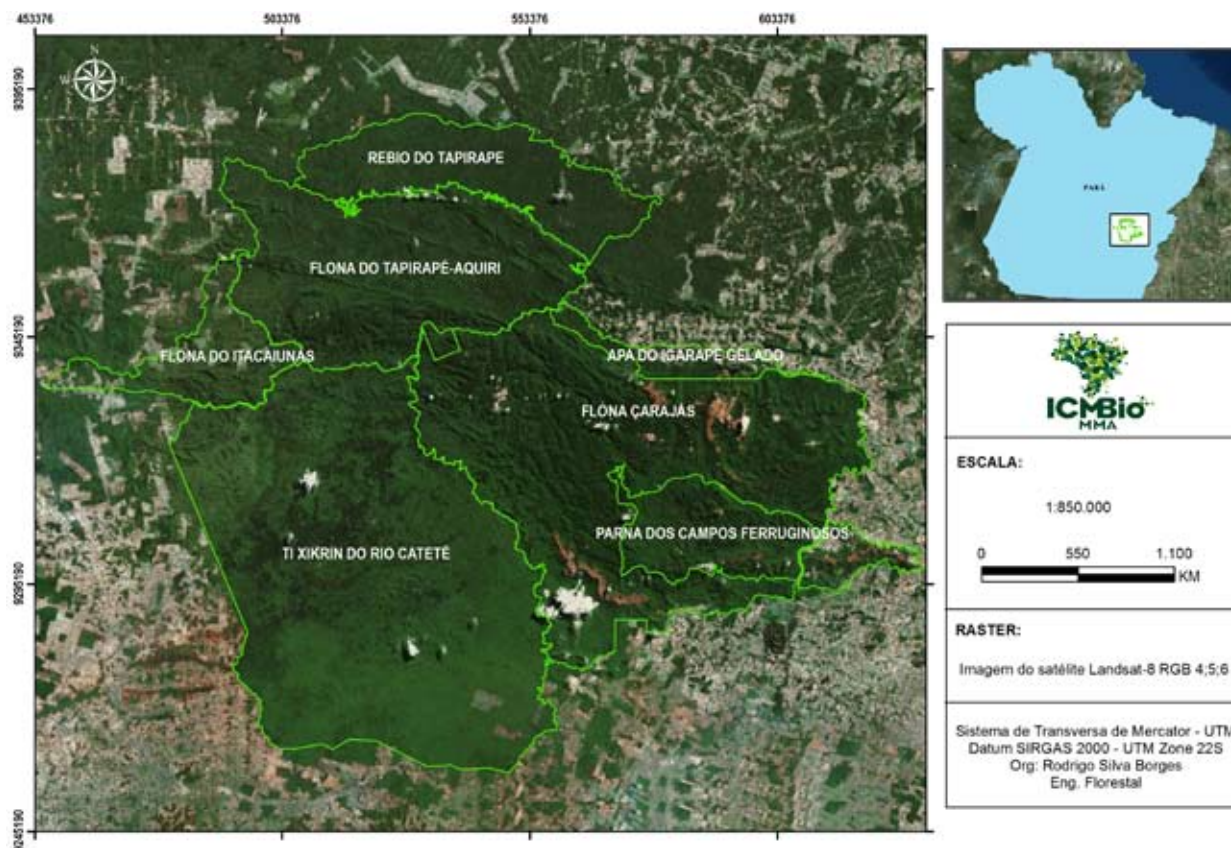


Figura 2 – A Floresta Nacional de Carajás e as demais áreas protegidas da região que compõem o “Mosaico de Carajás”.

As formações vegetais abertas estão associadas à diversidade de estruturas rochosas e edáficas da superfície da Serra dos Carajás, o que leva a um mosaico de formas vegetacionais, de campos úmidos ou secos a pequenos enclaves florestais (MOTA *et al.* 2015; NUNES *et al.* 2015; SCHAEFER *et al.* 2016). A denominação desse conjunto é assunto controverso – comumente recebe nomes que se referem ao padrão geral de fitofisionomias abertas e de forte xeromorfismo: “campo rupestre”, “vegetação metalófila”, “vegetação rupestre”, “savana metalófila” e mesmo “vegetação de canga” (Figura 3) (SILVA, SECCO, LOBO 1996; FERREIRA, OLIVEIRA, SILVA 2015; MOTA *et al.* 2015). A denominação “savana metalófila”

visa ressaltar a pressão exercida pela presença de metais pesados no solo como importante fator de seleção dos organismos nessas áreas e, conseqüentemente, dos endemismos (PORTO e SILVA 1989), apesar dos limites dessa influência no estabelecimento dos ecossistemas serem discutíveis (NUNES 2009; SCHAEFER *et al.* 2016). Essa denominação é predominantemente usada no processo de licenciamento e,

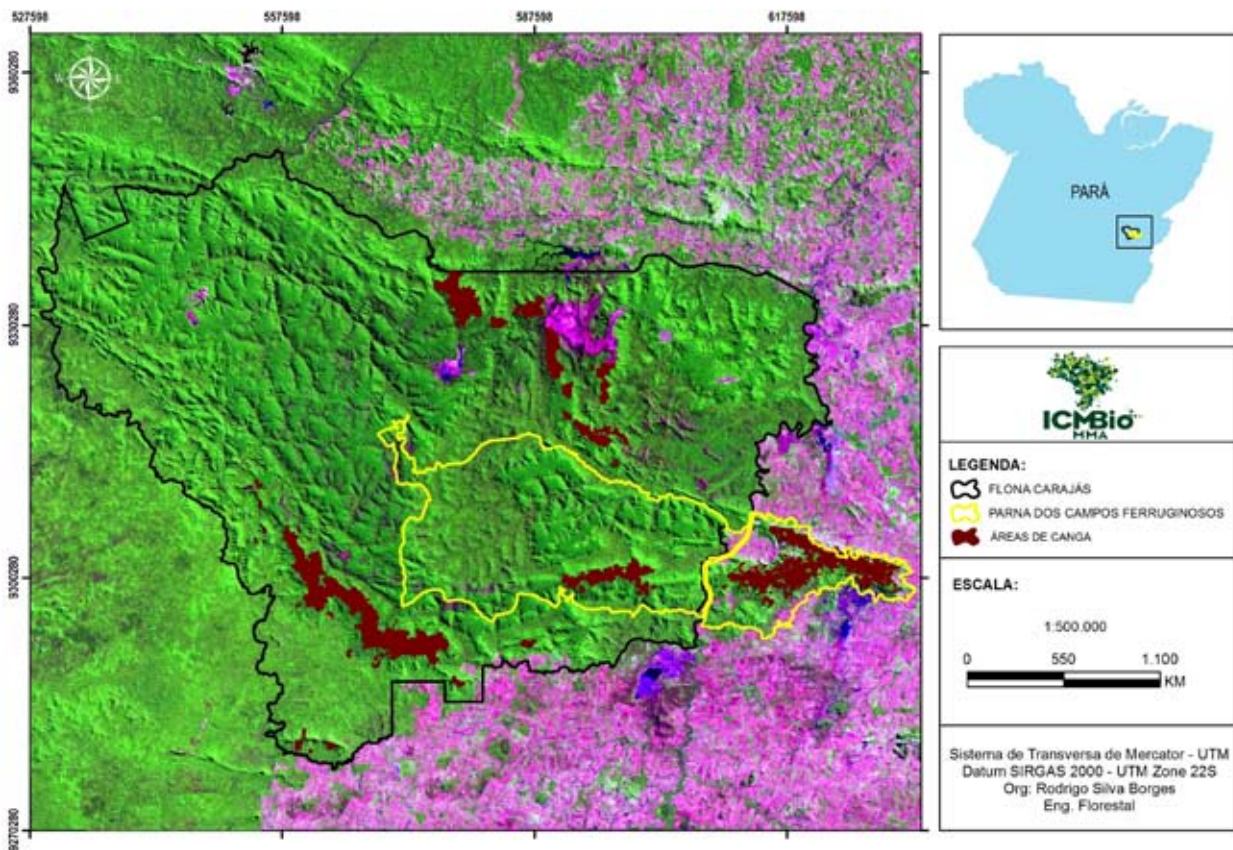


Figura 3 – Distribuição dos platôs com os geossistemas ferruginosos, mostrando sua inserção nos maciços florestais- este mapa já traz os limites do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, criado em 2017, e pode-se ver a área já minerada na Serra Norte, em tom mais claro de rosa.

portanto, é usada no Plano de Manejo da Flona de Carajás e no Projeto Cenários, para abarcar o conjunto de ecossistemas associados ao minério de ferro presente no subsolo, e cuja exploração ameaça toda a biodiversidade presente na superfície, bem como serviços ecossistêmicos como a segurança hídrica. A expressão “vegetação de canga” costuma ser empregada para se referir mais especificamente à biota associada às cangas lateríticas. (Figura 4)

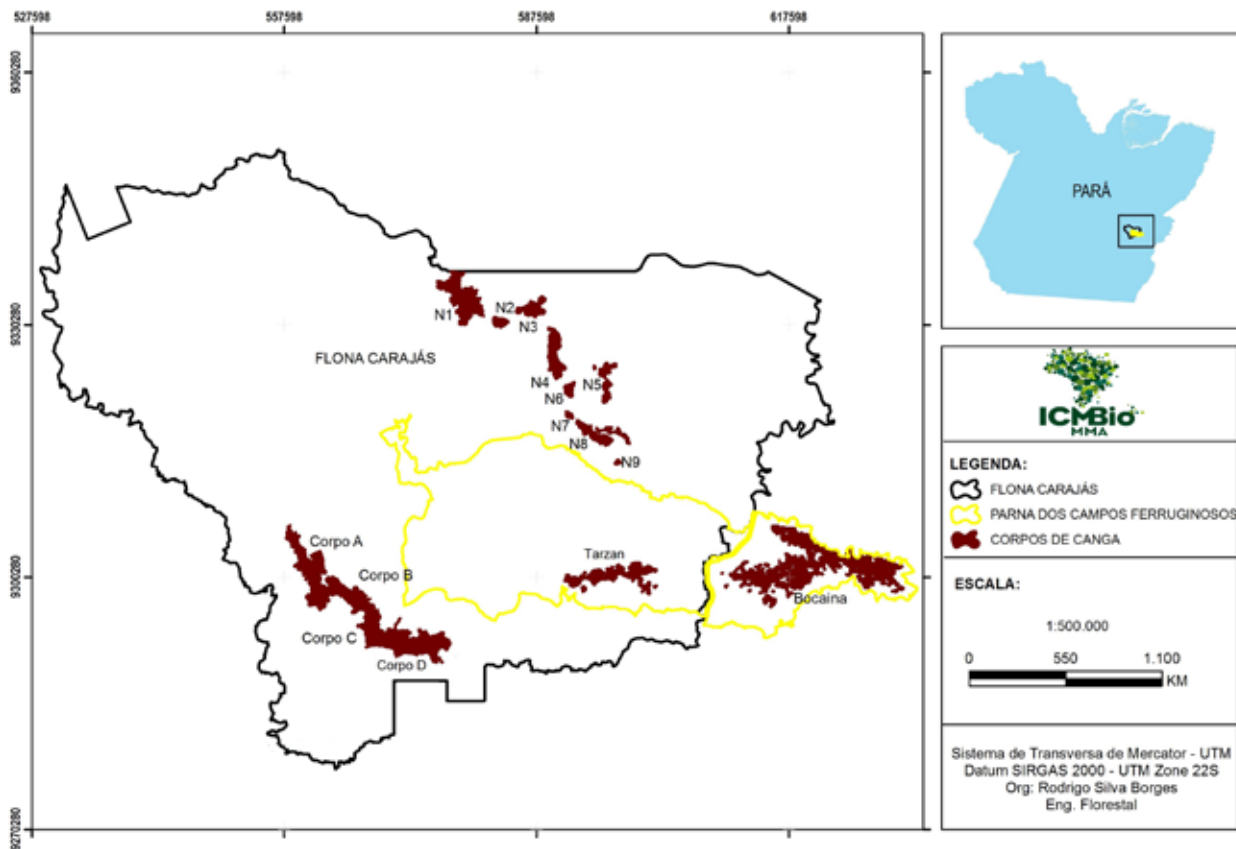


Figura 4 – Numeração dos corpos de canga, utilizada cotidianamente na gestão da Floresta Nacional de Carajás. Esta figura é anterior aos resultados do Projeto Cenários e estão destacados em vermelho os corpos já inseridos, à época, em propostas de mineração no curto/médio prazo, conforme projetado pela VALE para 2020 (Arquivo ICMBio).

Utilizou-se no Projeto Cenários e também neste plano o conceito de geossistemas ou geoambientes, que são delimitações de combinações de fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos (como proposto por Carlos Schaeffer em estudos na região e largamente empregado atualmente; DIAS *et al.* 2002) – tais combinações deixam sinais visíveis na estrutura e composição das formações vegetais e são consideradas importantes pressões seletivas (SILVA 1992; CARMO e JACOBI 2013; NUNES *et al.* 2015). Os vários geossistemas ou geoambientes ferruginosos⁶ podem ser analisados como unidades ambientais indicadoras de diversidade biológica (substitutos ou *surrogates*⁷) e podem ser usados como alvos de conservação (MMA 2007).

A região da Floresta Nacional de Carajás é reconhecida como área de elevada biodiversidade, com espécies animais e vegetais raras e/ou restritas à região (área inserida no Centro de Endemismo Xingu), especialmente aves, répteis, anfíbios e vegetação herbácea-arbustiva associada às áreas sobre canga (CAMPOS e CASTILHO 2012). Esse conjunto de atributos naturais envolvendo área reduzida e presença de espécies endêmicas ou de distribuição restrita, sob diferentes graus de risco, são indicadores do *status* de alta vulnerabilidade dos ecossistemas associados às formações ferríferas da região (TRAJANO 2012).

Destacam-se na paisagem dos platôs das serras ferruginosas as lagoas perenes e temporárias, alimentadas principalmente pelas águas do escoamento superficial da água das chuvas. As depressões são formadas pelo abatimento das concreções lateríticas e impermeabilizadas por sedimentos e detritos trazidos pelo escoamento pluvial. Esses geoambientes atuam como importantes fontes de água para a fauna da floresta circundante e permitem o estabelecimento de espécies da flora com diferentes níveis de exigências hídricas (LOPES 2008; MOTA *et al.* 2015). Apesar de relativamente isoladas do subsolo, as lagoas permanentes funcionam como ambiente de recarga para o sistema aquífero regional e nascentes (CAMPOS e CASTILHO, 2012). As lagoas temporárias, mais rasas e de tamanho menor, abrigam muitas espécies raras e também devem ter importância destacada nas estratégias de conservação (LOPES 2008).

⁶ Em Carajás, encontra-se um dentre os seis principais conjuntos de geossistemas ferruginosos no Brasil. Os demais – total, parcialmente ou não inseridos em unidades de conservação- estão no Quadrilátero Ferrífero/Aquífero (MG), Espinhaço (MG), Peixe Bravo (MG), Caetité (BA) e Urucum (MS) (MADEIRA *et al.* 2015).

⁷ Isto é, substitutos, vicários, em português. Os substitutos de biodiversidade são uma representação de uma determinada porção de biodiversidade, que auxilia na estimativa relativa da variação da biodiversidade entre locais, em especial no contexto de tomada de decisão de priorização de áreas para conservação. O uso desse conceito é um esforço para prover uma avaliação quantitativa da importância biológica de unidades de planejamento a fim de tornar exequível a gestão da biodiversidade (SARKAR e MARGULES 2012).

Ademais, a importância da Serra dos Carajás para a segurança hídrica da região é relatada por Campos e Castilho (2012, p. 34):

Os estudos científicos revelaram que as serranias de Carajás têm função importante para os recursos hídricos, onde se encontram alojados os principais aquíferos regionais e, conseqüentemente, a origem das mais importantes vazões que regularizam o comportamento hidrológico dos trechos a jusante da Serra dos Carajás.

A região de Carajás detém o maior número de cavidades naturais subterrâneas ferruginosas conhecidas no Brasil. São sistemas que se desenvolveram sob formações ferríferas bandadas, coberturas de canga detrítica ou no contato entre as duas e com potencial para ocorrência em rochas máficas e formação em ferricrete (PILÓ e AULER, 2009). São 1.490 cavidades registradas até 2016, correspondentes a 9,3% do registro nacional de cavidades (CANIE 2016) e centenas ainda por inventariar em litologia ferrífera com bioespeleogênese, minerais e espeleotemas únicos. Na biota associada, destacam-se a fauna de invertebrados pouco conhecida e com táxons novos, troglóbios raros⁸ e espécies de vertebrados que vivem e usam as cavidades subterrâneas como abrigo (PILÓ, COELHO, REINO 2015; PILÓ e AULER 2009).

Os dois conjuntos de ecossistemas bem definidos e contrastantes (floresta e vegetação rupestre) na região de Carajás também estão associados à formação da Cultura Neotropical na Amazônia. Nas cavernas ferruginosas está parte da história milenar de exploração e integração humana na Amazônia. Os sítios arqueológicos apresentam evidências com cerca de 9 mil anos da ocupação humana na região de Carajás (MAGALHÃES 1994; MAGALHÃES 2005; KIPNIS, CALDARELLI e OLIVEIRA 2005). Os registros paleoambientais e arqueológicos presentes nas cavidades estão entre as características que levam à classificação destes ambientes como de grau de relevância máximo para a conservação do patrimônio espeleológico (BRASIL 2009).

⁸ Segundo Ferreira, Oliveira e Silva (2015), as espécies de animais encontradas nos ambientes subterrâneos são classificadas em troglóxenas, troglófilas e troglóbias de acordo com as interações ecológicas e especializações evolutivas decorrentes de seu isolamento nesses locais. Os troglóbios não estabelecem populações viáveis no meio externo e podem apresentar modificações morfológicas, fisiológicas e comportamentais decorrentes da pressão seletiva no meio hipógeo. Os troglófilos podem completar seu ciclo de vida no meio subterrâneo ou epígeo. Os troglóxenos são encontrados regularmente no meio subterrâneo, mas não são capazes de completar seu ciclo de vida apenas ali.



3 História de exploração e conservação da Serra dos Carajás

A identidade da Floresta Nacional de Carajás está diretamente relacionada ao caráter de província mineral e, portanto, aos interesses de exploração econômica da área. Embora menos de 2% da extensão da Flona de Carajás seja utilizada por essa atividade, a sobreposição entre as áreas de interesse para a mineração e para a conservação dos geossistemas ferruginosos é integral. Logo, estes sofrem uma pressão extremamente alta, e o manejo da Flona de Carajás está relacionado à convivência de dois objetivos de complexa compatibilização: atividade de mineração e proteção da biodiversidade.

Esta área de relevante valor mineral no sudeste do Pará foi descoberta em 1967 pela empresa United States Steel que, em associação com a Companhia estatal brasileira Vale do Rio Doce (CVRD), obteve direito de exploração do minério de ferro na região de Carajás em 1974. Já no final dos anos 1970 inicia-se a implementação das instalações do sistema de beneficiamento e transporte das jazidas de ferro (Projeto Ferro Carajás) e, secundariamente, manganês, níquel, estanho, cobre, alumínio e ouro (SANTOS 1986). Em 1977 a Vale do Rio Doce assume o controle do empreendimento na região de Carajás com capital exclusivamente nacional e com o apoio de incentivos fiscais, financeiros e ações estruturantes realizadas pelo governo brasileiro sob o Programa Grande Carajás com o financiamento de agências financeiras multilaterais (SANTOS 1986; SANTOS 2010; MADEIRA *et al.* 2015).

Em 1987, foi concedido à CVRD por tempo indeterminado o direito real de uso resolúvel e intransferível de 411.948,87 hectares de terras de domínio da União adjacente à província mineral de Carajás no atual município de Parauapebas. A concessão, autorizada pelo Senado Federal em 1986, foi condicionada não apenas ao aproveitamento das jazidas minerais, como também ao cuidado com a proteção dos ecossistemas, das terras concedidas de domínio da União e ao amparo às populações indígenas existentes nas proximidades (BRASIL 1986). Entre as circunstâncias que determinaram o caráter do direito real de uso estabelecido pelo ato legal estava a preocupação com a ocupação humana desfavorável aos projetos de mineração e os compromissos ambientais e sociais das agências multilaterais financiadoras do Programa Grande Carajás (PGC), estes inspirados principalmente pela Conferência de Estocolmo de 1972 (SANTOS, 2010; MADEIRA *et al.* 2015).

Na esteira das ações centrais do PGC, foram criadas áreas protegidas por lei, entre unidades de conservação e terras indígenas (Figura 2), nas áreas de atividade e de influência dos projetos de mineração na região (SANTOS 2010). Esse arranjo tem garantido não apenas a proteção das jazidas, como propiciado a implementação das unidades de conservação com recursos da mineração e viabilizado ações de conservação no seu interior.

Com a privatização da Companhia Vale do Rio Doce em 1997⁹, a Floresta Nacional de Carajás foi criada no ano seguinte em espaço concedido à empresa com o objetivo de compatibilizar a continuidade da

⁹ A partir de 2008, a Companhia Vale do Rio Doce passa a usar a marca Vale S.A.



utilização direta dos recursos minerais e a exploração sustentável dos recursos naturais, conforme decreto de criação (BRASIL 1998):

Art. 2º Os objetivos de manejo da Floresta Nacional de Carajás são aqueles estabelecidos no Decreto nº 1.298, de 27 de outubro de 1994.

Parágrafo único. Consideradas as peculiaridades geológicas da área da Floresta Nacional de Carajás, incluem-se dentre seus objetivos de manejo a pesquisa, a lavra, o beneficiamento, o transporte e a comercialização de recursos minerais.

Art. 3º As atividades de pesquisa e lavra mineral realizadas pela Companhia Vale do Rio Doce – CVRD e suas empresas coligadas e controladas, na Floresta Nacional de Carajás, devidamente registradas no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM até a data da publicação deste Decreto, bem como a infraestrutura existente, deverão ser integralmente consideradas no plano de manejo, sem que venham a sofrer qualquer solução de continuidade, observadas as disposições legais pertinentes.

Para além do estabelecido no ato de sua criação, o manejo da Flona de Carajás seguiria os objetivos de estabelecimento das florestas nacionais, que estavam vinculados ao uso múltiplo sustentável dos recursos naturais e à preservação de elementos físicos naturais de interesse da sociedade, conforme ordenamento do respectivo plano de manejo (BRASIL 1994b).

Com o estabelecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL 2000), apesar de constar entre os objetivos constitutivos da Flona de Carajás as atividades de pesquisa e de lavra mineral, surge a necessidade de avaliar a demanda de mineração diante do risco de perdas de espécies, ecossistemas e processos ecológicos nesta área agora designada como unidade de conservação. O esforço brasileiro para o cumprimento dos objetivos da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), ratificada no país em 1994 (BRASIL 1994a), resultou não apenas na promulgação da Lei do SNUC como parte da Estratégia Nacional para a Biodiversidade, como também na adoção de estratégias específicas e metas globais e nacionais para se evitar a extinção de espécies. As metas atuais estão definidas no Plano Estratégico 2011-20 da Conservação sobre Diversidade Biológica estabelecidas na Conferência das Partes 10 realizada em 2010 no Japão, conhecidas como Metas de Aichi, com o propósito de melhorar a situação da biodiversidade por meio da redução de pressões e do tratamento das causas de sua perda. Entre as medidas mais importantes para a conservação da biodiversidade estão a proteção de áreas de especial importância para a biodiversidade e para serviços ecossistêmicos (meta 11) e a proteção de espécies ameaçadas e a melhoria de sua situação de conservação, em especial daquelas sofrendo maior declínio, de maneira a se evitar a extinção de espécies (meta 12) (SCB 2016).

Apesar de inegável a proteção oferecida à biodiversidade e serviços ambientais pelo conjunto de áreas protegidas resultantes do interesse mineral na região da província mineral de Carajás, é

igualmente inegável o impacto dirigido diretamente às áreas de recarga de aquíferos e o risco de extinção da biodiversidade e de geoambientes na Flona de Carajás. Portanto, buscou-se entre a prerrogativa do poder público e o interesse privado uma estratégia de convivência entre objetivos de conservação e exploração econômica, ambos de importância estratégica para o Estado brasileiro, à luz dos compromissos nacionais e internacionais para a conservação da biodiversidade.

Uma vez que uma intervenção realizada pela mineração resulta em danos irreversíveis às espécies e ecossistemas associados à canga hematítica, em 2003 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) inseriu como condicionante da Licença de Operação nº 267/2002 (07/2004) a realização de estudos ecológicos que apontassem o tamanho mínimo de áreas de canga a serem reservadas exclusivamente para preservação (Projeto Área Mínima de Canga). Deste projeto resultaram vários levantamentos, vinculados a empreendimentos específicos ou gerais, que tem reunido uma significativa base de dados – no entanto, não foi possível recuperar o esforço amostral empregado nestes estudos.

Em 2013, o Ibama deu mais um passo para explorar as oportunidades de conservação e de mineração na Flona de Carajás. Para o licenciamento da mineração no corpo S11D (Projeto Ferro Carajás S11D) situado na Serra Sul (vide Figura 3), o Ibama exigiu entre as condicionantes o apoio ao estudo Estratégia para Conservação da Savana Metalófila da Floresta Nacional de Carajás – Projeto Cenários, sob responsabilidade da Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

Diferentemente do que é possível concluir a partir dos estudos de impacto ambiental elaborados pontualmente para cada área sob licenciamento, o Projeto Cenários realizou análises prospectivas do *status* dos alvos de conservação no conjunto dos geossistemas ferruginos em área de exploração mineral nas serras dos Carajás a fim de apresentar cenários de priorização de áreas com perda mínima de biodiversidade nas savanas metalófilas. Nesse caso, com apoio do órgão gestor na unidade (ICMBio), o órgão licenciador buscou fortalecer o planejamento integrado da conservação e do aproveitamento econômico onde a permissão da exploração minerária tem como contrapartida a destinação de áreas exclusivas para salvaguarda dos alvos de conservação perdidos no conjunto da área explorada. Embora os cenários produzidos não pretendam substituir as análises do processo de licenciamento, eles permitem superar a análise segmentada dos espaços que são licenciados paulatinamente sob a demanda do empreendedor sem uma análise do conjunto de impactos das etapas anteriormente licenciadas.

O primeiro plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás, aprovado em 2004, foi elaborado em um período cujo início é anterior à lei que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) em 2000. Portanto, ele seguiu a concepção de continuidade das atividades de mineração sem definição de objetivos específicos de manejo com atenção às especificidades biológicas e ambientais da unidade de conservação. Toda área com minério de ferro – e savana metalófila – foi classificada como zona de mineração. Foi determinado um período de 10 anos para a implementação das atividades de manejo dos recursos naturais e gestão da unidade de conservação (IBAMA 2004).

O atual Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás (ICMBIO 2016) foi elaborado a partir da necessidade de redimensionar os objetivos específicos de manejo da unidade de conservação, de destacar os valores da Flona de Carajás para a conservação da natureza e revisar as metas e diretrizes para as atividades e gestão da Flona prevista no planejamento anterior. Os objetivos específicos foram definidos conforme o regulamento das florestas nacionais (BRASIL 1994b), o ato de criação da Flona de Carajás (BRASIL 1998) e das premissas do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL 2000) com a contribuição das informações consolidadas no diagnóstico da unidade de conservação (ICMBIO 2016). Nesta nova versão do planejamento, com subsídios do Projeto Cenários, o zoneamento proposto garante a preservação de testemunhos de savana metalófila com a inserção de áreas de canga nas zonas de conservação e zonas primitivas. Os objetivos específicos do Plano de Manejo da Flona de Carajás passam a ser:

1. Conservar a biodiversidade, os recursos naturais e belezas cênicas, protegendo as espécies da fauna e flora da Amazônia Meridional, com ênfase nas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, e os ecossistemas diferenciados presentes na Floresta Nacional, tais como a Savana Metalófila e a Floresta Estacional.
2. Promover o uso múltiplo dos recursos naturais através de arranjos produtivos locais que objetivem o manejo e aproveitamento econômico da floresta; a pesquisa científica; a educação ambiental e turismo sustentável, contribuindo com o desenvolvimento ambiental e socioeconômico da região.
3. Compatibilizar a exploração mineral com a conservação da biodiversidade e usos múltiplos previstos para as Florestas Nacionais, permitindo a pesquisa, a lavra, o beneficiamento, o transporte e a comercialização de recursos minerais conforme decreto de criação da unidade de conservação, nos limites previstos no Decreto nº 1.298, de 27 de outubro de 1994.
4. Proteger e manter as características hidrológicas, ecológicas e cênicas dos recursos hídricos da bacia do rio Itacaiúnas.

Segundo as análises realizadas no âmbito do Projeto Cenários, existem alvos de conservação associados aos geoambientes ferruginosos (savana metalófila, cavernas de máxima relevância, lagoas perenes em canga, espécies endêmicas) na zona de mineração cuja proteção, mitigação de danos ou compensação pela perda será avaliada nos processos de licenciamento ambiental em ciclos de planejamento adaptativo. Quando necessário, a compensação deverá consistir na destinação de novas áreas para a manutenção de atributos importantes para a conservação.



4 O Projeto Cenários e a definição dos alvos de conservação em áreas de mineração¹⁰

É recomendação do Plano de Manejo da Flona de Carajás que a base de dados referente aos geossistemas ferruginosos seja capaz de identificar alvos de conservação conforme o método do Projeto Cenários – ou método análogo, se pertinente, mas que se vai requerer a mesma organização de dados – a fim de dar continuidade às análises de priorização de áreas que subsidiam o zoneamento da unidade.

O zoneamento da unidade foi estabelecido, explicitamente, com base no melhor conhecimento disponível: houve a organização de diversas fontes de dados, uso de ferramenta de planejamento sistemático para conservação e envolvimento de equipe multidisciplinar, de modo a identificar alvos de conservação, custos e etapas, seguidas por processo de negociação. Foi organizado um banco de dados que permite a alimentação com novos dados e componentes, de modo a subsidiar continuamente as decisões de gestão da unidade de conservação.

¹⁰ A documentação técnica do Projeto Cenários está arrolada ao processo nº 02070.003614/2013-78.



Alvos de conservação são estabelecidos de acordo com os objetivos de conservação e do conhecimento disponível sobre os recursos naturais. É premissa que eles constituam, no seu conjunto, bons indicadores da distribuição da biodiversidade em uma área, sem necessariamente excluir sua ocorrência no tempo, como os processos ecológicos e evolutivos. Os alvos podem ser espécies, ecossistemas, habitats, por exemplo, que podem ser selecionados não apenas por serem bons representantes de padrões de biodiversidade, mas também em função de atributos como raridade e vulnerabilidade a ameaças (MARGULES e PRESSEY 2000).

A escolha do conjunto dos alvos de conservação pelo Projeto Cenários ocorreu em função da disponibilidade de dados e das especificidades ambientais que caracterizam a Floresta Nacional de Carajás. Os componentes da geobiodiversidade escolhidos foram geossistemas (fitofisionomias e lagoas), flora, fauna e cavidades naturais subterrâneas. A revisão do estado da arte do conhecimento sobre as características naturais da Flona de Carajás foi realizada em grande parte a partir de estudos disponibilizados pela Vale S.A. Também foram incorporados dados dos Sistema de Informação e Autorização em Biodiversidade (SISBio), além de publicações científicas independentes e dados de herbários.

O Projeto Cenários foi de grande importância para o levantamento, organização e sistematização de todos os dados espaciais e ambientais referentes à Floresta Nacional de Carajás e à Serra da Bocaina, a leste, e para a análise integrada do *status* dos alvos de conservação (em que foram registradas todas as perdas para a biodiversidade frente ao avanço da mineração). Os cenários de priorização de áreas se apresentaram como importantes subsídios para o acompanhamento do *status* dos alvos de conservação no conjunto dos corpos de canga por meio da análise espacial integrada, de forma a minimizar o risco de extinção local de espécies da savana metalófila na Flona.

O trabalho de seleção de dados pelo Projeto Cenários também levou ao melhor conhecimento da qualidade das informações disponíveis sobre as variáveis que caracterizam os alvos escolhidos, como importância relativa, abrangência e acurácia e a uma demanda por complementação de dados.

Os cenários modelados pelo Projeto abrangeram todas as serras de Carajás onde ocorrem as cangas: Serra Norte, Serra Sul, Tarzan, (situadas no interior da Flora) e Bocaina (a leste da Flona). O potencial de conservação da Serra da Bocaina também é alternativamente explorado pois, apesar de estar situada fora da Flona, está próxima ao limite da unidade de conservação e suas terras pertencem em parte à Vale S.A. que possui direitos minerários no seu subsolo. As Serras Norte e Sul apresentam subdivisões (os chamados corpos) que correspondem à compartimentação geomorfológica ou ao planejamento da exploração minerária; a Serra Norte é subdividida nos corpos N1 a N8 e a Serra Sul em S11-A a S11-D (vide Figura 4).

4.1 Alvos de conservação selecionados

A demanda de conhecimento dos alvos sob prioridade para conservação nas áreas de canga da Flona de Carajás passa pela identificação de seus atributos mais sensíveis à remoção da paisagem original, como endemismo, raridade, grau de ameaça no caso das espécies e distribuição restrita nas rochas ferríferas no caso das cavidades naturais subterrâneas.

A escolha dos alvos, bem como dos atributos, tem relação com o estado atual de conhecimento, considerando tanto identificação, distribuição espacial e temporal, ecologia, função, dentre outros. Ficaram evidentes lacunas importantes de conhecimento que aparecerão na segunda parte deste documento, cujos dados também poderão trazer novas perspectivas e possibilidades analíticas. As grandes ausências no Projeto Cenários foram os temas hidrologia e arqueologia, que serão tratados neste plano.

4.1.1 Biodiversidade

Após verificação de qualidade, todos os registros de ocorrência de espécies da fauna ou flora foram identificados quanto ao grau de ameaça (em perigo, vulnerável, quase extinta) de acordo com os critérios nacionais e internacionais de avaliação, isto é, a lista vermelha da International Union for Conservation of Nature (IUCN 2014), o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (MACHADO, DRUMMOND, PAGLIA 2008) e a Resolução nº 54/2007 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade, que homologa a lista de espécies da flora e da fauna ameaçadas no estado do Pará (PARÁ 2007). Considerou-se também o grau de endemismo e a especificidade/dependência do ambiente de canga.

Em função dos fortes vieses espaciais dos registros das espécies, pela falta de registro dos esforços amostrais e ainda baixo grau de conhecimento sobre as relações ecológicas entre as espécies de canga na região, optou-se por focar as análises nas espécies endêmicas, raras e ameaçadas, intensamente afetadas pela supressão do hábitat causado pela atividade de mineração, e para uma espécie de uso extrativista ameaçada, o jaborandi.

A compilação e curadoria dos dados de fauna foi facilitada pelo fato de parte significativa dos disponíveis já ter passado por este procedimento para elaboração do livro Fauna da Floresta Nacional de Carajás (MARTINS *et al.* 2012). Foram selecionados os dados que dispunham de informações geográficas mais precisas para seis grupos de vertebrados: anfíbios, aves, mamíferos de pequeno porte, mamíferos de médio e grande porte, morcegos e répteis – mais a fauna cavernícola. As análises focaram as espécies mais dependentes da canga.

4.1.2 Cavidades naturais subterrâneas

As cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo – valor determinado pela análise de atributos geológicos, biológicos, hidrológicos, paleontológicos, histórico-culturais, socioeconômicos e cênicos das cavidades de uma mesma litologia – e sua área de influência são objetos de proteção permanente conforme decreto nº 6.640 de 2008 (BRASIL 2008) e regulamentação da Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente, IN nº 2 de 2009 (BRASIL 2009). Além disso, como condição para o licenciamento ambiental, a supressão de uma cavidade de grau de relevância alto implica na preservação permanente de duas cavidades de mesmo grau de relevância, litologia e com atributos similares à que sofreu impacto. Estas cavidades são reconhecidas como ‘cavidades testemunho’.

Nas litologias ferríferas de Carajás, as cavernas abrigam elevada riqueza de espécies especializadas e de distribuição restrita – os troglóbios – e apresentam bioespeleogênese, minerais e espeleotemas únicos. Os atributos considerados para a análise desse alvo foram: projeção horizontal e área das cavernas, densidade de cavernas, riqueza total de espécies, riqueza de espécies troglóbias, presença de *bat caves* (*hot caves*), cavernas com presença de quirópteros, presença de água, litologia dominante (máfica, formação ferrífera bandada e formação em ferricrete) e diversidade de espeleotemas.

4.1.3 Geoambientes

Geossistemas ou geoambientes são unidades ambientais indicadoras de diversidade biológica (*surrogates* ou substitutos) e podem ser usados como alvos de conservação (MMA 2007), pois representam conjuntos de associações de plantas e animais relacionados a certas condições de habitat. Ou seja, ao se conservar uma diversidade de geoambientes, espera-se preservar a diversidade da flora, fauna e de processos ecológicos e evolutivos associados mesmo ainda não conhecidos ou mapeados para os locais de interesse.

A abordagem na forma de geoambientes foi utilizada anteriormente no contexto do licenciamento, como no estudo Área Mínima de Canga, pois representa uma caracterização padrão possível de ser realizada para o conjunto de corpos de canga. No entanto, este ponto de vista deve ser enriquecido uma vez que a relação entre substitutos (*surrogates*) e a distribuição efetiva das espécies pode ser complexa.

Os geoambientes foram agrupados em 10 classes: bunitizal, campo brejoso, campo gramíneo, lajedos, mata alta (*capão*), mata baixa, vegetação rupestre arbustiva, vegetação rupestre aberta, floresta (mata de transição) e lagoas.

4.2 Análise de dados

A análise integrada dos dados espaciais para elaboração de cenários de conservação e exploração econômica que envolvem os alvos de conservação nas formações ferríferas da Floresta Nacional de Carajás foi realizada com uso do *software* Zonation v. 3.1 – *Zonation conservation planning software* – uma ferramenta de apoio ao planejamento territorial desenvolvida pelo Centro Finlandês de Excelência em Biologia de Metapopulações (MOILANEN, LEPPÄNEN, POUZOLS 2012). O Zonation é um sistema de priorização capaz de avaliar em termos quantitativos e comparativos a importância relativa de áreas considerando valores de biodiversidade e custos de conservação (no caso deste estudo, a massa de minério).

4.3 Base de dados geográficos¹¹

Diante da necessidade de integração espacial dos dados para a análise de priorização de áreas, a base de dados geográficos do Projeto Cenários, bem como da Flona de Carajás, foi organizada de acordo com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000), que é o novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) – definido por resolução normativa pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE 2005). A nova base de dados geográficos da Flona de Carajás segue o padrão DATUM SIRGAS2000 e projeção UTM fuso 22 sul, um sistema de coordenadas cartesiana bidimensional com unidades de área e distância em metros útil para mensurações precisas em escala local.

O esforço de organização e sistematização dos dados ambientais e geográficos utilizados pelo Projeto Cenários expôs as fragilidades de registro das informações e as inconsistências em sua documentação e apresentação durante os procedimentos de consolidação dos dados e atualização automática de sinonímias. Os principais problemas de registro de dados identificados foram as imprecisões de posição espacial e de identificação, que constituem as principais causas de erro nos bancos de dados sobre ocorrência de espécies, a desconfiguração dos valores devido a não padronização de casas decimais e a não inclusão do sinal negativo para a localização de projetos no hemisfério sul.

Tão importante quanto o real aproveitamento dos dados é a descrição clara do esforço amostral realizado para a obtenção dos mesmos, o que não aconteceu em muitos estudos de flora e fauna. Por isso, as informações encontradas não permitiram estabelecer a riqueza esperada de espécies em uma área não amostrada. A constatação da deficiência ou inexistência de informação sobre o esforço amostral reforçou a importância dos alvos “geoambiente” e “cavidades naturais subterrâneas” como substitutos (*surrogates*) de biodiversidade.

Ainda está em definição onde ficará hospedado o banco de dados e como será sua alimentação futura, em função de novas funcionalidades em desenvolvimento e perspectivas de integração dos sistemas existentes, como vem ocorrendo rapidamente no caso dos dados florísticos, com a integração de coleções.


¹¹ Esta seção baseia-se em Barros (2015).



Foto: Katia Torres Ribeiro

Foto: Katia Torres Ribeiro





PARTE II

Linhas temáticas e recomendações prioritárias

1 Introdução

As linhas de pesquisas prioritárias e recomendações gerais ao licenciamento da atividade minerária são apresentadas de modo que possam constituir uma orientação aos processos com base legal e também estímulo para pesquisas espontâneas com foco nas necessidades de manejo e monitoramento da unidade de conservação.



As linhas de pesquisa sugeridas buscam fortalecer o conhecimento e a proteção dos geossistemas ferruginosos no interior da unidade de conservação, como também identificar oportunidades de conservação desses alvos na Serra dos Carajás como um todo. A definição de zona de conservação que abarca parte dos geossistemas ferruginosos na Flona (ICMBIO 2016) e a criação do Parque Nacional Campos Ferruginosos (Serras da Bocaina e Tarzan) não devem esmorecer os esforços de investigação destas áreas, inclusive no âmbito do licenciamento. Deve-se ter em mente que os alvos não se restringem aos escolhidos para análise no Projeto Cenários, uma vez que houve uma limitação relacionada ao conhecimento disponível na ocasião – por exemplo, a dificuldade de incorporar parâmetros relacionados aos recursos hídricos e patrimônio arqueológico.

O detalhamento dos temas emerge das lacunas de conhecimento chave identificadas pelo Projeto Cenários, das demandas do plano de manejo da unidade de conservação e de consultas a especialistas com reconhecida experiência em geoambientes ferruginosos. Posteriormente, contou-se com os insumos das palestras e discussões durante o I Seminário de Pesquisa da Floresta Nacional de Carajás, realizado em 2016 no Campus de Parauapebas da UFRA.

O processo de levantamento de dados realizado pelo Projeto Cenários (parte I – seção 4) evidenciou a deficiência ou inexistência de informação sobre o esforço amostral utilizado pelos diversos estudos sobre flora e fauna, fato que aumentou a importância dos geoambientes e cavidades naturais subterrâneas como substitutos (*surrogates*) de biodiversidade. Tem-se ainda um forte viés espacial nos inventários de biodiversidade e patrimônio espeleológico, uma vez que os estudos ambientais são focados nos blocos em licenciamento, apesar de exceções mais abrangentes como o projeto Área Mínima de Canga, demandados pelo órgão licenciador justamente visando análises integradas. Por isso, em cada tema apontamos as áreas que demandam complementação de esforço de levantamento. Quando necessário, é indicada a necessidade de padronização metodológica e para a coleta de dados. No caso dos estudos espontâneos a padronização é eletiva (apenas recomendação) mas é uma exigência para os estudos realizados no âmbito do licenciamento ou encomendados pela unidade.

Deve-se destacar a dificuldade em gerir o conhecimento no âmbito do licenciamento – não há um sistema para registro dos estudos realizados e ainda não estão consolidados o fluxo e as orientações para entrega de resultados e dados dos monitoramentos ambientais, ao contrário do que ocorre nas pesquisas espontâneas, cadastradas no Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio).

Embora se observem expressivos investimentos em estudos nos ecossistemas ferruginosos, como mostrado no I Seminário de Pesquisa da Flona Carajás, é preciso lançar mão de ferramentas para avaliar constantemente as áreas ou temas com maiores lacunas de conhecimento.



Foto: Leonardo Viana

2 FLORA

Avanços no conhecimento florístico são fundamentais para que se possam lançar conclusões sobre a representatividade da flora de canga na Flona de Carajás. Há a necessidade de aprofundamento e sistematização dos estudos botânicos na região a partir de um minucioso trabalho taxonômico que envolve descrição de novas espécies e revisão de táxons já depositados em herbários (MOTA *et al.* 2015; LIMA 2016; VIANA 2016). A florística precisa progredir na abrangência taxonômica, pois grande parte dos táxons não estão identificados até espécie – como em *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Passifloraceae*, *Poaceae*, *Orchidaceae*, *Gesneriaceae*, *Piperaceae*,



Isoetaceae e *Rubiaceae* (MOTA *et al.* 2015). Atualmente, estão sendo conduzidos estudos taxonômicos por especialistas de várias instituições em projeto de cooperação entre o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Instituto Tecnológico Vale do Desenvolvimento Sustentável (ITVDS) (VIANA 2016)¹². No entanto, para se ganhar celeridade na publicação das monografias da flora das cangas da Serra dos Carajás, é necessário apoio na elaboração das pranchas de desenho dos espécimes (VIANA 2017).

Como as áreas com maior esforço de inventário correspondem aos blocos licenciados ou sob licenciamento, existe a necessidade de ampliação da área inventariada, com ênfase nas áreas menos amostradas dos geossistemas que atualmente estão em N5-Morro Dois, N6, S11A, S11B, S11C, Serra do Tarzan e Serra do Cristalino (VIANA 2017). No âmbito do licenciamento, têm sido demandados estudos que levam a este conhecimento mais abrangente, como o Projeto Área Mínima de Canga, realizado em 2007-2008, e o Espécies Endêmicas dos Campos Rupestres da Serra dos Carajás e Sudeste do Pará, em curso.

Segue-se aos estudos florísticos a necessidade de reavaliação da diversidade e endemismos da flora da canga. A atualização da riqueza e composição desta flora está pendente desde as últimas publicações de levantamentos florísticos realizados até os anos 1990. Da mesma forma, não existe na literatura uma lista atualizada dos táxons endêmicos, raros e ameaçados elaborada a partir de uma flora autenticada (MOTA *et al.* 2015; LIMA 2016; VIANA 2016). A coleção de referência deve destacar também outras espécies da flora sensíveis ao cenário de exploração mineral.

Também estão em andamento pela parceria MPEG-ITVDS estudos de aprofundamento sobre a distribuição, fenologia e interações ecológicas de espécies consideradas ameaçadas, endêmicas e raras (VIANA 2016), de que se deriva a necessidade de uma linha de estudos de genética de populações, filogeografia e genética de paisagem de espécies consideradas endêmicas de canga (VIANA 2017).

Neste momento, estão sendo priorizados estudos sobre *Carajasia cangae*, que ocorre apenas na Serra Sul, e *Ipomoea cavalcantei*, que ocorre apenas em corpos da Serra Norte (N1-N4). Ambas têm distribuição muito restrita e em áreas pressionadas pela mineração e que por isso demandam atenção especial para subsidiar medidas complementares de proteção (MARTINS, 2015). *Parapiqueria cavalcantei* é

¹² No momento de elaboração deste Plano, sob a coordenação do pesquisador Pedro Lage Viana (Museu Emílio Goeldi) e financiamento da Vale está em elaboração a Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil, com previsão de publicação até 2018 de monografias abarcando a maioria das famílias que ocorrem nos geossistemas ferruginosos.

conhecida apenas por uma coleta no corpo S11C e outra ocorrência em local desconhecido na Serra Norte (SILVA 2016). *Isoetes cangae* é restrita às lagoas permanentes na Serra Sul e *I. serracarajensis* é encontrada nas Serras Sul, Norte, do Tarzan e da Bocaina (PEREIRA *et al.* 2016). Existem novas espécies em processo de descrição como o bambu *Guadua* sp. conhecido apenas por uma população na face noroeste do corpo N7 (SILVA 2016).

Outro caso especial é o das espécies *Ipomoea cavalcantei*, a flor de Carajás, endêmica de N1-N4, e *Ipomoea marabaensi*, endêmica de N5S, N6, N7, N8, Tarzan e Serra Sul, que têm forma vegetativa idêntica, mas floração distinta, não ocorrem juntas no mesmo espaço e há evidências de hibridização onde houve contato entre elas (porção sul de N4WS). Avaliações fenotípicas e genéticas são importantes para subsidiar o conhecimento sobre os fenótipos, a distribuição e a existência de populações híbridas em toda a Flona de Carajás para que se possa destinar áreas que garantam seu testemunho (MARTINS 2015; SILVA 2016).

Para a avaliação e o monitoramento da viabilidade das populações endêmicas, raras ou em alto grau de ameaça, são recomendados estudos ecológicos, fenológicos, genéticos e de biologia reprodutiva nas áreas onde ocorrem em Carajás. O conhecimento das relações planta-polinizador e das estratégias de dispersão de sementes é fundamental para avaliar a existência de um fluxo gênico entre os platôs da Flona de Carajás e para o monitoramento das espécies sensíveis à degradação do ambiente ferruginoso na Flona de Carajás (SILVA 2016).

Gestão do conhecimento

Para que os registros de ocorrência de espécies da flora sejam úteis nas decisões de conservação, é indispensável que a apresentação dos dados dos estudos realizados na unidade siga especificações estabelecidas. O ICMBio recomenda que os dados sejam apresentados de forma padronizada conforme o QUADRO 1, padronização que é obrigatória no âmbito do licenciamento, e determina o depósito de exsicatas em herbários com integração de dados.

Um sistema de consulta *online* que funcione como um mapa atual do conhecimento sobre o conhecimento florístico, que aponte inclusive os corpos de canga menos amostrados, o esforço de coleta nos diferentes corpos, é um dos instrumentos necessários para apoiar as decisões de conservação em Carajás (LIMA 2016).

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre a flora e a vegetação são:

- Espécies restritas:
 1. Inventários florísticos, com destaque para endemismos, raridades, espécies e outras espécies da flora sensíveis ao cenário de exploração mineral.
 2. Ampliação da área inventariada com ênfase nas áreas menos amostradas.
 3. Descrição de novas espécies e revisão de táxons a partir do material já contido em herbários.

4. Apoio na elaboração das pranchas de desenho das monografias da Flora das cangas da Serra dos Carajás.
 5. Revisão da riqueza, endemismos, espécies raras, ameaçadas e flora sensível a exploração.
 6. Conhecimento da real distribuição e abundância das espécies endêmicas ou fortemente pressionadas.
 7. Estudos de genética de populações, filogeografia e genética de paisagem de espécies consideradas endêmicas.
 8. Estudos da biologia, genética, fenologia, interações ecológicas e fenotípicos, quando necessário, de espécies fortemente ameaçadas pela mineração planejada como *Carajasia cangae*, *Ipomoea cavalcantei*, *I. marabaensi*, *Parapiqueria cavalcantei* e *Isoetes cangae* e *I. serracarajensis*.
- Conjunto de espécies da flora em geral:
 1. Identificação dos táxons até o nível de espécie e revisão de táxons de material já contido em herbários, além de descrição das novas espécies coletadas.
 2. Consolidação de lista de referência da Serra dos Carajás.
 3. Revisão da riqueza e composição da flora da Serra dos Carajás.
 4. Ampliação da florística para toda a Flona de Carajás incluindo, por exemplo, áreas adjacentes às minas e os ambientes associados aos arenitos e granitos.
 5. Estudos de polinização e dispersão a fim de se avaliar a conectividade entre os diferentes platôs.
 6. Estudos que ampliem o entendimento da associação das espécies com os geoambientes.
 7. Implementação de sítios para monitoramento de longo prazo da estrutura e dinâmica da vegetação de canga, visando compreender padrões fenológicos, *turnover* de espécies, comportamento das espécies anuais, dentre outras características de comunidade.
 - Para a gestão do conhecimento, destacam-se:
 1. Padronização dos dados dos estudos realizados na unidade (QUADRO 1).
 2. Depósito de exsicatas em herbários com integração de dados.
 3. Promover a informatização e consulta *online* da Coleção do Herbário de Carajás, com informações atualizadas sobre esforço de coleta nos diferentes corpos e corpos menos amostrados.



Foto: Frederico Drummond Martins

3 FAUNA

O conhecimento sobre a fauna da Flona de Carajás está mais organizado em torno dos vertebrados terrestres, com foco no levantamento da composição das comunidades. O livro Fauna da Floresta Nacional de Carajás (MARTINS *et al.* 2012) ainda é a única publicação com dados consolidados dos registros de vertebrados nessa área. No entanto, é de mais alta relevância a realização de estudos taxonômicos, morfológicos e genéticos que auxiliem na revisão de táxons de identificação incerta e na determinação de espécies presentes nas coleções disponíveis. Essas linhas de trabalho, além de apoiarem a qualificação dos estudos ecológicos, devem conduzir naturalmente à revisão da riqueza, composição e distribuição da fauna da região, incluindo sua associação com os geossistemas ferruginosos, permitindo o reconhecimento de endemismos, estimativas de riscos de extinção e conhecimento detalhado da riqueza (MARTINS *et al.* 2012).



Recomenda-se a realização de busca de espécies de potencial ocorrência nas formações ferríferas, bem como padrões de ocorrência pouco estudados, a exemplo das aves (*ver abaixo*). Esta recomendação provém da grande heterogeneidade de ambientes da unidade e da proximidade a áreas de transição entre a Amazônia e o Cerrado, fatores que favorecem a diversificação de espécies (MARTINS *et al.* 2012; VASCONCELOS e HOFFMANN 2015). Além disso, pelo arranjo em ilhas das áreas de vegetação aberta nos platôs das serras ferruginosas, que diferem entre si no tamanho e na distância umas das outras, podemos supor diferenças na composição da fauna nessas manchas de canga (CAVALCANTI 1986). Salienta-se que espécies de hábitat essencialmente florestal e de grande mobilidade apresentam poucos pontos de ocorrência na canga (ICMBIO 2013).

Vertebrados

A não padronização dos métodos de coleta e do esforço de amostragem dos estudos sobre a distribuição da fauna de vertebrados terrestres (inclusive a falta de comunicação sobre o esforço empregado) prejudica a compreensão da diversidade na Flona de Carajás e nos geoambientes ferruginosos. Para que os registros de ocorrência de espécies da fauna sejam mais úteis nas decisões de conservação, é desejável que a apresentação dos dados dos estudos realizados na unidade de conservação siga especificações estabelecidas. O ICMBio recomenda que os dados sejam coletados de forma padronizada conforme o QUADRO 1.

Como as áreas de savana metalófila sofrem grande influência de sazonalidade e das variações do clima ao longo do dia, as amostragens desse grupo devem ser realizadas em diferentes períodos do dia e do ano a fim de abranger as especificidades de comportamento da fauna. Também devem ser realizadas em todos os corpos de canga, inclusive os protegidos pelo novo zoneamento da unidade, pois os corpos apresentam variações em seus aspectos edáficos, no tamanho e na distribuição dos geoambientes. Portanto, deve-se levar em consideração todas as suas peculiaridades abióticas e bióticas, isto é, geossistemas, cavernas, remanescentes de florestas e adjacências e a distâncias de cursos d'água (FERRAZ 2016; LUZ 2016; CARVALHO 2017).

As espécies de áreas onde a mineração é prevista demandam estudos mais detalhados sobre distribuição e abundância e de comportamento perante os impactos por vezes difusos da mineração. São espécies reconhecidamente sob ameaça no cenário de perda do ecossistema (ALEIXO, CARNEIRO, DANTAS 2012; MASCHIO *et al.* 2012; NECKEL-OLIVEIRA *et al.* 2012; TAVARES *et al.* 2012):

- O morcego *Natalus macrourus*, estritamente cavernícola, com ocorrência muito restrita e ameaçado de extinção. A distribuição espacial e da riqueza do grupo é uma das principais lacunas do conhecimento das espécies de morcegos em toda a Flona de Carajás (*ver também* cavidades naturais subterrâneas).
- Os anfíbios *Ameerega cf. flavopicta* (população vicariante, podendo ser uma espécie nova para a ciência) e *Pseudopaludicola canga* (distribuição tida como restrita às áreas de savana metalófila na Flona de Carajás, mas recentemente encontrada em outras áreas abertas do Pará).

- A distribuição e abundância da serpente endêmica da savana metalófila *Liophis carajasensis*, localizada apenas na Serra Norte, requerem detalhamento.
- As aves aparentemente endêmicas que ocorrem nos ambientes relacionados a savana metalófila *Synallaxis scutata teretiala* (Furnariidae), *Procnias alba wallacei* (Cotingidae), *Zonotrichia capensis novaesi* (Emberizidae). As aves *Z. capensis novaesi*, *P. albus wallacei* e *P. albus wallacei* são consideradas subespécies endêmicas da Serra dos Carajás, mas são necessários estudos que avaliem o grau de diferenciação e isolamento genéticos desses táxons em relação às demais populações da espécie.

Assim como o anfíbio *Ameerega flavopicta*, endêmico do Cerrado, porém com uma população vicariante na Flona de Carajás, outros táxons necessitam de estudos detalhados que definam sua classificação, distribuição geográfica, sua novidade para ciência e a situação de parentesco com outras espécies, como é o caso de *Allobates* gr. *marchesianus*, *Cochranella* sp., *Dendropsophus* gr. *microcephalus*, *Scinax* cf. *garbei*, *Scinax* gr. *ruber*, *Scinax* x-*signatus*, *Physalaemus* cf. *centralis*, *Leptodactylus andreae*, *L. hylaedactylus*, *Pristimantis* aff. *zeuctotylus*, *Proceratophrys concavitympanum* e *Rhinella* gr. *margaritifera*. A especificidade da fauna de anfíbios da Flona de Carajás, com origem na diversidade de ecossistemas locais, aliada a situação geográfica da Flona de Carajás, como uma região de transição entre biomas, sugere a necessidade de estudos para esclarecer a variação geográfica e populacional das espécies de anfíbios, bem como análises morfológicas, bioacústicas e moleculares que apoiem os estudos taxonômicos na delimitação das espécies (NECKEL-OLIVEIRA 2012).

No caso das aves, supõe-se que o isolamento nas manchas de vegetação aberta de espécies características do Cerrado e da Caatinga favoreça diferenciações genéticas, morfológicas e/ou vocais em relação às populações que ocorrem na região dos Carajás. Para a verificação dessa previsão, são necessárias análises taxonômicas e filogeográficas que por sua vez demandam estudos bioacústicos e estudos moleculares (VASCONCELOS e HOFFMANN 2015). Outro padrão específico que precisa ser explorado é a ocorrência de espécies migratórias neárticas que utilizam as lagoas e áreas úmidas associadas aos geossistemas ferruginos como importantes pontos de passagem em determinadas estações do ano (ALEIXO 2011; VASCONCELOS e HOFFMANN 2015).

Apesar da alta riqueza de espécies de morcegos reportadas para a Flona de Carajás, são insuficientes os estudos comparativos de ecologia de comunidades que avaliem a distribuição dessas comunidades nos diferentes ecossistemas da Flona de Carajás. Há espécies de morcegos muito sensíveis a alterações na disponibilidade de abrigo e alimento e, por isso, esse grupo é considerado um bom indicador de qualidade ambiental. No entanto, a determinação da área de vida, hábitat e da abundância desses mamíferos encontrados na Flona são as principais lacunas que limitam o conhecimento da atuação desses animais nos processos de manutenção dos ecossistemas locais, como também limita ou mesmo induz a erros na inferência de seu grau de ameaça (TAVARES 2012; GOMES, SILVA, TAVARES 2015). A determinação dos padrões de deslocamento e das áreas de vida são importantes principalmente para as espécies registradas em cavidades e das com potencial para usar esses ambientes (TAVARES 2012).

A participação da fauna nos processos mantenedores dos ecossistemas de Carajás também deve estar em foco, não apenas pelas decisões de conservação da biodiversidade como pela necessidade de recuperação de áreas degradadas pela mineração. O potencial para estudos envolve o papel das interações ecológicas na manutenção da variabilidade genética e da viabilidade de populações (JACOBI *et al.* 2015), por exemplo, como se dá a participação da avifauna na manutenção da vegetação associada aos geossistemas ferruginosos por meio da polinização e da dispersão de sementes (VASCONCELOS e HOFFMANN 2015). O papel dos morcegos na dispersão de sementes, polinização e no controle biológico de populações animais é relevante devido à variedade de seus hábitos alimentares, porém permanece pouco conhecido (GOMES, SILVA e TAVARES 2015). Nesse sentido, existe também uma convergência entre espécies vegetais endêmicas e morcegos nectarívoros que utilizam cavidades que deve ser investigada (TAVARES *et al.* 2012).

A anta (*Tapirus terrestris*), que está sob ameaça de extinção na escala nacional, é um dos alvos de conservação com vários registros de ocorrência nas áreas de canga. Além do *status* de vulnerabilidade, é um importante frugívoro e dispersor de um número grande de sementes. De acordo com observações em campo, existe a possibilidade de no caminho traçado pela anta dentro de uma canga desenvolverem-se espécies da flora diferentes das que ocorrem nas demais áreas da canga. Por isso, são recomendados estudos para se avaliar a contribuição dessa espécie no estabelecimento de espécies da flora e na criação de micro-habitats para espécies específicas da flora nesses ambientes, ou seja, na estruturação da comunidade vegetal (ICMBIO 2013).

Também é importante entender os padrões de uso do espaço das formações abertas pelas espécies da fauna, bem como suas interações ecológicas, tendo como prioridade aquelas mais associadas a esses ecossistemas, de modo a estabelecer parâmetros para as análises integradas. Ao fornecer parâmetros sobre proporções da canga que deveriam ser preservadas, tais estudos podem ajudar a superar as dificuldades de se atribuir uma ocorrência fixa para espécies da fauna em uma escala como a utilizada para priorização de áreas nos geossistemas ferruginosos.

Impactos sobre a fauna de vertebrados

Do ponto de vista da viabilidade das populações, são necessários estudos que possam responder se as áreas escolhidas para conservação são capazes de sustentar uma fauna representativa das espécies que dependem dos campos ferruginosos para sobrevivência, isto é, informações sobre alimentação, reprodução e área domiciliar (CAVALCANTI, 1986). Além disso, é necessário que essas áreas também sejam reconhecidas como capazes de garantir a manutenção das interações ecológicas que sustentam a própria comunidade vegetal (CARVALHO, 2017). De maneira geral, os anfíbios são considerados animais sensíveis que podem ser amplamente afetados pelos impactos da supressão ou degradação de seu habitat restrito: *Ameerega flavopicta*, *Dendropsophus melanargyreus*, *Scinax fuscomarginatus* e *Leptodactylus siphax* são espécies desse grupo que ocupam e se reproduzem nas áreas de vegetação de canga. Nesse grupo também estão morcegos cavernícolas como *Pteropteryx macrotis*, *Pteronotus gymnotus*, *Pteronotus personatus*,

Natalus macrourus, *Diphylla ecaudata*, *Anoura caudifer*, *Phyllostomus elongatus*, *Micronycteris microtis*, *Micronycteris megalotis* e *Lampronnycteris brachyotis* que apresentam baixa frequência de captura e utilizam ambientes específicos para sobrevivência (NECKEL-OLIVEIRA *et al.* 2012; K. FERRAZ 2016; LUZ 2016).

A fim de avaliar os efeitos da fragmentação do ambiente ou a relevância de áreas contínuas para a persistência da fauna nas áreas de mineração, são necessários estudos relacionados à dinâmica populacional e de comunidades, isto é, tendências e flutuações, probabilidade de sobrevivência. Para esta análise, a área deve ser avaliada antes, durante e depois do impacto para que se possa observar a diferença. É necessário quantificar a intensidade dos impactos sobre os vertebrados no entorno da mineração por meio de informações sobre a riqueza e abundância das espécies, composição de dieta, comportamento reprodutivo, por exemplo. Apesar da inexistência de estudos na Flona de Carajás sobre a contaminação da fauna por metais pesados da mineração, há evidências da presença desses elementos no solo, água e em tecidos de plantas (SILVA 1992). É dá maior importância uma linha de estudos sobre a contaminação da fauna relacionada as áreas em que os recursos contaminados são encontrados (K. FERRAZ 2016; LUZ 2016).

De maneira geral, é necessário conhecer as espécies de todos os grupos que sejam mais sensíveis aos impactos da mineração, bem como conhecer os fatores mais impactantes para a fauna, em particular em áreas adjacentes às cavas (CARVALHO 2017). Entre os impactos aparentemente menos explícitos da mineração sobre a fauna, ainda não avaliados na Flona de Carajás, estão os ruídos e vibrações no solo causados pela explosão dos maciços rochosos e pela operação de equipamentos como compressores, britadeiras, perfuratrizes, caminhões, etc. Há a necessidade de se avaliar os efeitos dessas atividades sobre a dispersão da fauna, em particular a influência da pressão acústica sobre os quirópteros, e se há alteração na riqueza de médios e grandes mamíferos em áreas de savana metalófila próximas às da mineração (ICMBIO 2013).

Vertebrados aquáticos

Muitas vezes, o conhecimento sobre este grupo está relacionado ao monitoramento da qualidade ambiental. A demanda aqui está no levantamento da riqueza de espécies, das populações indicadoras de qualidade ambiental e no estudo das comunidades em áreas que sofrem influência da mineração. Nessa linha, devem ser investigados não só os padrões funcionais de organização das comunidades dos vertebrados aquáticos, como a resposta desses padrões às interferências provocadas pela mineração. Da mesma relevância são estudos que sejam capazes de detectar a presença de metais pesados no organismo de desses animais (FERRAZ 2016; LUZ 2016).

Invertebrados

Dados de ocorrência, distribuição e ecologia de invertebrados encontram-se disponíveis apenas para os que ocorrem nos ambientes cavernícolas, mesmo assim em ínfima fração. A demanda de conhecimento básico para esse grupo está no levantamento da riqueza e abundância de artrópodes

terrestres, principalmente os insetos, e ênfase nos estudos ecológicos, a fim de verificar se há relações específicas desses animais com as peculiaridades dos fatores ambientais dos geossistemas ferruginosos (VANZOLINI e BRANDÃO 1986).

Segue-se daí a necessidade de conhecer como as comunidades de artrópodes características desses ecossistemas estão estruturadas e como os padrões de organização respondem às interferências provocadas pela mineração. Esse conhecimento é útil para a identificação de espécies ou grupo de espécies que manifestem a existência de problemas relacionados à fragmentação, redução e perda de hábitat (FERRAZ 2016; LUZ 2016).

Estudos sistêmicos

Diante da contínua e grande intervenção da atividade de mineração sobre os geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás e da necessidade de se avaliar os impactos desta atividade sobre a fauna, recomenda-se a realização de estudos sistêmicos em toda a Flona dos Carajás. São estudos que vão além dos levantamentos e monitoramentos pontuais no tempo e no espaço dos vertebrados terrestres e que possibilitem conhecer como o conjunto dessa fauna está estruturado, isto é, como fatores ecológicos em um contexto regional determinam a distribuição das populações, e quais seriam as condições para sua persistência nesse cenário de riscos. Essa demanda passa pelo planejamento integrado e ordenado das pesquisas sobre fauna de forma que se exponha as lacunas de informações e se evite a redundância de dados. Recomenda-se nesse sentido o desenvolvimento de estudos de longa duração em parcelas permanentes de amostragem que serão relevantes para a avaliação dos impactos da mineração sobre as comunidades de fauna (MARTINS *et al.* 2012).

Como os efeitos da mineração são multifatoriais e multidimensionais, é difícil estabelecer relações de causalidade e compreender processos a princípio simples, como o efeito de borda. Para lidar com este desafio, é importante desenvolver uma malha amostral que considere os efeitos sinérgicos das várias atividades e infraestruturas relacionadas à exploração mineral (estradas, ferrovias, cava, dentre outros). Uma possibilidade é a implementação de rede de armadilhamento fotográfico nos moldes do protocolo TEAM, que vem sendo adotado pelo Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade.

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre a fauna associada ao geossistemas ferruginosos são:

1. A ampliação do conhecimento taxonômico, morfológico e genético da fauna a fim de auxiliar na revisão de táxons de *status* incerto e na determinação de espécies presentes nas coleções disponíveis.
2. Estudos bioacústicos e moleculares que apoiem as análises taxonômicas e filogeográficas na delimitação de espécies.
3. Estudos da distribuição e abundância das espécies endêmicas ou restritas como o morcego *Natalus macrourus*; os anfíbios *Ameerega cf flavopicta* e *Pseudopaludicola canga*, a serpente *Liophis carajasensis*, e as aves *Synallaxis scutata teretiala*, *Procnias alba wallacei*, *Zonotrichia capensis novaesi*.

4. Avaliação do grau de diferenciação e isolamento genéticos das aves *Z. capensis novaesi*, *P. albus wallacei* e *P. albus wallacei* em relação às demais populações da espécie a fim de se confirmar a existência das subespécies endêmicas.
5. Estudos que verifiquem o padrão de ocorrência da avifauna migratória neártica que utiliza as lagoas e áreas úmidas como importantes pontos de passagem.
6. Estudos de polinização e dispersão de sementes que avaliem a contribuição das aves e morcegos para a manutenção da vegetação associada aos geossistemas ferruginosos.
7. Avaliação especial da convergência entre espécies vegetais endêmicas e morcegos nectarívoros que utilizam cavidades.
8. Estudos que avaliem a contribuição da anta (*Tapirus terrestris*) no estabelecimento de espécies da flora e na criação de micro-habitats para espécies específicas da flora nos geoambientes ferruginosos.
9. Conhecimento dos padrões de uso do espaço das formações abertas pelas espécies da fauna para que se possa reduzir as dificuldades de se atribuir uma ocorrência fixa para as espécies associadas a esses ecossistemas.
10. Estudos que avaliem a capacidade das áreas escolhidas para conservação de sustentar uma fauna representativa das espécies que dependem das áreas abertas das formações ferríferas para sobrevivência.
11. Estudos que avaliem a capacidade das áreas escolhidas para conservação de sustentar as interações ecológicas que mantém a comunidade vegetal.
12. Levantamento das espécies de todos os grupos que sejam mais sensíveis aos impactos da mineração, bem como dos fatores mais impactantes para a fauna.
13. Estudos relacionados à dinâmica populacional e de comunidades, como tendências, flutuações, probabilidade de sobrevivência, que permitam avaliar os efeitos da fragmentação do ambiente ou da relevância de áreas contínuas para a persistência da fauna nas áreas de mineração.
14. Quantificação da intensidade dos impactos das estruturas de implantação e atividade minerária no entorno da área de influência direta do empreendimento por meio, por exemplo, de informações sobre a riqueza e abundância de espécies, composição da dieta, comportamento reprodutivo.
15. Estudos sobre a contaminação da fauna por metais pesados.
16. Verificação do efeito de ruídos e vibrações de solo decorrentes da atividade de mineração sobre a dispersão da fauna de mamíferos.
17. Levantamento da riqueza de espécies de vertebrados aquáticos e das populações indicadores de qualidade ambiental.

18. Estudos sobre os padrões funcionais de organização das comunidades dos vertebrados aquáticos e como esses padrões respondem às interferências provocadas pela mineração.
19. Estudos que sejam capazes de detectar a presença de metais pesados no organismo de vertebrados aquáticos.
20. Levantamento da riqueza e abundância de artrópodes terrestres, principalmente os insetos.
21. Estudos ecológicos com artrópodes terrestres a fim de verificar se há espécies indicadoras de alterações no ambiente.
22. Identificação de espécies ou grupo de espécies de invertebrados que manifestem a existência de problemas relacionados à fragmentação, redução e perda de hábitat.

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre a fauna não restritas ao geossistemas ferruginosos são:

1. Estudos sistêmicos em toda a Flona dos Carajás que possibilitem conhecer como o conjunto dessa fauna está estruturado, a partir de estudos de longa duração em parcelas permanentes de amostragem que possam revelar os impactos da mineração sobre as comunidades de fauna.
2. Estudos taxonômicos, morfológicos e genéticos que auxiliem na revisão do *status* de táxons incertos da fauna da Flona de Carajás.
3. Estudos sobre a variação geográfica e populacional de espécies de anfíbios, bem como análises morfológicas, bioacústicas e moleculares.
4. Estudos comparativos de ecologia de comunidades de morcegos que avaliem a distribuição dessa riqueza nos diferentes ecossistemas da Flona de Carajás.
5. Determinação da área de vida, hábitat e da abundância dos morcegos da Flona de Carajás.
6. Determinação dos padrões de deslocamento e das áreas de vida das espécies de morcegos registradas em cavidades e com potencial para usar esses ambientes.

Fotos: Frederico Drumond Martins



4 CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS¹³

O conhecimento espeleológico nos geoambientes ferruginosos na Flona de Carajás ainda é limitado em todos os corpos de mineração, com exceção de N4 e N5, incluídos em estudos abrangentes de espeleologia. No momento de elaboração deste documento, não havia dados disponibilizados para os blocos A, B e C da Serra Sul, assim como para Tarzan, onde dezenas de cavernas foram reveladas. Os dados necessários para a determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas e para a indicação de áreas com cavernas a serem conservadas são insuficientes ou inexistentes.

¹³ Recomendações elaboradas a partir da consulta aos pesquisadores (CRUZ, 2016; PILÓ, 2016; REINO, 2016; RIBEIRO, 2016).



Segundo as normas sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas no Brasil (BRASIL 2008; 2009), a classificação por grau relevância – máximo, alto, médio, baixo – é determinada pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos. Essa classificação é definida a partir do conjunto dos atributos cavernícolas que ocorrem em cada formação litológica, o que significa que uma caverna classificada como de máxima relevância pode deixar de sê-la com a ampliação do conhecimento em um local ou região. Apesar de apenas as cavernas de máxima relevância serem legalmente protegidas de impactos negativos irreversíveis, as cavernas de alta e média relevância podem ser definidas como compensação ambiental, de maneira que o conhecimento sobre as cavidades deve ser ampliado sem restrições de relevância, na medida do possível.

Área de influência das cavernas de máxima relevância

Os parâmetros para cálculo contextualizado da área de influência sobre o patrimônio espeleológico ainda não foram regulamentados, e à espera desta definição a área provisória de influência das cavidades naturais subterrâneas é a sua projeção horizontal acrescida de um entorno de 250 metros, em forma poligonal convexa (BRASIL 2004). Até o momento, não há definição da área de influência de nenhuma das cavidades naturais subterrâneas com grau máximo de relevância na Flona de Carajás. Apesar das regras para definição da área de influência de cavernas não ser uma questão pacífica, há um entendimento comum de que os critérios considerados relevantes envolvem elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários para a manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola (BRASIL 2004).

Para a definição dos parâmetros físicos limitantes da área de influência da caverna são fundamentais inicialmente investigações hidrológicas e/ou hidrogeológicas, para definir os limites das bacias de drenagem que contribuem direta ou indiretamente para a dinâmica evolutiva dos processos físicos (drenagem, infiltração, entrada e geração de sedimentos) e biológicos da caverna (recurso trófico). Em vertentes ferríferas, o uso de traçadores corantes tem trazido bons resultados para definição desses limites hidrológicos. Outra abordagem fundamental no ambiente físico é que a definição dessa área deve garantir a integridade física da caverna diante de sua fragilidade em relação às vibrações decorrentes das detonações da atividade minerária. Para isso são necessários estudos de caracterização geológica do ambiente entre a fonte de vibração e a caverna, assim como um mapeamento geoestrutural da caverna que pode incluir: definição de parâmetros geomecânicos, geofísicos, topográficos e instrumentação geotécnica. Monitoramentos sismográficos são fundamentais para a definição da carga de explosivos e controle das vibrações no estabelecimento seguro da área de influência (ICMBIO 2016).

Para a definição dos parâmetros biológicos limitantes da área de influência da caverna são imprescindíveis levantamento da fauna cavernícola, com inventário das espécies, cuja composição tem se mostrado variável em cavernas ferruginosas. Estudos de conectividade subterrânea da cavidade devem permitir definir com quais outras macrocavidades a caverna em questão se conecta; neste caso, o uso de traçadores químicos ou biológicos é uma opção recomendável para revelar a distribuição de

espécies troglóbias. Já a conectividade em ambientes secos sem ocorrência de espécies troglóbias pode ser avaliada por meio de parâmetros físicos que indiquem potencial elevado para dispersão de fauna subterrânea.

Quando a água for um agente importante de aporte de recursos, os limites da bacia de drenagem (captação pluvial potencial) devem ser investigados. Interferências à montante do hábitat onde se insere a caverna (incluindo áreas de recarga do sistema hidrológico) têm potencial para afetar a área de influência do ecossistema subterrâneo e, portanto, devem ser avaliadas. Outro parâmetro fundamental é o aporte de nutrientes para a manutenção do abastecimento trófico da cavidade, isto é, qual a origem dos recursos alimentares e como chegam até as cavernas ferruginosas.

Quando troglóxenos (animais que utilizam as cavidades) forem agentes importantes de aporte de recursos é fundamental considerar estudos sobre suas áreas domiciliares. Se o estudo de caracterização da caverna indicar que organismos acidentais constituem origem importante e regular de recursos tróficos, devem ser investigadas áreas epígeas compatíveis com a manutenção de comunidades fontes desses organismos.

Quando sistemas radiculares constituírem elementos importantes no aporte de recursos tróficos, a determinação das espécies no meio epígeo, sua distribuição acima do sistema subterrâneo, bem como sua bionomia (incluindo eventual dependência em relação a polinizadores e dispersores específicos) devem ser incluídas como parâmetros para limitação da área de influência da caverna (ICMBIO 2016).

Associação paisagística entre cavernas e ambiente

As cavernas ferríferas estão inseridas no mosaico de fitofisionomias ou geoambientes da Flona de Carajás, onde a diversidade de condições fisiográficas, edáficas e de atributos geológicos desses diferentes ambientes epígeos levantam questões sobre fluxos hídricos, tróficos e sedimentares destes para o interior das cavernas as quais são muito rasas. Cabe aqui perguntar se os geoambientes interferem nos recursos tróficos do interior das cavernas, na composição da fauna subterrânea e na sedimentação alóctone das cavernas nos diferentes geoambientes, por exemplo.

Um parâmetro físico com levantamentos insuficientes e que possui relação direta com o aumento da riqueza total de espécies e com a riqueza de troglóbias é a presença de água nesses ambientes. Essa relação implica que a presença de água tem influência sobre a própria dinâmica evolutiva da caverna, pois está relacionada à disponibilidade de recursos que são mais abundantes em cavernas com corpos d'água perenes.

Monitoramento de impactos da mineração sobre as cavernas

No contexto de Carajás, estudos dos impactos das frentes de lavra e minas sobre os ecossistemas cavernícolas devem ser considerados. Suas condições ambientais podem ser facilmente alteradas por fatores externos como desmatamento, erosão, assoreamento, ruídos e vibrações causados pelo desmonte

dos maciços rochosos e pela operação de infraestrutura, sobrepressão acústica, alterações nos limites da bacia de contribuição hídrica. A mineração pode causar impactos indiretos e definitivos, na integridade física das cavernas devido à supressão ou alteração dos recursos provenientes da superfície, como nos recursos tróficos e na umidade.

Para o monitoramento das cavidades é da maior importância o levantamento de parâmetros físicos e biológicos – além dos aspectos sobre conectividade e recursos tróficos já apontados na definição da área de influência – como:

1. Medição das vibrações com sismógrafos a fim de garantir que os trabalhos de implantação e operação do empreendimento não superem níveis seguros para a integridade física da caverna.
2. Mapeamento das estruturas descontínuas como fraturas, deslocamentos e eventualmente espeleotemas mais frágeis, pilares, pedantes, entre outros, para que se possa acompanhar eventuais alterações na estrutura da caverna ocorrem por forças gravitacionais ou por forças induzidas.
3. Levantamento de dados sobre a interferência das drenagens, cortes e aterros na dinâmica do escoamento superficial nas bacias de drenagem na escala de vertentes com presença de cavernas.
4. Identificação da origem dos sedimentos, isto é, se natural ou de fontes como estradas, mineração, beneficiamento a fim de ampliar o mapeamento dos impactos de fontes artificiais sobre esses ambientes e mostrar a interdependência da caverna da área externa, quando ela está ligada ao sistema hídrico local.
5. Definição de bioindicadores a fim de se acompanhar os efeitos da atividade de mineração sobre a fauna.
6. Na Flona de Carajás, onde há o registro de pelo menos 23 espécies de morcegos que habitam cavernas e de três espécies encontradas exclusivamente em cavidades, são necessários estudos específicos relacionados a esses mamíferos (ver fauna), para que se possa monitorar a viabilidade das populações e comunidades de quirópteros.

Bat caves (hot caves)

Um aspecto não definido como atributo para classificação das cavidades naturais subterrâneas, porém de grande influência na distribuição dos organismos cavernícolas, é a existência de *bat caves (hot caves)*, cuja ocorrência foi registrada nas rochas ferríferas de Carajás. Essas cavernas se distinguem pelas colônias numerosas e estáveis de morcegos cuja massiva presença exercem efeitos tais como a elevação da temperatura local por serem os morcegos animais endotérmicos e uma elevada produção de guano. As principais características de uma *hot cave* são baixa circulação de ar, temperatura entre 28°C e 40°C (estável

ao longo do ano), alta umidade relativa do ar (cerca de 90%) e concentração excepcional de morcegos (> 1.000) (LADLE *et al.* 2012). Esses ecossistemas, pouco conhecidos na América do Sul, merecem estudos sobre geomorfologia, microclima e ecologia de comunidades (inclusive as microbianas). Em cavernas com grandes populações, é possível realizar o monitoramento mais preciso com câmeras térmicas na entrada. Além disso, são necessários dados sobre o tamanho das colônias, localização e composição das espécies e de deposição de guano. Assim como para a fauna de médios e grandes mamíferos, são necessários dados sobre a influência da velocidade de vibração de partículas e sobrepressão acústica na dispersão desses animais.

Biologia subterrânea¹⁴

Nas litologias ferríferas, a medida de projeção horizontal apresenta uma relação positiva significativa com a riqueza total de espécies e espécies troglóbias. O número de espécies de troglóbios aumenta conforme o aumento da projeção linear da cavidade, assim como a comunidade associada é única em relação àquelas encontradas em formações de quartzito, calcário e granito, de maneira que alguns blocos ferríferos podem ser considerados como ilhas de troglóbios raros (ICMBIO 2013). Ressalta-se a dificuldade de determinação de características troglomórficas em troglóbios, pois elas diferem em organismos de táxons distintos, isto é, em troglóbios verdadeiros essas características são mais específicas. A descoberta de espécies com muitas características morfológicas consideradas troglomórficas em ambientes ferruginosos epígeos como serapilheira e espaços sob rochas e impõe a necessidade do conhecimento da biologia das espécies troglóbias para a confirmação da existência de troglomorfismos. Essa revelação também levanta questionamentos como até onde uma espécie troglóbia pode se aproximar da superfície.

Apesar de as cavernas de Carajás geralmente serem de dimensões reduzidas, em grande parte rasas e receberem luz em toda sua área, nesses ambientes ocorre uma fauna diversificada, além da endêmica ao ambiente subterrâneo (ICMBIO 2013). Salienta-se que as macrocavernas em um mesmo platô estão conectadas entre si e à superfície por diversos elementos que ampliam a extensão e complexidade estrutural do meio hipógeo. Por exemplo, os espaços intersticiais ou canalículos, considerados uma característica exclusiva de sistemas subterrâneos ferruginosos, podem se conectar com o ambiente epígeo e quando muito úmidos ou encharcados favorecem o estabelecimento de populações de invertebrados de hábitos aquáticos e anfíbios. Essa característica estrutural das macrocavernas também implica questionar qual pode ser de fato a extensão do hábitat de uma espécie troglóbia. Outra decorrência dessa singularidade é que a conservação desses ecossistemas depende de informações que revelem a relação das comunidades subterrâneas e as características dos meios epígeo e hipógeo. Os estudos devem envolver a ligação entre composição e estrutura da fauna de invertebrados com variáveis como desenvolvimento, área, volume, estabilidade ambiental (número, área e posição das entradas em relação à área e/ou volume da caverna) da cavidade e cobertura vegetal do entorno, composição florística, etc. do ambiente epígeo.

¹⁴ O conteúdo dessa subseção baseia-se em FERREIRA, OLIVEIRA, SILVA (2015).

Fragmentação e conectividade

Apesar do incipiente conhecimento sobre a conectividade entre as cavernas, há estudos que indicam a existência de conexões hidrológicas e de espécies troglóbias entre macrocavernas e mesovazios na rocha (epicarste) em um mesmo platô. A alta similaridade de espécies troglóbias observada nessa condição indica a ocorrência de um fluxo dessa fauna por diversos elementos que ampliam a extensão e complexidade estrutural do meio hipógeo, movimento que não ocorre entre platôs (Serra Norte e Sul) (FERREIRA, OLIVEIRA, SILVA 2015). Com a preocupação de reduzir os efeitos da fragmentação em um cenário conjunto de conservação e mineração, a criação de “corredores de cavernas de máxima relevância” que assegure a área de trânsito das espécies cavernícolas, o aporte dos recursos tróficos e a conectividade entre os geoambientes relacionados com as coberturas de canga é necessária para garantir a manutenção da dinâmica física e biológica desses ambientes. Nesse sentido, justificam-se a ampliação do conhecimento sobre a relação desses ecossistemas subterrâneos com os recursos tróficos e associação paisagística entre cavernas e o ambiente epígeo, como também sobre a conectividade entre as cavernas de alta relevância.

É complementar ao avanço na pesquisa sobre comunidades subterrâneas nos geoambientes da Flona de Carajás verificar se as comunidades observadas nas cavernas existentes sob a savana metalófila, e também a floresta, respondem de maneira similar ao observado em estudos realizados em outros biomas, como na mata atlântica, cerrado e caatinga. Ainda localmente, porém além das áreas de canga, é interessante investigar se as comunidades de invertebrados variam entre cavernas próximas à savana metalófila e à floresta. Aqui cabe também uma comparação com as cavernas localizadas às margens das lagoas.

Também são necessários estudos que avancem na determinação de características troglomórficas em troglóbios e do hábitat de várias dessas espécies envolvendo coletas em ambientes fora das cavernas, tanto na canga, floresta, serapilheira, quanto com armadilhas colocadas em furos que acessem o ambiente subterrâneo (canalículos), em diferentes estações e durante o dia e a noite. Acrescentam-se a esses estudos análises moleculares em espécies troglóbias de ampla distribuição a fim de esclarecer dúvidas taxonômicas e compreender padrões de distribuição e conectividade.

Caracterização mineralógica

Nas cavernas em rochas ferríferas da Flona de Carajás foram identificados espeleotemas raros, bem com espeleotemas com minerais raros e em configuração notável. Apesar da expressiva diversidade já registrada de espeleotemas, estudos químicos sobre as rochas ferríferas e sobre a mineralogia dos espeleotemas ainda são necessários a fim de elucidar a caracterização química dos litotipos e dos espeleotemas, algo realizado em poucas cavernas. Nessa sequência, é de interesse a formação de um banco dos diferentes tipos de espeleotemas da região, cuja classificação de raro se encontra dependente da experiência dos geoespeleólogos em cavernas ferríferas.

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre as cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas são:

1. Continuidade do levantamento de medidas espeleométricas.
2. Definição dos elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, de definição da área de influência das cavernas com grau de relevância máxima de acordo com os parâmetros levantados neste plano de pesquisa:
 - 2.1. Definição dos limites das bacias de drenagem que contribuem direta ou indiretamente para a dinâmica dos processos evolutivos físicos e biológicos da caverna. Sugere-se o uso de traçadores corantes para definição desses limites.
 - 2.2. Definição da área que assegure a integridade física da caverna em relação às vibrações decorrentes das detonações da atividade minerária a partir de estudos de caracterização geológica do ambiente entre a fonte de vibração e a caverna, do mapeamento geoestrutural da caverna e com monitoramentos sismográficos para delimitar a carga de explosivos e controle das vibrações.
 - 2.3. Levantamento da fauna cavernícola, com inventário de espécies.
 - 2.4. Estudos sobre a conectividade subterrânea da caverna com o uso de traçadores químicos ou biológicos capazes de revelar a distribuição de espécies troglóbias e por meio de parâmetros físicos, no caso de ambientes secos sem ocorrência de troglóbios, que indiquem o potencial elevado para a dispersão de fauna subterrânea.
 - 2.5. Avaliação do potencial das interferências à montante do hábitat onde se insere a caverna, incluindo áreas de recarga do sistema hidrológico, sobre a área de influência do ecossistema subterrâneo.
 - 2.6. Investigação do papel da água no aporte de recursos, cuja influência leva, por sua vez, à definição dos limites da bacia de drenagem (captação pluvial potencial).
 - 2.7. Investigação da origem do aporte de nutrientes para a manutenção do abastecimento trófico da cavidade e vias de importação do meio epígeo para a hipógeo, incluindo:
 - 2.7.1. Investigação da área domiciliar de troglóxenos que são agentes importantes de aporte de recursos tróficos para a caverna.
 - 2.7.2. Investigação das áreas epígeas contínuas compatíveis com a manutenção de comunidades fontes de organismos acidentais que constituem origem importante e regular de recursos tróficos, quando existirem.
 - 2.7.3. Determinação das espécies vegetais e de sua distribuição no meio epígeo, bem como sua bionomia (inclusive eventual dependência de polinizadores e dispersores específicos) quando sistemas radiculares constituírem elementos importantes no aporte de recursos tróficos.

3. Investigação da associação entre caverna e a paisagem epígea, isto é, os geoambientes, como foco nos fluxos hídricos, tróficos e sedimentares entre essas áreas, de maneira que se revele:
 - 3.1. Se e como os geoambientes interferem nos recursos trófico do interior das cavernas.
 - 3.2. Se há distinção da fauna subterrânea entre os geoambientes.
 - 3.3. Se há alterações na sedimentação alóctone das cavernas entre os geoambientes.
4. Estudos que subsidiem o monitoramento dos impactos da atividade de mineração sobre a integridade física das cavernas e sobre os recursos provenientes da superfície responsáveis pela manutenção da vida nesses ambientes, como:
 - 4.1. Medição das vibrações com sismógrafos a fim de garantir que os trabalhos de implantação e operação do empreendimento não superem níveis seguros para a integridade física da caverna.
 - 4.2. Mapeamento das estruturas descontínuas como fraturas, deslocamento e espeleotemas mais frágeis ou pilares, pedantes, entre outros, para que se possa acompanhar as eventuais alterações na estrutura da caverna.
 - 4.3. Levantamento de dados sobre a interferência das drenagens, cortes e aterros realizados durante a instalação e operação do empreendimento ou abertura de novas frentes de lavra na dinâmica do escoamento superficial nas bacias de drenagem na escala de vertentes com presença de cavernas.
 - 4.4. Identificação da origem dos sedimentos, isto é, se natural ou de fontes como estradas, mineração, beneficiamento a fim de ampliar o mapeamento dos impactos de fontes artificiais sobre esses ambientes e mostrar a interdependência da caverna e a área externa no caso em ela está ligada ao sistema hídrico local.
 - 4.5. Definição de bioindicadores, a fim de se acompanhar os efeitos da atividade de mineração sobre a fauna.
 - 4.6. Estudos específicos relacionados aos morcegos para que se possa monitorar a viabilidade das populações e comunidades desses animais, em particular os associados a cavidades (ver fauna).
5. Ampliação do conhecimento da biologia das espécies troglóbias a fim de confirmar a existência de troglomorfismos.
6. Investigação da extensão de fato do hábitat dos troglóbios e o quanto essas espécies podem se aproximar da superfície.
7. Estudos sobre a relação das comunidades subterrâneas e as características dos meios epígeo e hipógeo.

8. Estudos sobre a relação das cavernas com os recursos tróficos, que se estendem para o estudo da associação paisagística entre cavernas e o ambiente epígeo e para a conectividade entre cavernas de alta relevância.
9. Ampliação do conhecimento sobre a conectividade entre as cavernas de alta relevância devido à alta similaridade de espécies troglóblias observada entre macrocavernas em um mesmo platô, bem como às evidências de conexões hidrológicas a fim de subsidiar a criação de “corredores de caverna de máxima relevância”.
10. Inventariação dos espeleotemas e de sua tipologia.
11. Caracterização mineralógica das cavernas, com atenção para os minerais raros.

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre as cavidades naturais subterrâneas não restritas aos geoambientes ferruginos são:

1. Investigação sobre o que define a existência das *bat caves (hot caves)* nas cavernas em rochas ferríferas.
2. Estudos sobre geomorfologia e microclima das cavernas e de ecologia de comunidades (inclusive comunidades microbianas) em *bat caves*.
3. Levantamento do tamanho das colônias, localização e composição das espécies, bem como da deposição de guano, de quirópteros em *bat caves*.
4. Investigação da influência da velocidade de vibração de partículas e sobrepressão na dispersão dos morcegos.
5. Avaliação e comparação da composição das comunidades de invertebrados entre cavernas próximas à savana metalófila, floresta e às margens das lagoas.
6. Estudos com coletas em ambientes fora das cavernas (na canga, floresta, serapilheira e canalículos), em diferentes estações e durante o dia e a noite, que informem o hábitat e *status* (ou não) de troglóbio de várias espécies.
7. Análises moleculares em espécies troglóblias de ampla distribuição a fim de esclarecer dúvidas taxonômicas e compreender padrões de distribuição e conectividade.



Foto: Frederico Drumond Martins

Foto: Katia Torres Ribeiro





Foto: Katia Torres Ribeiro

5 GEOAMBIENTES

Fitofisionomias

A especificidade da relação entre substrato rochoso-vegetação nos afloramentos de rochas ferruginosas em escala da paisagem também ocorre em dimensões muito pequenas, de maneira que diminutas proporções da superfície desse substrato afetam a proporção de grupos funcionais vegetais nessa área. A fim de se avançar no conhecimento da relação entre heterogeneidade da topografia e funcionamento dos ecossistemas nas formações ferríferas, recomenda-se estudos da ecologia das comunidades vegetais



com foco no papel das plantas dominantes em um gradiente de “rugosidade” da topografia dos afloramentos que são importantes para compreender as estratégias adaptativas dessas plantas ao substrato rochoso e para auxiliar na recuperação de áreas degradadas pela mineração (CARMO 2014).

Lagoas¹⁵

As lagoas ou depressões doliniformes, geossistemas típicos de formações ferríferas, são alvos de conservação não apenas por sua beleza cênica, mas por seu papel como reservatórios de água e por sua contribuição para a biodiversidade local e regional. As lagoas permanentes (ou perenes) e temporárias (ou sazonais) contribuem para a dessedentação de animais de médio e grande porte, principalmente na estiagem, e hospeda uma flora associada. A água retida pelas lagoas permanentes da Serra Sul também exerce influência na recarga hídrica do sistema aquífero regional (CAMPOS e CASTILHO 2012).

Até o momento, existem 28 lagoas levantadas nas Serra Sul e Serra Norte. Destas, seis lagoas são perenes e estão na Serra Sul. As lagoas sazonais não foram levantadas na serra da Bocaina e na serra do Tarzan, onde também não há lagoas perenes (MARTINS 2015).

Definição da faixa de proteção em torno das lagoas: a conexão terra-água

Para garantir o funcionamento desses ambientes, é essencial assegurar o sustento de sua essência, a água. A primeira questão que se impõe é como garantir a recarga das lagoas permanentes e temporárias e, portanto, quais as informações que podem subsidiar a definição da bacia de contribuição subterrânea e superficial de cada uma delas. É preciso investigar se e em que medida o acúmulo de água nas lagoas depende da contribuição de cada uma dessas origens. A intuição para considerar a contribuição subterrânea vem da experiência de especialistas nesses ambientes em Carajás que acompanharam a seca definitiva de uma lagoa permanente (16 ha de área e profundidade média acima de 3,0 m) com o avanço da atividade de mineração em seu entorno. Esse fato sugere uma relação entre o rebaixamento do lençol freático para a lavra e a quantidade de água na lagoa. No entanto, dadas as características geológicas da canga, a principal fonte de água de uma lagoa a ser considerada é a sua bacia de drenagem.

Por conseguinte, a definição da faixa de proteção em torno de cada lagoa, variável para cada um desses ambientes, observará no mínimo a menor distância fixada por lei e necessária para contemplar a curva de nível que define a bacia. A distância final desse limite deve levar em consideração o resultado

¹⁵ Recomendações elaboradas a partir da consulta aos pesquisadores (PROGRAMA DE ESTUDOS LIMNOLÓGICOS DA FLONA DE CARAJÁS, 2016).

da abordagem superficial e subterrânea. A largura da faixa de proteção também é dependente de aspectos geomorfológicos da bacia definida e da própria lagoa, como a inclinação de sua margem, os quais a suscetibiliza aos impactos de origem alóctone, como o uso da terra no seu entorno. A característica da vegetação também é uma influência significativa para a quantidade de água que chega às lagoas. Apesar da vegetação associada à canga ter um papel menor para o ciclo hidrológico regional, há evidências que as alterações causadas pela atividade minerária como um todo estendem-se para além das áreas de savana metalófila, de maneira que a precipitação que drena pela bacia pode ser alterada quantitativamente.

Contudo, as faixas de proteção devem não apenas garantir que toda a água precipitada na bacia possa drenar para o ponto de acumulação, como também serem capazes de manter a qualidade desses ambientes, em particular a água, e estabelecer uma conexão entre o ambiente aquático e o terrestre. Um estudo sobre o uso do solo no entorno de 100 lagos em uma região no Rio Grande do Norte levanta uma preocupação para o futuro das lagoas nas áreas de atividade da mineração. Neste estudo, sob condições de chuva limitante (agente carreador de material alóctone) e declividade máxima das margens dos lagos de 10 graus, o uso do solo em faixas de até 500 m impactou a qualidade da água destes ecossistemas (alterações em N, P e Chl-*a*) (SILVA 2014). Como grande parte do escoamento da água é superficial nos geossistemas ferruginosos, espera-se que os resíduos da mineração sejam carregados para as lagoas no caso de controle inadequado da atividade de mineração.

Um aspecto que adiciona preocupação é o “solo rochoso” da bacia desses ambientes, traço que associado as características da vegetação sobre canga, pode reduzir a retenção (ou tamponamento) dos materiais movimentados pela lava, bem como o carregamento de nutrientes. O “solo rochoso” das lagoas é um alerta para se avaliar o papel das lagoas como retentoras de sedimentos e solutos que drenam para os riachos abaixo, e para a necessidade de compreender os fluxos e carregamento de materiais entre ecossistemas aquáticos. Essa compreensão permitiria definir a importância desses ambientes em um contexto de paisagem. Para tanto, pode-se utilizar as lagoas (permanentes ou temporárias) cujas drenagens de entrada e saída são claramente identificáveis.

Outra medida para colaborar no cálculo da quantidade de material depositado por área é o uso de amostradores de deposição atmosférica em vários pontos em um gradiente em torno das lagoas bem como da atividade de mineração. Essa medida também permite avaliar a constituição desse material por fontes difusas.

Para fortalecer a compreensão dos aspectos da interação entre terra e água e bacia e lagoa nos geossistemas ferruginosos, é da maior relevância a utilização de ferramenta de sensoriamento remoto para o acompanhamento das alterações do uso do solo em vinculação com as alterações físico-químicas nas lagoas. A investigação dessa interação também se estende para as águas dos riachos e canais que drenam para esses ecossistemas e que deles extravasam para riachos que descem a serra e alimentam corpos d'água mais distantes. Nesse sentido, o uso de uma ferramenta de análise espacial, como a *Water Evaluation and Planning* (WEAP), acoplada a dados de estrutura das lagoas também é vantajoso tanto para a modelagem de cenários de vegetação do entorno e sua respectiva influência sobre diversos aspectos de ecossistemas aquáticos quanto para planejar o monitoramento desses ambientes.

Do ponto de vista da funcionalidade desses ecossistemas, é importante considerar que quanto menor a lagoa, maior sua conectividade com o ambiente terrestre e, portanto, maior sua sensibilidade ao impacto alóctone. Aparentemente, é pequeno o papel da savana metalófila como fonte de matéria orgânica, que é disponibilizada internamente pelo fitoplâncton nos ambientes maiores e macrófitas nos menores. Apesar disso, ainda não há resultados abrangentes sobre a conectividade entre lagoas nos geossistemas ferruginosos e a área terrestre circundante de modo que se possa conhecer a relevância da entrada de material alóctone nesses ambientes, incorporado ou não à cadeia trófica.

Uma medida de conectividade que pode elucidar a relação entre subsídios autóctones e alóctones para consumidores aquáticos é o uso de isótopos estáveis como diferenciador dos aportes em lagoas com características morfométricas distintas. Para tanto, sugere-se o uso não apenas do carbono como marcador, mas também de deutério.

Avançar no entendimento das medidas de acoplamento água-terra significa incluir o levantamento das comunidades aquáticas com foco nas espécies de ciclo de vida complexo e potencialmente mais sensíveis aos impactos da mineração, como insetos aquáticos e anfíbios. Essa investigação também pode apontar alterações mediadas por intervenções terrestres na cadeia trófica dos ambientes aquáticos rasos, pois para muitas lagoas sem peixes alguns insetos aquáticos são o topo da cadeia alimentar. É importante que as amostragens observem as diferenças entre as regiões litorâneas e limnéticas onde for cabível, como nas lagoas grandes, isto é, que sejam feitas amostragens exclusivamente em cada uma dessas regiões. Como as regiões litorâneas estão em maior contato com o ambiente terrestre, elas podem sofrer impactos mais fortes que as regiões limnéticas.

Até aqui, conclui-se que a faixa ao redor das lagoas deve oferecer proteção à estrutura e ao funcionamento desses ecossistemas. No entanto, essa faixa também é um meio de estabelecer a conectividade entre as lagoas e as áreas preservadas de savana metalófila, e mesmo outras lagoas. Por exemplo, as lagoas também exercem um papel na sobrevivência de animais de médio e grande porte que as visitam principalmente no período de estiagem. A contrapartida dessa relação para as lagoas é a dispersão pela fauna de formas dormentes dos organismos aquáticos. Essa relação também é um caso a ser investigado.

Avaliação de impactos da mineração sobre as lagoas

No entanto, é necessário buscar formas de prever o impacto da mineração sobre as lagoas antes de iniciado o desenvolvimento dos projetos de mineração para que a degradação dos ambientes aquáticos e de suas relações com o meio externo sejam a menor possível. Propomos nesse plano duas abordagens para a antecipação de possíveis impactos: a criação de um cenário retroativo (limitado) a partir da experiência com uma lagoa perene da Serra Norte eliminada pelo avanço da mineração, e um cenário futuro, elaborado experimentalmente.

O cenário retroativo pode ser criado a partir do histórico do uso do entorno da lagoa eliminada na Serra Norte (NUNES 2008) com dados de imagens de satélite que reconstruam a atividade de mineração

ao seu redor, isto é, a partir das alterações da cobertura do solo da bacia do ambiente onde a mineração esteja em curso. Essa informação pode ser relacionada a dados de qualidade de água, por exemplo, ao longo do tempo.

O cenário futuro de impacto, por outro lado, deve ser elaborado sobre os riscos impostos pela atividade de mineração na área da bacia das lagoas antes da implementação da mineração nos ambientes da Serra Sul. Essa abordagem poderá resultar em imagens de possíveis efeitos criados experimentalmente. Fatores importante a serem manipulados nos ensaios são: (i) entrada de material particulado terrestre (orgânico, mas principalmente inorgânico); (ii) entrada de nutrientes e metais (também relacionados à mineração); (iii) variáveis físico-químicas (muito alteradas em função de lixiviação de áreas mineradas); (iv) predação e risco de predação (presença/ausência, densidade e diversidade) gerado por organismos de ciclo de vida complexo (larvas de insetos como odonatas, fases juvenis de anfíbios e etc.). Nos resultados das manipulações deve-se avaliar: (i) variação populacional e estrutura de comunidades de organismos pelágicos e bentônicos; (ii) incorporação de metais; (iii) importância relativa entre subsídios autóctones e alóctones para consumidores; (iv) medidas de processos como decomposição, produção primária, herbivoria, etc.; (v) respostas individuais das presas (taxas de excreção, conteúdo nutricional, comportamento, morfologia), populacionais e na estrutura de comunidades.

Em síntese, as pesquisas prioritárias sobre os geoambientes associados ao geossistemas ferruginosos são:

1. Investigação do aumento da diversidade de espécies da flora relacionado à heterogeneidade da microtopografia nas rochas ferruginosas.
2. Para se garantir uma faixa de proteção em torno da lagoa a partir de sua borda, é fundamental a consideração dos seguintes aspectos e estudos:
 - 2.1 Definição da bacia de contribuição superficial e subterrânea de cada lagoa.
 - 2.2 Avaliação do impacto da supressão da vegetação, para além da savana metalófila, sob a drenagem na bacia de contribuição da lagoa.
 - 2.3 Identificação de aspectos geomorfológicos da bacia definida e da lagoa, como declividade da margem, que a suscetibilize aos impactos alóctones, como o carreamento de resíduos da mineração, que provocam alterações qualitativas na água.
 - 2.4 Utilização de ferramenta de sensoriamento remoto, como a *Water Evaluation and Planning* (WEAP), para o acompanhamento das alterações do uso do solo em vinculação com as alterações físico-químicas nas lagoas.
 - 2.5 Avaliação da quantidade e constituição de material depositado por fontes difusas por área em um gradiente em torno das lagoas e da atividade de mineração, medida que pode ser feita com o uso de amostradores de deposição atmosférica em pó.

- 2.6 Avaliação da relação entre subsídios autóctones e alóctones para consumidores aquáticos preferencialmente com o uso de isótopos estáveis, não apenas carbono, como medida de conectividade em lagoas com características morfológicas distintas.
- 2.7 Levantamento das comunidades aquáticas com foco nas espécies com fases aquática e terrestre, como insetos aquáticos e anfíbios e com diferenciação das amostragens entre as regiões litorâneas e limnéticas das lagoas onde for possível.
- 2.8 Avaliação da contribuição da fauna na dispersão de formas dormentes dos organismos aquáticos.
3. Avaliação dos possíveis impactos da mineração com dados de imagens de satélite que reconstruam a atividade de mineração ao redor das lagoas eliminadas na Serra Norte. Essa informação pode ser relacionada a dados de qualidade de água, por exemplo, ao longo do tempo.
4. Avaliação experimental dos possíveis impactos da mineração sob as lagoas existentes em que seja possível se medir: (i) variação populacional e estrutura de comunidades de organismos pelágicos e bentônicos; (ii) incorporação de metais; (iii) importância relativa entre subsídios autóctones e alóctones para consumidores; (iv) medidas de processos como decomposição, produção primária, herbivoria, etc.; (v) respostas individuais das presas (taxas de excreção, conteúdo nutricional, comportamento, morfologia), populacionais e na estrutura de comunidades.

Em síntese, as pesquisas prioritárias gerais sobre os geoambientes, não específicas sobre os ferruginosos, são:

1. Levantamento das lagoas sazonais na Serra da Bocaina e na Serra do Tarzan.
2. Avaliação do papel das lagoas como retentoras de sedimentos e solutos que drenam para os riachos abaixo a partir das lagoas que possuem drenagens de entrada e saída claramente identificáveis (permanentes ou temporárias).
3. Uso de ferramenta de sensoriamento remoto para o acompanhamento das alterações do uso do solo em vinculação com as alterações físico-químicas da água das lagoas, riachos e canais que drenam para esses ecossistemas e que deles extravasam para riachos que descem a serra e alimentam corpos d'água mais distantes.



Fotos: Frederico Drumond Martins



Foto: Frederico Drummond Martins

6 RECURSOS HÍDRICOS¹⁶

A compreensão real das condições naturais de contribuição hídrica nos distintos tipos de bacias e suas associações litológicas e dos potenciais efeitos decorrentes da atividade minerária sobre a quantidade e qualidade da circulação hídrica depende de uma base de dados gerados por monitoramento em pontos-chaves bem distribuídos da perspectiva geológica e hidrogeológica e da sazonalidade das contribuições.

¹⁶ Recomendações elaboradas a partir da consulta a PESSOA (2016).



Para se ter um conhecimento abrangente das condições em que ocorrem as recargas nesses ambientes, faz-se necessário avaliar o balanço de massa em domínios compreendidos por distintos tipos de canga/aquíferos. Isto é, é necessário reconhecer as influências de uma dada configuração hidrogeológica (vertentes-bacia-canga) sobre os fatores envolvidos no processo de recarga como chuvas, geologia, escoamento superficial e subterrâneo, infiltração e evapotranspiração.

Nessa linha, ainda é necessário entender melhor as características e, conseqüentemente, o comportamento das vertentes nas formações de canga, pois os diferentes tipos de rocha implicam em comportamento e regimes de fluxo hídrico também distintos nas bacias; por exemplo, são necessários parâmetros como declividade, tipo de material, grau de estruturação para que se possa avaliar as condições de fluxo hídrico nesses ambientes.

Um efeito bastante conhecido da mineração no ambiente é o rebaixamento do nível d'água dos aquíferos, que pressupõe a retirada de volumes de água maiores que os oriundos dos processos de recarga natural, de maneira que o regime hídrico pode se alterar em zonas vizinhas à cava, como cursos d'água e nascentes. Portanto, para se acompanhar as oscilações sazonais de nível d'água dos aquíferos e descargas em cursos d'água, é necessário o monitoramento da quantidade das águas circulantes desde as fases prévias ao início da abertura da cava até o fechamento da mina.

Uma ferramenta importante que auxilia na previsão de pontos que podem ter seus volumes de água suprimidos ou afetados pela atividade minerária e de rebaixamento do nível d'água nas minas é a modelagem dos fluxos subterrâneos (modelo regional ou ambiental) para as áreas de lavra e de seu entorno. Para essa simulação é necessário, mais uma vez, um bom histórico de dados do monitoramento de nível d'água dos aquíferos, bem como das descargas medidas em pontos específicos das drenagens com dados pluviométricos, de sondagem geológica e de poços de bombeamento e de piezômetros.

Para esse tema, os estudos demandados pelo licenciamento ambiental, sejam para a própria exploração mineral e para o monitoramento da qualidade ambiental, já abarcam informações relevantes, mas que ainda não estão disponíveis em banco de dados de referência- são dados que podem ser analisados a partir de questões diretas de interesse da conservação como as desse plano de pesquisa. No entanto, visto que está relatado que a partir da Serra dos Carajás as vazões se tornam mais expressivas (CAMPOS e CASTILHO 2012, p. 34) é importante não se perder de vista a necessidade de análises sistêmicas dos volumes hídricos circulantes no ambiente das cangas da Flona de Carajás, e uma perspectiva regional da conservação dos recursos hídricos. Essa informação remete a uma configuração mínima sobre o domínio adequado para a execução dos estudos sobre as questões hídricas locais e regionais.

Em síntese, os estudos prioritários sobre a dinâmica hídrica nos geossistemas ferruginosos da Flona de Carajás são:

1. Detalhamento e monitoramento do balanço hídrico no sistema vertentes-canga-bacia.
2. Avaliação da qualidade natural das águas por critérios hidrogeológicos (tipos de rocha e condições de fluxo).

3. Conhecimento do regime hídrico em vertentes nas formações de canga em função de sua composição litológica diferenciada.
4. Avaliação das influências do avanço das cavas sobre o regime hídrico das diferentes vertentes nas várias épocas do ano, em especial do rebaixamento do lençol freático.
5. Análise da degradação das águas por critérios hidrogeológicos.
6. Análise da qualidade da água nos corpos hídricos a jusante da mineração, tanto em zonas mais afetadas como naquelas ainda sem interferências para que se possa estabelecer uma linha de base.

Foto: Frederico Drumond Martins





Foto: Frederico Drumond Martins

Foto: Frederico Drumond Martins





7 ARQUEOLOGIA

Apesar das surpreendentes evidências de ocupação humana antiga encontradas nas cavidades das serras dos Carajás, a avaliação do potencial do patrimônio arqueológico nos ecossistemas da Serra dos Carajás ainda é incipiente (KIPNIS, BEZERRA, OLIVEIRA 2005; MAGALHÃES 2005; KIPNIS 2016).

A marcante diversidade e complexidade dos ecossistemas de Carajás também é parte fundamental da história de estabelecimento das antigas sociedades humanas e de suas relações com os recursos naturais na região amazônica. O material arqueológico encontrado nos ecossistemas amazônicos, em conjunto com reconstituições paleoambientais, contribuem tanto para a construção do conhecimento histórico e antropológico sobre o modo de vida das antigas populações que habitaram a região quanto para o conhecimento sobre a evolução dos processos ambientais que constituíram essas paisagens (KIPNIS, BEZERRA, OLIVEIRA 2005). Como atributo histórico-cultural, o material arqueológico também é critério de classificação do grau de relevância máximo das cavidades naturais subterrâneas (BRASIL 2009).



Diante da dificuldade de diagnosticar plenamente em campo a situação dos recursos arqueológicos em áreas afetadas por empreendimento de impacto ambiental, Kipnis (1997; 2016) sugere prever a localização desses recursos em uma região, uma vez que a sua distribuição é sensível às características do espaço, isto é, não é aleatória. O mapeamento das áreas críticas do patrimônio arqueológico na região de Carajás pode oferecer linhas gerais para a análise da magnitude dos impactos culturais do empreendimento, para a mitigação dos impactos negativos e para escolha de alternativas de menor impacto sob o material arqueológico como prevê o artigo 6 da Resolução Conama nº 1 de 1986 (BRASIL 1986).

Portanto, a recomendação deste Plano de Pesquisa é o desenvolvimento de um Mapa de Sensibilidade Arqueológica para a região de Carajás a partir de critérios arqueológicos fundamentados nas características ambientais, arqueológicas, etnohistóricas e etnográficas da região registradas em ocorrências arqueológicas prévias da área, bem como dedutíveis em lastro teórico conforme Kipnis (1997; 2016).

Foto: Leonardo Viana



Pesquisadores consultados

CARVALHO, ANDRÉA SIQUEIRA. Universidade Federal Rural do Amazonas. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 31 jan. 2017.

CRUZ, JOCY BRANDÃO. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 22 abr. 2016.

FERRAZ, KATIA MARIA PASCHOALETTO MICCHI DE BARROS. Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 20 abr. 2016.

KIPNIS, RENATO. Scientia Consultoria Científica. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 25 jul. 2016.

LIMA, HAROLDO C. DE. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 31 mar. 2016.

LUZ, DANIELA APOLINÁRIO TOMASIO DA. Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 20 abr. 2016.

PESSOA, PAULO. Hidrovia Consultoria. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 06 dez. 2016.

PILÓ, LUÍS BEETHOVEN. Bolsista Projeto Cenários. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 22 abr. 2016.

PROGRAMA DE ESTUDOS LIMNOLÓGICOS DA FLONA DE CARAJÁS. Convênio entre a Vale S.A. e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) mediado pela Fundação Coppetec, formado por pesquisadores da UFRJ, Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Universidade Estadual de Maringá. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 24 abr. 2016.

REINO, JOSÉ CARLOS RIBEIRO. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 22 abr. 2016.

RIBEIRO, ANDRÉ AFONSO. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 22 abr. 2016.

SILVA, LEONARDO VIANNA. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 18 mar. 2016.

VIANA, PEDRO LAGE. Museu Paraense Emílio Goeldi. **Publicação eletrônica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <lilis00@gmail.com> em 14 fev. 2017.

Quadro 1 – Campos para padronização da coleta de dados sobre fauna e flora na Floresta Nacional de Carajás. Obrigatórios no âmbito do licenciamento.

Campo	Obrigatório	Descrição
Projeto Nome	Sim	Nome do projeto de pesquisa ou do pesquisador responsável.
Coordenadas geográficas Latitude	Sim	Unidade latitudinal da coordenada geográfica.
Longitude	Sim	Unidade longitudinal da coordenada geográfica.
Formato	Sim	Grau decimal ou Grau, minutos, segundos e direção.
Datum	Sim	Sistema de referência Geodésico
Referência da coordenada	Sim	Local de obtenção da coordenada geográfica (p. ex. coordenada exata da ocorrência, da área amostrada ou aproximada).
Localidade Fisionomia	Sim	Detalhar a fisionomia da área amostrada (p. ex. canga, mata de transição, área de mineração...).
Taxonomia Reino	Sim	Reino ao qual pertence o táxon.
Classe	Sim	Classe a qual pertence o táxon.
Ordem	Sim	Ordem a qual pertence o táxon.
Família	Não	Família a qual pertence o táxon.
Táxon	Sim	Nome científico do táxon.
Nível taxonômico	Sim	Nível taxonômico do táxon (p. ex. gênero, espécie, subespécie).
Método de registro Descrição do método	Sim	Descrição do método utilizado para registrar o táxon.
Tipo de marcação (1)	Não	Obrigatório apenas se houver marcação, nesse caso, especificar o tipo (p. ex. anilha, ship, colar).
Código da marcação (1)	Não	Obrigatório apenas se houver marcação, nesse caso, especificar o código de identificação.
Data Inicial	Sim	Data única ou inicial do período em que foi registrada a ocorrência do táxon (dd/mm/aaaa).
Final	Não	Data final do período em que foi registrada a ocorrência do táxon (dd/mm/aaaa), não precisa ser preenchido caso o registro tenha ocorrido em uma única data.
Horário (1) Inicial	Sim	Horário inicial da amostragem em formato 24h (hh:mm).
Final	Sim	Horário final da amostragem em formato 24h (hh:mm).
Destinação/ situação do material biológico Depósito de exsicata em herbário com integração de dados (2)	Sim	Descrição do tipo de destinação/ situação do material capturado, coletado, marcado ou observado. Nome da instituição para a qual o material coletado foi encaminhado. Código do tombamento do material biológico coletado.
Tipo de destinação/ situação do material	Sim	
Nome da instituição destinatária	Não	
Tombamento	Não	

Descrição (1)		
Idade	Não	Filhote/girino, jovem ou adulto.
Sexo	Não	Macho ou fêmea.
Guilda	Não	Alimentação predominante na espécie (p. ex. carnívoro, frugívoro, insetívoro, granívoro, onívoro, detritívoro, nectarívoro, piscívoro...).
Observação	Não	Informações que o pesquisador julgar relevantes (p. ex. parasitismo, deformidade, comportamento...).

Fonte: ICMBIO (2013).

(1) Não se aplica aos registros da flora.

(2) Aplica-se apenas aos registros da flora.

Foto: João Marcos Rosa





Foto: João Marcos Rosa



Parte III

Desafios para geração de conhecimento aplicado ao manejo

1 Introdução

Como referência a uma trajetória desejável para o aprimoramento das estratégias de pesquisa e monitoramento da Floresta Nacional de Carajás, visando o fortalecimento da tomada de decisão e do manejo com base em bom conjunto de dados de pesquisa em várias áreas do conhecimento, usamos os quatro cenários possíveis de gestão do conhecimento delineados na Oficina de Gestão de Conhecimento para as Unidades de Conservação da Amazônia¹⁷.

¹⁷ Oficina de gestão de conhecimento para as Unidades de Conservação com Metas de Pesquisa e Monitoramento. Programa Áreas Protegidas da Amazônia – ARPA, 2005. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade. Coordenação Geral de Pesquisa e Monitoramento da Biodiversidade.



No **cenário 1**, a unidade de conservação atende apenas à demanda espontânea no Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (Sisbio), as prioridades de pesquisa não estão definidas ou suficientemente claras e quando há atividades de monitoramento estas não se inserem no programa institucional. No **cenário 2**, a unidade, apesar de ainda não possuir um programa de pesquisa e gestão do conhecimento, realiza a sistematização básica de dados e de atividades de pesquisa relatados no Sisbio, identifica lacunas e atividades de pesquisa prioritárias, valoriza a articulação com outras áreas protegidas e comunidade científica e participa do programa institucional de monitoramento. No **cenário 3**, a unidade de conservação já possui programa de pesquisa e gestão do conhecimento e alinhado às necessidades da área, de maneira que os resultados das pesquisas são sistematizados, utilizados em algumas ações/decisões de gestão. Aqui também são valorizados as parcerias e articulações a fim de implementar o programa de pesquisa da unidade e participa do programa institucional de monitoramento.

A Flona de Carajás já se ocupa em algum grau da produção, organização e difusão do conhecimento alinhado às necessidades da unidade, de forma que possui características dos cenários 2 e 3. O Plano de Manejo da Flona de Carajás, subsidiado pelo grande número de estudos realizados na unidade, tem no seu conjunto de programas o Programa de Pesquisa e Monitoramento Ambiental que traz diretrizes gerais para aprofundamento e gestão do conhecimento da Flona e região. Este Plano de Pesquisa para os Geossistemas Ferruginosos da Flona é um detalhamento desse programa, com ênfase na ampliação do conhecimento dos atributos naturais mais sensíveis aos impactos da atividade de mineração.

Foto: Leonardo Viana



2 Produção do conhecimento

Devido à atividade de mineração, na Flona de Carajás são realizados diversos projetos de pesquisa, manejo e recuperação dos recursos ambientais. No entanto, o desenvolvimento e apoio à produção de conhecimento com foco para além do âmbito do licenciamento, isto é, em toda a unidade de conservação, precisam ser promovidos. Nessa linha, segue o desafio de conquistar o interesse da comunidade científica pelas questões socioambientais e ecológicas da unidade assim como as facilidades logísticas. Outro desafio é aproximar os interesses de pesquisadores das necessidades mais imediatas da Flona, de modo que os resultados levem a melhores estratégias de manejo. São necessidades que requerem atenção com o relacionamento cotidiano com pesquisadores e articulação de parcerias com instituições de pesquisa, além da manutenção das parcerias existentes atualmente.

No contexto da Flona Carajás é pertinente a constituição de uma **câmara técnica de pesquisa** (ou comitê científico) no âmbito do conselho gestor da unidade de conservação, para fortalecer a gestão do conhecimento. A atribuição dessa instância formada por especialistas nos temas de interesse da unidade envolve distinguir as prioridades de pesquisa e demandas de conhecimento, avaliar projetos visando priorização para apoios diversos e contribuir para a interpretação de resultados de estudos de interesse para a conservação biológica. Para seu bom funcionamento, é de grande valia uma boa gestão do conhecimento.

Foto: Leonardo Viana



3 Organização do conhecimento

A organização do conhecimento produzido dentro e no entorno da unidade de conservação é uma iniciativa da maior relevância que contribui para o desenvolvimento científico e para a gestão e monitoramento das áreas protegidas. A sistematização de dados e informações expõe lacunas temáticas e geográficas, colabora na identificação de conhecimentos chave, na definição de metas para a pesquisa, permite evitar repetições indesejadas e possibilita que novos resultados sejam construídos a partir dos diferentes estudos realizados na região da área protegida.

A partir da experiência da organização e sistematização de dados ambientais e de biodiversidade no Projeto Cenários, amadureceu-se um projeto de gestão de dados que seja uma ferramenta estratégica no planejamento e gestão da Floresta Nacional de Carajás. A lição aprendida é que a existência de grande quantidade de pesquisa e dados em si não significa dados relevantes, consistentes e dinamicamente acessíveis. No entanto, a compreensão da forma de manifestação dos erros apresentados pelos dados e seus mecanismos de propagação proporcionou a visão para se conduzir um controle de qualidade e administração dos dados.

O uso de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Geográficos (SGBDG) associado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi uma estratégia fundamental para a administração de grande quantidade de dados e de natureza multidisciplinar e para garantir a interoperabilidade entre as diferentes ferramentas de trabalho no Projeto Cenários. A construção de um SGBDG representou não apenas a real disponibilidade de dados relevantes e robustos, mas um sistema de gerenciamento de pesquisa com capacidade para apontar lacunas de informações e colaborar para a ampliação do conhecimento científico para a conservação da biodiversidade. Por essa razão, um caminho a ser explorado é o estabelecimento de padrões, como o Darwin Core, para a recepção de dados obtidos nos geossistemas ferruginosos da Flona de Carajás, bem como em toda a unidade de conservação. A gestão e manutenção técnica do SGBDG da Flona de Carajás serão fortalecidos com uma orientação para o envio digital dos dados por parte dos pesquisadores e sua integração ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio).



4 Comunicação e difusão do conhecimento

O desafio de produção e organização de informação científica aplicada ao manejo e monitoramento se estende à relevância de sua difusão entre os pares e comunicação para além da comunidade técnico-científica, isto é, comunicação em termos leigos e não leigos. Promover a comunicação entre o público especializado amplia as possibilidades de construção do conhecimento, incluindo sinergias e estudos multidisciplinares. Os seminários de pesquisa realizados pelas unidades de conservação têm constituído importantes fóruns, onde são compartilhados conhecimentos e projetos sobre um dado território. A Flona de Carajás realizou seu primeiro seminário de pesquisa em novembro de 2016 com foco nos geoambientes ferruginos da Serra dos Carajás e sua relação com a mineração. Esta construção deve seguir se ampliando, e deve-se estimular a publicação dos aprendizados alcançados, como ocorre na revista Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Também é importante que o conhecimento científico que diz respeito à biodiversidade em áreas protegidas tenha significado para o público leigo, mesmo aquele que aparentemente não influencia diretamente o cotidiano da unidade de conservação. Apesar do conhecimento especializado ser importante subsídio para o manejo e monitoramento das áreas protegidas, o destino dessas áreas não é decidido apenas com base técnico-científica, mas pode levar em consideração aspectos econômicos, sociais e políticos.

O Plano de Manejo da Flona já prevê a elaboração de um plano de comunicação visual da Flona com a intenção de promover e divulgar os resultados das ações, atividades e projetos desenvolvidos no âmbito da unidade que contará com um *website* exclusivo da unidade vinculado ao do ICMBio. Nesses dois sentidos, a comunicação e difusão do conhecimento sobre a Floresta Nacional de Carajás é uma das fronteiras a serem alcançadas pela gestão do conhecimento da unidade.

Foto: Frederico Drumond Martins



5 Plano de trabalho resumido

As principais ações e atividades a serem desenvolvidas nos próximos cinco anos para a gestão do conhecimento alinhado às necessidades da unidade são:

Formação de câmara técnica de pesquisa vinculada ao conselho consultivo da Flona.

Realização de seminários de pesquisa, preferencialmente anuais.

Lançamento bianual de edital de pesquisa, com comitê científico para seleção das propostas com membros do ICMBio, Vale e da comunidade científica. O edital pode ter apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Pará.

Apoio à capacitação de recursos humanos da região na área de pesquisa, com ênfase nos estudantes da Universidade Federal Rural da Amazônia, com o apoio de bolsas, se possível.

Construção de sistema de gestão integrada de dados sobre os geossistemas ferruginosos nos temas deste Plano de Pesquisa, que viabilize consultas e modelagens sempre que necessário.

Disponibilização dos dados de ocorrência da biodiversidade e cavidades naturais subterrâneas nos sistemas oficiais existentes – Portal da Biodiversidade, SIBBr (integração de herbários e de coleções zoológicas); Canie (respeitando os tempos de carência previstos em políticas de dados publicados, como IN Sisbio).

Foto: Frederico Drumond Martins



Referências

AB'SÁBER, A.N. Geomorfologia da Região de Carajás. *In: Carajás: Desafio político, ecologia e desenvolvimento.* ALMEIDA Jr., J.M.G. (Org.). São Paulo: Brasiliense, 1986. Cap. 5, p. 88-124.

ALEIXO, A. Carajás. *In: VALENTE, R.M. et al. (Eds.). Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil.* Belém: Conservação Internacional, 2011. p. 96-99.

ALEIXO, A.; CARNEIRO, L.N.; DANTAS, S.M. Aves. *In: MARTINS, F.D. et al. (Eds.). Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres.* São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 102-143.

BARROS, F.S.M. **Banco de dados geográficos para biodiversidade de Carajás:** subsídios à priorização espacial e conservação da biodiversidade. 2015. 19 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 23 jan. 1986.

BRASIL. Senado Federal. Resolução nº 331, de 1986. Autoriza o Poder Executivo a conceder à Companhia Vale do Rio Doce-CVRD o direito real de uso resolúvel de uma gleba de terras do domínio da União adjacente à Província Mineral de Carajás, e localizada no Município de Marabá, Estado do Pará, com a área de 411.948,87 hectares (quatrocentos e onze mil, novecentos e quarenta e oito hectares e oitenta e sete ares) na forma que indica. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 5 dez. 1986.

_____. Senado Federal. Decreto Legislativo nº 2, de 1994. Aprova o texto do Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na Cidade do Rio de Janeiro, no período de 5 a 14 de junho de 1992. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 4 fev. 1994a.

_____. Decreto nº 1.298, de 27 de outubro de 1994. Aprova o Regulamento das Florestas Nacionais, e dá outras providências. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 27 out. 1994b.

_____. Decreto nº 2.486, de 2 de fevereiro de 1998. Cria a Floresta Nacional de Carajás, no Estado do Pará, e dá outras providências. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 2 fev. 1998.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 18 jul. 2000.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Resolução Conama nº 347, de 13 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 13 set. 2004.

_____. Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 10 nov. 2008.

_____. Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 10 nov. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 02, de 20 de agosto de 2009. Regulamentação do decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. **Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 20 ago. 2009.

BOZELLI, R.; CALIMA, A.; GUARIENTO, R.D.; CARNEIRO, L.C.; SANTANGELO, J.M.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; LEAL, J.J.F.; ROCHA, A.M.; QUESADO, L.B.; LOPES, P.M.; FARJALLA, V.F.; MARINHO, C.C.; ROLAND, F. & ESTEVES, F.A. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. **Limnologia – Ecology and Management of Inland Waters**, v. 39, n.4, p. 306–313, 2009.

CAMPOS, J.F. & CASTILHO, A.F. 2012. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. P. 16-27, In: MARTINS et al. (Orgs.) **Fauna da Floresta Nacional de Carajás**: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens. Cap. 2, p. 28-65.

CANIE. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas: **banco de dados do patrimônio espeleológico nacional**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ano-2016. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 13 dez. 2016.

CARMO, F.F. & JACOBI, C.M.A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico, **Rodriguésia**, v. 64, n. 3, p. 527-541, 2013.

CARMO, F.F. **Padrões de diversidade, composição florística e estrutura de comunidades de plantas em afloramentos rochosos, Quadrilátero Ferrífero, Brasil**. 2014. Tese (Doutorado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAVALCANTI, R.B. Aspectos da fauna e sua conservação. In: ALMEIDA JR, J.M.G. (Org.). **Carajás**: Desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense, 1986. p. 214-221.

DIAS, H.C.T.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F. & VENTORIM, L.B. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 777-786, 2002.

FERREIRA, R.L.; OLIVEIRA, M.P.A. & SILVA, M.S. Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 7, p. 195-231.

GOMES, A.M.; SILVA, L.H.D. & TAVARES, V.C. Pristino. Morcegos associados a ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais. In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 8, p. 233-258.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Companhia Vale do Rio Doce. STCP Engenharia de Projetos Ltda. **Plano de Manejo para Uso Múltiplo da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília: MMA, 2004. 736 p.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. STCP Engenharia de Projetos Ltda. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília: MMA, 2016. 2 v.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade. **Projeto Cenários**. 2013. Processo nº 02070.003614/2013-78.

_____. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Área de influência sobre o patrimônio espeleológico**: orientações básicas à realização de estudos espeleológicos. 19 p. Disponível em: < http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Orientacoes/%C3%81rea_influ%C3%AAncia_PE_sitio_CECAV.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2016.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Versão 2014.1. Disponível em: < <http://www.iucnredlist.org/>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

JACOBI, C.M. *et al.* Interações ecológicas em ambientes de canga do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. *In*: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 14, p. 411-428.

KIPNIS, R. O uso de modelos preditivos para diagnosticar recursos arqueológicos em áreas a serem afetadas por empreendimentos de impacto ambiental. *In*: CALDARELLI, S.B. (Org.). **Simpósio sobre Política Nacional do Meio Ambiente e Patrimônio Cultural**: Repercussões dos Dez Anos da Resolução CONAMA nº 001/86 sobre a Pesquisa e a Gestão dos Recursos Culturais no Brasil. Goiânia: Fórum Interdisciplinar para o Avanço da Arqueologia/IGPA-UCG, 1997. p. 34-40.

KIPNIS, R.; BEZERRA, C.S. & OLIVEIRA, W.C. Contribuição para a cronologia da colonização amazônica e suas implicações teóricas. **Revista de Arqueologia**, v. 18, p. 81-93, 2005.

KUEFFER, C. *et al.* Enabling effective problem-oriented research for sustainable development. **Ecology and Society**, v. 17, n. 4, art. 8, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5751/>>. Acesso em: 23 out. 2016.

LADLE, R.J. *et al.* Unexplored Diversity and Conservation Potential of Neotropical Hot Caves. **Conservation Biology**, v. 26, p. 978-982, 2012.

LOPES, P.M. **Efeitos dos fatores locais e espaciais na riqueza e composição de comunidades aquáticas e implicações para conservação (Serra dos Carajás, Pará)**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MACAMBIRA, J.B. **O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará**. 2003. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências, área de Metalogênese) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MACHADO, A.B.M.; DRUMMOND, G.M. & PAGLIA, A.P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: MMA; Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2008. 2v.

MADEIRA, J.A. *et al.* Geossistemas ferruginosos e áreas protegidas. *In*: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 19, p. 521-545.

MAGALHÃES, M.P. **A cultura neotropical**. Revista de Arqueologia, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 273-280, 1994.

_____. **Caçadores-coletores na Amazônia**: O Padrão Arqueológico Carajás. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005.

MARGULES, C.R. & PRESSEY, R.L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, n. 11, p. 243-253, may 2000.

MARTINS, F.D. *et al.* Ações para conservação. *In*: MARTINS, F.D. *et al.* (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás**: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 196-229.

MARTINS, F.D. **O Conflito de Carajás**: Cenários para a conservação da savana metalófila. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro.

MASCHIO, G. Répteis. *In*: MARTINS, F.D. *et al.* (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás**: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Nacional de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**: Atualização - Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília: MMA, 2007. Série Biodiversidade, 31. 327 p.

MOILANEN, A.; LEPPÄNEN, J. & POUZOLS, F.M. **Zonation v.3.1 software**. Biodiversity Conservation Informatics Group Department of Biosciences University of Helsinki, Finland, 2012. Disponível em: <www.helsinki.fi/bioscience/consplan>. Acesso em: 25 fev. 2016.

MOTA, N.F.O. *et al.* Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. *In*: CARMO e KAMINO. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 10, p. 289-315.

NECKEL-OLIVEIRA, S. *et al.* Anfíbios. *In*: MARTINS, F.D. *et al.* (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás**: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 66-83.

NUNES, J.A. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga na Serra Sul, Flona de Carajás – Pará**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NUNES, J.A. *et al.* Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 87, v. 4, p. 2097-2110, 2015.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 24 de outubro de 2007. **Homologa a lista de espécies da flora e da fauna ameaçadas no Estado do Pará. Diário Oficial {do} Estado do Pará**. Belém, PA, 24 out. 2007.

PEREIRA, J.B.S. *et al.* Two New Species of *Isoetes* (Isoetaceae) from northern Brazil. **Pythotaxa**, v. 272, n. 2, p. 141-148, 2016.

- PILÓ, L.B. & AULER, A.S. **Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da Região de Carajás, PA.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, n. 30., 2009, Montes Claros. Montes Claros: Sociedade Brasileira de Espeleologia, p. 181-186.
- PILÓ, L.B.; COELHO, A. & REINO, J.C.R. Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação. In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginos do Brasil:** áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 4, p. 125-148.
- PORTO, M.L. & SILVA, M.F.F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 3, p. 13-21, 1989.
- SANTOS, B.A. Recursos minerais. In: ALMEIDA JR, J.M.G. (Org.). **Carajás:** Desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense, 1986. p. 294-361.
- SANTOS, J.L.R. **Território em transe:** a Floresta Nacional de Carajás. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., Florianópolis, 2010. Florianópolis: ANPPAS. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT16-43-16-20100903195758.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- SARKAR, S. & MARGULES, C. Operationalizing biodiversity for conservation planning. **Journal of Biosciences**, v. 27, n. 4, sup. 2, p. 299-308, jul. 2002.
- SCB. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. United Nations Environment Programme. **Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020, including Aichi Biodiversity Targets.** Disponível em: <<https://www.cbd.int/sp/targets/>>. Acesso em: 5 jun. 2016.
- SCHAEFER, C.E.G.R. *et al.* The Physical Environment of Rupestrian Grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and Interplays. In: FERNANDES, G.W. (Ed.). **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil.** Switzerland: Springer International Publishing, 2016. Chapter 2, p. 15-33.
- SILVA, A.A.S. 2014. 28 f. **Efeitos potenciais do uso do solo sobre as comunidades de cianobactérias em 100 lagos do Rio Grande do Norte, Brasil.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ecologia) – Centro de Biociências, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SILVA, M.F.F. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. **Acta Botanica Brasilica**, v. 6, n. 1, p. 107-122, 1992.
- SILVA, M.F.F.; SECCO, R.S. & LOBO, M.G. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, Estado do Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 26, p. 17-44, 1996.
- TAVARES, V.C. *et al.* Morcegos. In: MARTINS, F.D. *et al.* (Eds.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás:** estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 162-179.
- SOUZA, F.C.R. & CARMO, F.F. **Geossistemas Ferruginos no Brasil.** In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginos do Brasil:** áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 1, p. 1-30.
- TRAJANO, E. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 135-146, 2010.

VANZOLINI, P.E. & BRANDÃO, C.R.F. Diretrizes gerais para um levantamento faunístico. In: ALMEIDA JR, J. M. G. (Org.). **Carajás: Desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense, 1986. p. 208-213.

VASCONCELOS, M.F. & HOFFMANN, D. Avifauna das vegetações abertas e semiabertas associadas a geossistemas ferruginosos do Brasil: levantamento, conservação e perspectivas para futuros estudos. In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 9, p. 259-287.

VIANA, P.L. *et al.* Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia**, v. 67, n. 5, p. 1107-1124, 2016. Número especial.

WILLIAMS, P.J.; BARTON, M.D.; JOHNSON, D.A.; FONTBOTÉ, L.; DE HALLER, A.; MARK, G.; OLIVER, N.H.S. & MARSCHIK, R. Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin. **Economic Geology**, pp. 371-405, 2005.

Foto: João Marcos Rosa





VALE



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



Foto: João Marcos Rosa