

Estratégias de compensação ambiental na região de Carajás: análise de similaridade de biodiversidade impactada pela mineração

Mayra Pereira de Melo Amboni^{1,*}

<https://orcid.org/0000-0002-5191-6567>

*Contato principal

Mayra Pimenta¹

<https://orcid.org/0000-0003-2730-4859>

Fernando Hiago Souza Fernandes¹

<https://orcid.org/0000-0002-7354-7950>

Renata Silva Almeida¹

<https://orcid.org/0000-0003-4848-2785>

Guth Berger Falcon Rodrigues¹

<https://orcid.org/0000-0003-4535-7241>

Daniel Santana Lorenzo Raíces¹

<https://orcid.org/0009-0000-7864-3274>

¹ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Coordenação de Análises Geoespaciais para Conservação de Espécies/COESP, Brasília/DF, Brasil. <mayra.amboni@icmbio.gov.br, mayra.pimenta.bolsista@icmbio.gov.br, fernando.fernandes.bolsista@icmbio.gov.br, renata.almeida@icmbio.gov.br, guth.rodrigues.bolsista@icmbio.gov.br, daniel.raices@icmbio.gov.br>.

Recebido em 13/09/2024 - Aceito em 01/02/2025

Como citar:

Amboni MPM, Pimenta M, Fernandes FHS, Almeida RS, Rodrigues GBF, Raíces DSL. Estratégias de compensação ambiental na região de Carajás: análise de similaridade de biodiversidade impactada pela mineração. Biodivers. Bras. [Internet]. 2025; 15(1): 136-151. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v15i1.2684>

Palavras-chave: Análise de agrupamentos hierárquicos; biodiversidade sensível; patrimônio espeleológico; redução de impactos.

RESUMO – Este trabalho tem como objetivo principal indicar, na região do mosaico de áreas protegidas de Carajás, as áreas de maior similaridade de biodiversidade sensíveis aos impactos da mineração, ao propor um método auxiliar para a compensação ambiental de impactos não mitigáveis. Os mapas de grupos para compensação, resultado do Plano de Redução de Impactos da Mineração sobre a Biodiversidade e o Patrimônio Espeleológico (PRIM Mineração), foram elaborados em escala federal e subdivididos em grandes bacias hidrográficas. Na região do mosaico de Carajás foram identificadas 27 espécies da fauna e 38 da flora sensíveis aos impactos crônicos da mineração. Para criar o mapa de grupos para compensação ambiental, avaliou-se a distribuição potencial das espécies e de ambientes sensíveis, ao comparar a composição dos alvos de conservação entre unidades de planejamento (UPs). As UPs com mais de 50% de similaridade em alvos de conservação formaram os grupos, já aquelas com no mínimo 75% de similaridade formaram os agrupamentos. As unidades de conservação (UCs) do mosaico de áreas protegidas de Carajás estão no Grupo E, com dois agrupamentos distintos, a exemplo da Floresta Nacional de Carajás e o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, que são representados por um único agrupamento. Nossos resultados auxiliam na alocação eficaz de recursos financeiros e nas ações de compensação ambiental, ao direcionar áreas com composição semelhante de alvos de conservação. No entanto, estudos mais refinados devem ser realizados em escala local para resguardar as peculiaridades ambientais características da região de Carajás.

Environmental compensation strategies in Carajás region: biodiversity similarity analysis of areas impacted by mining impacts

Keywords: Hierarchical clustering analysis; impact reduction; sensitive biodiversity; speleological heritage.

ABSTRACT – The main objective of this work is to identify areas of high similarity of biodiversity sensitive to mining in the mosaic of Carajás protected areas by proposing a supporting method for environmental offset of non-mitigable impacts. The offset group maps, resulting from the Reduction Plan of Mining Impact on Biodiversity and Speleological Heritage (PRIM Mineração), were developed at a federal scale and subdivided into major hydrographic basins. In Carajás mosaic region, 27 animal species and 38 plant species sensitive to the chronic impacts of mining were identified. To create the environmental offset group map, the potential distribution of species and sensitive environments was assessed by comparing the conservation targets among planning units (UPs). UPs with more than 50% similarity in conservation targets formed groups, while those with at least 75% similarity formed the Aggregations. All protected areas within the Carajás region are in Group E, with two distinct Aggregations, such as the Carajás National Forest and the Campos Ferruginosos National Park, which are represented by a single aggregation. Our results aid in the effective allocation of financial resources and environmental offset actions by directing attention to areas with similar conservation target compositions. However, more refined studies should be conducted at the local scale to preserve the specific environmental characteristics of Carajás region.

Estrategias de compensación ambiental de la region de Carajás: análisis de similaridade de la biodiversidade afectada por la minería

Palabras clave: Análisis de agrupamientos jerárquicos; biodiversidad sensible; patrimonio espeleológico; reducción de impactos.

RESUMEN - Este trabajo tiene como objetivo principal indicar, en la región del mosaico de áreas protegidas de Carajás, las áreas de mayor similitud de biodiversidad sensibles a los impactos de la minería, al proponer un método auxiliar para la compensación ambiental de impactos no mitigables. Los mapas de grupos para compensación, resultado del Plan de Reducción de Impactos de la Minería sobre la Biodiversidad y el Patrimonio Espeleológico (PRIM Mineração), fueron elaborados a escala nacional y subdivididos en grandes cuencas hidrográficas. En la región del mosaico de Carajás se identificaron 27 especies de fauna y 38 de flora sensibles a los impactos crónicos de la minería. Para crear el mapa de grupos para compensación ambiental, se evaluó la distribución potencial de las especies y de ambientes sensibles, comparando la composición de los objetivos de conservación entre las unidades de planificación (UP). Las UP con más del 50% de similitud en objetivos de conservación formaron los grupos, mientras que aquellas con al menos el 75% de similitud formaron los agrupamientos. Las unidades de conservación del mosaico de áreas protegidas de Carajás están en el Grupo E, con 2 Agrupamientos distintos, como el caso de la Floresta Nacional de Carajás y el Parque Nacional de los Campos Ferruginosos, que están representados por un único agrupamiento. Nuestros resultados ayudan en la asignación eficaz de recursos financieros y en las acciones de compensación ambiental, al orientar áreas con composición similar de objetivos de conservación. Sin embargo, deben realizarse estudios más detallados a escala local para preservar las particularidades ambientales características de la región de Carajás.

Introdução

A mineração é amplamente reconhecida como uma ameaça significativa à biodiversidade e ao patrimônio espeleológico do país. Evidências indicam que essa atividade coloca em risco inúmeras espécies de animais [1], bem como ameaça cavidades subterrâneas naturais, que constituem o patrimônio espeleológico brasileiro, uma vez que a grande maioria das áreas com potencial ocorrência de cavernas são também potencialmente produtivas ou já efetivamente exploradas [2], além de representar riscos para espécies da flora [3].

Por outro lado, a mineração é inegavelmente uma importante atividade econômica no Brasil, atualmente representada por cerca de 2,5 a 5% do PIB [4] e respondendo por cerca de 29% das exportações nacionais [5]. O país detém a sexta maior produção mineral do mundo, com a exploração aproximada de 70 bens minerais (como o nióbio, minério de ferro, alumínio, níquel e bauxita) que são insumos para os setores industriais e da construção civil [6]. Nesse aspecto, conciliar a proteção, a conservação e a recuperação da biodiversidade e da geodiversidade e o desenvolvimento sustentável das atividades de mineração é imprescindível e deve figurar como um objetivo comum entre os setores ambiental e econômico.

A região de Carajás, localizada no estado do Pará, é um dos maiores e mais importantes centros de mineração de ferro do mundo [7]. A descoberta e posterior exploração mineral da Serra dos Carajás começou na década de 60, quando a United States Steel solicitou o direito de exploração mineral em 1967. Em 1970, foi formalizado um acordo com o governo brasileiro que levou à criação da empresa Amazônia Mineração S.A. (AMZA), com participação majoritária da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), hoje Vale S.A [8].

Com o passar dos anos, o governo brasileiro adotou uma estratégia que combinava a criação de áreas protegidas com a exploração mineral para preservar o meio ambiente ao redor das áreas mineradas. Em 1989, foram criadas as primeiras unidades de conservação (UCs) na região de Carajás: a Área de Proteção Ambiental (APA) do Igarapé Gelado, a Floresta Nacional (FLONA) Tapirapé-Aquirí, e a Reserva Biológica (REBIO) do Tapirapé. Posteriormente, foram estabelecidas outras áreas de proteção, como a Terra Indígena Xikrin do Cateté, reconhecida em 1991, e as Florestas Nacionais de Itacaiúnas e Carajás, criadas em 1998 [8].

Essas áreas de conservação foram agrupadas no Mosaico de Carajás, que cobre cerca de 12.000 km² e inclui o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, criado em 2017. O parque foi criado com o objetivo de proteger áreas significativas do ecossistema de canga, que são tipos raros de campos rupestres da Amazônia com elevado endemismo [9][10]. O ecossistema de canga está diretamente relacionado aos depósitos de minério de ferro, o que cria conflitos entre os interesses de conservação e exploração mineral.

A pressão antrópica ao redor das áreas protegidas tende a aumentar à medida que cresce a demanda por matérias-primas para o consumo humano [11]. Para enfrentar esses desafios, é necessário um planejamento estratégico que concilie as atividades de mineração e a conservação da biodiversidade, com negociações entre os setores envolvidos e a implementação de medidas que garantam tanto a proteção ecológica quanto a viabilidade econômica das atividades mineradoras.

Uma característica intrínseca das atividades de mineração é a rigidez locacional, limitando a presença do empreendimento à ocorrência da jazida. A sobreposição destas às áreas de interesse para a conservação da biodiversidade pressupõe a necessidade de uma análise refinada que considere a viabilidade técnico-econômica da exploração frente aos custos ambientais associados. Nesse contexto, é fundamental promover diálogos intersetoriais e intergovernamentais. Isso permite que o planejamento ambiental e o uso dos recursos minerais levem em conta uma escala de paisagem objetivando a minimização dos impactos críticos sobre *habitats* e espécies. Devido à rigidez locacional e aos impactos frequentemente profundos e irreversíveis da extração mineral, há pouca margem para a aplicação de medidas mitigadoras eficazes. Assim, dada a natureza específica da mineração, é essencial que as medidas compensatórias sejam rigorosamente estabelecidas para assegurar a persistência das espécies [12].

A compensação ambiental é um instrumento destinado para compensar os impactos negativos residuais causados por atividades humanas sobre o meio ambiente [13]. Esse conceito baseia-se no princípio de que, ao causar danos irreversíveis ou irreparáveis de grande magnitude em determinados ecossistemas, os empreendedores são obrigados a compensar esses danos por meio de recuperação, proteção ou criação de áreas com similar valor ecológico [14]. A compensação ambiental deve ser o

último recurso com o objetivo de equilibrar o uso dos recursos naturais com a proteção dos ecossistemas e persistência das espécies. Antes disso, espera-se que em um planejamento ambiental estratégico os impactos sejam evitados, que medidas mitigadoras sejam adotadas para reduzir os danos e, em último caso, que haja compensação dos impactos residuais promovidos pelo empreendimento [15]. Portanto, a compensação ambiental oferece uma abordagem para garantir que, onde quer que haja perdas significativas de biodiversidade, ações sejam implementadas para restaurar ou proteger áreas de valor ecológico similar.

Em casos bem-sucedidos de compensação ambiental, tal ferramenta pode promover a conectividade ecológica, a restauração de serviços ecossistêmicos e a recuperação de ambientes críticos para conservação e persistência de espécies ameaçadas. Ao aplicar análises de similaridade da biodiversidade entre áreas é possível identificar locais que tenham características semelhantes às áreas impactadas, garantindo uma compensação para os alvos de conservação atingidos.

A compensação ambiental desempenha um importante papel no fortalecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). A compensação ambiental foi instituída como instrumento de gestão ambiental no artigo 36 da Lei n. 9.985/2000, sendo aplicada aos empreendimentos com significativo impacto ambiental. Nestes casos o empreendedor é obrigado a apoiar a implementação ou a manutenção de UCs do grupo de proteção integral, ou de uso sustentável, quando diretamente afetadas [16].

Os critérios de destinação dos recursos para empreendimentos pontuais terrestres, como a mineração, são indicados pelo Comitê de Compensação Ambiental Federal (CCAF), entidade responsável pela destinação dos recursos advindos da compensação ambiental, e variam de acordo com o volume de recursos (Ata da 9ª Reunião Ordinária do CCAF, realizada em 22/09/2012). Os critérios incluem desde a escolha de UCs localizadas no entorno do empreendimento (raio de 200 km), que compartilhem ao menos uma fitofisionomia atingida pelo empreendimento, que estejam inseridas no mesmo bioma e presentes na mesma região hidrográfica afetada pelo empreendimento.

Em um esforço para propor estratégias para redução de impactos sobre as cavidades naturais e a biodiversidade associada, o Instituto

Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) desenvolveu uma importante ferramenta [17] que visa à conservação da biodiversidade e do patrimônio espeleológico: o Plano de Redução de Impactos da Mineração sobre a Biodiversidade e o Patrimônio Espeleológico – PRIM Mineração [18]. O PRIM Mineração consiste na proposição e no estabelecimento de ações que visam evitar, mitigar e compensar impactos residuais da atividade de exploração mineral e indica cenários de maior e menor compatibilidade entre empreendimentos e a conservação da biodiversidade, buscando a não extinção de espécies, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos.

Uma das etapas de elaboração do PRIM Mineração é avaliar a sensibilidade da biodiversidade e da geodiversidade frente às ameaças advindas das atividades mineradoras. O elevado número de espécies da fauna e flora brasileira em risco de extinção e de vulnerabilidades às quais está sujeito o patrimônio espeleológico brasileiro [19] [20] ressaltam a importância e a legitimidade para o estabelecimento de ações para a proteção, conservação e recuperação da biodiversidade e geodiversidade. Adicionalmente, em relação às cavidades naturais subterrâneas, as atividades minerárias destacam-se como importante vetor de degradação, exigindo assim especial atenção quanto à redução dos impactos ambientais, uma vez que a grande maioria das rochas carstificáveis são potencialmente prestadoras de serviços ecossistêmicos.

Um dos produtos dos PRIMs são os mapas de grupos de compensação ambiental [17]. O princípio subjacente à construção desses mapas é que estes auxiliem de forma complementar as regras já existentes do CCAF, ao indicar para cada empreendimento minerador as melhores alternativas espaciais para compensação ambiental [17], considerando os alvos de conservação identificados como sensíveis potencialmente presentes na área impactada. A solução espacial permite o direcionamento dos esforços de redução de impactos ao aplicar análises de similaridade na composição dos alvos de conservação entre as áreas mineradas com áreas a serem compensadas, garantindo maior efetividade no estabelecimento das medidas compensatórias para os alvos atingidos.

Neste estudo são apresentados os resultados do PRIM Mineração, sobretudo aqueles referentes ao mapa de compensação ambiental. O objetivo

principal é apontar áreas na bacia do Tocantins-Araguaia de maior similaridade na composição da biodiversidade entre as UCs do Mosaico de Carajás, localizadas no município de Parauapebas, leste do Pará, a fim de auxiliar a compensação ambiental de impactos não mitigáveis provenientes de atividades de mineração. Para tal, assume-se a premissa que os esforços de compensação das áreas impactadas pela mineração serão mais efetivos se direcionados para as UCs que comungam maior elementos da biodiversidade com essas áreas mineradas.

Metodologia

O escopo das análises espaciais do PRIM Mineração considera informações em escala de paisagem. Para representar a variação da biodiversidade e da geodiversidade todo o território nacional foi subdividido em unidades de planejamento (UPs). As UPs são consideradas unidades mínimas para a tomada de decisões delimitadas por um mosaico de bacias hidrográficas e UCs. Para elaboração do mapa de grupos para compensação ambiental foram elencados os alvos de conservação sensíveis aos impactos crônicos provenientes das atividades de mineração. A partir da representação espacial da distribuição potencial dos alvos de conservação foi calculada a proporção de sua distribuição nas UPs. Ao final, foram feitos grupos e agrupamentos de UPs conforme o nível de similaridade da biodiversidade e da geodiversidade. A seguir detalhamos a metodologia utilizada.

Abrangência do PRIM Mineração

O PRIM Mineração abrange todas as bacias hidrográficas delineadas por modelo digital de elevação e codificadas segundo a metodologia de Otto Pfafstetter (BHO, nível 6) [21] e as UCs do território brasileiro, sobrepostas às áreas das poligonais dos processos minerários autorizados e planejados de 22 substâncias minerais [18]. A sobreposição das informações acima define a área de abrangência considerada como susceptível aos impactos diretos e crônicos da mineração, isto é, aqueles inerentes à atividade como perda e fragmentação da paisagem.

O mosaico formado pelas bacias hidrográficas e UCs definem as UPs. As UCs existentes foram identificadas a partir das bases de dados do ICMBio [22] e do MMA [23] e inclui todas as UCs do ambiente terrestre das esferas federais, estaduais

e municipais, exceto as reservas particulares de patrimônio natural (RPPNs), devido à falta de informações sobre as delimitações espaciais para muitas dessas propriedades. Uma mesma UC pode ser representada no PRIM Mineração por uma ou mais UP, dependendo do número de otobacias as quais estão sobrepostas. Essa divisão é importante pois reflete de forma mais adequada variações ambientais (principalmente aquelas ligadas à rede de drenagem e geomorfológicas) e, do ponto de vista do planejamento ambiental, permite aos gestores uma visão setorizada, permitindo uma distribuição dos esforços conservacionistas proporcional à situação de vulnerabilidade, dentro dos limites da UC.

No total a área do PRIM Mineração engloba 32.582 UPs em $\approx 4.981.806 \text{ km}^2$, considerando as particularidades regionais toda a área de abrangência foi agrupada em quatro regiões, cujos limites correspondem às seguintes BHOs de nível 1: Bacia Amazônica e Interbacia Orinoco-Amazonas (BHO 3/4), Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6), Interbacia Tocantins-Prata (BHO 7), Bacia Paraná-Prata-Paraguai (BHO 8) (Figura 1A). Os mapas de compensação ambiental foram feitos para cada região. O mosaico de UCs de Carajás se sobrepõe em 96% à Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6) (Figura 1B e 1C), portanto, neste estudo focaremos nos resultados dessa região. A área do mosaico de UCs de Carajás está dividida em 94 UPs, dos quais 90 se encontram na BHO 5/6 e totalizam $\approx 8.005 \text{ km}^2$ (Figura 1C). A resolução espacial adotada nas análises foi de 1 km (Figura 1D). A representação dos mapas de compensação foi feita utilizando o *software* ArcGIS versão 10.1.

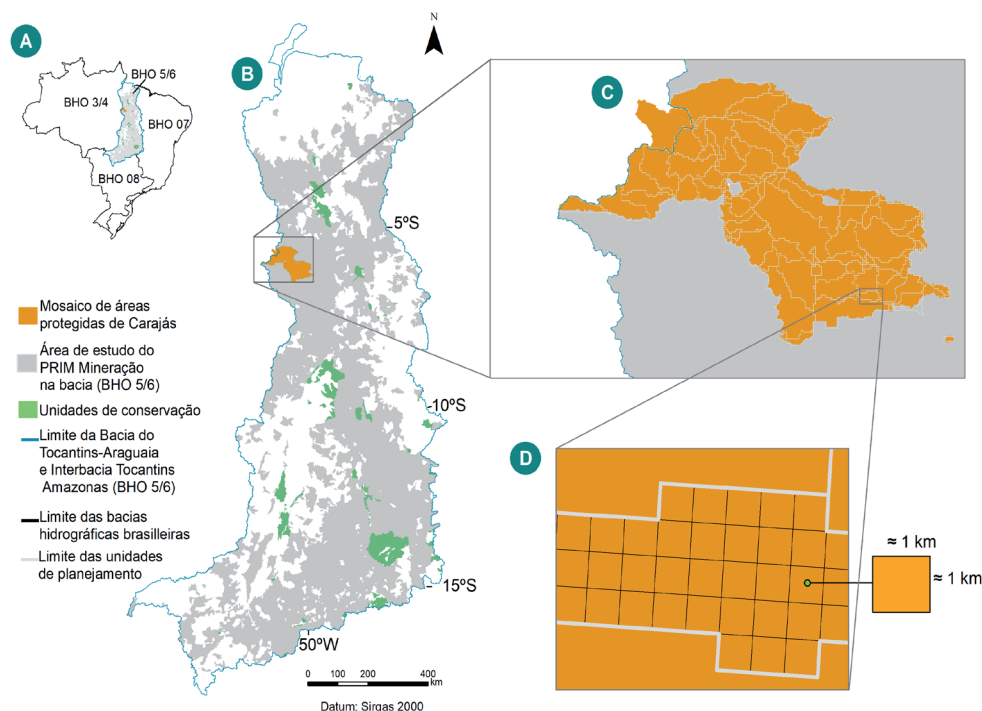


Figura 1 – Abrangência e resolução espacial utilizadas no PRIM Mineração, com destaque para o mosaico de áreas protegidas de Carajás. (A) Bacias Hidrográficas Ottocodificadas: Bacia Amazônica e Interbacia Orinoco-Amazonas (BHO 3/4), Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6), Interbacia Tocantins-Prata (BHO 7), Bacia Paraná-Prata-Paraguai (BHO 8); (B) Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6); (C) mosaico de áreas protegidas de Carajás; (D) exemplo de unidade de planejamento e resolução espacial.

Alvos de conservação

Os alvos de conservação são os componentes da biodiversidade (fauna, flora, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos) sensíveis aos impactos potenciais decorrentes da mineração. O PRIM Mineração utilizou esses quatro componentes para mapear a sensibilidade da biodiversidade, com cada alvo avaliado em termos de resistência e resiliência aos impactos da mineração. Para os mapas de compensação, no entanto, foram utilizados os componentes da fauna, flora e ambientes singulares.

Dentre os critérios adotados para inclusão de uma espécie da fauna estão as características ecológicas, categorias de risco de extinção e extensão de ocorrência potencialmente afetada. Para a flora foram ainda consideradas informações como forma de vida, tipo de substrato habitado e síndrome de dispersão das espécies como características relevantes para a seleção e avaliações de sensibilidade aos impactos da mineração. A indicação da lista de espécies sensíveis da fauna e da flora aos impactos da mineração foi realizada pelos Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação vinculados ao ICMBio (CNPcs/ICMBio) e pelo Centro Nacional de Conservação de Flora (CNCFlora/JBR), respectivamente, que são os centros de pesquisa federais que contam com a expertise de pesquisadores dos grupos taxonômicos e capacidade de acionamento

da rede de colaboradores de institutos e universidades. Estes colaboradores são consultados nos processos de seleção dos alvos e, também, para validação da representação espacial das espécies.

Os ambientes singulares reúnem áreas com atenção especial dada a sua relevância para a manutenção da biodiversidade e a preservação do patrimônio espeleológico susceptíveis às atividades minerárias, todas elas indicadas durante a oficina do PRIM Mineração. Esses alvos de conservação são compostos por camadas que representaram as seguintes informações espaciais: áreas de ocorrência de cavernas, cavernas com dimensões notáveis, cavernas com endemismo extremo, cavernas com congregações excepcionais de morcegos (*bat caves* e *hot caves*), colônias excepcionais em tamanho, áreas úmidas, áreas importantes para reprodução de tartarugas marinhas (praias e bancos de areia), áreas de importância para conservação de mamíferos marinhos, a heterogeneidade de fitofisionomias e as fitofisionomias únicas.

Os ambientes singulares que representam o patrimônio espeleológico sensível foram indicados e espacializados pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio) e colaboradores. Para detalhes de como cada camada representativa dos ambientes singulares sensíveis à mineração foi construída, bem como a fonte dos dados, verificar o Apêndice D do PRIM Mineração [18].

Representação espacial dos alvos de conservação

A representação da distribuição espacial dos alvos de conservação foi realizada de formas distintas para as espécies da fauna e flora sensíveis aos impactos de mineração, em função da disponibilidade de informações sobre a distribuição e dos registros de ocorrência (Figura 2). Em relação à fauna a distribuição da espécie foi, preferencialmente, modelada a partir de registros levantados na base de dados do Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE [20] e registros enviados pelos CNPCs. A modelagem de espécies foi realizada seguindo protocolos específicos de modelagem para os diferentes grupos da fauna [24], utilizando o pacote *R enmml* [25]. Para as espécies que não atenderam aos critérios exigidos nos modelos de distribuição espacial, isto é, apresentaram menos de cinco registros de ocorrência, utilizou-se polígonos de especialista. Para a flora, foram utilizados os polígonos de precisão para as representações espaciais, disponibilizados pelo CNC-FLORA/JBR.

Foram utilizados diferentes protocolos para a modelagem de distribuição potencial das espécies da fauna terrestre, terrestre migradoras e aquáticas com mais de cinco

registros espacialmente distintos (Tabela 1). A definição dos protocolos específicos para a modelagem de espécies foi desenvolvida em âmbito de grupo técnico que incluiu a Coordenação de Ações Integradas para Conservação de Espécies (COESP/ ICMBio) e a Universidade Federal de Goiás (UFG) e que culminaram na publicação de um artigo científico que traz informações metodológicas adicionais e discussão sobre os avanços desta abordagem na produção de modelos mais precisos e conservadores e sua importância nas análises de planejamento sistemático da conservação (PSC)[24].

A representação espacial das espécies dos alvos de conservação foi sobreposta à área de cada uma das bacias para identificação dos componentes presentes em cada região hidrográfica. Especificamente para a fauna e flora foram adotados dois critérios para que estes permanecessem como alvos na bacia: (i) que a espécie possuísse valor $\geq 10\%$ de distribuição na bacia ou (ii) que a distribuição da espécie ocupasse 10% da área da bacia. O estabelecimento destes limites justifica-se pela necessidade de retirar da listagem de alvos aqueles com distribuição marginal e/ou residual na bacia, o que enviesaria a análise de priorização.

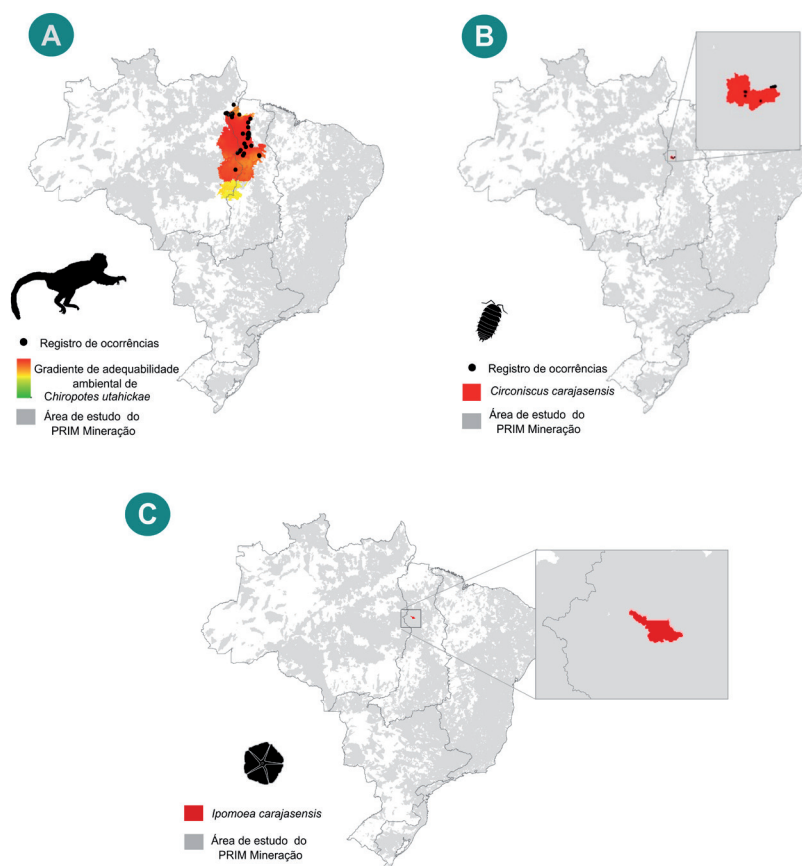


Figura 2 – Exemplos dos métodos usados para representação espacial dos alvos de conservação da fauna e flora: (A) Modelo de distribuição potencial de *Chiropotes utahickae* Hershkovitz, 1985; (B) Polígono de Especialista de ocorrência de *Circoniscus carajasensis* Campos-Filho & Araujo, 2011 (Polígono de Especialista); e (C) Polígono de Especialista por buffer de precisão de *Ipomoea carajasensis* Austin, 1981.

Tabela 1 – Abordagens dos modelos de distribuição potencial utilizados para representar alvos de conservação da fauna. Destaque para as bases de dados utilizadas como variáveis ambientais preditoras; os algoritmos aplicados (*Support Vector Machine* – SVM, *Maxent* – MXD, *Random Forest* – RDF, *Gaussian-Bayesian* – GAU); os métodos de partição de dados para avaliação dos modelos; os parâmetros para modelo consenso (SUP – valores superiores à média do *threshold Jaccard*) e controle de restrição espacial. *A partição de dados utilizada na modelagem de distribuição potencial diferiu conforme o número de registros únicos disponíveis: espécies com menos de 30 registros (Bloco) e espécies com mais de 30 registros (Bootstrap). Para maiores detalhes sobre a modelagem, ver Pimenta *et al.* 2022 [24].

Modelos de distribuição potencial							
Critério	Táxons	Parâmetros dos modelos					
		Variáveis ambientais	Algoritmos	Partição de dados*	Threshold	Ensemble	Controle
Espécies terrestres	Répteis e anfíbios, mamíferos, aves não migratórias, invertebrados	Bioclim	SVR, MXD, RDF, GAU	Bloco/ Bootstrap-70/30- com 10 réplicas	Jaccard	SUP	Presença
	Aves migratórias	Bioclim + Camadas de habitat costeiros	SVR, MXD, RDF, GAU	Bloco/ Bootstrap-70/30- com 10 réplicas	Jaccard	SUP	Presença
Espécies aquáticas	Peixes	Hidroatlas	SVR, MXD, RDF, GAU	Bloco/ Bootstrap-70/30- com 10 réplicas	Jaccard	SUP	Conectividade de bacias hidrográficas

Mapas de grupos para compensação ambiental

A construção dos mapas foi realizada a partir de uma análise de similaridade na composição dos alvos de conservação de fauna, flora e ambientes singulares entre as unidades de planejamento, calculando-se a proporção de alvos compartilhados entre duas unidades em relação ao total de alvos, por meio do índice de distância Bray-Curtis [26]. Aqui todas as UPs que pertenciam a uma mesma UC foram agrupadas e consideradas como únicas. A partir da matriz de similaridade construída com este índice, foi elaborado um agrupamento hierárquico aglomerativo, no qual se utilizou como método de ligação a média aritmética da similaridade entre as unidades de planejamento (UPGMA – *unweighted pair group method with arithmetic mean*), que pode ser representada por um dendrograma [26]. Em seguida, as UPs que compartilham mais de 50% ou mais de 75% de similaridade na composição dos alvos de conservação foram espacialmente dissolvidas, formando, respectivamente, os grupos (50%) e agrupamentos (75%) para compensação ambiental. As análises necessárias para construção dos agrupamentos hierárquicos foram realizadas por meio do pacote *vegan*, implementado no programa estatístico R [27].

As análises de similaridade utilizadas para construção dos mapas de compensação utilizam o índice de Bray-Curtis. Essa métrica é amplamente utilizada na ecologia para quantificar a similaridade

entre dois locais (amostras) em termos de composição de espécies [28]. Esse índice é particularmente útil por ter bom desempenho com dados de contagem (como abundância de espécies ou valores de adequabilidade ambiental), assim ele consegue analisar os dados extraídos dos mapas de especialista (binários) e dos modelos de distribuição ambiental (contínuos) conjuntamente. [29]. Isso é importante para avaliar a similaridade de *habitat* que possuem as mesmas espécies, mas com diferentes adequabilidades ambientais, permitindo ser usado em estudos com diferentes tipos de dados ecológicos, como no caso dos PRIMs.

Resultados e Discussão

Ao avaliar toda a área de estudo do PRIM Mineração, 690 espécies da fauna e 1.205 espécies da flora foram considerados sensíveis aos impactos crônicos da mineração. Predominam aquelas de distribuição restrita e baixa capacidade de dispersão, troglóbias ou que exibem áreas preferenciais de forrageamento e reprodução e que, portanto, podem ser localmente suprimidas diante dos impactos cumulativos da atividade de mineração. Na Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6) foram registradas 98 espécies da fauna consideradas sensíveis com distribuição sobreposta à bacia e 86 espécies da flora. Particularmente para o mosaico de áreas protegidas de Carajás foram identificadas 27 espécies da fauna e 38 espécies da flora (Tabela 2).

Tabela 2 – Lista de alvos de conservação considerados sensíveis no âmbito do PRIM Mineração e que possuem distribuição potencial sobreposta às UCs do mosaico de áreas protegidas de Carajás.

Filo	Classe	Alvos de conservação	FLONA Tapirapé-Aquiri	REBIO Tapirapé	FLONA de Itacaitunas	FLONA Carajás	PARNA Campos Ferruginosos	APA do Igarapé Gelado
Fauna	Arthropoda	Arachnida	<i>Carajas paraua</i> Brescovit & Sánchez-Ruiz, 2016*			X	X	X
			<i>Charinus ferreus</i> Giupponi & Miranda, 2016			X	X	
			<i>Drymusa spelunca</i> Rheims & Brescovit, 2006			X	X	
			<i>Harmonicon cerberus</i> Pedroso & Baptista, 2014			X		
			<i>Leptokoenenia thalassophobica</i> Souza & Ferreira, 2013			X	X	
		Diplopoda	<i>Pseudonannolene spelaea</i> Iniesta & Ferreira, 2013			X		
		Insecta	<i>Coarazuphium amazonicus</i> Pellegrini & Ferreira, 2017			X		X
			<i>Copelatus cessaima</i> Caetano, Bená & Vanin, 2013			X	X	X
		Malacostraca	<i>Circoniscus buckupi</i> Campos-Filho & Araujo, 2011			X	X	
			<i>Circoniscus carajasensis</i> Campos-Filho & Araujo, 2011			X	X	X
	Chordata	Actinopterygii	<i>Mylesinus paucisquamatus</i> Jégu & Santos, 1988*	X	X	X	X	X
			<i>Roestes itupiranga</i> Menezes & Lucena, 1998	X	X			
			<i>Scobinancistrus pariolispos</i> Isbrücker & Nijssen, 1989*		X			
		Aves	<i>Calidris pusilla</i> (Linnaeus, 1766)*	X	X	X	X	X
			<i>Herpsilochmus pectoralis</i> Sclater, 1857*	X	X	X	X	X
			<i>Limnodromus griseus</i> Gmelin, 1789*	X	X	X	X	X
			<i>Morphnus guianensis</i> (Daudin, 1800)*	X	X	X	X	X
			<i>Oxyruncus cristatus tocantinsi</i> Chapman, 1939	X	X	X	X	X
			<i>Pdrocnias albus wallacei</i> Oren & Novaes, 1985*+	X	X	X	X	X
			<i>Sporophila maximiliani</i> (Cabanis, 1851)*	X	X	X	X	X
			<i>Tigrisoma fasciatum</i> (Such, 1825)*	X	X	X	X	X
		Mammalia	<i>Chiropotes utahickae</i> Hershkovitz, 1985*	X	X	X	X	X
			<i>Furipterus horrens</i> (Cuvier, 1828)*	X	X	X	X	X
			<i>Inia araguaiaensis</i> Hrbek, Farias, Dutra & Da Silva, 2014*	X	X	X	X	X
			<i>Lonchorhina aurita</i> Tomes, 1863*	X		X	X	X
			<i>Natalus macrourus</i> (Gervais, 1856)*	X		X	X	X
			<i>Ptenotura brasiliensis</i> Menezes & Lucena, 1998*	X	X			X
	Liliopsida		<i>Axonopus carajasensis</i> Bastos 1991	X	X	X		X
			<i>Bulbostylis cangae</i> Nunes & Gil, 2017			X	X	X
			<i>Eleocharis pedroviana</i> Nunes, Trevis & Gil, 2016			X	X	X
			<i>Eriocaulon carajense</i> Moldenke, 1973			X	X	X
			<i>Paspalum cangarum</i> Moura, Viana & Oliveira, 2018			X	X	
			<i>Paspalum carajasense</i> Denham, 2005			X	X	X
			<i>Philodendron carajasense</i> Gonçalves & Arruda, 2014			X	X	X
			<i>Sporobolus multiramosus</i> Longhi-Wagner & Boechat, 1993			X	X	X
			<i>Syngonanthus discretifolius</i> (Moldenke) Watan, 2015			X	X	X
			<i>Uleiorchis longipedicellata</i> Cardoso & Ilk.-Borg, 2015			X		X
			<i>Xyris brachysepala</i> Kral, 1988			X	X	X

Flora	Tracheophyta	Lycopodiopsida	<i>Isoetes cangae</i> Pereira, Salino & Stützel, 2016				X	X	
			<i>Isoetes serracarajensis</i> Pereira, Salino & Stützel, 2016				X	X	X
		Magnoliopsida	<i>Borreria elaiosulcata</i> Cabral & Miguel 2012				X	X	
			<i>Borreria heteranthera</i> Sobrado & Cabral, 2015				X	X	X
			<i>Buchnera carajasensis</i> Scatigna & Mota, 2017				X	X	
			<i>Carajasia cangae</i> Salas, Cabral & Dessein, 2015				X	X	
			<i>Cavalcantia glomerata</i> (Barroso & King) King & Rob, 1980				X	X	
			<i>Cissus apendiculata</i> Lombardi, 1996	X	X	X	X	X	X
			<i>Cuphea carajasensis</i> Lourteig, 1987				X		
			<i>Daphnopsis filipedunculata</i> Nevling & Barringer, 1993				X	X	X
			<i>Erythroxylum carajasense</i> (Plowman) Costa-Lima, 2018				X	X	X
			<i>Erythroxylum nelson rosae</i> Plowman, 1984	X	X	X	X	X	X
			<i>Ipomoea carajasensis</i> Austin, 1981	X	X	X	X		X
			<i>Ipomoea cavalcantei</i> Austin, 1981				X	X	X
			<i>Jacaranda carajasensis</i> Gentry, 1992	X	X	X	X	X	X
			<i>Matelea microphylla</i> Morillo, 1988				X		X
			<i>Mimosa skinneri</i> var <i>carajarum</i> Barneby, 1991	X	X		X	X	X
			<i>Monogereion carajensis</i> Barroso & King, 1971	X	X	X	X	X	X
			<i>Parapiqueria cavalcantei</i> King & Rob, 1980				X	X	
			<i>Peperomia albopilosa</i> Monteiro, 2018				X	X	X
			<i>Peperomia pseudoserratirhachis</i> Monteiro, 2018				X	X	
			<i>Perama carajensis</i> Kirkbr, 1980				X	X	X
			<i>Picramnia ferrea</i> Pirani & Thomas, 1988	X			X	X	X
			<i>Pleroma carajensis</i> Rocha, Goldenb & Mey, 2017				X	X	X
			<i>Pradosia granulosa</i> Pires & Penn, 1990	X	X				
			<i>Sinningia minima</i> Araujo & Chautems, 2015				X	X	X
			<i>Utricularia physoceras</i> Taylor, 1986				X	X	X
		Ambientes singulares	Áreas úmidas	X			X	X	X
			bat caves					X	
			Cavernas com dimensões notáveis				X	X	
			Fitofisionomias únicas				X	X	
			Heterogeneidade de fitofisionomias	X	X	X	X	X	X
			hot caves					X	
			Rochas ferruginosas	X		X	X	X	X
			Rochas ferruginosas/siliciclásticas	X		X	X	X	

*Alvos de conservação da fauna que foram representados espacialmente por modelos de distribuição potencial e que não necessariamente possuem registros de ocorrências no mosaico de áreas protegidas de Carajás e homologadas no Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE.

+ O táxon atualmente é avaliado à nível de espécie, no entanto, à época da construção dos modelos de distribuição potencial, era avaliado como subespécie.

Como o conhecimento da ocorrência das espécies tende a ser incompleto e restrito a algumas coordenadas pontuais, a modelagem de distribuição potencial se torna uma robusta ferramenta para estimar ambientes com características ambientais

mais adequadas para a manutenção das espécies. Tal abordagem é importante na gestão de espécies ameaçadas, pois ajuda a estimar a real distribuição delas, a identificar *habitat* potenciais para recuperação e áreas onde programas de reintrodução podem ser

bem-sucedidos. Dezesseis das 27 espécies da fauna consideradas sensíveis aos impactos da mineração, no âmbito do PRIM Mineração e presentes no mosaico de áreas protegidas de Carajás (Tabela 2), foram representadas espacialmente através de modelos de distribuição potencial. Dessas espécies, algumas podem não ter registros de ocorrência dentro das UCs, mas apresentam grande potencial de ocorrerem na região. Para controlar eventuais erros de comissão, os PRIMs adotam abordagens restritivas de distribuição potencial (Tabela 1), com controles de restrição dos modelos e validações das representações espaciais por especialistas nos grupos taxonômicos. E, assim, garante uma maior qualidade dos dados para a gestão ambiental estratégica da região.

Embora haja para o PRIM Mineração uma alta prevalência por espécies e ambientes singulares com distribuição restrita, o que resulta em uma similaridade baixa entre as UPs, especificamente para a Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6), foram encontrados padrões espaciais bem delimitados na formação dos conjuntos (Figura 3). A análise de similaridade na composição de alvos de conservação sensíveis aos empreendimentos minerários agrupou 5.078 unidades de planejamento em cinco grupos para a compensação ambiental, com ao menos 50% de similaridade e 49 agrupamentos em que no mínimo 75% da similaridade é atingida (Figura 4). O dendrograma de similaridade mostrou-se bastante robusto, com correlação cofenética igual a 0,9297.

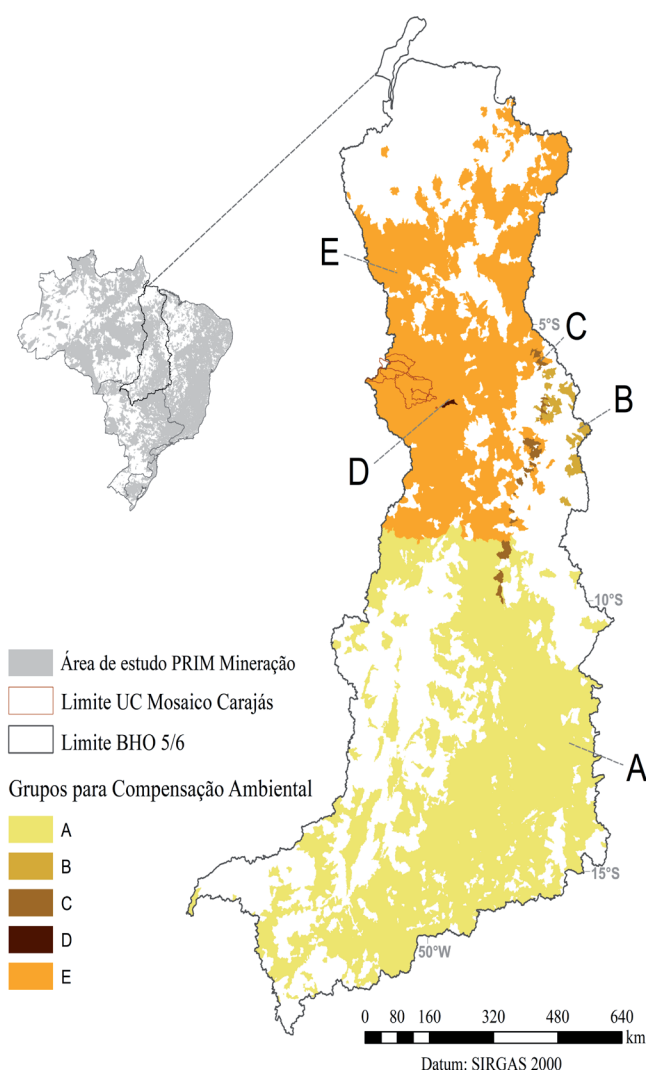


Figura 3 – Mapa de grupos para compensação ambiental da Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6), resultante do PRIM Mineração, onde localiza-se o mosaico de UCs de áreas protegidas da região de Carajás. As diferentes cores e letras indicam os cinco grupos de compensação identificados.

O Grupo “A” é o maior deles, localizado na região centro sul da bacia, reúne 60% das UPs da BHO 5/6, ou seja, todas as UPs presentes dentro deste grupo compartilham no mínimo 50% na composição dos alvos de conservação, seguido pelo Grupo “E” com 36% das UPs da bacia. Esses dois grandes grupos refletem, provavelmente, uma distinção na composição da biodiversidade associada aos biomas Amazônia e Cerrado. Ainda, as UCs

presentes dentro desses grupos possuem um maior potencial de receber os esforços de compensação por ter maior similaridade com a maioria das áreas de interesse de minério na BHO 5/6. Outros três grupos (B, C e D) detêm juntos os 4% restantes das UPs. Embora esses grupos compartilhem muitos dos alvos de conservação, quantitativamente a adequabilidade ambiental é baixa e por isso formam grupos únicos.

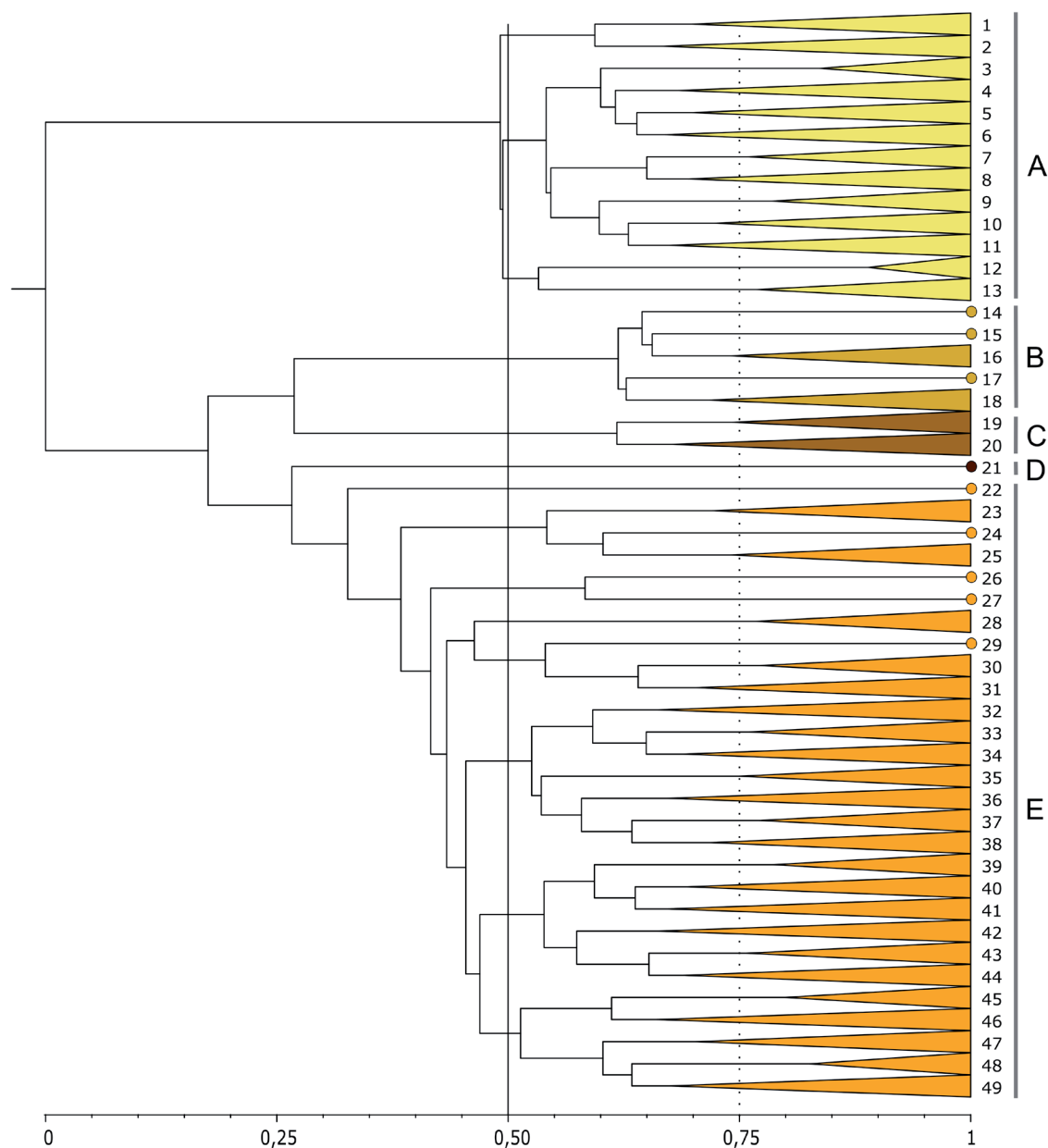


Figura 4 – Dendrograma de similaridade entre os cinco grupos (representados por letras) e os 49 agrupamentos (representados por números) para a Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6).

Todas as UCs do mosaico de áreas protegidas de Carajás pertencem ao Grupo E, no entanto, elas se diferem quanto ao Agrupamento do qual fazem parte (Figura 5). A FLONA de Carajás e o PARNA Campos

Ferruginosos compõem o Agrupamento 28, já a REBIO Tapirapé, FLONA Tapirapé-Aquiri, FLONA Itacaiunas, APA do Igarapé Gelado e o entorno do Mosaico, formam o Agrupamento 31.

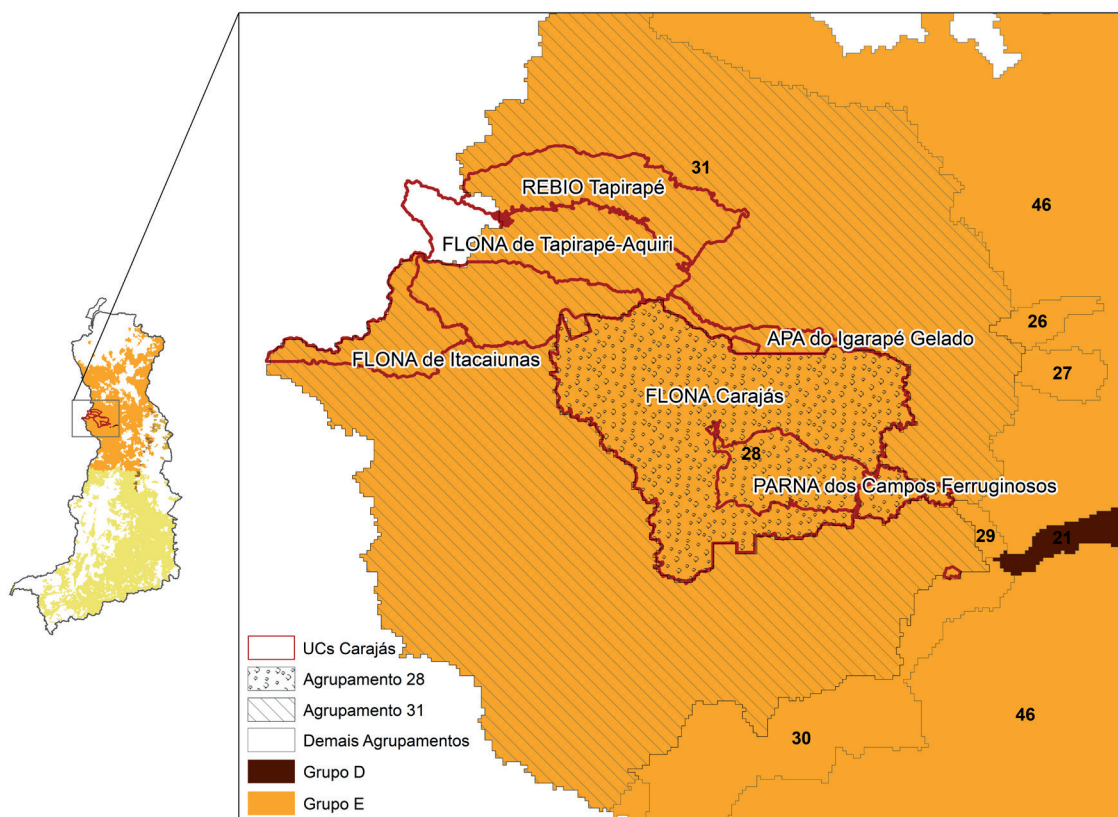


Figura 5 – Grupos e agrupamentos da Bacia do Tocantins-Araguaia e Interbacia Tocantins-Amazonas (BHO 5/6), PRIM Mineração, com detalhe para a região do mosaico de áreas protegidas de Carajás.

Ao analisar o dendrograma (Figura 4) e o mapa de grupos para compensação (Figura 5) é possível verificar que as UPs à sudeste do mosaico (Agrupamentos 29 e 30), apesar de serem mais distantes, possuem maior similaridade na composição de alvos de conservação com as UCs REBIO Tapirapé, FLONA Tapirapé-Aquiri, FLONA Itacaiunas e APA do Igarapé Gelado. E aponta a singularidade do Agrupamento 28, composto pela FLONA de Carajás e PARNA Campos Ferruginosos.

A singularidade desse agrupamento deve-se, em grande parte, à presença das cangas e às espécies endêmicas a elas associadas. Mesmo na escala de paisagem abrangida pelo PRIM Mineração, foi possível observar que a FLONA de Carajás e o PARNA dos Campos Ferruginosos apresentam uma diversidade única. Portanto, qualquer atividade realizada dentro da FLONA deve considerar, de forma mais detalhada, os componentes da biodiversidade que possam ser afetados.

No PRIM Mineração as cangas foram consideradas como uma única camada de ambiente singular [18], não considerando a heterogeneidade de geossistemas associadas a esse ambiente [30] [31][32]. Uma abordagem que utiliza o conceito de geossistema para analisar a paisagem é a mais adequada para lidar com a ampla variedade de ambientes que compõem os domínios dos substratos ferruginosos, ocupados por diferentes tipos de vegetação. Os fatores relacionados ao solo são fundamentais na estruturação das paisagens dos altos relevos das formações ferríferas de Carajás. A identificação dos geoambientes permite examinar a influência do substrato, incluindo a dinâmica hidrológica que afeta a distribuição das diferentes fisionomias de vegetação [32].

Os renomados campos ferruginosos de Carajás são considerados um dos tipos mais raros de campos rupestres na Amazônia, caracterizados por um elevado grau de endemismo e pela presença

das maiores jazidas de minério de ferro [33]. Para conciliar a exploração mineral com a conservação da biodiversidade, especialmente nos ecossistemas associados às cangas, é necessário um planejamento que, de um lado, proteja os campos ferruginosos da mineração e, de outro, permita a atividade minerária com o mínimo possível de perda de biodiversidade, considerando também os custos logísticos. Esse planejamento deve estar fundamentado no melhor conhecimento científico disponível e requer uma intensa negociação entre setores com objetivos divergentes. Essas discussões têm sido feitas na elaboração e revisão do Plano de Manejo da FLONA de Carajás, e é uma importante ferramenta para manutenção dos ambientes singulares, fauna e flora associadas às cangas [34].

Para que as medidas compensatórias sejam eficazes na conservação da biodiversidade, é crucial o uso de critérios rigorosos que orientem a escolha e a implementação dessas medidas. Os métodos de análise de similaridade de espécies são ferramentas fundamentais em ecologia e conservação, pois permitem comparar a composição de espécies entre diferentes áreas. Esses métodos ajudam a avaliar a proximidade ecológica entre comunidades biológicas, assegurando que as áreas selecionadas para compensação sejam ecologicamente equivalentes às áreas afetadas. Isso implica que a compensação deve ocorrer em locais com características semelhantes em termos de composição de espécies, estrutura de *habitat*, funções ecológicas e resiliência. Sem essa equivalência, corre-se o risco de que a compensação não substitua de forma adequada a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos perdidos.

Conclusões

O PRIM Mineração destaca 690 espécies da fauna e 1.205 espécies da flora sensíveis aos impactos crônicos da mineração para todo o país. A análise de similaridade entre as UPs revelou padrões espaciais bem definidos, agrupando unidades de planejamento com até 50% de similaridade em grupos e UPs com alta similaridade (no mínimo 75%) em agrupamentos, sendo uma importante ferramenta para auxiliar no processo de compensação ambiental. A FLONA de Carajás e o PARNA Campos Ferruginosos formou um agrupamento único, enquanto outras UCs do Mosaico de Carajás integraram outro agrupamento.

A singularidade da biodiversidade presente no mosaico de Carajás requer que a tomada de

decisão para compensação ambiental considere informações obtidas em escala local, para garantir de que não haja perda líquida da biodiversidade e de *habitat* específicos únicos. Os resultados dos PRIM Mineração, como uma ferramenta complementar às regras normativas vigentes, limitam-se à escala regional, com apontamentos de informações que devem ser minimamente consideradas a respeito da biodiversidade sensível, direcionando as medidas compensatórias. Ressalta-se, todavia, que o estabelecimento das ações e programas devem ser alicerçados em dados ainda mais finos, para serem capazes de resguardar as peculiaridades ambientais típicas da região.

Referências

1. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE 2024. <https://salve.icmbio.gov.br/> (accessed September 4, 2024).
2. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Espeleologia e Licenciamento Ambiental 2019:1–262. https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/publicacoes/espeleologia_e_licenciamento_ambiental.pdf (accessed March 19, 2024).
3. Jacobi CM, do Carmo FF, de Campos IC. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *Ambio* 2011;40:540–3. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0151-7>.
4. Instituto Brasileiro de Mineração. Gestão para a sustentabilidade na mineração. 2013. <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/00004089.pdf> (accessed August 13, 2018).
5. Ministério de Minas Energia. Plano Nacional de Mineração 2050 - Sustentabilidade e Competitividade. n.d. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050> (accessed April 4, 2023).
6. Instituto Brasileiro de Mineração. Relatório anual de atividades - Junho/2016 a Junho/2017 2017. <https://ibram.org.br/relatorios-de-atividades/> (accessed November 19, 2017).
7. Lindenmayer ZG, Laux JH, Teixeira JBG. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da formação Carajás, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências* 2001;31:21–8. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20013112128>.
8. Martins FD, Carvalho AS, Ribeiro KT. Inserção territorial e histórica da Floresta Nacional de Carajás e sua relação com a mineração. In: Martins FD, Kamino

- LHY, Ribeiro KT, editors. Projeto Cenários: Conservação de campos ferruginosos diante da mineração em Carajás, Tubarão/SC: Copiart; 2018, p. 21–38.
9. Jacobi CM, Carmo FF, Vincent RC, Stehmann JR. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers Conserv* 2007;16:2185–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10531-007-9156-8>.
10. Mota N, Silva L, Martins FD, Viana P. Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. . In: Carmo FF, Kamino LHY, editors. Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais., Belo Horizonte: 3i Editora; 2015, p. 289–315.
11. Pouresmaeli M, Ataei M, Nouri Qarahasanlou A, Barabadi A. Integration of renewable energy and sustainable development with strategic planning in the mining industry. *Results in Engineering* 2023;20:101412. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101412>.
12. Presidência da República (Brasil). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988: Art. 225 § 1, Inc. VII. Brasília: Senado Federal: 1988.
13. Quintero JD, Mathur A. Biodiversity offsets and infrastructure. *Conservation Biology* 2011;25:1121–3. <https://doi.org/DOI:10.1111/j.1523-1739.2011.01769.x>.
14. McKenney BA, Kiesecker JM. Policy development for biodiversity offsets: a review of offset frameworks. *Environ Manage* 2010;45:165–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00267-009-9396-3>.
15. BBOP. The relationship between biodiversity offsets and impact assessment: A BBOP resource paper. Washington, D.C.: 2009.
16. Presidência da República (Brasil). Lei 9.985 de 18 de julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. 2000.
17. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Redução de Impactos sobre a Biodiversidade - PRIM 2023:1–45. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/plano-de-reducao-de-impactos-sobre-a-biodiversidade/saiba-mais> (accessed February 6, 2024).
18. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Redução de Impactos da Mineração sobre a Biodiversidade e o Patrimônio Espeleológico n.d. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/plano-de-reducao-de-impactos-sobre-a-biodiversidade/prim-mineracao> (accessed September 9, 2024).
19. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. 2018.
20. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE 2011.
21. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Base Hidrográfica Ottocodificada 2017. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989> (accessed October 27, 2018).
22. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Mapa Temático e Dados Geoestatísticos das Unidades de Conservação Federais: Limites das Unidades de Conservação Federais 2019. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/aceso-a-informacao/paginas-em-migracao/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais-1> (accessed November 9, 2018).
23. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. I3geo: Download de dados geográficos - Áreas Especiais: Unidades de Conservação Estaduais e Municipais 2019. <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm> (accessed October 27, 2019).
24. Pimenta M, Andrade A, Fernandes FHS, Amboni MP de M, Almeida RS, Soares AHS de B, et al. One size does not fit all: Priority areas for real world problems. *Ecol Modell* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110013>.
25. Andrade AFA de, Velazco SJE, De Marco Júnior P. ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. *Environmental Modelling & Software* 2020;125:104615. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104615>.
26. Oksanen J. Cluster Analysis: Tutorial with R 2012.
27. Dixon P. VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science* 2003;14:927–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>.
28. Clarke KR. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 1993;117–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>.
29. Runge CA, Tulloch AIT, Possingham HP, Tulloch VJD, Fuller RA. Incorporating dynamic distributions into spatial prioritization. *Divers Distrib* 2016;22:332–43. <https://doi.org/10.1111/ddi.12395>.
30. Campos JCF, Castilho AF. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. In: Martins FD, Castilho AF, Campos J, Hatano FM, Rolim SG, editors. Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres, Belo Horizonte: AMPLO; 2012, p. 20–63.
31. Schaefer CEGR, Lima Neto E, Corrêa GR, Simas FNB, Campos JF, Mendonça BAF, et al. Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás (PA).

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos LTDA/
VALE S.A. Projeto Área Mínima de Canga 2008 - Estudo
de similaridade das paisagens de savana metalófila –
1ª Aproximação. Relatório Técnico., Belo Horizonte:
GOLDER; 2008, p. 85–102.

32. Campos JCF, Santos FMG dos, Carmo LG do,
Filho JA da S, Schaefer CE, Fernandes TN, et al.
Geossistemas dos Campos Ferruginosos de Carajás. In:
Martins FD, Kamino LHY, Ribeiro KT, editors. Projeto
Cenários: Conservação de campos ferruginosos diante da
mineração em Carajás, Tubarão/SC: Copiart; 2018.

33. Viana PL, Mota NF de O, Gil A dos SB, Salino A,
Zappi DC, Harley RM, et al. Flora das cangas da Serra
dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e
metodologia. *Rodriguésia* 2016;67:1107–24. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201667501>.

34. Kamino L, Martins F, Ribeiro K. Projeto Cenários:
conservação de campos ferruginosos diante da mineração
em Carajás 2018. [https://www.gov.br/icmbio/pt-br/
acesso-a-informacao/acoes-e-programas/pesquisa-
avaliacao-e-monitoramento-da-biodiversidade-1/
projeto-cenarios-estrategia-de-conservacao-da-savana-
metalofila-da-floresta-nacional-de-carajas/Miolo_Cenrios_
Divulg_2_V3.pdf](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/pesquisa-avaliacao-e-monitoramento-da-biodiversidade-1/projeto-cenarios-estrategia-de-conservacao-da-savana-metalofila-da-floresta-nacional-de-carajas/Miolo_Cenrios_Divulg_2_V3.pdf) (accessed January 27, 2024).

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Fluxo Contínuo e Edição Temática:

Gestão do Conhecimento e Sociobiodiversidade das Áreas Protegidas de Carajás
n.1, 2025

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886