

PRIM-HA

PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE NA AMAZÔNIA





PRIM-HA

PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE NA AMAZÔNIA

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
DIRETORIA DE PESQUISA, AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO
COORDENAÇÃO DE AÇÕES INTEGRADAS PARA CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES
EQSW 103/104 – Complexo Administrativo Sudoeste – Bloco D – 1º Andar
CEP: 70670-350 – Brasília/DF – Fone +55 (61) 2028-9394
e-mail coesp@icmbio.gov.br - www.gov.br/icmbio/pt-br

©ICMBio 2022. O material contido nesta publicação não pode ser reproduzido, vendido, guardado pelo sistema “retrieval” ou transmitido de qualquer modo por qualquer outro meio, seja eletrônico, mecânico, de fotocópias, de gravação ou outros, sem mencionar a fonte
© dos autores 2022. Os direitos autorais das fotografias contidas nesta publicação são de propriedade de seus fotógrafos

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Coordenação de Ações Integradas para Conservação de Espécies

**PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS
SOBRE A BIODIVERSIDADE NA AMAZÔNIA – PRIM-HA**

Brasília-DF, agosto de 2022.



©João Marcos Rosa / Floresta Nacional de Carajás

PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Joaquim Pereira Leite

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Marcos de Castro Simanovic

DIRETOR DE PESQUISA, AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE/DIBIO

Marcos Aurélio Venâncio

COORDENAÇÃO GERAL DE ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO/CGCON

Luciana Della Coletta

COORDENAÇÃO DE AÇÕES INTEGRADAS PARA CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES/COESP

Daniel Santana Lorenzo Raíces

REVISÃO TÉCNICA

Mayra Pimenta, Thomas Alexander Seabra Sales Christensen

AUTORES

Mayra Pimenta, Fernando Hiago Souza Fernandes, Renata Silva Almeida, Thomas Alexander Seabra Sales Christensen, Guth Berger Falcon Rodrigues, Mayra Pereira de Melo Amboni, Tiago Castro Silva, Daniel Santana Lorenzo Raíces

EQUIPE DE APOIO TÉCNICO

Ana Hermínia Simões de Bello Soares, Omolabake Alhambra Silva Arinomoro, TAMILIS Rocha Silva, Lara Gomes Cortês, Raissa de Araújo Nogueira, Renan Smith Penido Louzada, Mariana Gutiérrez de Menezes.

APOIO

A diagramação do Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia foi financiada com recursos do Global Environment Facility (GEF) por meio do Projeto 029840 – Estratégia Nacional para a Conservação de Espécies Ameaçadas – Pró-Espécies: Todos contra a extinção.

O projeto Pró-Espécies é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e implementado pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio), sendo o WWF-Brasil a agência executora.

DESIGN GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Eduardo Giovani Guimarães

FIGURAS

Fernando Hiago Souza Fernandes, Thomas Alexander Seabra Sales Christensen, Renata Silva Almeida, Mayra Pimenta

FOTOS CAPA

Da parte superior esquerda para direita:

Daniel Paes Resende, Thiago Orsi Laranjeiras, Leandro Sousa, Pixabay, Diogo Lagroteria, Reinaldo Oliveira, José Geraldo Brannd, Sávio Freire Bruno, Fernando Francisco Xavier, Acervo do IBAMA, João Marcos Rosa, Acervo do IBAMA, Daniel Raíces, Werther Pereira Ramalho, Acervo do IBAMA, Daniel Raíces.

Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA 1. Ed

1. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBio, 2022. Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA. Autores: Pimenta, M.; Fernandes, F. H. S.; Almeida, R. S., Christensen, T. A. S. S.; Falcon, G. B., Amboni, M. P.M.; Silva, T. C.; Raíces, D. S.L; ICMBio/MMA, V. 1, 96 p.

Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2022
p.:il., gráfs., tabs.
ISBN: 978-65-5693-057-2

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Complexo Administrativo Sudoeste - EQSW 103/104 - Bloco D – 1º Andar - CEP: 70670-350 - Brasília/DF
Fone +55 (61) 2028-9089 e-mail coesp@icmbio.gov.br - www.gov.br/icmbio/pt-br

AGRADECIMENTOS

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e os organizadores agradecem a todos aqueles que contribuíram com informações sobre ocorrência de espécies, avaliação de sensibilidade de espécies, validação de modelos de distribuição potencial, bancos de dados ambientais, sugestões e outras formas de apoio que possibilitaram a elaboração deste documento.

Adriana Vieira De Miranda (CMA/ICMBio)

Adriana Aparecida Moreira (UFRGS)

Alberto Akama (MPEG)

Alexandre Bernardes Garcia (IBAMA)

André Felipe Alves de Andrade (UFG)

Bruno Coutinho (CI)

Camila Kurzmann Fagundes (WCS)

Eduardo Marques Santos Junior (CPB/ICMBio)

Eduardo Martins Venticinque (UFRN)

Fábia Luna (CMA/ICMBio)

Guillermo Moisés Bendejú Estupiñán (WCS)

Günther Grill (McGill University)

Henrique Santos Gonçalves (CENAP/ICMBio)

Izabel Boock De Garcia (CEPTA/ICMBio)

Janzen Alfredo Sampaio Zuanon (INPA)

Lara Gomes Cortês (RAN/ICMBio)

Luciana Carvalho Crema (CEPTA/ICMBio)

Luciana Gosi Paca (CPB/ICMBio)

Manuel da Silva Lima (CEPAM/ICMBio)

Mariella Butti de Freitas Guilherme (CENAP/ICMBio)

Marcos De Souza Fialho (CEMAVE/ICMBio)

Marcelo Marcelino de Oliveira (CBC/ICMBio)

Marcelo Bassols Raseira (CEPAM/ICMBio)

Márcio Verdi (CNCFlora/JBRJ)

Nathália Machado (CNCFlora/JBRJ)

Paulo De Marco Júnior (UFG)

Priscila Prudente de Amaral (CEMAVE/ICMBio)

Rafael Antônio Machado Balestra (RAN/ICMBio)

Rafael Valadão (RAN/ICMBio)

Rosana Junqueira Subirá (IUCN SSC/CSE Brasil)

Verônica Souza Da Mota Gomes (EPE)





©Acervo Parna Jaú / Parque Nacional do Jaú

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À Urbano Lopes Da Silva Júnior (*in memoriam*)

Pelo apoio no levantamento das espécies migratórias e por compartilhar seu profundo conhecimento sobre as áreas alagáveis da Amazônia, contribuições relevantes para a construção deste PRIM.

OFICINA PREPARATÓRIA DO PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE NA AMAZÔNIA (PRIM-HA)

PARTICIPANTES:

Ângelo Antônio Agostinho (UEM)
Antônio Fernando Bruni Lucas (CEPTA/ICMBio)
Bruce Ride Forsberg (INPA)
Daniel Santana Lorenzo Raíces (COESP/ICMBio)
Edenise Garcia (TNC)
Eduardo Martins Venticinque (UFRN)
Fatima Pires De Almeida Oliveira (CGCON/ICMBio)
Gildo Coelho Bastos (IBAMA)
Guillermo Moisés Bendezú Estupiñán (WCS)
Guth Berger Falcon Rodrigues (COESP/ICMBio)
Henrique Santos Gonçalves (CENAP/ICMBio)
Lara Gomes Côrtes (RAN/ICMBio)
Mayra Pimenta (COESP/ICMBio)
Janzen Alfredo Sampaio Zuanon (INPA)
Juliana Araújo Masirone (IBAMA)
Marcelo Bassols Raseira (CEPAM/ICMBio)
Marcelo Guena De Oliveira (CEPTA/ICMBio)
Marcos De Souza Fialho (CEMAVE/ICMBio)
Omolabake Alhambra Silva Arinomoro (COESP/ICMBio)
Paulo De Marco Júnior (UFG)
Paula Hanna Valdujo (WWF-Brasil)

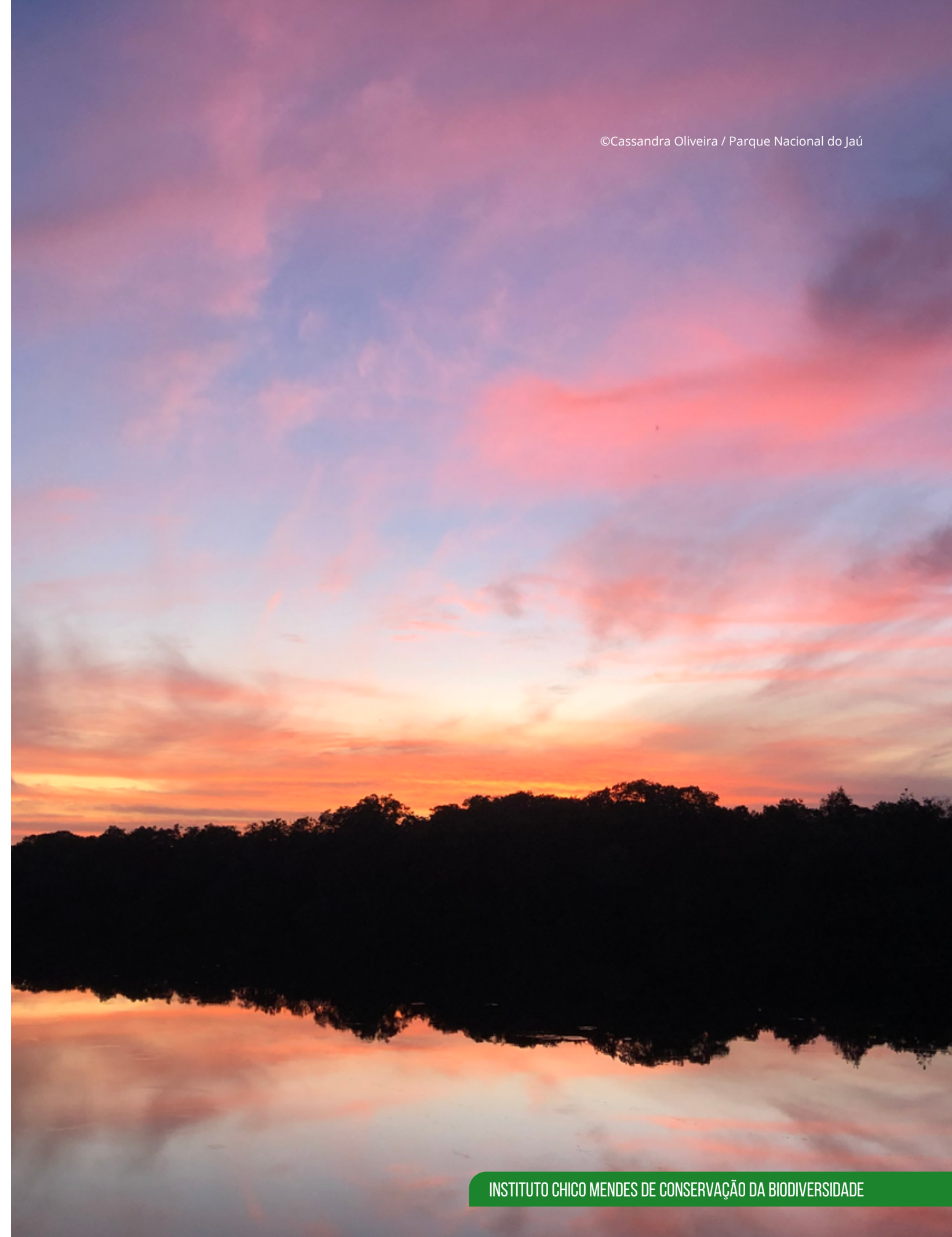
Poliana Mendes (UFG)
Sidney Tadeu Rodrigues (ADT)
Thomas Alexander Seabra Sales Christensen (COESP/ICMBio)
Tiago Castro Silva (CECAV/ICMBio)
Urbano Lopes Da Silva Júnior (CEPAM/ICMBio)

COORDENAÇÃO E PONTOS FOCAIS CENTROS NACIONAIS DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DA FAUNA-ICMBIO

Rafaela Nascimento e Marcelo Bassols Raseira (CEPAM)
Luciana Crema, Antônio Fernando Bruni Lucas e Marcelo Guena De Oliveira (CEPTA)
Priscila Prudente de Amaral e Marcos de Souza Fialho (CEMAVE)
Leandro Jerusalinsk e Luciana Gosi Paca (CPB)
Vera Lúcia Ferreira Luz e Lara Gomes Côrtes (RAN)
Fábia Luna e Adriana Vieira de Miranda (CMA)
Ronaldo Gonçalves Morato, Henrique Santos Gonçalves e Mariella Butti de Freitas Guilherme (CENAP)

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DA FLORA-JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO

Natalia Machado e Marcio Verdi (CNCFlora/JBRJ)





©Bruno Bimbato / Reserva Extrativista Rio Xingú

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE - Avaliação Ambiental Estratégica	MONA - Monumento Natural
AAI - Avaliação Ambiental Integrada	MPEG - Museu Paraense Emilio Goeldi
ADT - Amigos da Terra - Amazônia Brasileira	PARNA - Parque Nacional
AIA - Avaliação de Impactos Ambientais	PI - Proteção Integral
ANA - Agência Nacional de Águas	PRIM - Plano de Redução de Impactos sobre a Biodiversidade
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica	RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável
APA - Área de Proteção Ambiental	REBIO - Reserva Biológica
ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico	RESEX - Reserva Extrativista
CCAF - Comitê de Compensação Ambiental Federal	REVIS - Refúgio da Vida Silvestre
CI - Conservation International	SIN - Sistema Interligado Nacional
CNCFlora/JBRJ - Centro Nacional de Conservação da Flora do Instituto de Pesquisas / Jardim Botânico do Rio de Janeiro	SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação
CNPCs/ICMBio - Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação do ICMBio	TNC - The Nature Conservancy
EPE - Empresa de Pesquisa Energética	UC - Unidade de Conservação
ESEC - Estação Ecológica	UEM - Universidade Estadual de Maringá
FLONA - Floresta Nacional	UFAM - Universidade Federal do Amazonas
Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis	UFG - Universidade Federal de Goiás
ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade	UFPA - Universidade Federal do Pará
INPA - Instituto Nacional de Pesquisa Amazônica	UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
IUCN - International Union for Conservation	UP - Unidade de Planejamento
MMA - Ministério do Meio Ambiente	US - Uso Sustentável
	USGS - United States Geological Survey
	WCS - Wildlife Conservation Society
	WWF-Brasil - Fundo Mundial para a Natureza



©Cristine / Piprites Chloris

SUMÁRIO

Agradecimentos	05
Oficina Preparatória do Plano de Redução de Impacto de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia (PRIM-HA)	07
Lista de abreviaturas e siglas.....	08
Lista de figuras.....	11
Lista de tabelas	13
Apresentação.....	14

SEÇÃO I

1. Contextualização	16
1.1 O Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia	16
1.2 A diversidade dos ecossistemas na bacia Amazônica.....	17
1.3 A expansão de empreendimentos hidrelétricos e a Avaliação de Impacto Ambiental.....	18
1.4 Panorama geral do PRIM-HA	21
1.5 Processo de elaboração do PRIM-HA.....	23
1.6 Abrangência do PRIM-HA	23

SEÇÃO II

2 Impactos de empreendimentos hidrelétricos.....	26
2.1 Mapeamento dos impactos de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica.	27
2.1.1 Impactos diretos.....	28
2.1.1.1 Fragmentação longitudinal	28
2.1.1.2 Perda de hábitat.....	30
2.1.1.3 Degradação de hábitat.....	31
2.2 Mapa de exposição de impactos de hidrelétricas.....	32

SEÇÃO III

3 Áreas de sensibilidade da biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétricos.....	36
3.1 Alvos de conservação.....	36
3.1.1 Seleção dos alvos de conservação.....	36
3.1.1.1 Fauna e flora.....	37
3.1.1.2 Ambientes singulares e serviços ecossistêmicos	38

3.1.2 Grau de sensibilidade dos alvos	40
3.1.2.1 Critérios para definição dos pesos dos alvos de conservação dentro dos componentes da biodiversidade	40
3.1.3 Avaliação de comportamento migratório	41
3.1.4 Representação espacial dos alvos de conservação	42
3.2 Influência da paisagem	45
3.3 Hierarquização de áreas protegidas	46
3.4 Análise de Planejamento Sistemático da Conservação	46
3.5 Mapa de Sensibilidade da Biodiversidade	47

SEÇÃO IV

4 Compatibilidade entre conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos na região amazônica	51
4.1 Aspectos Gerais	51
4.2 Interpretação do Mapa de Compatibilidade	52
4.3 Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos	53
4.3.1 Bacia Napo	55
4.3.2 Bacia Marañón	55
4.3.3 Bacia Ucayali	56
4.3.4 Bacia Javari	56
4.3.5 Bacia Juruá	56
4.3.6 Bacia Purus	56
4.3.7 Bacia Madeira	57
4.3.8 Bacia Abacaxis	57
4.3.9 Bacia Tapajós	57
4.3.10 Bacia Xingu	58
4.3.11 Bacia Tocantins	58
4.3.12 Bacia da Costa Sul	58
4.3.13 Bacia da Costa Norte	58
4.3.14 Planície amazônica e tributários menores	59
4.3.15 Bacia Trombetas	59

4.3.16 Bacia Negro	59
4.3.17 Bacia Japurá-Caquetá	59
4.3.18 Bacia Iça Putamayo	59
4.4 Aplicações do Mapa de Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos	60
4.4.1 Análises custo-benefício entre a produção de energia hidrelétrica e a compatibilidade da atividade com a conservação da biodiversidade	61
4.5 Unidades de conservação e os empreendimentos Hidrelétricos	63

SEÇÃO V

5 Medidas Mitigadoras e Compensatórias	66
5.1 Recomendação de medidas mitigadoras e compensatórias	66
5.1.1 Mitigação dos impactos decorrentes da fragmentação longitudinal	66
5.1.2 Mitigação dos impactos decorrentes da perda de habitat	67
5.1.3 Mitigação dos impactos decorrentes da degradação de habitat	67
5.2 Análise do Agrupamento da Compensação Ambiental	69

SEÇÃO VI

Lacunas de Conhecimento	73
-------------------------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

.....	74
-------	----

APÊNDICES

Apêndice A - Fonte de dados de empreendimentos hidrelétricos	81
Apêndice B - Mapeamento de áreas alagadas e estimativas de volume de barramentos Hidrelétricos	82
Apêndice C - Dados utilizados para construção dos índices de perda, degradação e fragmentação longitudinal	84
Apêndice D - Critérios de priorização de alvos da biodiversidade sensíveis aos empreendimentos hidrelétricos e os valores de importância atribuídos	86
Apêndice E - fonte de dados e métodos de representação espacial dos alvos de conservação	87
Apêndice F - A fonte de dados e métodos de representação espacial da condição da Paisagem	93

GLOSSÁRIO

.....	96
-------	----



©Adriano Gambarini / Parque Nacional dos Campos Amazônicos (Ozotoceros bezorricus)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hierarquia de Mitigação para redução de impactos a biodiversidade.....	16
Figura 2. A região amazônica e as suas principais unidades morfoestruturais	17
Figura 3. Estágios, atores e potencial de utilização do PRIM-HA.....	21
Figura 4. Modelo esquemático do processo de elaboração do PRIM-HA	22
Figura 5. Oficina Preparatória do PRIM-HA, realizada no ICMBio em Brasília-DF (abril de 2017).....	23
Figura 6. Abrangência e unidades de planejamento do PRIM-HA.....	23
Figura 7. Bacias hidrográficas da região amazônica	24
Figura 8. Distribuição espacial dos empreendimentos hidrelétricos existentes e respectivas áreas alagadas obtidas ou mapeadas por meio da obtenção de imagens de satélites	27
Figura 9. Exemplos de segmentos de rios que conectam: (I) as nascentes até o barramento; (II) um barramento até outro barramento; (III) um barramento até a foz; ou (IV) as nascentes até a foz, conhecido como trechos de rio livre de barramentos.....	28
Figura 10. Representação espacial da fragmentação da conectividade hídrica da paisagem na região amazônica decorrente dos empreendimentos hidrelétricos existentes.	29
Figura 11. Representação espacial da perda de habitat acumulada dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.....	30
Figura 12. Representação espacial da degradação de habitat dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.	31
Figura 13. Modelo esquemático do processo de elaboração do mapa de exposição aos impactos no PRIM-HA.....	32
Figura 14. Representação espacial da exposição dos impactos dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.....	34
Figura 15. Componentes da biodiversidade	36
Figura 16. Fluxograma do processo de seleção de alvos de conservação da fauna e flora sensíveis à ameaça, apresentados na sequência de ocorrência: A) Determinação do vetor de ameaça à biodiversidade; B) Identificação dos impactos da ameaça; C) Levantamento dos ambientes D) Estimativa de sensibilidade para cada alvo.....	37

Figura 17. Alvos de conservação do PRIM-HA por categoria de risco de extinção.....	38	Figura 30. Proporção da área total em cada nível de compatibilidade para as diferentes bacias hidrográficas da região amazônica	55
Figura 18. Alvos de conservação dos componentes ambientes singulares e serviços ecossistêmicos e respectivos números de camadas espaciais	39	Figura 31. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: [1]. Napo, [2]. Marañón, [3]. Ucayali, [4]. Javari, [5]. Juruá, [6]. Purus	56
Figura 19. Exemplos de representação espacial dos alvos de fauna e flora: A) Modelos de distribuição potencial B) Polígonos de especialista (BL) C) Polígono de especialista (Buffer de precisão).....	44	Figura 32. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: 7. Madeira, 8. Abacaxis, 9. Tapajós, 10. Xingu, 11. Tocantins, 12. Bacia da Costa Sul.....	57
Figura 20. Informações espaciais utilizadas na construção da camada de condição da paisagem	45	Figura 33. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: 13. Bacia da Costa Norte, 14. Planície Amazônica e tributários menores: 14.1 Nany, 14.2 Jutai, 14.3 Tefe, 14.4 Madeirinha, 14.5 Curuá-una, 14.6 Pacajá, 14.7 Guamá, 14.8 Jari, 14.9 Uatumã, 14.10 Manacapuru e 14.11 Piorini 15. Trombetas, 16. Negro, 17. Japurá - Caquetá e 18. Iça – Putumayo	59
Figura 21. Níveis de Sensibilidade das Unidades de Planejamento do PRIM-HA	46	Figura 34. Exemplo de aplicação do mapa de compatibilidade para o planejamento estratégico de novos empreendimentos hidrelétricos em relação à escolha locacional e informações dos componentes da biodiversidade da bacia.....	60
Figura 22. Mapa de Sensibilidade da biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétricos.....	48	Figura 35. Sobreposição dos empreendimentos hidrelétricos planejados ao mapa de compatibilidade do PRIM-HA.....	61
Figura 23. Proporção da distribuição dos alvos de conservação na região amazônica. Valor médio e os intervalos de confiança (95%) da representatividade da distribuição dos alvos de conservação (fauna e flora) na região amazônica. CR – Criticamente em Perigo, EN – Em Perigo, VU – Vulnerável, NT – Quase Ameaçado, LC – Menos Preocupante	49	Figura 36. Exemplo de distribuição de UHEs(A) e PCHs (B) planejadas sobrepostos às categorias de compatibilidade entre empreendimentos hidrelétricos e a conservação da biodiversidade (eixos x e y) e de acordo com a capacidade produção de energia hidrelétrica (eixo z) para o Brasil e para a Região Amazônica.....	62
Figura 24. Valor médio e os intervalos de confiança (95%) da representatividade da distribuição dos alvos de conservação do componente ambientes singulares na região amazônica.....	49	Figura 37. Proporção do número de UCs de PI e US por categoria de sensibilidade no PRIM-HA (A) e por exposição aos impactos de empreendimentos hidrelétricos (B).....	63
Figura 25. Intensidade dos serviços ecossistêmicos prestados nas diferentes categorias de sensibilidade na Região Amazônica (Média +/- Desvio Padrão)	49	Figura 38. Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos em Unidades de Conservação.....	64
Figura 26. Esquema conceitual para construção do Mapa de Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos.....	51	Figura 39. Exemplo de aplicação dos critérios de alocação de compensação ambiental usado pelo CCAF para empreendimentos pontuais no Brasil e da contribuição suplementar do Mapa de Grupos de Compensação Ambiental do PRIM-HA	70
Figura 27. Esquema conceitual para interpretação do mapa de Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos.....	52	Figura 40. Representação espacial dos Grupos e Agrupamentos de Compensação Ambiental dos impactos de empreendimentos hidrelétricos para a região Amazônica. A) Dendrograma de Compensação Ambiental; B) Mapa de Grupos de Compensação Ambiental e C) Exemplo para os Agrupamentos de Compensação Ambiental	71
Figura 28. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica.....	54		
Figura 29. Proporção da área (A) e de Unidades de Planejamento (B) em cada uma das quatro categorias de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica.	54		

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Objetivos e produtos específicos do PRIM-HA	20
Tabela 2. Comportamento e sensibilidade à quebra de conectividade hídrica por empreendimentos hidrelétricos.	41
Tabela 3. Características ecológicas utilizadas para estimativa de sensibilidade das espécies à quebra de conectividade hídrica.....	41
Tabela 4. Abordagens para representação espacial da distribuição dos alvos de conservação - Modelos de distribuição potencial.....	43
Tabela 5. Abordagens para representação espacial da distribuição dos alvos de conservação - Polígonos de especialista	43
Tabela 6. Número de empreendimentos hidrelétricos planejados sobrepostos ou na zona limítrofe de UCs para a região amazônica.....	63
Tabela 7. Síntese das medidas mitigadoras, alvos e impactos de empreendimentos hidrelétricos.....	68

APRESENTAÇÃO

Os esforços despendidos na proposição e implementação de ações efetivas de proteção da biodiversidade brasileira são crescentes e urgentes, particularmente para as espécies mais vulneráveis da fauna, e têm norteado os programas, planos e ações desenvolvidos pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio.

A legislação brasileira, desde a promulgação do seu primeiro Código Florestal, em 1934, já traz interesse em criar florestas protegidas e assim proteger espécies raras da fauna, já que estas estariam destinadas a *“asilar espécimes raros da fauna indígena”*. A Constituição Federal de 1988 estabelece em seu artigo 225 que *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”* Destaco no inciso VII do primeiro parágrafo que: *“para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público: VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.”*

Com o empenho do ICMBio e seus colaboradores foi realizada a avaliação do risco de extinção da fauna brasileira (portarias MMA nº 444 e 445/2014), em que pela primeira vez o Brasil avaliou todas as 8.922 espécies de vertebrados até então conhecidas e 3.332 espécies de invertebrados, cujos resultados estão compilados no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. O Livro Vermelho, além de trazer a categoria de risco de extinção de cada espécie, avança ao identificar por bioma, quais os principais vetores que atualmente exercem pressão sobre a fauna ameaçada. A expansão das atividades destes vetores de ameaça, como a criação de rodovias, a produção de energia e a exploração mineral, incidem negativamente sobre inúmeras espécies ameaçadas de extinção ou diretamente impactadas por determinadas tipologias de empreendimentos. Esse fato causa um desafio gigantesco para compatibilizar o desenvolvimento da atividade pretendida com a conservação da biodiversidade. A proposição de uma ferramenta capaz de subsidiar a tomada de decisão permitirá que empreendedores, licenciadores e órgãos de controle possam prever, evitar, mitigar e compensar os impactos associados às atividades, reduzindo consideravelmente o risco de extinção das espécies da fauna e flora potencialmente afetadas.

Neste intuito é que são desenvolvidos os Planos de Redução de Impacto sobre a Biodiversidade (PRIMs), uma ferramenta inovadora, construída de forma colaborativa e que une conhecimento científico refinado, informações atualizadas e robustas às bases de dados de uso de solo e das atividades econômicas mais precisas disponíveis em sua elaboração. Assim, espera-se que a integração destes dados e das diferentes visões na confecção dos PRIMs atenda às preocupações relacionadas aos riscos ambientais, reduza lacunas importantes nas estimativas de custo ambiental enfrentadas pelos setores empresariais e componha de forma conjunta e equilibrada o planejamento territorial.

O Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA, é um dos importantes exemplos desta iniciativa e foi idealizado após fortes evidências de que a produção de energia por hidrelétricas é a principal ameaça à biodiversidade amazônica. A ferramenta parte então do princípio de que é necessário entender a magnitude dos impactos diretos da atividade à biodiversidade, para buscar alternativas de compatibilização entre a conservação e desenvolvimento/expansão hidrelétrico, sabidamente previsto para a região, de modo que ao final se traduza em uma redução da pressão ambiental associada. Avança ainda ao realizar esta análise, suportada por informações ecológicas e hidrológicas para toda a bacia Amazônica, reconhecendo assim a interconexão deste rico ecossistema, a importância da manutenção da conectividade dos rios e de se desenvolver estratégias de conservação que considerem impactos cumulativos dos empreendimentos.

Nossa atenção à proteção da bacia amazônica direcionou a elaboração do PRIM-HA e focados neste propósito é que o apresentamos. Que seja uma referência aos estudos e avaliações ambientais em uma dimensão regional, que contribua para redução não só dos impactos à nossa biodiversidade, mas também do tempo e custos envolvidos para expansão dos empreendimentos hidrelétricos. Sobretudo que se configure como um passo inicial rumo à consolidação de um novo modelo de planejamento ambiental e setorial integrado e sustentável.

MARCOS AURÉLIO VENANCIO

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade/DIBIO

SEÇÃO I

INTRODUÇÃO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 O PLANO DE REDUÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE NA AMAZÔNIA

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio), no uso de suas atribuições fomenta e executa programas de pesquisa, proteção, preservação e conservação da biodiversidade e de educação ambiental¹. Compete ainda ao órgão a coordenação de estudos para identificar e definir áreas de concentração de espécies ameaçadas, promover e executar ações para a conservação da biodiversidade brasileira². Entre os instrumentos elaborados para cumprimento destas finalidades está o Plano de Redução de Impactos sobre a biodiversidade – PRIM, que aponta espaços geográficos com vistas à manutenção de populações viáveis de espécies e dos serviços ecossistêmicos, e que propõe medidas objetivas para a redução de impactos sobre a biodiversidade, sem prejuízo da instalação e operação de empreendimentos e atividades³.

O PRIM-HA baseia-se no conceito lógico de que impactos ambientais são reduzidos de forma hierárquica, sendo primeiro priorizadas as ações que evitem que a ameaça potencialize seus impactos, em seguida ações que mitiguem os danos dos impactos, e, por último, ações que compensem os danos residuais não mitigáveis, no intuito de que não haja extinção de espécies, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos associados (ausência de perda líquida de biodiversidade) (Figura 1). A lógica do modelo³ é tornar a conservação mais efetiva e os custos financeiros menores ao indicar cenários de maior e menor compatibilidade entre empreendimentos e a conservação da biodiversidade, com potencial de permitir um processo de licenciamento ambiental mais célere e menos dispendioso⁴. Contudo, ressalta-se que os PRIMs não substituem quaisquer etapas do licenciamento ambiental, sendo apenas suplementar aos ritos vigentes e, portanto, de caráter não vinculante, embora tenha por prerrogativa apoiar o planejamento ambiental e territorial³.

O Plano de Redução de Impacto de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia (PRIM-HA) foi concebido em virtude

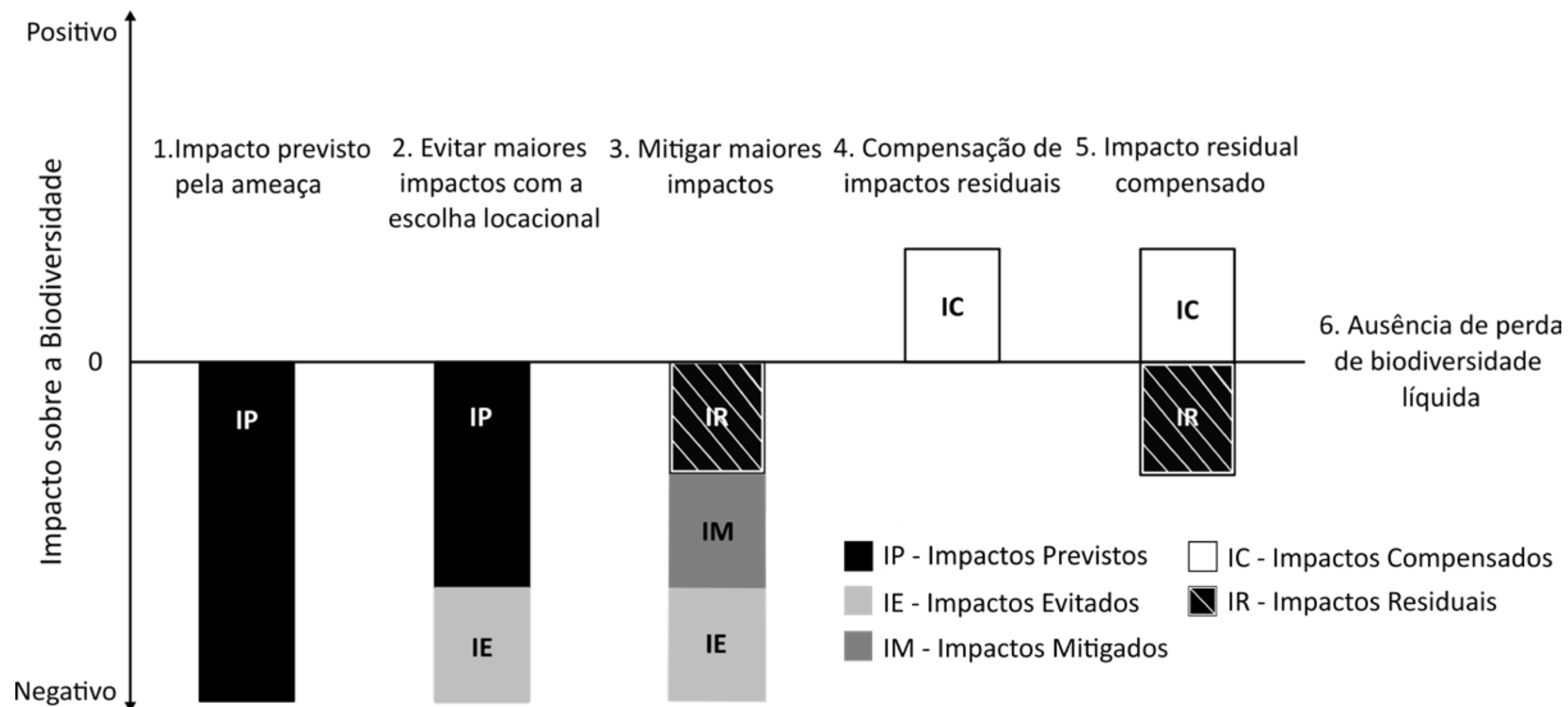


Figura 1. Hierarquia de Mitigação para redução de impactos sobre a biodiversidade. (Adaptada de BBOP, 2009²²⁹)

da necessidade de conciliar a ampliação da rede de produção de energia hidrelétrica com a conservação da biodiversidade amazônica. As usinas hidrelétricas compõem a principal fonte geradora da matriz elétrica brasileira, responsável por mais de 60% da capacidade instalada⁵ e são priorizadas no Brasil dentre as demais fontes de energia renováveis alternativas, como energia eólica e solar, pois são consideradas mais baratas, seguras e de maior controle e estabilidade em sua produção^{6,7}.

Embora seja considerada como uma energia limpa, a decisão pela construção de barragens precisa ser mais inclusiva e transparente. Isso requer a proposição e uso de instrumentos que suportem o planejamento econômico e socioambiental e que aumentem a habilidade das nações de garantir as suas necessidades futuras de água e energia, a partir de uma gestão de recursos de água doce mais equilibrada e sustentável⁸. Esta necessidade

é cada vez mais urgente já que em todo o mundo a demanda por energia elétrica impulsiona a construção de barragens hidrelétricas, assumidas como uma alternativa de produção de energia renovável e apresentadas como uma solução para as crescentes preocupações com mudanças climáticas e frente as incertezas atreladas ao fornecimento e preço de combustíveis fósseis.

Um exemplo claro deste posicionamento é que o Brasil investe na utilização e ampliação da produção de energia hídrica⁹ como estratégia para o atendimento dos objetivos do Acordo de Paris em limitar o aumento da temperatura global em até 2°C por meio da mitigação da emissão de gases de efeito estufa. A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira trouxe como previsões para a matriz elétrica em 2030: alcançar 23% de geração a partir de eólica, solar e biomassa, incluindo geração distribuída e autoprodução; e atingir 66% de geração hidrelétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN)⁹.

Um futuro energético mais limpo e inclusivo ainda é um caminho longo a ser percorrido por todos os países que têm encontrado dificuldades em cumprir as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados à energia¹⁰. Apesar das dificuldades existentes é preciso que o desenvolvimento de novos projetos também contabilize as emissões potenciais de gases que aumentam o aquecimento global para propor modelos e tecnologias que causem menor impacto ambiental¹¹ especialmente, diante da opção de se construir usinas com grandes reservatórios ou a fio d'água. Cabe destacar que, embora num primei-

ro momento as maiores emissões produzidas pelas usinas de grandes reservatórios tornam as de fio d'água a escolha mais evidente, estas últimas não têm emissões zero ou insignificantes se considerada sua proliferação numérica¹².

Nestas circunstâncias é que a região amazônica brasileira é vista como a detentora do maior potencial para ampliação de oferta no Sistema Interligado Nacional (SIN), com perspectivas de incremento na expansão de investimentos em novos empreendimentos para a produção e transmissão de energia hidrelétrica^{9,13,14}. E é neste cenário também que, apesar de serem consideradas como uma fonte de energia renovável, as usinas hidrelétricas, entre todos os outros vetores de ameaça (por exemplo agricultura, urbanização e mineração), destacam-se como a principal ameaça à biodiversidade brasileira e à prestação de serviços ecossistêmicos na região amazônica¹⁵. A avaliação do risco de extinção da fauna brasileira, por exemplo, mostra que 95 espécies, em especial aquelas que necessitam de ambientes de zonas úmidas e pertencentes a diferentes grupos taxonômicos como peixes, aves, mamíferos aquáticos, primatas e mamíferos carnívoros são ameaçados de extinção por hidrelétricas¹⁵.



© Zig Koch / Parque Nacional do Juruena (Topirus terrestres)

1.2 A DIVERSIDADE DOS ECOSISTEMAS NA BACIA AMAZÔNICA

Estimada em 6.100.000 km² a bacia hidrográfica amazônica compreende a maior e mais complexa rede fluvial do planeta e destaca-se por contribuir com a descarga de aproximadamente 16% a 18% do fluxo de água doce do planeta^{13,16}. A maior parte de sua extensão está em território brasileiro (63%), mas abrange ainda outros sete países: Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%), Guiana Francesa (0,4%) e Guiana (0,2%)⁶. Geomorfologicamente a bacia é dividida em quatro grupos principais: (1) – a cadeia dos Andes; (2)

– o escudo das Guianas; (3) – o escudo Brasileiro e (4) – a planície fluvial¹⁷ (Figura 1), que juntos formam um complexo ecossistema interdependente com grande variedade de áreas úmidas, alta biodiversidade e elevada produção primária e secundária⁷.

A contribuição à bacia amazônica das diferentes unidades geomorfológicas explicita a importância de que estas sejam consideradas nas análises de impactos ambientais realizadas em macroescala. Os Andes constituem apenas 13% da Bacia Amazônica, mas fornecem a maioria dos sedimentos, nutrientes e matéria orgânica. Rios andinos exercem, assim, forte controle ecológico dos rios e várzeas a jusante desta cordilheira, influenciando processos geomorfológicos

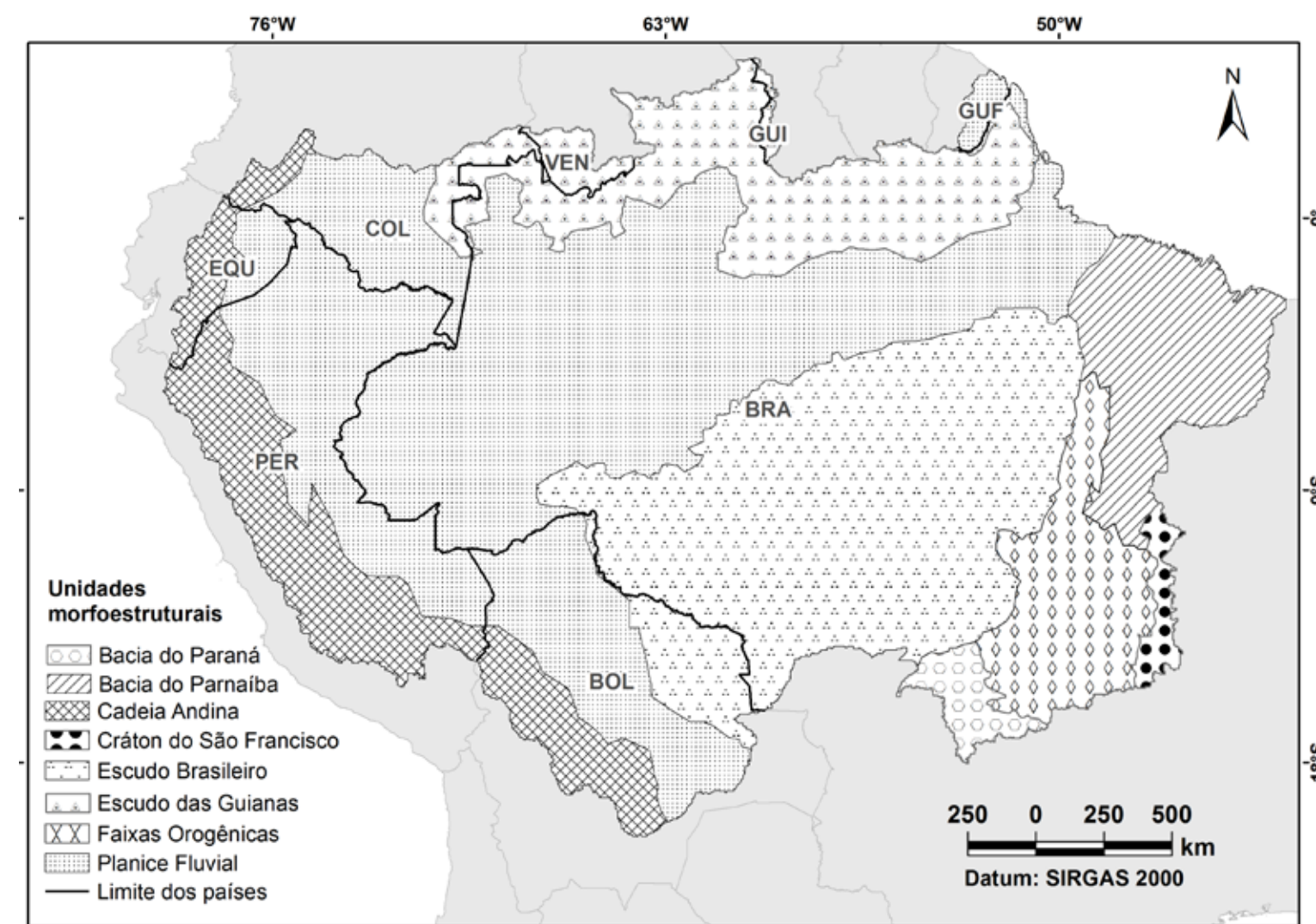


Figura 2. A região amazônica e as suas principais unidades morfoestruturais.

como meandros de rios e formação de planícies de inundação. Já os escudos das Guianas e Brasileiro são terrenos geologicamente muito antigos (Pré-Cambrianos) que rodeiam a vasta planície amazônica¹⁷. A estabilidade geomorfológica dos escudos permitiu processos ecológicos e evolutivos que tornaram as áreas de várzeas capazes de suportar florestas diversificadas e produtivas, bancos de macrófitas e lagos de importância para muitos organismos¹³. Ademais, muitas espécies de peixes amazônicos dependem da produtividade destas áreas, incluindo espécies migradoras e espécies de relevância econômica para a pesca regional¹³.

A biodiversidade amazônica é resultante de processos históricos e ecológicos e relacionada às flutuações no nível de

água, à dinâmica fluvial, ao fluxo gênico e às heterogeneidades climática e geomorfológica^{7,18–20}. A conjunção desses fatores favorece um habitat para um elevado número de espécies de peixes (2.257)²¹, além de muitos outros grupos taxonômicos: mamíferos (427)²², aves (1.294)²², anfíbios (427)²², répteis (378)²² e plantas (14.000)²³. A grandeza do patrimônio ambiental amazônico e de todos os serviços ecossistêmicos associados, que incluem produção de alimentos, fornecimento de matéria-prima, mitigação de gases de efeito estufa e regulação do clima²⁴, demandam o estabelecimento de estratégias que conciliem a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento econômico sustentável para a região.



©Daniel Rasende / Estação Ecológica de Uruá-Solimões

1.3 A EXPANSÃO DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E A AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

Do ponto de vista ecológico, empreendimentos hidrelétricos são considerados vetores diretos de perda, fragmentação e degradação do habitat, em função do desmatamento, construção de reservatórios e barramentos dos cursos d'água^{8,18,25,26}. Dentre os impactos indiretos estão a ampliação e abertura de novas estradas, implantação de linhas de transmissão de energia e assentamento humano desordenado^{27,28}. Além disso, o planejamento de novas hidrelétricas na Amazônia está associado com estratégias de execução de atividades ligadas a outras tipologias de ameaça na região, especialmente à mineração e ao transporte hidroviário. Em específico, a expansão da rede hidrelétrica facilita a exploração e o processamento regional de bauxita, níquel, cobre e ouro^{29,30}. Adicionalmente, a instalação de novas hidrelétricas é considerada como oportunidade para a realização de intervenções e/ou implantação de estruturas que ampliem a navegabilidade dos rios, como dragagem, construção ou ampliação de eclusas, derrocamento, regularização do rio e sinalização, visando o transporte hidroviário, especialmente para escoamento da produção agrícola e mineral³¹. Por consequência as atividades de mineração e de transporte hidroviário potencialmente ampliam as modificações nos cursos d'água, inclusive para além da área do reservatório da usina e implicam, por exemplo, na perda de trechos de corredeiras, quedas d'água e cachoeiras.

Atualmente, existem 349 empreendimentos hidrelétricos na bacia, sendo ainda planejadas as construções de pelo menos 557 novos empreendimentos de diversos portes^{18,32–34}. Em território nacional existem 201 empreendimentos hidrelétricos, contudo estudos apontam que a demanda por energia elétrica crescerá no Brasil a uma taxa média de 3.7% até 2029³⁵, o que tem levado ao planejamento de mais 380 hidrelétricas. A situação mostra-se crítica com relação as regiões de cabeceira da bacia, para as quais há uma previsão de aumento do número de em-

preendimentos com produção superior a 2MW na ordem de 300%, já nas próximas duas décadas³⁶. A construção de 60% destas barragens planejadas causaria uma quebra na conectividade entre as cabeceiras andinas e a planície amazônica, que passaria a receber menos sedimentos, nutrientes e matéria orgânica, afetando a dinâmica da floresta e a migração de peixes³⁷. Visto que o Brasil investirá na construção de barragens em seu território amazônico, e que o país também é financiador e construtor de muitas das barragens nos países vizinhos²⁹, o planejamento e a tomada de decisão sobre cada projeto precisam ser cuidadosamente discutidos. Uma das evidências que deveriam pautar tais discussões seria a de que, cada vez mais, o custo ambiental e socioeconômico da geração de energia hidrelétrica extrapola os limites imediatos do empreendimento, podendo, no caso da bacia amazônica, a repercussão assumir uma escala internacional.

Embora cada país apresente suas próprias normativas e conjunto de critérios que regulamentam as etapas de licenciamento ambiental, elas, em comum, têm como objetivo final o uso sustentável dos recursos naturais. Globalmente o investimento na construção de empreendimentos hidrelétricos tem evoluído para incorporar as Avaliações de Impacto Ambiental (AIA). Esta evolução é vista no planejamento e execução de projetos ao se aprimorar os processos de identificação das bacias hidrográficas com aptidão para o desenvolvimento do seu potencial hidrelétrico e os rios e bacias que devem permanecer livres de empreendimentos. As AIAs, no intuito de subsidiar a escolha dos aproveitamentos mais adequados, buscam: (i) considerar juntas as variáveis econômicas, ambientais e sociais; (ii) estimar os efeitos cumulativos e de longo prazo; (iii) garantir a implementação de medidas para mitigar os impactos ambientais e sociais e (iv) promover a participação de múltiplos atores no processo de tomada de decisão^{38,39}. No Brasil, é a Resolução CONAMA 01/86 que estabelece os critérios básicos e diretrizes gerais para a AIA e determina a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para as atividades modificadoras do ambiente, entre as quais está a produção

e transmissão de energia. Entretanto, a AIA é realizada somente após a decisão pela localização e realização de um projeto, o que reduz a possibilidade de alternativas e atenta superficialmente à relação do empreendimento com outros já implantados ou planejados.

A Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) por sua vez é entendida como um processo sistemático de suporte à tomada de decisão, com o intuito de garantir que o meio ambiente e outros aspectos relacionados à sustentabilidade sejam considerados na elaboração de políticas, planos e programas governamentais (PPPs)⁴⁰ e, portanto, antecede a fase de elaboração da AIA. Em âmbito nacional foi inicialmente proposta pelo Ministério do Meio Ambiente em 2002⁴¹ e elevou a discussão com o setor elétrico sobre os instrumentos de avaliação, o que culminou com a utilização da Avaliação Ambiental Integrada (AAI) para a realização dos estudos de novos empreendimentos⁴¹. Tanto a AAI quanto a AAE foram desenvolvidas para fazer análises antecipadas e integradas de PPPs que afetam o meio ambiente e incluir desde a concepção do projeto as variáveis socioambientais. A AAE facilita a integração e coordenação entre vários atores institucionais, aumenta e fortalece a participação pública e tem sido estimulada pelas agências multilaterais de desenvolvimento, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento e o Banco Mundial, como recomendação ou requisito para aprovação de investimentos⁴².

A abordagem da AAI diferencia-se, pois, além de estudar as fragilidades ambientais figura-se como um mecanismo potencialmente capaz de identificar e avaliar os efeitos sinérgicos e cumulativos, ao considerar os conjuntos de usinas hidrelétricas em bacias hidrográficas. Neste sentido, a execução da AAI é um dos caminhos para atender à necessidade de se avaliar a compatibilidade da geração de energia com a conservação da biodiversidade, a manutenção dos fluxos gênicos e com a sociodiversidade à luz da legislação e dos compromissos internacionais assumidos pelo governo federal⁴³.

O setor elétrico brasileiro, a partir de 2004, insere-se em um modelo de licenciamento ambiental que exige a emissão da

Licença Prévia para a licitação de novas hidrelétricas⁴⁴. O primeiro passo no licenciamento ambiental de hidrelétricas é a estimativa do potencial hidrelétrico, etapa em que se procede à análise preliminar das características da bacia hidrográfica, especialmente quanto aos aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos e ambientais, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica. Em seguida são realizados os estudos de inventário, nos quais as alternativas de divisão de quedas da bacia devem ser levantadas e estudadas de forma a selecionar aquela que apresenta a melhor eficiência do ponto de vista energético e socioambiental^{45,46}.

Na etapa posterior, os aproveitamentos da alternativa selecionada são submetidos a uma AAI, na qual é avaliada a capacidade dos meios natural e antrópico para receber a alternativa de divisão de queda selecionada. A execução da AAI requer a caracterização socioambiental e análise de conflitos da bacia, com o objetivo de se elaborar um cenário atual macrorregional, desenvolver indicadores de sustentabilidade para a bacia, e prever os principais impactos. Na sequência, os Estudos de Viabilidade incluem uma análise da viabilidade técnica, energética, econômica e socioambiental que leva à definição do aproveitamento ótimo que irá ao leilão de energia e devem incorporar também as análises dos usos múltiplos da água e as interferências socioambientais. Com base nesses estudos, são preparados o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) de um empreendimento específico, tendo em vista a obtenção da Licença Prévia (LP), junto aos órgãos ambientais⁴⁵. Todavia, o processo de licenciamento para aproveitamento de potencial hidráulico pode ser simplificado ou mesmo dispensado, a depender do porte do empreendimento hidrelétrico, potência e área alagada do reservatório, segundo as normativas estabelecidas pelas esferas de governo pertinente⁴⁷.

Há um consenso da necessidade de uma avaliação em escala de bacia dos impactos de empreendimento hidrelétricos³⁹, especialmente porque a maioria dos impactos ambientais tem se mostrado severos e muitas vezes irreversíveis, por subestimativa ou omissão nas avaliações de

impacto ambiental⁴⁸. Os esforços para conter os impactos ambientais de empreendimentos hidrelétricos são limitados pela capacidade de antecipar e evitar impactos, a baixa qualidade e incerteza das previsões, a dificuldade de lidar com todos os impactos e a implementação parcial ou ineficiente de medidas de mitigação⁸. A precisão e a magnitude dos impactos previstos sobre a biodiversidade e ecossistemas são altamente dependentes da existência e confiabilidade dos dados de base, das incertezas científicas quanto a natureza das interações e da capacidade de modelar sistemas complexos.

O PRIM-HA é suscitado como instrumento de apoio a tomada de decisões diante: (i) da prerrogativa do ICMBio de identificar áreas de concentração de espécies ameaçadas e propor medidas de redução de impactos sobre estas, sobre as Unidades de Conservação e ao Patrimônio Espeleológico²; (ii) da perspectiva de expansão dos empreendimentos hidrelétricos para a região amazônica^{9,14}; (iii) do fato de

que as usinas hidrelétricas destacam-se como a principal ameaça à biodiversidade brasileira na região¹⁵; (iv) de que o planejamento ambiental e do setor elétrico para novos empreendimentos deve considerar a situação das bacias hidrográficas formadas por sistemas complexos conectados e interdependentes^{39, 29,37}; e (v) de que as estratégias para redução de impactos da atividade devem ser sustentadas por informações de base refinadas e confiáveis, aqui produzidas de forma participativa e com o suporte de especialistas de diferentes órgãos e instituições⁸. Fora essas principais linhas de interação, o PRIM-HA oferece uma oportunidade para os investimentos em hidrelétricas no Brasil serem pautados por métricas ambientais robustas e chanceladas por um órgão ambiental nacional.

Empreendedores, gestores e investidores poderão utilizar tais dados para direcionarem suas ações e recursos em práticas ou modelos de gestão que geram impactos positivos do ponto de vista socioambiental e de governança. A neces-



©Arquivo IBAMA / UHE Belo Monte

cidade da sociedade saber quais empresas ou investimentos adotam esses valores fez com que critérios ambientais, sociais e governança corporativa (ASG) surgissem como indicadores de transparência e sustentabilidade⁴⁹. Portanto, a incorporação dos resultados do PRIM-HA às iniciativas de AAE, mecanismos de financiamento e construção de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica seria um importante avanço para o desenvolvimento econômico se alinhar às estratégias de conservação da biodiversidade^{29,37}.

É neste cenário que o PRIM-HA analisa a sobreposição da exposição aos impactos provocados por hidrelétricas na paisagem em seus diferentes níveis de intensidade com o

gradiente das áreas sensíveis da biodiversidade. O PRIM-HA se vale de ferramentas do planejamento sistemático da conservação para indicar, de forma especialmente explícita, áreas de sensibilidade da biodiversidade a partir dos alvos de conservação, de suas características biológicas e de informações espaciais sobre a paisagem que influenciam a distribuição destes alvos. A partir do cruzamento destas informações é que se aponta a compatibilidade entre a conservação ambiental e empreendimentos hidrelétricos, de modo a permitir o planejamento e a proposição de ações em busca de desenvolvimento socioeconômico ambientalmente sustentável. O objetivo geral e os específicos do PRIM-HA estão sumarizados na Tabela 1.



©Acervo IBAMA / UHE Teles Pires

OBJETIVOS DO PRIM-HA

Tabela 1. Objetivos e produtos específicos do PRIM-HA.

Objetivo geral	
Gerar cenários de compatibilização entre a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica, por meio da busca de espaços geográficos com vista à manutenção dos serviços ecossistêmicos e de populações viáveis de espécies, sem prejuízo da construção e operação de empreendimentos e atividades.	
Objetivos específicos	Produtos *
i) identificar entre as espécies e ambientes singulares os alvos de conservação sensíveis a hidrelétricas e os níveis de sensibilidade aos diferentes impactos associados.	Lista de alvos de conservação sensíveis a empreendimentos hidrelétricos*
ii) indicar um gradiente de sensibilidade da biodiversidade aos empreendimentos hidrelétricos.	Mapa de Áreas sensíveis da biodiversidade*
iii) indicar um gradiente de exposição da biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétricos.	Mapa de exposição aos impactos*
iv) apontar áreas de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos.	Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos*
v) analisar a compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos planejados	Gráficos e mapas de compatibilidade por empreendimentos planejados*
Objetivos específicos	Produtos *
vi) discutir a situação das Unidades de Conservação (UC) frente aos empreendimentos hidrelétricos.	Tabelas, gráficos e mapas*
vii) definir similaridade da composição da biodiversidade sensível aos empreendimentos hidrelétricos para indicar áreas mais adequadas para aplicação da compensação ambiental, em território nacional.	Mapa de agrupamentos de compensação, tabela e dendrograma de similaridade
viii) definir lacunas de conhecimentos.	Matriz de lacunas importantes para aprimoramento dos PRIM.

*Material Suplementar, disponível em <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto>>

1.4 PANORAMA GERAL DO PRIM-HA

A imensa biodiversidade intrínseca à bacia amazônica e a sua importância para a manutenção de serviços ecossistêmicos no mundo inteiro, exige que qualquer intervenção antrópica significativa no ambiente e o planejamento para uso e exploração de recursos naturais sejam cuidadosamente analisados. Os grandes rios e cursos d'água abrigam uma imensurável variedade de habitats e de formas de vida, cuja proteção requer a realização de uma abordagem capaz de reduzir as lacunas de conhecimento e direcionar de forma efetiva e eficaz a alocação de esforços conservacionistas⁵⁰⁻⁵². A ferramenta aqui apresentada, PRIM-HA, tem alcance amplo e pode ser utilizada por diversos atores e entidades envolvidas nas diferentes fases de um empreendimento hidrelétrico, desde o planejamento até sua operação. A Figura 3 traz exemplos de usos e aplicações potenciais da ferramenta que ajudam a evitar, mitigar e compensar os impactos de empreendimentos hidrelétricos.

A compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e a produção de energia por hidrelétricas pôde ser estimada a partir de um modelo conceitual que incorpora dois grupos de informações: a exposição aos impactos da atividade antrópica e a sensibilidade dos alvos de conservação aos impactos, em seus diferentes níveis de intensidade (Figura 4).

O mapa de exposição aos impactos sintetiza a intensidade dos impactos de perda, fragmentação e degradação de ha-

bitats causados diretamente por empreendimentos hidrelétricos existentes. O mapa de sensibilidade da biodiversidade é construído com o uso de ferramentas de planejamento sistemático da conservação e sumariza informações sobre os componentes da biodiversidade sensíveis aos impactos de empreendimentos hidrelétricos e de características do ambiente que influenciam negativamente ou positivamente a permanência destes componentes. A sobreposição destas duas informações permite a compreensão do gradiente de compatibilização entre a conservação da biodiversidade e hidrelétricas, ao informar: (i) quais áreas devem ser evitadas e quais devem ser preferidas para investimentos na produção de energia hidrelétrica; (ii) o custo ambiental associado à cada escolha locacional; e (iii) o tipo de medidas mitigadoras a serem adotadas com maior intensidade em cada área.

A publicação deste Plano é estruturada nas seguintes partes: contextualização, objetivos e abrangência do PRIM-HA (Seção I), os impactos de empreendimentos hidrelétricos (Seção II), as áreas de sensibilidade da biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétricos (Seção III); a compatibilidade entre empreendimentos hidrelétricos e a conservação da biodiversidade (Seção IV). Na seção V são apresentadas as recomendações de medidas mitigatórias e compensatórias e, na Seção VI, as lacunas de conhecimento encontradas.

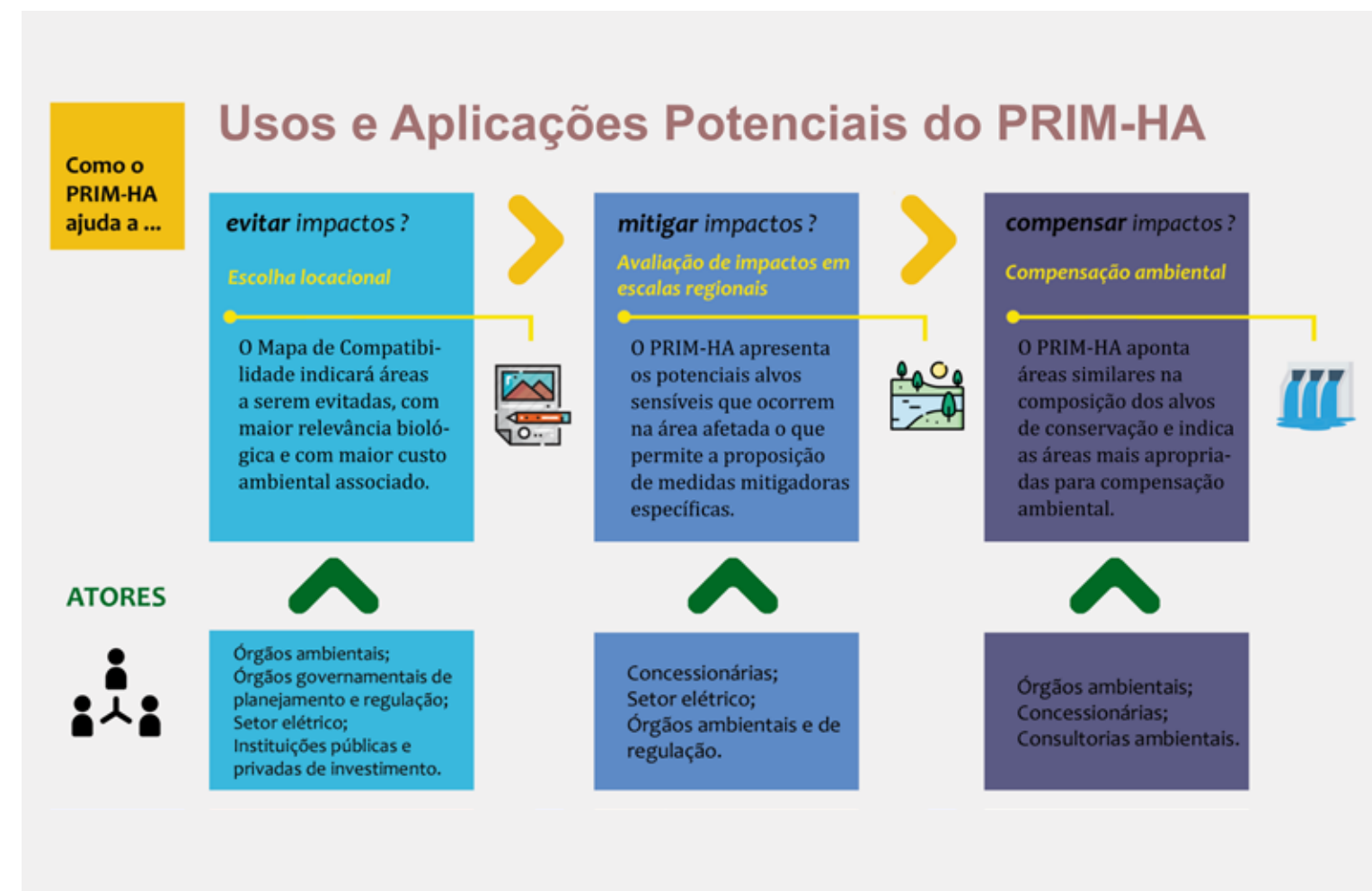


Figura 3. Estágios, atores e potencial de utilização do PRIM-HA.



©Acervo Parana Jauú / Parque Nacional do Jauú (Toxassupecari)

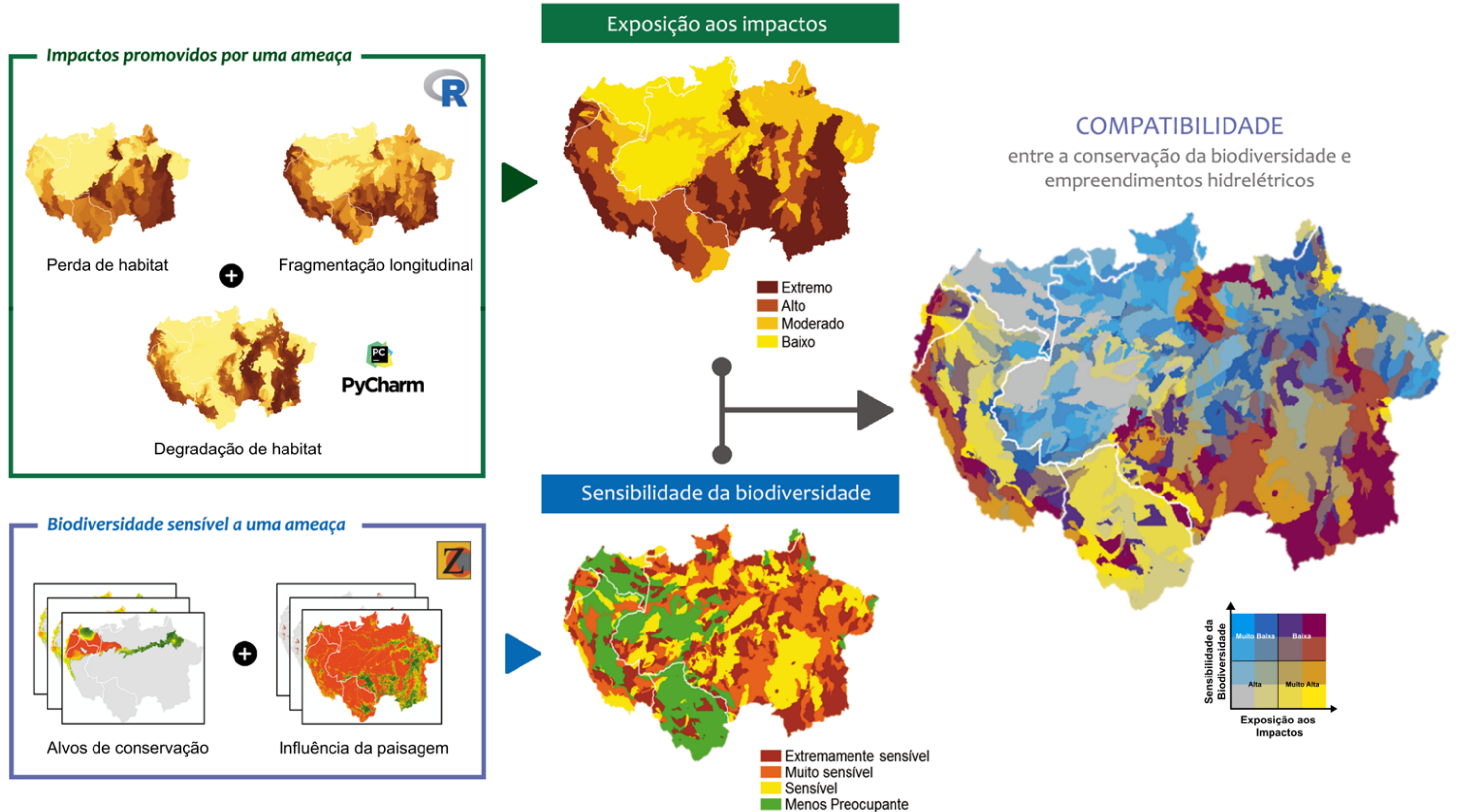


Figura 4. Modelo esquemático do processo de elaboração do PRIM-HA.

1.5 PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO PRIM-HA

A construção participativa e o diálogo intersetorial e técnico são premissas para um planejamento robusto e efetivo⁵³. Na busca por atender esse compromisso, o ICMBio construiu o PRIM-HA de forma interativa, com a consulta e colaboração de diferentes órgãos e instituições públicas como a ANA, EPE, MME, Ibama e CNCFlora/JBRJ. Também participaram dos trabalhos técnicos representantes de pesquisas em biologia da conservação e ecologia de paisagens do INPA, UFAM, Museu Emilio Goeldi, UFG, UEM, UFPA e UFRN, assim como as organizações não governamentais WWF-Brasil, WCS-Brasil, TNC, CI, ADT e WCS.



Figura 5. Oficina Preparatória do PRIM-HA, realizada no ICMBio em Brasília-DF (abril de 2017).

No processo de elaboração foram realizadas duas reuniões presenciais. A primeira reuniu um grupo técnico para discutir os principais impactos de hidrelétricas (passíveis de representação espacial), os potenciais alvos de conservação e a metodologia de priorização de áreas sensíveis à empreendimentos hidrelétricos. Esta reunião foi realizada em abril de 2017 em Brasília-DF (Figura 5). Em abril de 2021 uma segunda oficina foi realizada para discussão das análises realizadas, aprimoramento dos métodos e validação dos resultados.

1.6 ABRANGÊNCIA DO PRIM-HA

O escopo geográfico das análises foi definido durante a Oficina Preparatória do PRIM-HA e abrange toda a região amazônica presente nos oito países que a compõe - Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru e Venezuela. Assim esta área de estudo engloba toda a bacia amazônica, a bacia do Tocantins e as áreas costeiras estuarinas e estende-se por cerca de 7.289.119 km² (Figura 6). Em território nacional esta área inclui dois biomas: a Amazônia e o Cerrado, no qual estão inseridas as nascentes de importantes afluentes da bacia hidrográfica amazônica.

A área de estudo, com resolução espacial aproximada de 5 km, foi subdividida em 1.544 unidades de planejamento para representar espacialmente a variação da biodiversidade e dos impactos e consideradas aqui unidades mínimas para a tomada de decisões. As unidades de planejamento são definidas de acordo com a divisão de bacias de nível 5 propostas por Venticinque *et al.*⁵⁴ (Figura 6). A classificação proposta hierarquiza as bacias principais em níveis de 1 a 7 e considera uma divisão espacial ecológica dos principais canais de água, na qual o nível 5 delimita as bacias tributárias com áreas entre 5.000 km² e 10.000 km².

As Unidades de Conservação (UC) também foram transformadas em unidades de planejamento, já que estas configuram-se como espaços territoriais estratégicos

para a conservação da biodiversidade e de processos ecológicos fundamentais e por serem legalmente protegidas. Para a construção deste mosaico de unidades de planejamento formado pelas bacias e UCs, os limites das bacias de nível 5 foram substituídos pelos limites das UCs, quando havia a sobreposição (Figura 6).

A identificação das UCs existentes brasileiras foi feita a partir das bases de dados do ICMBio, do MMA, em instrumentos legais e inclui todas UCs das esferas federais, estaduais e municipais, enquanto as UCs da região amazônica internacional foram obtidas do World Database on Protected Areas⁵⁵.

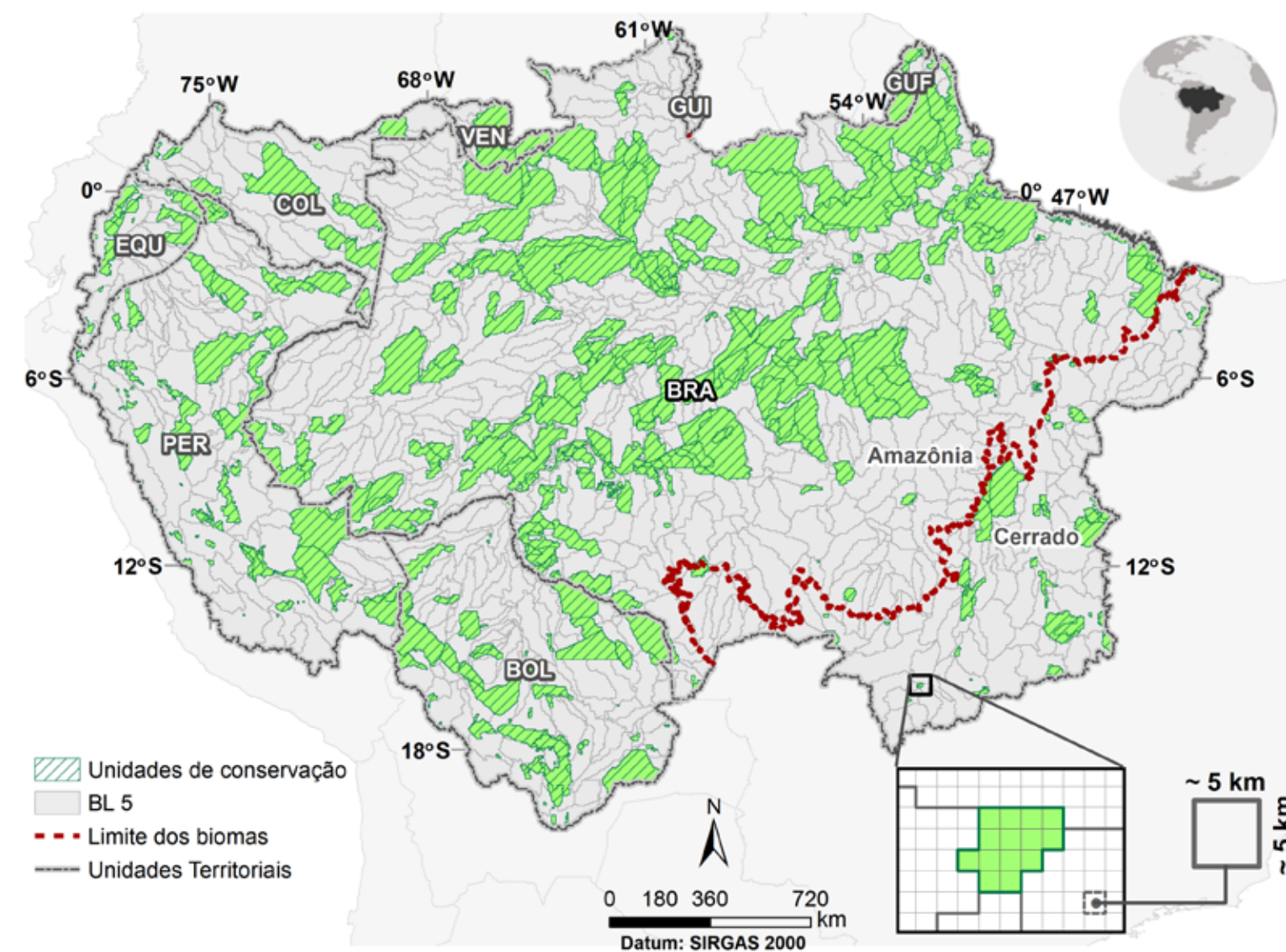


Figura 6. Abrangência e unidades de planejamento do PRIM-HA.

As análises espaciais do PRIM-HA contemplam os efeitos integrados e cumulativos dos impactos de empreendimentos hidrelétricos sobre a biodiversidade para toda a região amazônica. Adicionalmente, ao se atentar aos principais rios que drenam a

região amazônica, 17 bacias (nível 2)⁵⁴, a planície de amazônica e os tributários menores foram delimitados e analisados (Figura 7). Os tributários menores, são originalmente apresentados como uma única bacia de nível 2⁵⁴, mas aqui foram divididos

como sub-bacias, de modo a tornar possível explorar nas discussões as particularidades geográficas e de pressão do vetor de ameaça em áreas que estão espacialmente disjuntas. As sub-bacias dos 11 tributários menores são: Uatumã, Jari, Curuá-

-Una, Guama, Jutai, Madeirinha, Manacapuru, Pacajá, Piorini, Tefé, Nanay. Por fim, a abordagem destes tributários menores é realizada em conjunto com a planície de inundação do rio Amazonas, a qual estão imediatamente conectadas.



©Zig Koch / Parque Nacional do Juruena

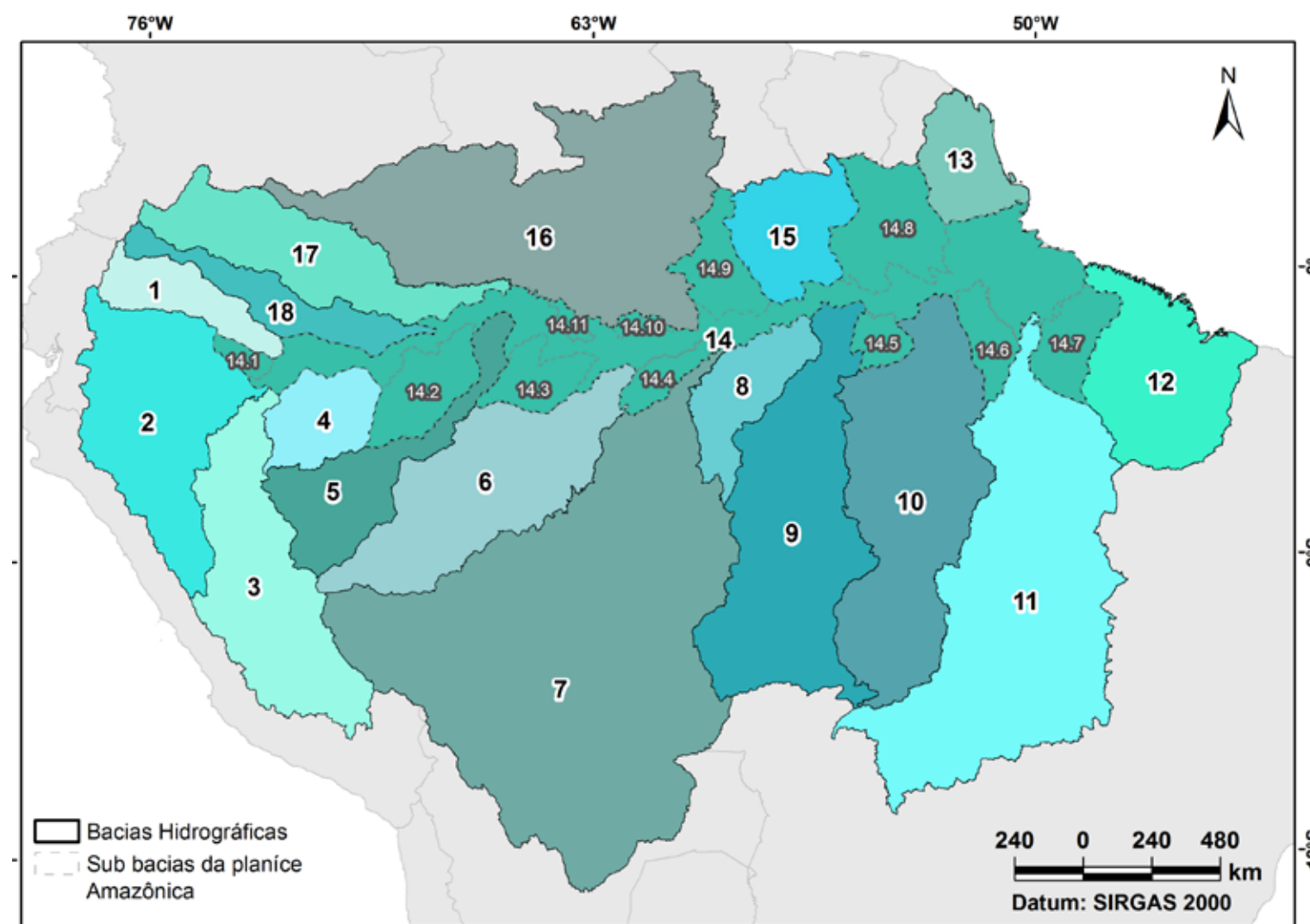


Figura 7. Bacias hidrográficas da região amazônica. (1. Napo, 2. Marañón, 3. Ucayali, 4. Javari, 5. Juruá, 6. Purus, 7. Madeira, 8. Abacaxis, 9. Tapajós, 10. Xingu, 11. Tocantins, 12. Bacia da Costa Sul, 13. Bacia da Costa Norte, 14. Planície Amazônica e tributários menores: 14.1 Nany, 14.2 Jutai, 14.3 Tefe, 14.4 Madeirinha, 14.5 Curuá-una, 14.6 Pacajá, 14.7 Guama, 14.8 Jari, 14.9 Uatumã, 14.10 Manacapuru e 14.11 Piorini, 15. Trombetas, 16. Negro, 17. Japurá - Caquetá e 18. Iça - Putumayo).

SEÇÃO II

IMPACTOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

2. IMPACTOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

Os impactos ambientais negativos à biodiversidade decorrentes da construção e operação de hidrelétricas variam de acordo com cada projeto, tamanho e as condições locais, ocorrendo a montante, a jusante e nos reservatórios. A extensão espacial dos impactos, desde a escala local à global⁵⁶, torna possível inferir diferentes níveis de severidade dos impactos associados ao empreendimento. Diretamente, empreendimentos hidrelétricos causam degradação ambiental, quebra de conectividade hídrica e perda de habitat, com consequências sobre a vazão natural dos sistemas fluviais, o fluxo de sedimentos, a matéria orgânica e nutrientes e a biota⁵⁷. Reservatórios de hidrelétricas interrompem a jusante o fluxo de carbono orgânico e aumentam as emissões de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas. Isolados ou cumulativamente, tais impactos comprometem o funcionamento dos ecossistemas, a persistência das espécies e a prestação de serviços ecossistêmicos e ainda acarretam alterações nas condições climáticas, redução na qualidade da água e evapotranspiração em escalas regionais²⁷.

Embora a magnitude dos impactos esteja relacionada às particularidades de cada empreendimento e de sua localização, geralmente encadeiam-se em: i) impactos de primeira ordem, com modificações físico-químicas, geomorfológicas e hidrológicas que resultam na redistribuição espaço/temporal da vazão do rio; ii) impactos de segunda ordem, com modificações na estrutura e dinâmica dos produtores primários, além das alterações ecológicas no canal do rio; e iii) impactos de terceira ordem, que envolvem grandes modificações na comunidade de consumidores, especialmente invertebrados e peixes em consequência das alterações no fluxo, na produção primária e da fragmentação do habitat⁵⁸.

A construção de uma barragem de armazenamento e subsequente inundação da área do reservatório de um empreendimento hidrelétrico efetivamente suprime a vegetação, elimina ambientes únicos, altera padrões históricos

da produção biológica e a distribuição espaço-temporal da biodiversidade⁵⁹. Rotas migratórias de muitas espécies aquáticas podem ser interrompidas, alteradas ou dificultadas: além do obstáculo vertical imposto pela barreira física, os reservatórios criam um gradiente horizontal difuso de condições hidrológicas e limnológicas, capaz de confundir a percepção dessas espécies sobre o ambiente imediato, tornando os reservatórios em um extenso filtro ambiental^{59,60}. O aproveitamento da área criada pelos reservatórios para aquicultura, por sua vez, oferece um risco à biodiversidade, especialmente a ictiofauna. Quando a produção depender de espécies exóticas, sua introdução ao meio ambiente pode potencialmente alterar a composição de espécies ou dos grupos funcionais locais, resultando em perda da riqueza de espécies bem como da capacidade delas manterem o equilíbrio e a continuidade de um ecossistema⁶¹.

Espécies aquáticas migradoras merecem destaque pois são fortemente afetadas pelos obstáculos decorrentes da construção de barragens e reservatórios, por dependerem da manutenção da conectividade longitudinal, já que nadam entre sítios disjuntos em busca de alimento (migração trófica) ou para se reproduzir (migração reprodutiva ou piracema). Entre as espécies de peixes impactadas na região amazônica estão muitas com alto valor socioeconômico, incluindo os grandes Characiformes e Siluriformes⁶⁰. Para mamíferos aquáticos, como o peixe-boi amazônico, os barramentos podem levar a partição da espécie em populações pequenas e vulneráveis e à extinção no curto prazo⁶².

Outro grupo, o dos organismos reofílicos, que em sua migração cruzam áreas com águas correntes como as corredeiras, dependem de ambientes que são frequentemente sobrepostos aos de projetos hidrelétricos e que permanecem submersos sob o reservatório, justamente pela força hidráulica destes trechos do rio⁶³. O resultado é a transformação de um habitat lótico rico em oxigênio em um habitat lêntico hipóxico com a extinção local e seletiva da fauna e flora adaptada à água em movimento. A importância destes impactos sobre a biodiversidade é destacada ao considerar

que os habitats reofílicos possuem altos níveis de endemismo e notável estruturação populacional, além de elevada diversidade taxonômica e filogenética⁶³.

As barragens implicam em modificações locais que afetam a biota, com alterações nos níveis e nas flutuações de água a montante da estrutura e, nos regimes de vazão a jusante⁶⁴. A variabilidade natural da maioria dos sistemas fluviais sustenta comunidades biológicas complexas e díspares daquelas adaptadas aos fluxos e à estabilidade de rios regulados por empreendimentos hidrelétricos. Os regimes de fluxo são a principal força motriz para muitos ecossistemas aquáticos nas planícies aluviais da Amazônia, sendo o tempo, a duração e a frequência das cheias importantes fatores que moldam muitas comunidades biológicas a jusante⁷. Os ciclos de inundação permitem a conexão entre o rio e as áreas de várzea ou remanso, essenciais para muitos organismos, como os peixes que utilizam as áreas inundadas para desova e alimentação⁶⁵. Além disso, eventos de inun-

dação podem atuar, por exemplo, como gatilhos biológicos para a migração de peixes, invertebrados e na fenologia das plantas⁶⁶⁻⁶⁹ e contribuir para a criação e manutenção de habitats ao eliminar ou transportar sedimentos^{26,70,71}.

A quantidade e composição do sedimento em movimento através do canal do curso d'água ou que constituem o seu leito e margens influenciam diretamente toda a composição e a diversidade do ecossistema^{19,72}. O aumento do uso de água e as perdas por evaporação após a formação de grandes reservatórios, geralmente diminuem a descarga a jusante. As alterações na hidrologia a jusante das barragens reduzem a recarga das águas subterrâneas na zona ribeirinha, resultando na queda do lençol freático que podem levar à redução da extensão da planície de inundação ativa⁷³. Adicionalmente, na a região amazônica, o represamento dos afluentes que drenam os Andes reduzem o fornecimento de sedimentos e nutrientes para as terras baixas e, potencialmente, diminuem sua produtividade agrícola e aquática²⁵.



©Acervo IBAMA / Ilhas do Rio Xingu, antes da construção da UHE Belo Monte

2.1 MAPEAMENTO DOS IMPACTOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Os impactos de hidrelétricas na região amazônica foram espacialmente representados a partir do levantamento dos empreendimentos hidrelétricos em diferentes bases de dados oficiais e na literatura científica para a área de abrangência do PRIM-HA, resultando em um total de 349 empreendimentos existentes (lista e referências no Apêndice A) (Figura 8). Foram levantadas as informações referentes à localização das barragens hidrelétricas, a área de alagamento (especialmente representada pela cota máxima do nível de água) e o volume de água armazenado. Entretanto, essas informações estão disponíveis para um número bastante limitado de empreendimentos identificados. Para contornar estas limitações foi necessário mapear as áreas alagadas de 175 empreendimentos hidrelétricos para as quais apenas existia a informação de localização (ponto). As etapas de construção da informação espacial e validação dos resultados do mapeamento são detalhadamente descritos no Apêndice B. Também foram produzidas estimativas de volume para os empreendimentos que não as possuíam (ver fonte de dados de volume e métodos de estimativa no Apêndice B).

Adicionalmente foram compiladas as informações sobre capacidade de produção elétrica de cada empreendimento, em Megawatts (MW), adotando-se as mesmas fontes de dados^{18,32,34}. Posteriormente foi realizada a categorização de acordo com o porte dos empreendimentos hidrelétricos, conforme os critérios estabelecidos pela ANEEL⁷⁴ e assim foram consideradas Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) os empreendimentos com até 1 MW de potência instalada, Pequena Central Hidrelétrica (PCH) os com 1,1 MW a 30 MW de potência instalada e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) aqueles com mais de 30 MW.

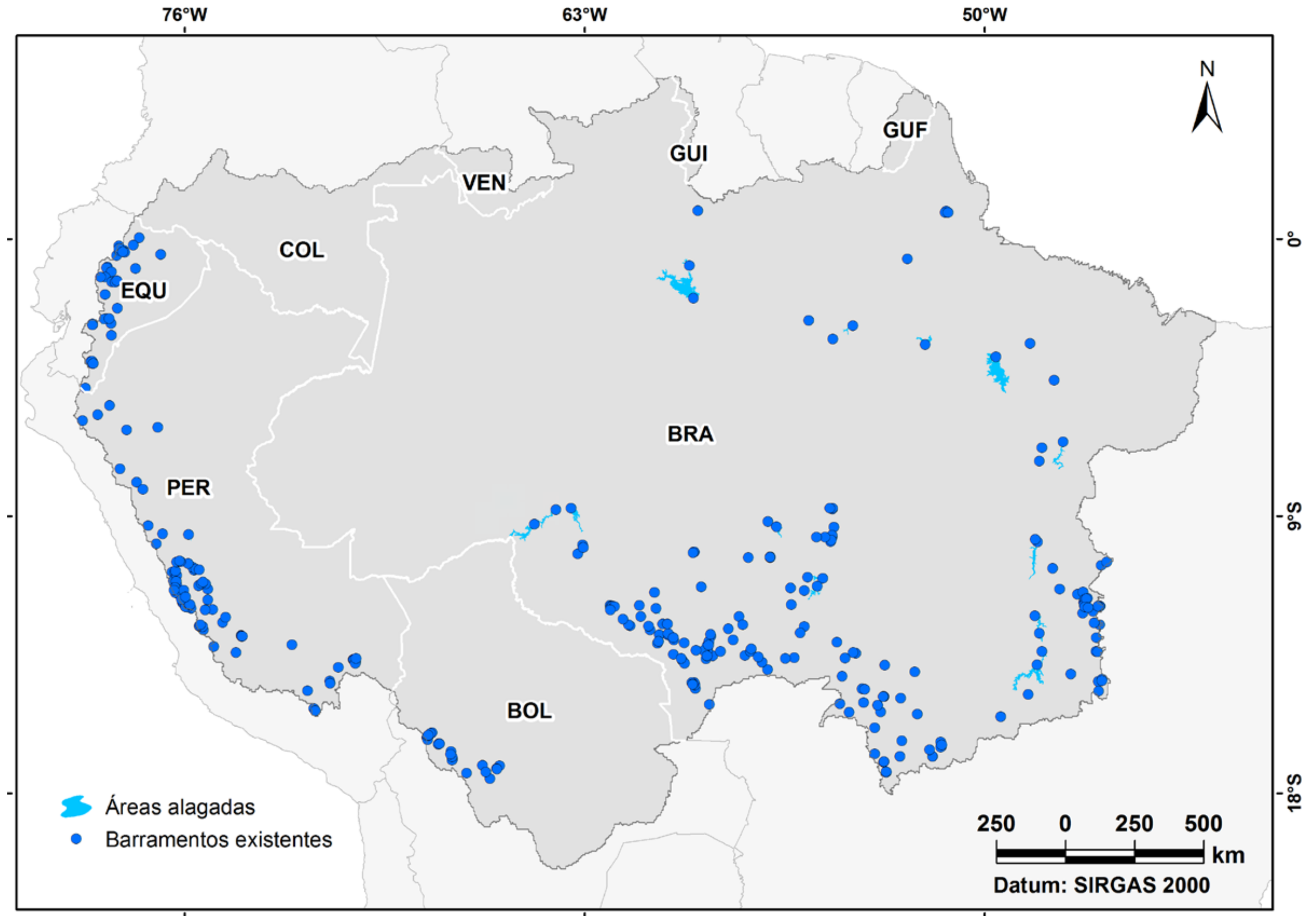


Figura 8. Distribuição espacial dos empreendimentos hidrelétricos existentes e respectivas áreas alagadas obtidas ou mapeadas por meio da obtenção de imagens de satélite

2.1.1 IMPACTOS DIRETOS

No PRIM-HA foram considerados três impactos de empreendimentos hidrelétricos: a fragmentação longitudinal, a perda e a degradação de habitat, primariamente mensurados de forma isolada para em seguida serem representados em uma única camada (Exposição aos impactos). Os métodos de representação da ocorrência, intensidade e alcance espacial destes três impactos diretos estão descritos a seguir.

2.1.1.1 FRAGMENTAÇÃO LONGITUDINAL

A fragmentação dos rios é decorrente da quebra da conectividade linear da rede hídrica em trechos a montante e a jusante dos empreendimentos hidrelétricos. Os resultados desta fragmentação são interferências no fluxo e deposição de sedimentos bem como aumento do isolamento reprodutivo e genético da biota aquática^{18,75,76}. A fragmentação longitudinal é potencialmente mais severa para as espécies migradoras, uma vez que os barramentos limitam os movimentos naturais entre populações que se deslocam para reprodução ou alimentação⁷⁷. Isso porque os barramentos, de uma forma geral, impedem e interrompem as migrações de desova a montante e, quando construídos nos trechos médio e inferior do rio, prejudicam os recrutamentos nos cursos a jusante⁷⁸.

A rede hídrica contínua da bacia Amazônica, ao ser quebrada pelos barramentos hidrelétricos, forma quatro tipos de segmentos de rios que conectam: (1) as nascentes até o barramento; (2) um barramento até outro barramento; (3) um barramento até a foz; ou (4) as nascentes até a foz, conhecido como trechos de rio livre de barramentos⁷⁵ (Figura 9). Com a exceção do último, todos os outros tipos de segmentos foram impactados pela fragmentação longitudinal, promovida pelos barramentos, e precisam ser incorporados a construção da representação espacial da exposição aos impactos da fragmentação hídrica.

O PRIM-HA assume a premissa de que bacias hidrográficas com maiores segmentos de rios contínuos detêm maior conectividade hídrica para os alvos de conservação. De modo contrário, as bacias com numerosos trechos de rio com menor comprimento médio apresentarão maior efeito da fragmentação hídrica sobre a biodiversidade.

Em razão da variação natural dos comprimentos dos rios entre os diferentes níveis hierárquicos de bacia hidrográfica⁵⁴, do número e da posição de barramentos, os efeitos da fragmentação longitudinal impõem diferentes níveis de severidade sobre alvos de conservação impactados, a partir de suas demandas de conectividade intrínsecas.



©Fabia Luna / UHE Sílvia Braga

Tipos de segmentos

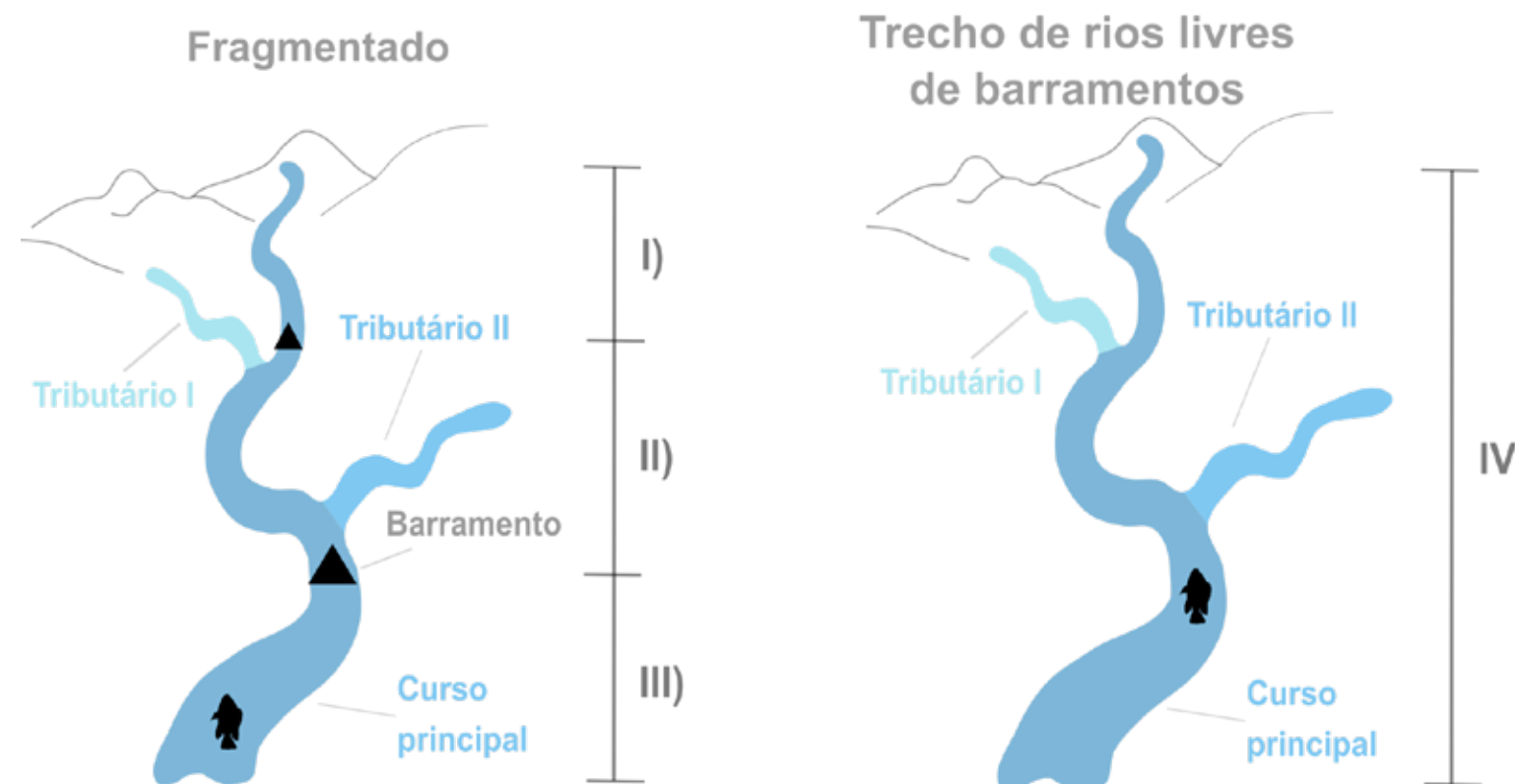


Figura 9. Exemplos de segmentos de rios que conectam: (I) as nascentes até o barramento; (II) um barramento até outro barramento; (III) um barramento até a foz; ou (IV) as nascentes até a foz, conhecido como trechos de rio livre de barramentos.

Por isso, o PRIM-HA utilizou os dados da rede hidrográfica amazônica⁵⁴ e dos barramentos hidrelétricos existentes disponíveis nos dados oficiais nacionais e internacionais para fragmentar a rede hídrica. A partir desse curso hídrico fragmentado, foi contabilizado o comprimento médio dos segmentos de rio – ponderado pelo desvio padrão e pelo número dos segmentos – dentro de cada bacia hidrográfica, para sete escalas espaciais hierárquicas⁵⁴. Como resultado, foram construídas sete camadas espaciais padronizadas, cujos valores máximos representam comparativamente as bacias hidrográficas com menor contribuição para conectividade hídrica, seja por características naturais ou interferências antrópicas.

Essas camadas representam o efeito sinérgico dos barramentos sobre a conectividade hídrica dentro de cada bacia hidrográfica para diferentes níveis geográficos hierárquicos, desde a escala local (BL7) até aquelas regionais (BL6 até BL1) (para informações sobre definição de bacias ver seção 1.6). Assim, é possível estimar a exposição da fragmentação longitudinal na paisagem da bacia Amazônica, para diferentes demandas espaciais da biodiversidade e de forma cumulativa, considerando os danos ambientais potenciais sobre alvos que vão desde aqueles restritos à trechos pequenos de rios até os amplamente distribuídos, como os peixes migradores, que necessitam da manutenção da conectividade desde os Andes à foz do rio Amazonas.

Em seguida, as camadas de fragmentação hídrica foram sumariadas para extensão geográfica das unidades de planejamento, por meio do valor médio dos sete níveis de bacia hidrográfica, resultando numa camada síntese dos efeitos da quebra de conectividade. Por fim, essa camada síntese foi reescalada para

variar de zero a um, dando origem ao *surrogate* da exposição aos impactos da fragmentação, que reflete o efeito aninhado de sucessivas quebras da escala local até a regional (Figura 10). Maiores detalhes, como fontes de dados e lógica de elaboração do índice, estão disponíveis no Apêndice C.



©Arquivo IBAMA / UHE de Taiaes Pires

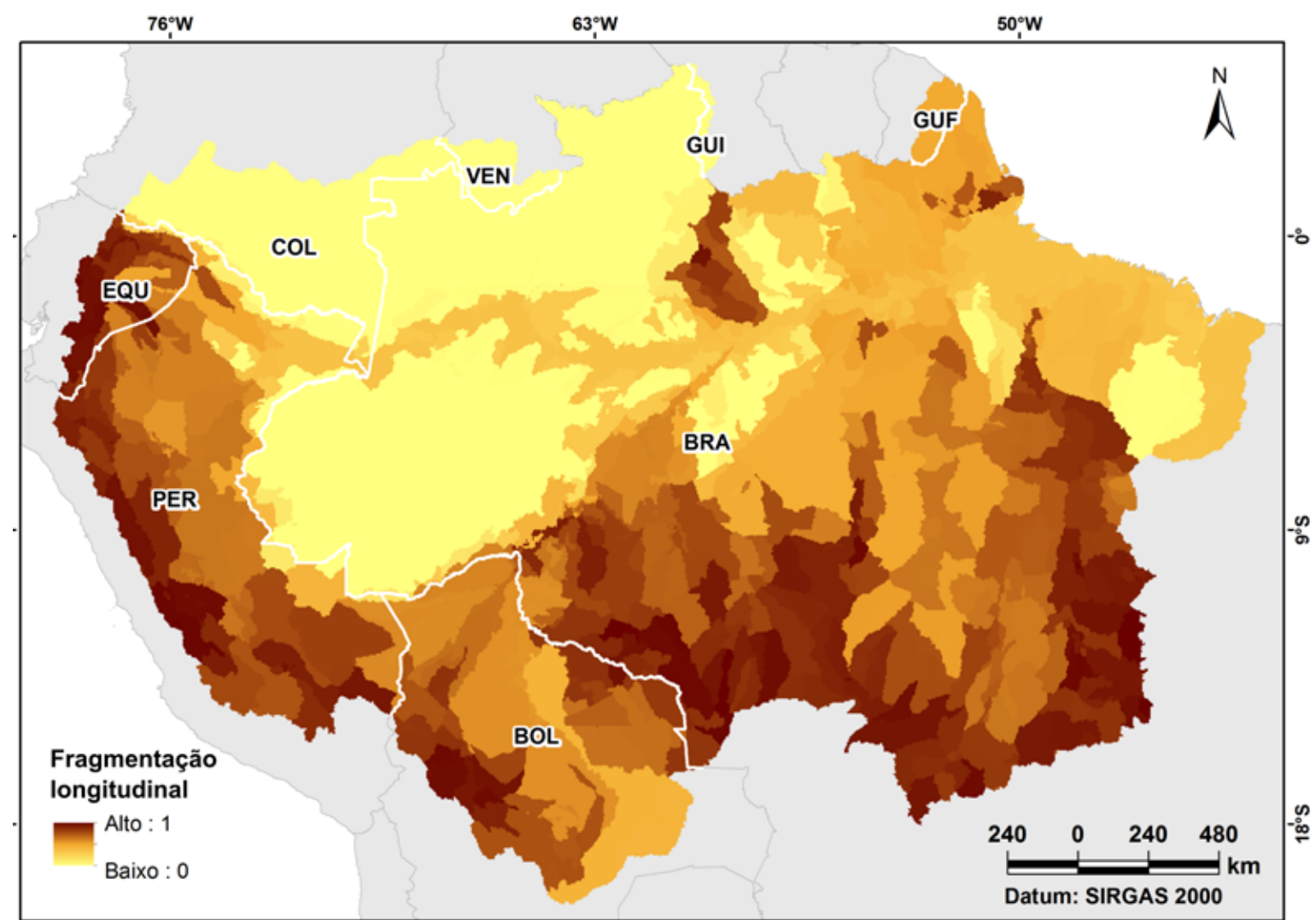


Figura 10. Representação espacial da fragmentação da conectividade hídrica da paisagem na região amazônica decorrente dos empreendimentos hidrelétricos existentes.

2.1.1.2 PERDA DE HABITAT

A eliminação de habitats é o resultado de atividades associadas à construção e operação dos empreendimentos hidrelétricos englobando desde a supressão da vegetação e de ambientes específicos como zonas úmidas, cachoeiras, corredeiras, cavidades naturais, dentre outros. A perda de habitat potencialmente atinge mais fortemente alvos de conservação de distribuição restrita e, em situações críticas, seus habitats podem ser totalmente destruídos.

Para representar espacialmente o impacto de perda de habitat utilizou-se a área da barragem, assumindo que todos os habi-

tats a ela sobrepostos foram eliminados, devido às drásticas alterações ambientais que tornam essas áreas incompatíveis para a manutenção das espécies sensíveis. Para tal, foi calculada a proporção de perda de habitat dentro de cada bacia hidrográfica, para sete escalas espaciais hierárquicas⁵⁴. De modo similar a metodologia aplicada ao impacto da fragmentação longitudinal foram construídas sete camadas espaciais padronizadas, cujos valores máximos representam, comparativamente, as bacias hidrográficas com maior área de habitats impactados pelo alagamento dos barramentos artificiais.

Em seguida, as camadas de perda habitat foram sumarizadas para a extensão geográfica das unidades de planejamento, por

meio do valor médio dos sete níveis de bacia hidrográfica, resultando numa camada síntese dos efeitos da perda de habitat. Este *surrogate* reflete o efeito cumulativo dos alagamentos de

habitat naturais aninhados para as escalas local e regional (Figura 11). Descrições detalhadas sobre fontes de dados e lógica de elaboração do índice são descritas no Apêndice C.



©Acervo IBAMA / Cachoeira de Santo Antônio do Jari durante a instalação da UHE

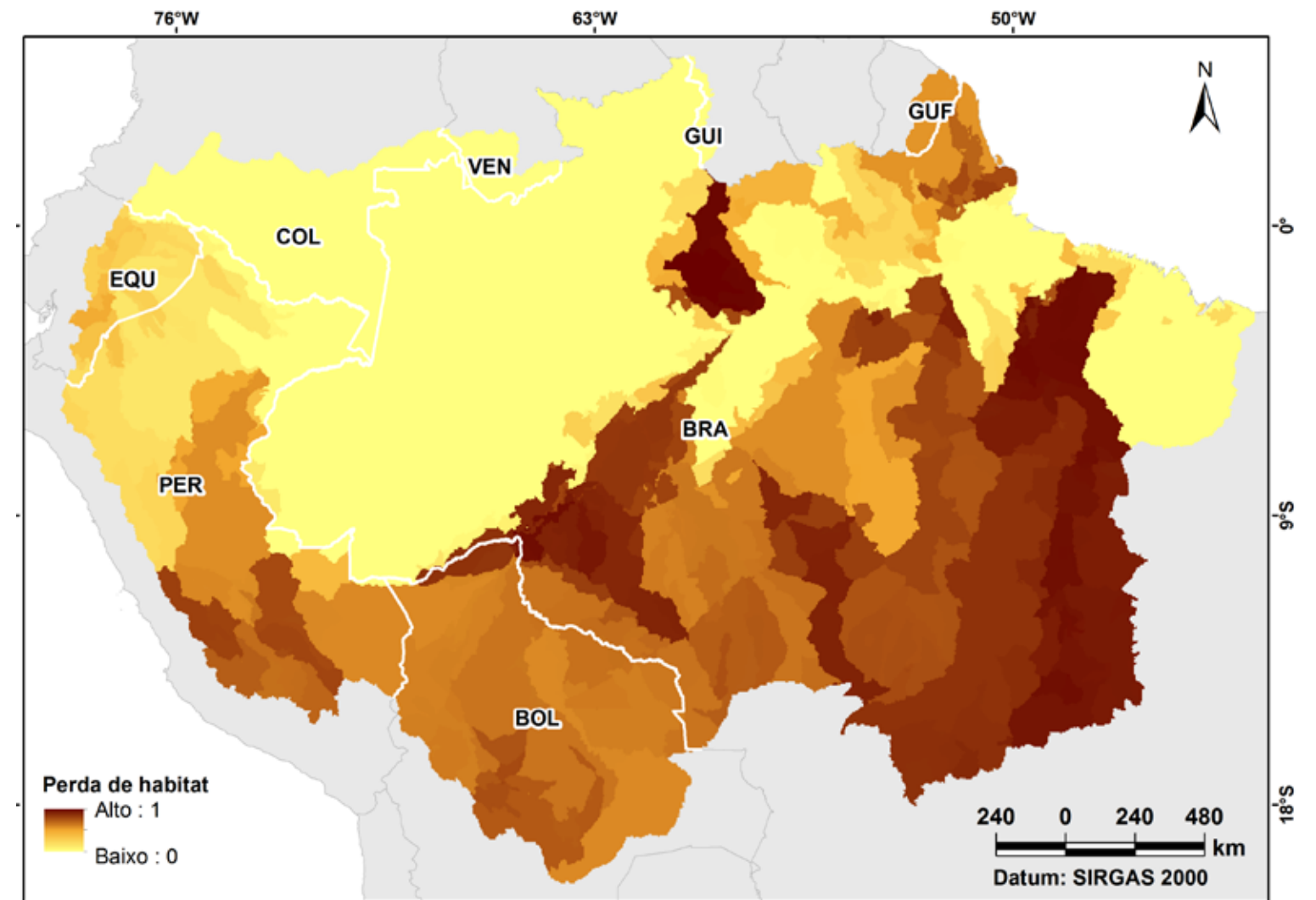


Figura 11. Representação espacial da perda de habitat acumulada dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.

2.1.1.3 DEGRADAÇÃO DE HABITAT

A degradação do habitat associada à construção de empreendimentos hidrelétricos é particularmente crítica para os organismos com limites específicos de tolerância e envolve, por exemplo, alterações no fluxo de sedimento dos rios, na geomorfologia, na regulação da vazão, no aumento da turbidez, na temperatura e velocidade dos rios, na concentração de oxigênio dissolvido no reservatório, ou no aumento da concentração de mercúrio na cadeia trófica^{27,28,57,79}. Além disso, gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono decorrente da decomposição de árvores mortas por inundação e o óxido nitroso, e, especialmente, o metano são emitidos pela água nos reservatórios, ou são carregados, ainda em solução na água, a jusante pelas turbinas e vertedouros²⁹. O represamento de sedimentos a montante da barragem leva à degradação do canal do rio a jusante, com

a eliminação de praias e remansos, a redução ou eliminação de vegetação marginal e invariavelmente resulta no aumento da degradação e erosão dos deltas costeiros devido a redução na entrada de sedimentos²⁵.

Para avaliar o potencial impacto derivado da retenção do fluxo anual de um rio devido a presença de reservatórios de barragens hidrelétricas, utilizou-se no PRIM-HA o índice conhecido como Grau de Regulação (*DOR - Degree of regulation*), que quantifica como o armazenamento de água em uma barragem ou conjunto de barragens pode alterar o regime de fluxo natural dos rios a jusante^{80,81}. O DOR foi adotado para apontar o nível de degradação de habitat, assumindo-se que altos valores de DOR indicam drásticas mudanças no fluxo natural de um curso d'água e, portanto, reflete a interferência humana na dinâmica entre o canal principal, a planície de inundação e as áreas ribeirinhas (dimensão lateral) em função dos barramen-



©Acervo Ibama

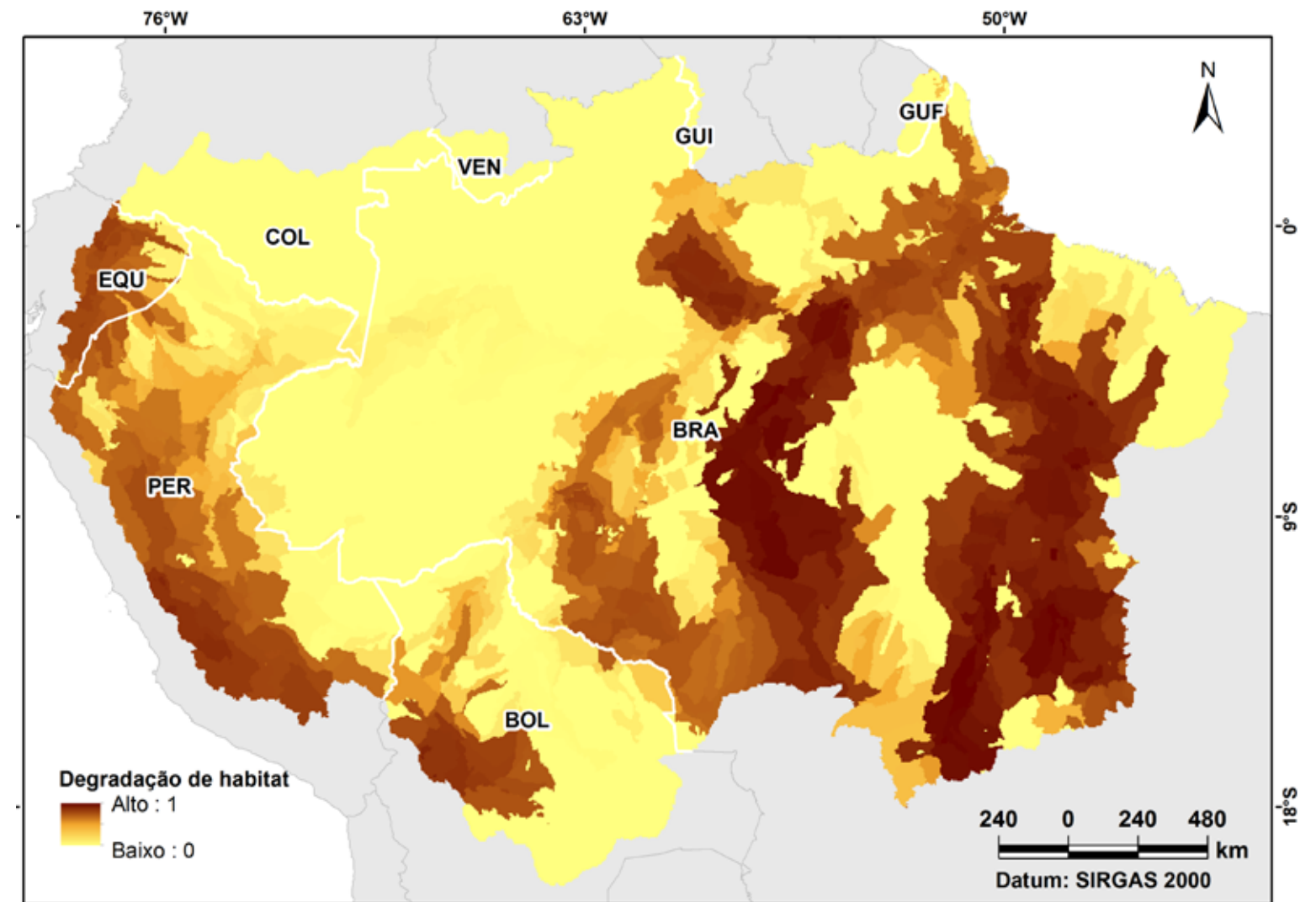


Figura 12. Representação espacial da degradação de habitat dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.

tos. Um valor DOR alto representa ainda uma probabilidade aumentada de que volumes substanciais de fluxo do rio possam ser armazenados ao longo de um determinado ano e liberados posteriormente. Um valor DOR de 100% significa que todo o fluxo anual pode ser armazenado, e valores maiores que 100% indicam capacidades de armazenamento de vários anos⁸¹.

Os valores do DOR foram obtidos para cada trecho de rio, calculados o valor médio por cada bacia hidrográfica Nível 5 e posteriormente para cada UP. O resultado final da camada de degradação de habitat é apresentado na figura 12. Mais detalhes como fontes de dados e métodos de análise são descritos no Apêndice C.

2.2 MAPA DE EXPOSIÇÃO DE IMPACTOS DE HIDRELÉTRICAS

O impacto cumulativo decorrente de empreendimentos hidrelétricos é representado pela média ponderada das camadas de perda, fragmentação e degradação de habitats (Figura 13), sendo o mapa final denominado: mapa de exposição de impactos de hidrelétricas (Figura 14). Nele, os valores são apresentados em quartis, divisão ordenada de dados em quatro partes com áreas iguais, para a categorização das unidades de planejamento em áreas de: extrema exposição aos impactos, alta exposição aos impactos, moderada exposição aos impactos e baixa exposição aos impactos.

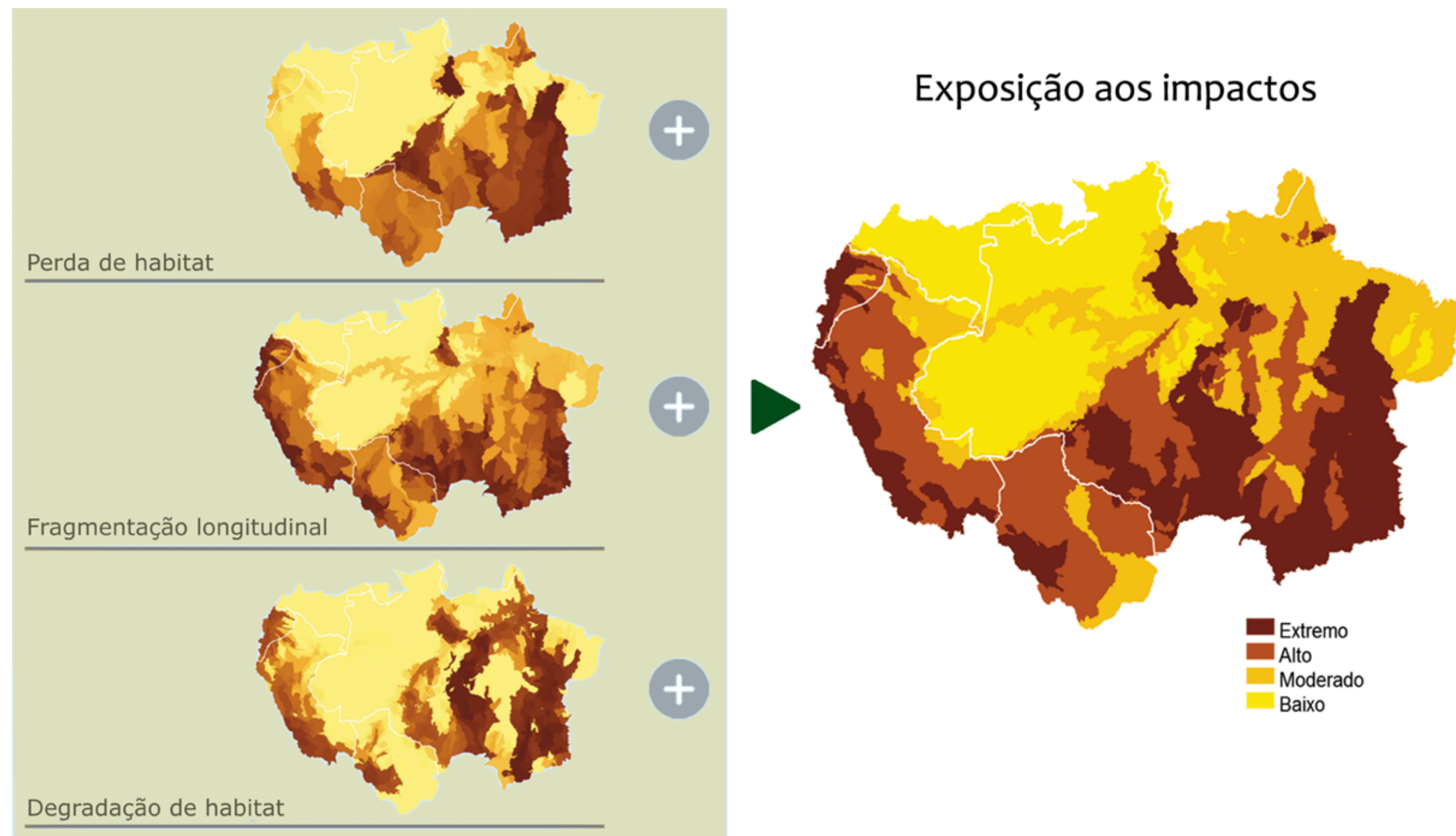


Figura 13. Modelo esquemático do processo de elaboração do mapa de exposição aos impactos no PRIM-HA.

As áreas da região amazônica nas quais estão as duas categorias de maior exposição aos impactos de empreendimentos hidrelétricos estão localizadas em toda a extensão da cadeia andina, nos escudos brasileiros, à oeste das planícies fluviais, nas faixas orogênicas e cráton do São Francisco e nas regiões central e extremo oeste do escudo das Guianas. A extensão das áreas consideradas como de “Extrema” exposição aos impactos de empreendimentos hidrelétricos é de 1.821.856 km², ocupando 376 das 1.544 UPs e sobreposta em maior proporção às bacias do rio Tocantins e Tapajós, assim como nas cabeceiras da bacia do rio Ucayali e bacia do rio Marañón. Além destas, outro destaque está na cadeia norte do rio Amazonas, expressivamente na sub-bacia do rio Uatumã. Nesta categoria de exposição aos impactos está quase a totalidade dos empreendimentos hidrelétricos existentes, especialmente as UHE que possuem grandes reservatórios e promotoras das maiores intervenções negativas na paisagem natural. Em seguida estão as 425 UPs com nível de exposição “Alto” que englobam 1.819.791 km² e são predominantemente encontradas nas bacias do rio Madeira, na região centro-leste da bacia do rio Ucayali e bacias do rio Marañón e Xingu.

Nas regiões que apresentam maior exposição aos impactos as forças promotoras ou características ambientais que suportam a expansão de empreendimentos hidrelétricos são variáveis. Por exemplo, a proliferação de barragens nas cabeceiras andinas da Amazônia é uma preocupação crescente que está diretamente ligada a alta precipitação anual e a topografia íngreme que facilita a criação de reservatórios de armazenamento profundos com alta carga hidráulica²⁵, aproveitado por dezenas de pequenas usinas (CGHs e PCHs) e sem que necessariamente haja formação de grandes reservatórios nos principais afluentes andinos. Logo o impacto predominante na cadeia andina é o de fragmentação longitudinal (Figura 14). O agravamento deste cenário com aumento dos impactos de perda e degradação de ha-

bitats decorreriam da efetivação das potenciais barragens de armazenamento de paredes altas para os rios Marañón, Ucayali e Beni¹⁸. A elevada exposição aos impactos na cadeia andina teria implicações à jusante nas zonas úmidas e na biota em função das alterações nos ciclos hidrológicos, de sedimentos e de nutrientes^{25,26,70}, mas em especial para os peixes migradores de longa distância cuja área de vida estende-se até o sopé da montanha, afetando a persistência destas espécies e consequentemente a pesca nas terras baixas da bacia⁷⁷.

Uma extensa área de Muito Alta e Alta exposição aos impactos está nas bacias do Tapajós, Xingu e Tocantins que se sobrepõe a região dos escudos brasileiros e faixas orogênicas. A montante dos principais afluentes que compõe ambas bacias há um elevado desnível altimétrico e neste terreno bastante acidentado os cursos de água desenharam em seu trajeto descendente numerosas quedas d’água, corredeiras e cachoeiras^{82,83}. As características geomorfológicas da região, aliada a uma descarga média anual de 11.800, 9.700 e 13.000 m³/sec respectivamente para os rios Tapajós, Xingu e Tocantins⁸⁴ representam um potencial hidrelétrico bastante cobiçado. A implantação de empreendimentos hidrelétricos nestas bacias foi impulsionada para atender à necessidade de energia elétrica na região Norte do país, principalmente à demanda da indústria de exploração mineral nacional e internacional e fomentar o desenvolvimento econômico, em especial dos estados do Pará e Tocantins^{29,85,86}. Ademais empreendimentos hidrelétricos nesta área são estratégicos ao Sistema Interligado Nacional do Brasil pelo incremento na produção e pela posição que ocupa em relação às principais áreas consumidoras do restante do país, sobretudo da região sudeste⁸⁷. Aí estão presentes sinergicamente os três tipos de impactos considerados no PRIM-HA. Nas regiões de cabeceira são frequentemente dispostas as PCHs fragmentando fortemente a rede de drenagem. Além disso, grandes barragens como a da UHE Serra da Mesa, Tucuruí e

Belo Monte incrementam os valores de exposição da região aos impactos de perda e degradação de habitat. Este último ainda mais relevante, pois implica na regularização de rios com marcadas variações sazonais.

Outra região com Alta e Muito Alta exposição aos impactos está na Planície Amazônica, mais precisamente na sub-bacia de Uatumã, na qual também se localiza a UHE Balbina. Balbina apresenta uma área inundada de 2.360 km², com extensão de 210 km e profundidade média de 7,5 m. Por estar situada em uma região de planície e com área alagada muito extensa e rasa, a barragem apresenta mais 3.500 ilhas isoladas⁸⁸. Esta configuração é responsável por uma série de impactos sobre a região que levou a extinções locais de populações nativas de vertebrados de médio e grande porte e contribuiu para redução da taxa de dispersão de

sementes e peixes^{88,89}. Com a presença de inúmeras baías na área do reservatório, o tempo de permanência de águas paradas é de cerca de um ano, elevando a degradação ambiental pelo aumento na acidez da água causado pela decomposição da vegetação submersa e pela emissão de gás carbônico e metano^{90,91}.

O nível “Moderado” de exposição aos impactos de hidrelétricas é encontrado em 368 UPs e alcançam 1.824.147 km². Ocorre por toda planície amazônica e nas bacias costeiras, um reflexo do efeito cumulativo dos impactos que incidem sobre as bacias das categorias mais altas de exposição. O nível “Baixo” de exposição aos impactos de hidrelétricas é atribuído a 375 UPs que possuem 1.823.323 km², fortemente concentradas nas bacias do rio Purus, do rio Negro, Juruá, Javari e Japurá-Caquetá.



@Acervo IBAMA / UHE Santo Antônio do Jari

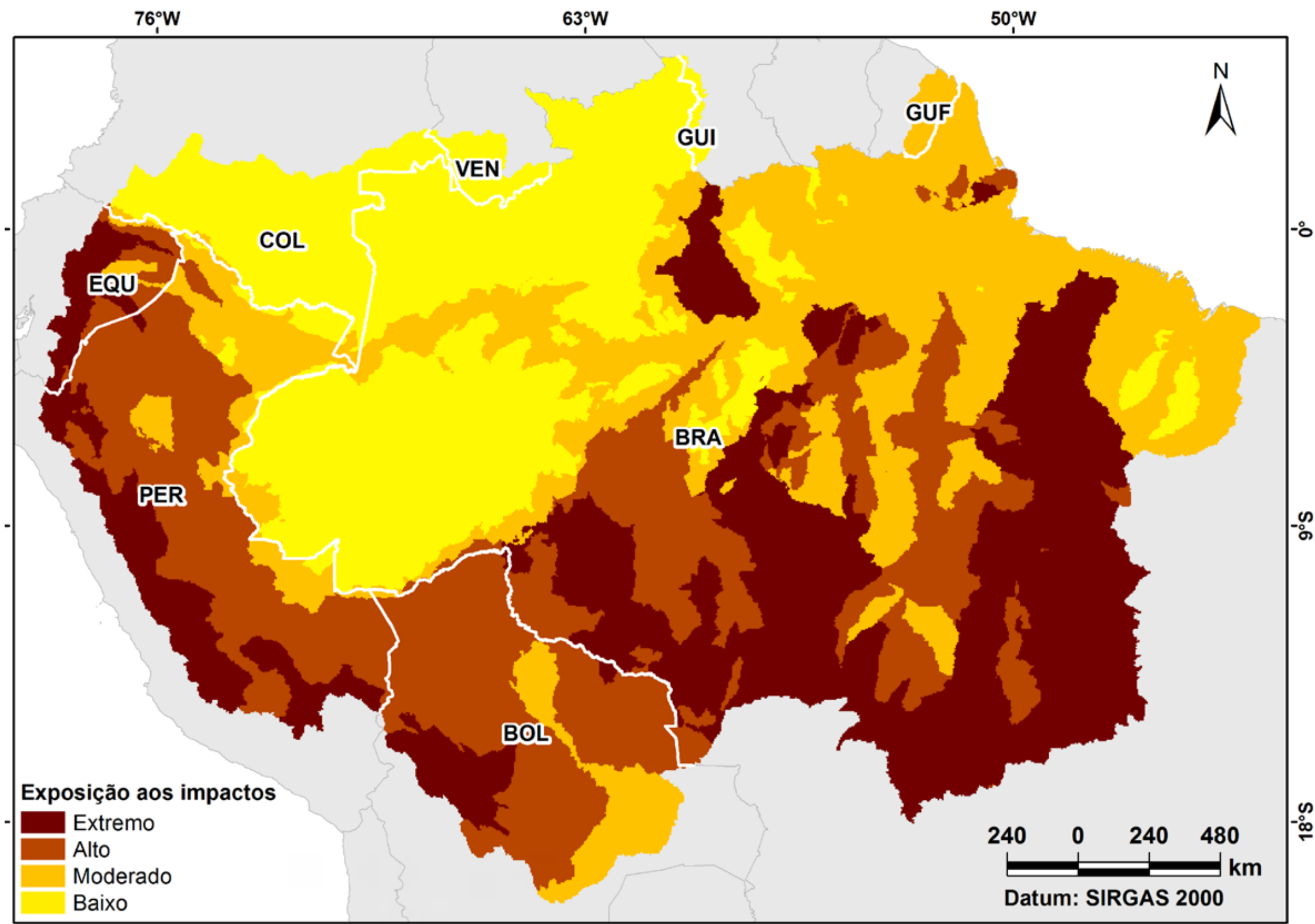


Figura 14. Representação espacial da exposição dos impactos dos empreendimentos hidrelétricos existentes na região amazônica.



SEÇÃO III

ÁREAS DE SENSIBILIDADE DA BIODIVERSIDADE AOS
IMPACTOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

3. ÁREAS DE SENSIBILIDADE DA BIODIVERSIDADE AOS IMPACTOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

Um dos principais produtos do PRIM-HA é a hierarquização da paisagem de acordo com a sensibilidade dos alvos de conservação, a partir de análises de planejamento sistemático da conservação - PSC⁵⁰. O PSC envolve métodos analíticos quantitativos robustos que consideram os diferentes aspectos da biodiversidade (espécies, habitats, paisagens, processos ecológicos, etc.) e a ocupação do território.

No PRIM-HA, para a construção do gradiente de sensibilidade da biodiversidade são utilizados a distribuição dos componentes da biodiversidade considerados sensíveis à empreendimentos hidrelétricos, informações sobre seus diferentes graus de sensibilidade, comportamentos das espécies migratórias e a condição da paisagem. Esta última representa os aspectos de uso de solo que favorecem ou reduzem a permanência dos alvos de conservação na paisagem. Tais dados, in-

seridos na análise de PSC, resultam na hierarquização de áreas sensíveis à empreendimentos hidrelétricos, expresso pelo Índice de Sensibilidade Biológica cujos valores são obtidos por unidade de planejamento. Toda a área de estudo é então classificada desde aquelas UPs extremamente sensíveis aos impactos de hidrelétricas até as menos preocupantes.

3.1 ALVOS DE CONSERVAÇÃO

Os alvos de conservação do PRIM-HA englobam quatro componentes da biodiversidade, diretamente afetados por empreendimentos hidrelétricos: fauna, flora, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos (Figura 15). Alvos de conservação possuem valor intrínseco de sensibilidade biológica, relacionado a sua capacidade de resistência e resiliência frente aos impactos negativos de uma ameaça. A capacidade adaptativa às novas pressões do ambiente de um alvo sensível determinará a sua manutenção ou o seu declínio. Portanto, quanto menor a resistência ou a resiliência a um impacto, maior a sensibilidade. E quanto maior a exposição aos impactos e menor a capacidade adaptativa dos alvos de conservação em uma determinada área, mais vulneráveis estarão à extinção.

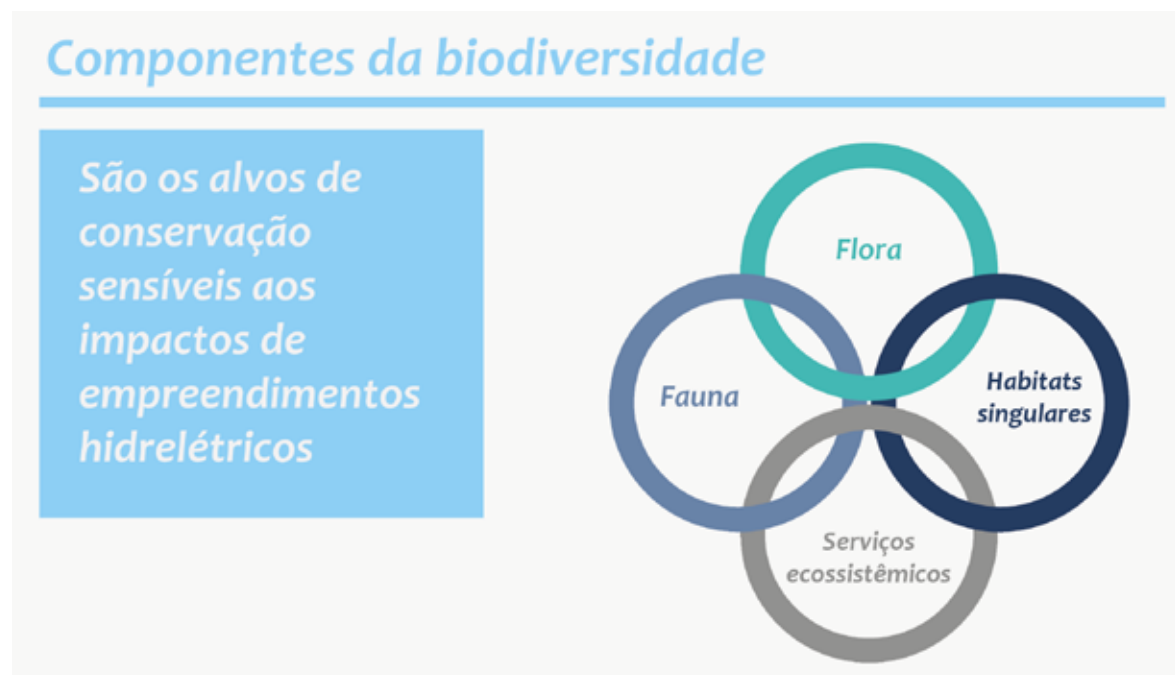


Figura 15. Componentes da biodiversidade.

Uma etapa crucial para a determinação da sensibilidade da biodiversidade é a seleção de alvos de conservação que inclua apenas aqueles realmente sensíveis à ameaça. Assim refina-se o número de espécies, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos na análise, retirando alvos que sejam tolerantes aos empreendimentos hidrelétricos, isto é, de sensibilidade nula e que potencialmente viesariam a priorização de esforços de conservação. Ressalta-se que foram considerados elegíveis como alvos de conservação aqueles diretamente afetados por ao menos um dos três impactos diretos de empreendimentos hidrelétricos.

3.1.1 SELEÇÃO DOS ALVOS DE CONSERVAÇÃO

A seleção dos alvos de conservação deve observar quais dos componentes da biodiversidade são diretamente afetados pelos impactos potenciais do vetor de ameaça em questão³ (Figura 16-D). Assim, no contexto do PRIM-HA foi determinado que: (i) o vetor de ameaça são os empreendimentos hidrelétricos (Figura 16 A); (ii) que causam os impactos potenciais de perda, fragmentação ou degradação de habitat (Figura 16 B); (iii) expõe diretamente ambientes aquáticos e terrestres (como rios, lagos, áreas de várzeas e suas margens) (Figura 16 C); (iv) impactando negativamente a fauna, a flora e ambientes singulares ali presentes e comprometendo os serviços ecossistêmicos prestados por estes; e (v) que é necessário estimar a magnitude sobre cada um destes componentes da biodiversidade (Figura 16 D). A sequência de análise que envolve o processo de seleção dos alvos de conservação sensíveis aos impactos de hidrelétricas e de classificação de sensibilidade é representada na Figura 16, sendo repetida para cada impacto potencial (Figura 16 B) em cada ambiente (Figura 16 C).

A indicação da lista de espécies sensíveis da fauna e da flora aos impactos de empreendimentos hidrelétricos



©Kennedy Borges / Agamnia agami

foi realizada pelos CNPCs/ICMBio e pelo CNCFlora/JBRJ, respectivamente, seguindo o fluxograma para a determinação dos alvos de conservação. Estes Centros de Pesquisa contam com a expertise de pesquisadores dos grupos taxonômicos e são responsáveis pelo acionamento da rede de colaboradores dos demais institutos e universidades. Estes colaboradores são consultados não só nos processos de seleção e avaliação da sensibilidade dos alvos de conservação dos PRIMs (ver tópico 3.1.2), como também na análise de comportamento migratório (ver tópico 3.1.3) e na validação da representação espacial (ver tópico 3.1.4). Excepcionalmente, na seleção das espécies com distribuição restrita à região amazônica, mas fora do território nacional, foram consideradas as ameaçadas por reservatórios de hidrelétricas de acordo com a avaliação de estado de conservação realizada pela IUCN¹, desde que pelo menos 90% de sua distribuição estivesse dentro da área do PRIM-HA. Os componentes ambientes singulares e serviços ecossistêmicos foram indicados por pesquisadores colaboradores durante a Oficina do PRIM-HA.

¹ Consulta realizada a base de dados da IUCN (<https://www.iucnredlist.org/>) em Maio de 2017

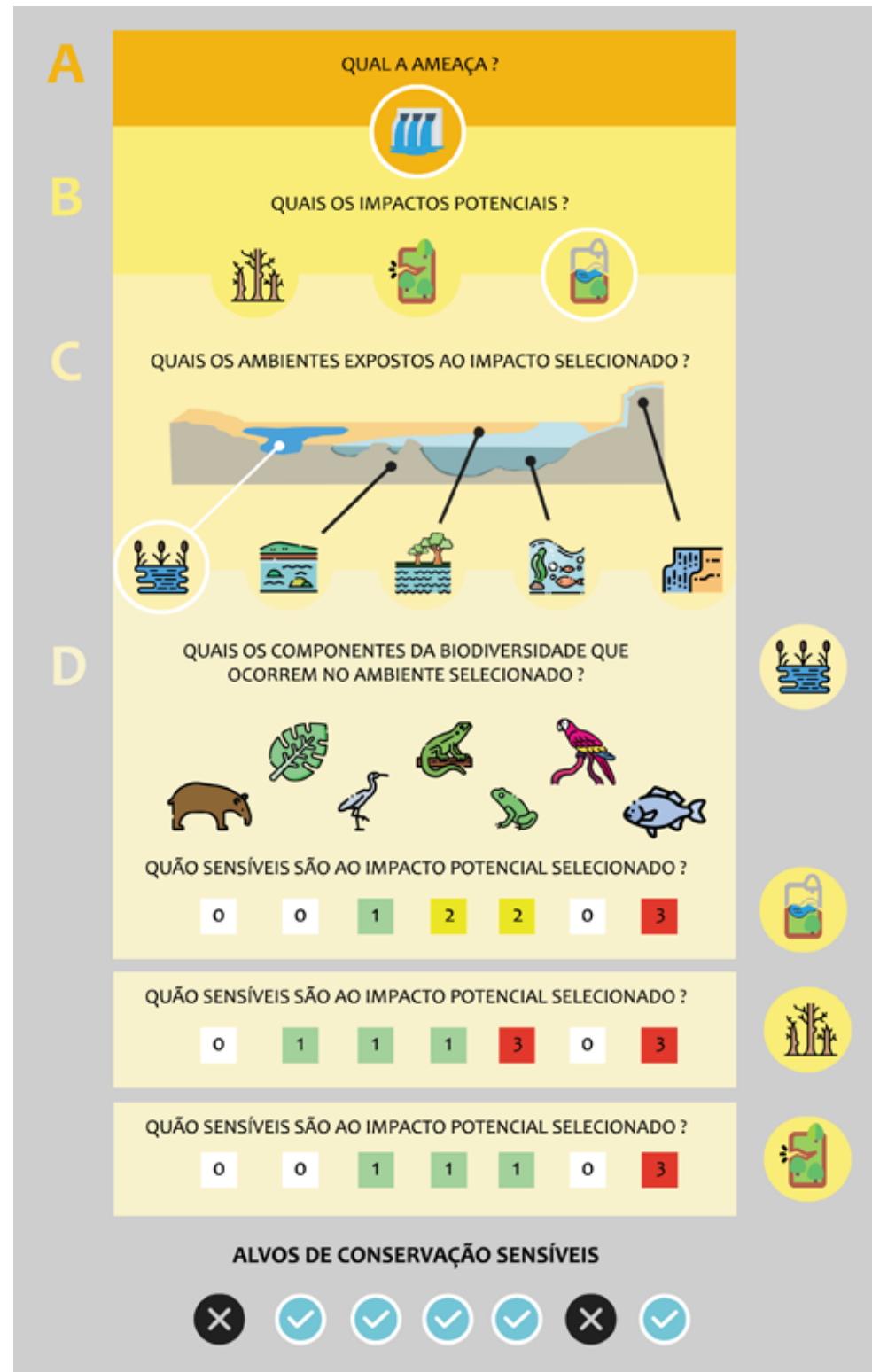


Figura 16. Fluxograma do processo de seleção de alvos de conservação da fauna e flora sensíveis à ameaça, apresentados na sequência de ocorrência: A) Determinação do vetor de ameaça à biodiversidade; B) Identificação dos impactos da ameaça; C) Levantamento dos ambientes D) Estimativa de sensibilidade para cada alvo.

3.1.1.1 FAUNA E FLORA

As espécies da fauna sensíveis a empreendimentos hidrelétricos são predominantemente aquáticas, semiaquáticas e, entre as terrestres, de distribuição restrita e baixa capacidade de dispersão, endêmicas ou que exibem áreas preferenciais de forrageamento e reprodução e que, portanto, podem ser localmente suprimidas diante do impacto. Os peixes figuram como o grupo taxonômico com maior número de espécies sensíveis, o que em parte reflete a contribuição do grupo para a biodiversidade amazônica (a região abarca cerca de 15% da ictiofauna de água doce do mundo e 80% da ictiofauna brasileira)⁷¹, assim como inclui muitas espécies do Cerrado nas bacias que guardam as áreas de transição para este bioma. Importantes lacunas de proteção têm sido identificadas para espécies aquáticas amazônicas, o que demanda o estabelecimento de estratégias de conservação direcionadas, especialmente para peixes e quelônios⁹². Além das pressões ambientais às populações relacionadas à qualidade e disponibilidade de habitat, há ainda questões socioeconômicas: peixes constituem a principal fonte de alimentação e renda da população local, cujo consumo ‘per capita’ supera a ordem de 100 kg ano⁻¹, mais de seis vezes a média mundial, enquanto quelônios tem relevante papel na alimentação de povos indígenas e ribeirinhos^{93,94}. Por sua vez, vertebrados terrestres desempenham funções ecológicas essenciais como grandes predadores, herbívoros, frugívoros e dispersores de sementes⁸⁸. Espécies, aquáticas ou terrestres, são ainda relevantes como indicadoras da integridade dos habitats e da riqueza de espécies que compartilham seus habitats e recursos e para as quais há carência ou mesmo ausência de informações ecológicas.



©Leandro Sousa / Pituco xinguensis



©Daniel Maurenza / Chresta souze

A região amazônica engloba a maior área de floresta contínua do planeta com uma impressionante diversidade florística, ainda pouco conhecida⁹⁵, mas que até então foram distribuídas entre 53 diferentes famílias, todas ameaçadas de extinção. A eliminação de indivíduos da flora nativa e a diminuição pontual de suas populações decorrentes da perda de habitat associada ao alagamento dos reservatórios hidrelétricos podem acarretar a redução de diversidade genética dessas espécies, efeito de borda e a perda de relações interespecíficas como as interações de polinização e dispersão com a fauna silvestre. Tais fatores juntos culminariam em uma drástica erosão florística com declínios da diversidade taxonômica e funcional⁹⁶⁻⁹⁸.

No PRIM-HA foram identificadas um total de 293 espécies da fauna e 219 espécies da flora diretamente afetadas por empreendimentos hidrelétricos (Figura 17). Entre as espécies da fauna selecionadas como alvos, 57% são ameaçadas de extinção^{99,100} e 43% categorizadas como não ameaçadas. Destes 293 alvos, 158 espécies são contempladas em Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção - PAN (Informações detalhadas disponíveis no Material Suplementar). Já em relação às espécies da flora, todas as que foram consideradas sensíveis são ameaçadas de extinção, sendo 17% categorizadas como Criticamente em Perigo (CR), 45% como Em Perigo (EN), 38% são vulneráveis (VU).

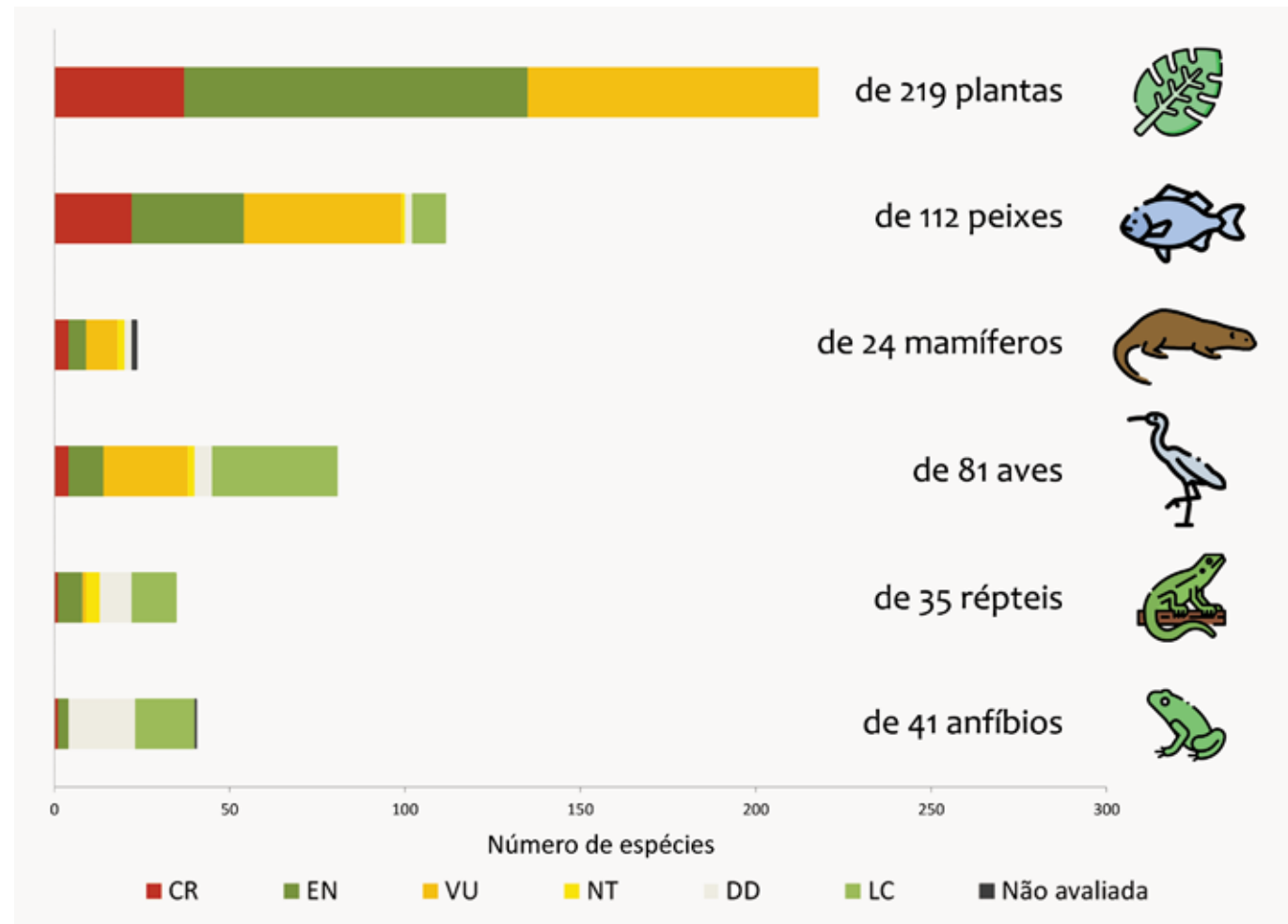


Figura 17. Alvos de conservação do PRIM-HA por categoria de risco de extinção.

3.1.1.2 AMBIENTES SINGULARES E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Os componentes ambientes singulares e serviços ecossistêmicos foram indicados por pesquisadores colaboradores durante a Oficina do PRIM-HA. Os habitats singulares incluem as zonas úmidas, corredeiras, cachoeiras, cavidades subterrâneas, fitofisionomias, praias e tabuleiros potencialmente utilizados por quelônios, áreas de encontro de águas e as Áreas importantes para a Conservação das Aves e Biodiversidade (IBAs - Important Bird and Biodiversity Areas)¹⁰¹. Por sua vez, os serviços ecossistêmicos selecionados como alvos de conservação foram a evapotranspiração e o estoque de carbono no solo.

As zonas úmidas, também conhecidas como áreas de várzea, são sistemas de transição entre os ecossistemas aquático e terrestre sendo compostos por um mosaico de florestas, lagos, canais e paleocanais inundados sazonalmente pelos rios principais¹⁰². São caracterizadas geralmente por possuírem solos hidromórficos e mal drenados, sedimentos compostos por substratos pouco consolidados, e uma coluna d'água que reflete as propriedades físico-químicas da massa de água predominante no sistema¹⁰³. Na região amazônica as zonas úmidas cobrem áreas muito vastas e um exemplo disto é a extensão de 98.110 km² da planície de inundação do rio Amazonas (ver representação em Figura 7)¹⁰⁴. As zonas úmidas são o habitat de várias macrófitas aquáticas, bem como de outras espé-

cies de plantas, invertebrados e peixes, muitos deles endêmicos^{66,105,106}. São também associadas ao fornecimento de muitos serviços ambientais como o armazenamento de água, o amortecimento da descarga fluvial, a recarga de água subterrânea, a retenção de sedimentos, a purificação de água, a regulação do microclima, a recreação e o ecoturismo, o armazenamento de carbono orgânico, a produção de madeira e de produtos não-madeireiros, a presença das plantas medicinais e de importância social por abrigar muitas comunidades tradicionais^{103,104}.

Às margens de muitos tributários das terras baixas amazônicas são encontrados depósitos aluvionares constituídos de sedimentos arenosos que formam praias e tabuleiros de extensões a vazante dos rios¹⁰⁷. Muitos destes bancos de areia são importantes sítios de desova dos quelônios amazônicos e por isso considerados áreas estratégicas de conservação¹⁰⁸. Há evidências de que a escolha dos locais de nidificação não é aleatória e combina características fisiológicas das fêmeas adultas e das ninhadas às características do ambiente (hídrico e térmico), que influenciam a embriogênese¹⁰⁹. Assim tais habitats podem ser de importância única para nidificação e essenciais para conservação dos quelônios, tanto em termos de manutenção da biodiversidade, quanto por ser um importante recurso utilizado há décadas por populações tradicionais para fins alimentares, comerciais e simbólicos¹¹⁰.

Cachoeiras e corredeiras são formações com características geomorfológicas únicas que geram mudanças naturais no fluxo dos rios. As cachoeiras se formam quando os rios cruzam os limites litológicos, ou através de uma perturbação externa (alôgena) à topografia do leito do rio¹¹¹, enquanto corredeiras são definidas como seções de rio de escoamento supercrítico, onde a tensão superficial quebra na interface água/ar¹¹² e são caracterizadas não apenas por alta velocidade, mas também por fluxo de água altamente heterogêneo. As corredeiras possuem águas ricas em oxigênio e uma matriz de substrato muito complexa formada por lajes rochosas, cavernas, rachaduras e fendas com troncos de árvores alojados que abrigam uma base altamente diversa de nichos⁶³. Na região amazônica estão presentes nos

afluentes do rio Amazonas que descem os escudos do Brasil e da Guiana, cortando a superfície rochosa e juntas formam os chamados habitats reófilos, com uma diversidade biológica significativa, endêmica e adaptada à turbulência dos cursos d'água.

Os rios amazônicos apresentam características distintas na coloração e na transparência da água, associadas às variáveis físico-químicas (pH, alcalinidade, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido e matéria orgânica dissolvida), biológicas e geológicas, em parte devido aos sedimentos trocados en-



©Acervo Parana de Anavilhanas / Parque Nacional de Anavilhanas

tre os canais de rios e planícies de inundação. Isso permite sua classificação em três tipos de rios: de água branca, água clara (ou de água limpa) e água preta^{113,114}. Os rios de água branca apresentam considerável quantidade de argila em suspensão, como os rios Amazonas, Madeira, Purus e Trombetas. Rios de água preta, como o rio Negro drenam áreas cobertas por uma floresta característica de inundação (igapós) que fornecem substâncias húmicas coloidais derivadas da matéria orgânica em decomposição, não transportando sedimentos. Os rios de águas claras praticamente não transportam sedimentos, mas apresentam uma cor esverdeada nos trechos profundos e verde-esmeralda nas partes rasas, com fundo de areia branca. São tipicamente exemplificados pelos rios Tapajós e seus formadores Juruena, São Manuel, Teles Pires, e o Xingu e seu afluente Iriri¹¹⁵.

As regiões amazônicas em que ocorrem o encontro de águas destes três tipos de rios se destacam na paisagem hídrica formando sistemas ímpares e, no PRIM-HA, tais pontos de confluência foram indicados como um alvo de conservação. Nestas áreas ocorre o aporte suplementar de nutrientes e energia pelo tributário, a justaposição de ambientes, a elevada heterogeneidade ambiental, a promoção de picos de diversidade biológica e de produtividade. Além disso, tais pontos formam nós na rede de drenagem que fornecem acesso ao fluxo principal para espécies migratórias^{116,117}.

As cavidades naturais subterrâneas são ocorrências geológicas que incluem as cavernas, grutas, abrigos sob rocha, lapas e, no Brasil, são consideradas como um patrimônio espeleológico (Art 20, X, Constituição Federal do Brasil)². Além da sua importância geológica, espeleológica, cultural (paleontológica e arqueológica) e para a recarga de aquíferos, destacam-se por serem habitats para um vasto número de espécies troglóbias, raras e endêmicas. Assim como a proteção das espécies ameaçadas, também a conservação do patrimônio espeleológico e espécies associadas é uma das atribuições legais do ICMBio². Em território nacional o número de cavernas para a região amazônica somam 4.916, existindo certa concentração na Amazônia oriental, principalmente na região de Carajás e na bacia do Tocantins¹¹⁸.

As florestas tropicais amazônicas representam 2/3 das florestas úmidas do planeta. São formadas por diferentes unidades fitogeográficas, condicionadas por vários fatores fisiográficos, pedológicos e microclimáticos, que contribuíram para o surgimento de várias fitofisionomias, isto é, diferentes ecossistemas vegetacionais tais como a floresta de terra firme, floresta de várzea, floresta de igapó, restingas litorâneas, mangues, savanas campinaranas e campinas¹¹⁹. Estas fitofisionomias, assim como os demais ambientes singulares, foram considerados alvos de conservação, tanto pelo valor intrínseco quanto por serem substitutos às espécies da flora e fauna não identificados como suficientemente sensíveis para serem considerados como alvos individuais e que deste modo são indiretamente incorporados na análise.

As Áreas Importantes para a Conservação das Aves (IBAs) formam uma rede de áreas críticas para a proteção e conservação das aves e a biodiversidade em geral¹²⁰. As IBAs fazem parte da estratégia mundial da BirdLife International e são identificadas com base na aplicação de um conjunto de critérios objetivos e padronizados globalmente, que considera a presença de espécies de interesse global de conservação, comunidades de distribuição restrita, espécies restritas a um bioma e grandes concentrações de espécies congregatórias¹²¹. Em todo mundo já foram identificadas 12.000 IBAs em 200 países sendo na região amazônica do PRIM-HA encontradas 256 destas.

Os serviços ecossistêmicos são benefícios trazidos pelos ecossistemas à sociedade e no PRIM-HA foram selecionados como alvo de conservação a evapotranspiração e o estoque de carbono no solo, ambos classificados como fornecedores de serviços de regulação e prestados de forma mais intensa nas formações florestais naturais. A substituição de ecossistemas naturais em regiões tropicais para outros usos de solo promove a redução da evapotranspiração, afetando o equilíbrio hidrológico e climático, além de favorecer as perdas de carbono do solo e a fertilidade, aumentando as emissões de CO₂ do solo para atmosfera, numa retroalimentação significativa que intensifica o efeito estufa¹²².

A evapotranspiração da floresta amazônica representa uma das principais fontes de vapor d'água para a bacia e para o continente sul americano com um papel fundamental no processo de geração de precipitação^{123,124}. Além disso, a contribuição da evapotranspiração local representa uma porção significativa do balanço de água regional, e exerce papel de destaque no ciclo hidrológico amazônico ao influenciar os padrões espaciais de umidade do solo, de produtividade e a ocorrência de eventos extremos, tais como enchentes e secas^{124,125}.

Diferentes processos ecológicos essenciais para o funcionamento de ambientes aquáticos e terrestres ocorrem no solo, que por este motivo tem um importante papel nos serviços ecossistêmicos. No solo, o carbono orgânico (CO) confere estabilidade à estrutura e aumenta a sua capacidade de retenção de água, além de ser o principal recurso para as atividades da comunidade microbia-

na^{126,127}. O estoque de carbono é considerado um grande indicador de serviço ecossistêmico prestado pelo solo, classificado nas categorias de suporte, provisão e regulação¹²⁸. Sua mensuração permite assim avaliar o efeito das mudanças no uso do solo e ciclo do carbono, especialmente na região amazônica com a perda de habitats naturais e avanço dos desmatamentos¹²⁹.

No total foram preparadas 251 camadas espaciais representativas para os ambientes singulares, enquanto duas representaram os serviços ecossistêmicos (Figura 18). As descrições da metodologia de espacialização destas camadas e fonte de dados estão disponíveis no Apêndice E. Todavia, alguns dos ambientes singulares e serviços ecossistêmicos indicados na oficina do PRIM-HA não foram incluídos devido a indisponibilidade de informações especializadas para toda área de estudo. A relação destas pode ser consultada na seção VI – Lacunas de conhecimento.



Figura 18. Alvos de conservação dos componentes ambientes singulares e serviços ecossistêmicos e respectivos números de camadas espaciais.

3.1.2 GRAU DE SENSIBILIDADE DOS ALVOS

O PRIM-HA considera que os quatro componentes da biodiversidade (fauna, flora, ambientes singulares e serviços ecossistêmicos) são igualmente sensíveis às hidrelétricas e de mesma relevância para a conservação. Portanto, nesta abordagem, o somatório dos pesos de cada componente tem igual valor, independentemente da quantidade de alvos.

A sensibilidade dos alvos dentro de cada componente da biodiversidade pode, todavia, variar amplamente para cada tipo de impacto provocado pelos empreendimentos hidrelétricos. Por exemplo, alguns alvos do componente de fauna podem ser fortemente impactados pela perda de habitat (ex. peixes rivulídeos)

sendo pouco susceptíveis à quebra de conectividade resultante da fragmentação fragmentação longitudinal. Por outro lado, outros alvos podem ser fortemente impactados pela fragmentação e menos pela perda de habitat (ex. peixes migradores). Existem ainda alguns alvos que podem ser bastante tolerantes à degradação do habitat decorrente da construção de barramentos, enquanto outros são típicos de ambientes lóticos e podem ser fortemente impactados. Desta forma, considerou-se importante, e mais ecologicamente realista, inserir na priorização das áreas pesos que representem o grau de sensibilidade dos alvos a cada tipo de impacto. Os critérios para estabelecimento destes pesos são descritos a seguir.



@Leandro Sousa / Parancistus nudiventris

3.1.2.1 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS ALVOS DE CONSERVAÇÃO DENTRO DOS COMPONENTES DA BIODIVERSIDADE

A definição de pesos é uma importante etapa nas análises de PSC pois permite atribuir prioridades entre os alvos de conservação em um processo decisório que influencia o equilíbrio entre os recursos na solução de priorização¹³⁰. Com relação à atribuição desses pesos entre os quatro componentes da biodiversidade (fauna, flora, serviços ecossistêmicos e ambientes singulares), optou-se por um mesmo peso (100) sinalizando, assim, que a conservação de todos, como meta, deve ser priorizada igualmente (ver exemplo no Apêndice D). Esta atribuição

de pesos é também realizada dentro de cada componente da biodiversidade por critérios acordados na Oficina Preparatória, com a ressalva de que cada componente detém peso equitativo para remediar a grande variação no número de alvos que cada componente abarca (ver exemplo no Apêndice D).

A distribuição de pesos das espécies da flora e da fauna foi obtida a partir da média ponderada das pontuações recebidas em diferentes critérios: (I) estado de conservação geral das espécies, segundo a classificação publicada em 2014 nas Portarias MMA n° 443, 444 e 445^{99,100,131}; (II) a representatividade dos alvos nas áreas protegidas, estimada a partir do cálculo da proporção da distribuição de



@Cal Martins / Cercomacra ferdinandi

cada espécie da fauna e flora não sobreposta a uma UC, (III) Sensibilidade à perda de habitat e, apenas para as espécies da fauna, também a (IV) Sensibilidade à fragmentação longitudinal e (V) Sensibilidade degradação do habitat (ver exemplo no Apêndice D).

Nos ambientes singulares foi atribuído o maior peso à camada de zonas úmidas, enquanto os menores valores foram indicados para as áreas de caverna e IBAS. Já para os serviços ecossistêmicos foram aplicados pesos iguais entre os dois alvos (evapotranspiração e estoque de carbono no solo) deste componente da biodiversidade. Os valores dos pesos atribuídos para cada alvo de conservação, bem como sua importância biológica, estão apresentados no Apêndice D.

A resposta da fauna e flora aos critérios relacionados aos impactos foi estimada por especialistas dos CNPCs/ICMBio e do CNCFlora/JBRJ. Em relação aos critérios relacionados aos impactos (III-V), cada espécie foi classificada em quatro níveis de sensibilidade:

- *Sensibilidade nula* – não há constatação ou evidência de que o critério prejudique a espécie, visto que o impacto não reduz significativamente a capacidade de manutenção das populações.
- *Sensibilidade baixa* – há constatação ou evidência de que o critério prejudique a espécie, porém com aparente tolerância aos empreendimentos hidrelétricos, podendo gerar extinções locais a longo prazo se somado a outros impactos.
- *Sensibilidade moderada* – há constatação ou evidência de que o critério prejudique a espécie, apresentando relação adversa entre as hidrelétricas e a manutenção das populações, podendo gerar extinções locais a médio prazo.
- *Sensibilidade alta* – há constatação ou evidência de que o critério cause a extinção local da espécie em curto prazo, apresentando uma incompatibilização entre as hidrelétricas e manutenção das populações.

3.1.3 AVALIAÇÃO DE COMPORTAMENTO MIGRATÓRIO

No PRIM-HA, vários alvos de conservação da fauna aquática dependem da manutenção da conectividade hídrica, pois possuem comportamento migratório, isto é, deslocam-se regularmente pelos diferentes trechos dos rios para buscar recursos naturais distribuídos sazonalmente e em locais distintos, para diminuir efeitos deletérios causados por interações bióticas como predação, competição ou parasitismo ou, ainda, para evitar condições ambientais adversas como frio ou seca extrema¹³². Consequentemente a análise precisou considerar a importância da manutenção da conectividade hídrica na priorização da paisagem. Para tal, foi necessário aos CNPC/ICMBio identificarem a resposta es-

pécie-específica à perda de conectividade hídrica associada à presença de empreendimentos hidrelétricos, tendo como base a história de vida e biologia dos alvos de conservação da fauna. Na definição da resposta espécie-específica foram determinados como critérios: o tipo do comportamento migratório (espécies migradoras, de baixa migração e sedentárias), e a sensibilidade das espécies à quebra de conectividade (alta, média e baixa) (Tabela 2). Neste último quesito foi avaliado se o empreendimento hidrelétrico constitui uma barreira seletiva à espécie, seja como um obstáculo físico à sua migração ou como um filtro ambiental, associado à alteração da qualidade e quantidade de água.

Todavia, como esta definição não é trivial e carece de conhecimentos aprofundados e disponíveis sobre a biologia



© Rafael Valadão / Podocnemis unifilis

e ecologia das espécies, foram estabelecidos critérios adicionais para estimativa da resposta durante a oficina do PRIM-HA. Estes critérios estão relacionados à ecologia das espécies: (i) se são típicas de ambientes lênticos ou lóticos e (ii) se ocorrem em pequenos ou grandes tributários. Assume-se que espécies mais tolerantes a habitats pare-

cidos com os reservatórios de barragens hidrelétricas, ou seja, típicas de ambientes lênticos, são menos sensíveis à quebra de conectividade longitudinal se comparada a espécies restritas a pequenos tributários e de corredeiras. Uma sensibilidade nula foi atribuída às espécies terrestres e generalistas (Tabela 3).

Tabela 2: Comportamento e sensibilidade à quebra de conectividade hídrica por empreendimentos hidrelétricos.

Espécies	Comportamento migratório	Sensibilidade à quebra de conectividade hídrica
Aquáticas e semi- aquáticas.	Migradora	Alta
	Curta migração	Média
	Sedentária	Baixa
Terrestres	-	Nula

Tabela 3: Características ecológicas utilizadas para estimativa de sensibilidade das espécies à quebra de conectividade hídrica.

Espécies	Ambientes	Sensibilidade à quebra de conectividade para as espécies com ocorrência em	
		Grandes tributários	Pequenos tributários
Especialistas	Lênticos	Baixa	Média
	Lóticos	Média	Alta
Generalistas	-	Nula	Nula

3.1.4 REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS ALVOS DE CONSERVAÇÃO

Abordagens distintas foram utilizadas para representar a distribuição espacial das espécies da fauna e flora sensíveis aos impactos de empreendimentos hidrelétricos, em função da disponibilidade de informações sobre a distribuição e dos registros de ocorrência (Tabela 4 e 5, Figuras 19 A-C e Apêndice E). Em relação à fauna, preferencialmente, a distribuição da espécie foi modelada a partir de registros levantados na literatura científica, bancos de dados online, registros de campo e coleções científicas, das bases de dados dos CNPCs/ICM-Bio e posteriormente validados por estes. A modelagem de espécies foi realizada em parceria com o Laboratório METALAND/UFG. Para as espécies que não atenderam aos critérios exigidos nos modelos de distribuição espacial utilizou-se polígonos de especialista. As bases de dados e os métodos de representação espacial dos alvos de conservação, dos componentes ambientes singulares e serviços ecossistêmicos, assim como as informações suplementares sobre a representação espacial da fauna são encontradas no Apêndice E.



©Luciano de Faria Silva / *Conothraupis mesoleuca*

Tabela 4: Abordagens para representação espacial da distribuição dos alvos de conservação - Modelos de distribuição potencial.

Modelos de distribuição potencial								
Representação espacial	Critérios	Táxons	Parâmetros dos modelos					
			Variáveis Ambientais	Algoritmos	Partição de dados	Threshold	Ensemble	Controle
Modelos de distribuição potencial	Espécies > de 5 registros terrestres	Répteis e Anfíbios Mamíferos aquáticos, Aves	Bioclim	SVR, MXD, RDF, GAU	Bloco/ Bootstrap-70/30-com 10 réplicas	Jaccard	SUP	Presence
	Espécies > de 5 registros aquáticas	Peixes	Bioclim	SVR, MXD, RDF, GAU	Bloco/ Bootstrap-70/30-com 10 réplicas	Jaccard	SUP	Conectividade de bacias hidrográficas

Tabela 5: Abordagens para representação espacial da distribuição dos alvos de conservação - Polígonos de especialista.

Polígonos de especialista			
Critério	Representação espacial	Grupos	Táxons
Espécies < de 5 registros de ocorrência	Bacia nível 6 com registros de ocorrência	Fauna aquática e terrestre	Repteis, Anfíbios Mamíferos, Aves
Fauna aquática migradora	Áreas de vida e reprodução de grande migradores	Fauna aquática	Peixes migradores
Flora nacional	Polígonos de precisão (CNCFlora)	Flora	Flora nacional
Fauna e Flora exclusivamente internacionais	Polígonos IUCN	Fauna terrestre e flora	Répteis, Anfíbios, Flora

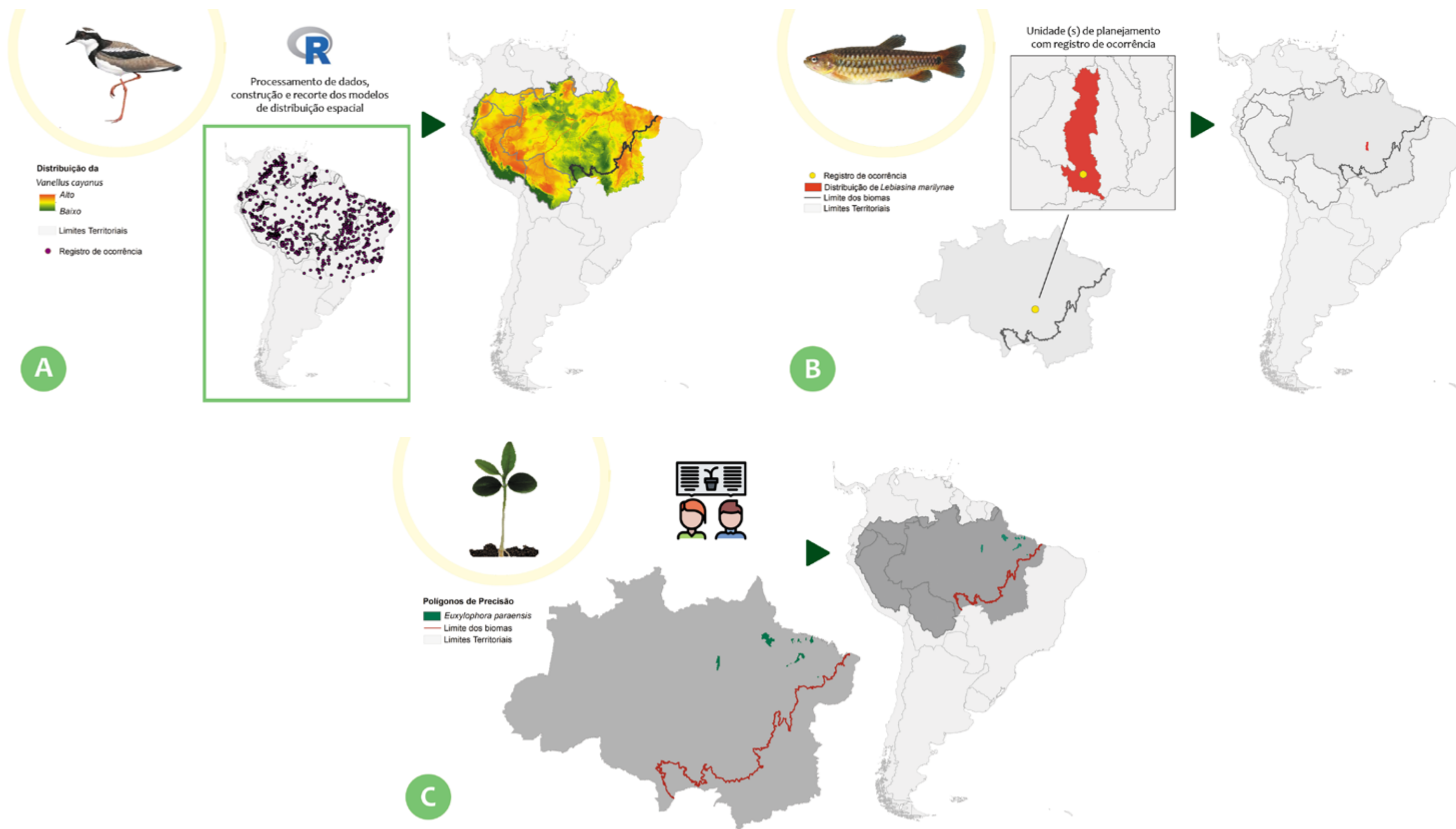


Figura 19. Exemplos de representação espacial dos alvos de fauna e flora: A) Modelos de distribuição potencial B) Polígonos de especialista (BL) C) Polígono de especialista (Buffer de precisão)

3.2 INFLUÊNCIA DA PAISAGEM

Na priorização de áreas sensíveis é necessário fornecer informações sobre a matriz da paisagem, relativas à sua integridade e/ou classe de uso. A influência que a paisagem em si exerce sobre a biodiversidade parte da premissa que haverá maior chance de manutenção de um alvo de conservação em áreas íntegras em comparação às que apresentam maior degradação ambiental resultante de interferência humana. Tais informações sobre os elementos que compõem a paisagem são integradas na análise de hierarquização como condições da paisagem.

A representação espacial da condição da paisagem considera a resposta dos alvos de conservação terrestres e aquáticos às diferentes categorias de uso e cobertura da terra, tendo sido atribuído pesos às camadas de acordo como estas afetam, positiva ou negativamente, a manutenção dos alvos de conservação. Cada camada individual (2 positivas, 8 negativas) foi representada como um *raster* cujas células marcavam a proporção ou presença/ausência da categoria de uso específica na área de estudo do PRIM-HA (ver Apêndice F). A figura 20 sintetiza a estruturação das camadas representativas da influência da paisagem sobre os alvos de conservação. A descrição técnica das camadas utilizadas e fonte de dados estão disponíveis no Apêndice F.

As camadas foram padronizadas de 0 a 1 e, posteriormente, calculada a média ponderada daquelas favoráveis somada ao inverso da média ponderada das desfavoráveis, resultando na camada de condição da paisagem final¹⁸. Foram construídos dois diferentes *rasters* de condição da paisagem, um para os alvos aquáticos e outro para os terrestres. Durante o processamento do *Zonation* (ver seção 3.4), cada camada de alvo de conservação é multiplicada pela camada de condição da paisagem correspondente, ajustando a distribuição original de acordo com a integridade do habitat.

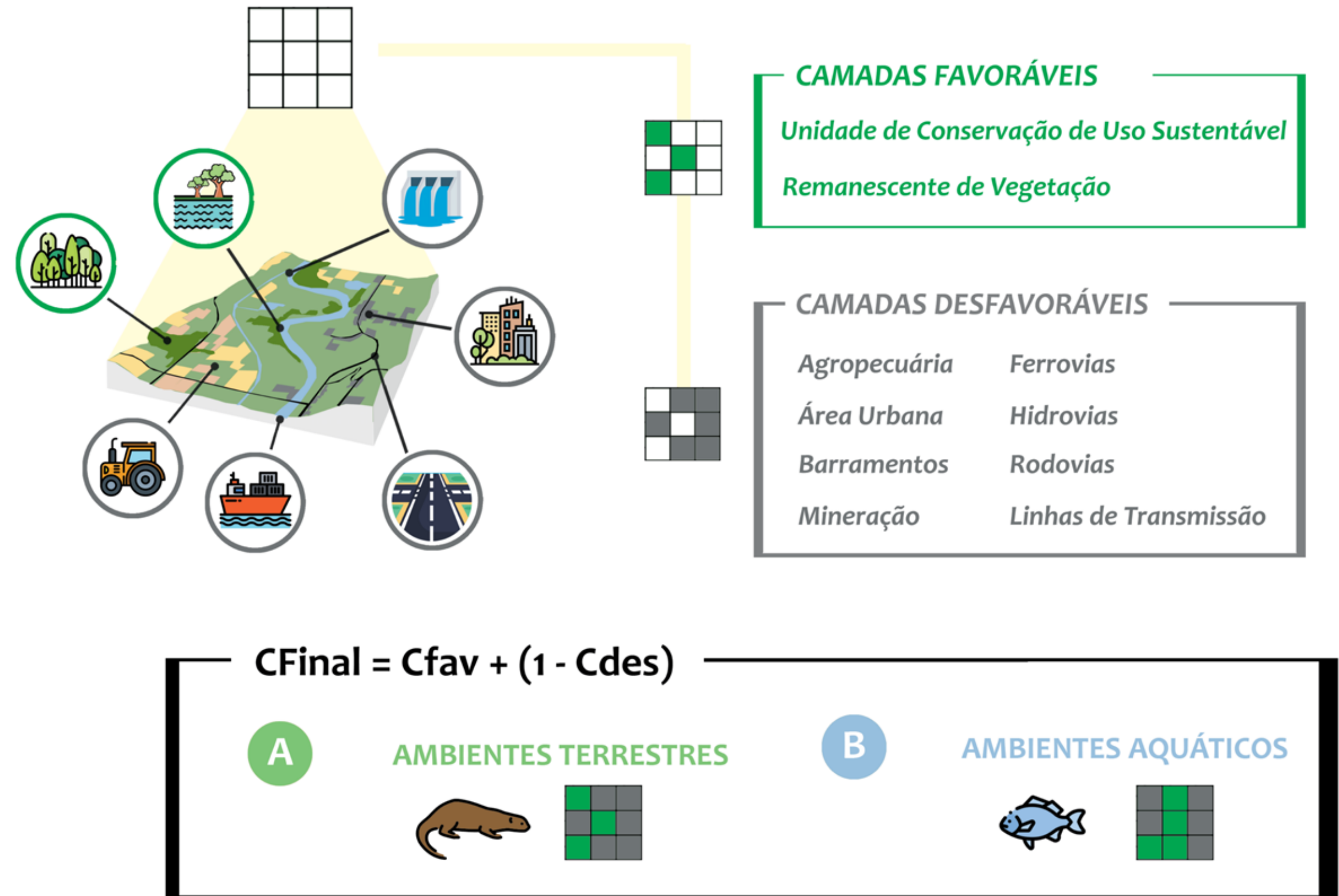


Figura 20. Informações espaciais utilizadas na construção da camada de condição da paisagem.

3.3 HIERARQUIZAÇÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS

As UCs são uma das principais estratégias territoriais para a conservação da biodiversidade e dos processos ecológicos fundamentais. Parte destas unidades de conservação tem o uso e os impactos humanos legalmente limitados e controlados para garantir a proteção dos valores de conservação¹³³. Considera-se que nestes espaços a influência humana é limitada, fazendo com que potencialmente as chances de sobrevivência das espécies sejam maiores quando comparadas aos territórios sem ou com menores restrições de uso.

Em virtude da importância destas áreas protegidas a análise de hierarquização utilizou o recurso de máscara de remoção hierárquica¹³⁴, que maximiza a complementaridade de alvos de conservação presentes nas UCs com as áreas de maior sensibilidade. Para a aplicação deste recurso foram selecionadas apenas as UCs de Proteção Integral¹³³, que além de serem destinadas à preservação só se admite o uso indireto dos recursos naturais. As unidades de conservação dos demais países com status equivalente foram também inseridas¹³⁵. Desta forma, tais UCs são posicionadas entre as últimas UPs a serem removidas da análise, e assim, classificadas como as áreas mais sensíveis da biodiversidade. As demais classes de UC, que permitem o uso sustentável de recursos naturais foram consideradas como condições favoráveis da paisagem (Ver seção 3.2 e Apêndice F)

3.4 ANÁLISE DE PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DA CONSERVAÇÃO

No PRIM-HA, o programa *Zonation*¹³⁶ foi a ferramenta do planejamento sistemático da conservação adotada para realizar as análises de hierarquização. É esta hierarquização da paisagem que gera o mapa de sensibilidade e informa o valor de importância biológica de toda área de estudo. Detalhes metodológicos adicionais sobre a utilização do programa *Zonation* nos PRIMs podem ser encontrados na publicação “Planos de Redução de Impactos à Biodiversidade”³.

A partir da paisagem completa, o *Zonation* classifica iterativamente e remove as células que levam à menor perda agregada de valor de conservação, enquanto contabiliza as distribuições totais e restantes dos alvos de conservação e a influência dos fatores relevantes da paisagem sobre a distribuição das espécies (condições do habitat). Produz assim uma classificação de todas as UPs baseada na complementaridade da prioridade de conservação em toda a área de interesse tendo levado em conta ainda a conectividade hídrica^{134,136}. A regra de remoção adotada no *Zonation* foi a *Core area* (CAZ) que enfatiza a seleção de áreas de habitat de alta qualidade para as espécies mais raras e a retenção de áreas centrais para todas as espécies, mesmo em detrimento da eficiência de custos^{137,138}. A adoção de UP na análise de

priorização fez com que as células da grade que ocorrem dentro de uma unidade de planejamento fossem removidas e classificadas ao mesmo tempo, em vez da classificação célula por célula. Outro parâmetro definido na análise foi o uso da máscara hierárquica (ver seção 3.3). A máscara identifica áreas que devem ser retidas e classificadas somente após todas as outras áreas terem sido ranqueadas, garantindo assim que tenham maior prioridade¹³⁰. Para que a conectividade longitudinal da rede de drenagem fosse considerada na análise, além de informar a sensibilidade dos alvos de conservação à quebra da conectividade (ver seção 3.1.3) foi necessário também indicar como as UPs estão conectadas e a direção do fluxo hídrico montante-jusante (parâmetro *NQP – Directed connectivity*). O gradiente de sensibilidade resultante da retirada ordenada das UPs forma o Índice de Sensibilidade da biodiversidade que apresenta variação entre zero e um.

Os valores do Índice de Sensibilidade das UPs foram distribuídos hierarquicamente nos quartis resultantes da divisão da área de estudo do PRIM-HA, com cada divisão correspondendo a 25% da área total. De acordo com o quartil ocupado as UPs foram categorizadas em: Áreas menos preocupantes (0-25%), Áreas sensíveis (25% a 50%), Áreas muito sensíveis (50% a 75%) e Áreas extremamente sensíveis (75% a 100%) (Figura 21).



©Luciana Crema / Floresta Nacional do Tapajós



©Thiago Ferreira / Parque Nacional de Paraisópolis

SENSIBILIDADE	CATEGORIA	ORDEM DE REMOÇÃO	QUARTIL	ÁREA DE ESTUDO (%)
	Áreas Extremamente Sensíveis	4º	4º	75 - 100
	Áreas Muito Sensíveis	3º	3º	50 - 75
	Áreas Sensíveis	2º	2º	25 - 50
	Áreas Menos Preocupantes	1º	1º	0 - 25

Figura 21. Níveis de sensibilidade das Unidades de Planejamento do PRIM-HA.

3.5 MAPA DE SENSIBILIDADE DA BIODIVERSIDADE

O Mapa de Sensibilidade da Biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétrico é apresentado na Figura 22. As áreas consideradas “Extremamente sensíveis” somam aproximadamente 1.829.233 km² encontradas em 469 das 1.544 UPs do PRIM-HA. Da área total categorizada como “Extremamente sensível” 54% são protegidas por todas as UCs PI (46%), em parte por UCs de US (8%) e os 46% restantes são distribuídos ao longo de toda região amazônica, mas predominantemente concentradas em sua face oriental, na bacia do rio Negro e na região dos Andes.

Áreas extremamente sensíveis protegidas por UC guardam importantes porções da floresta tropical e, legalmente, protegem parcelas significativas da área de distribuição de muitas espécies da fauna e da flora, além da ambientes e componentes únicos da geodiversidade, o que por si só já explica o resultado encontrado, além do fato que algumas destas UCs foram configuradas para serem retiradas por último na priorização (apenas as UCs PI, ver Seção 3.3). Todavia a priorização conseguiu identificar outras áreas, ainda não protegidas por UCs, extremamente importantes para os alvos do PRIM-HA. Elas estão

predominantemente na bacia do Tocantins, no interflúvio dos rios Araguaia (principal tributário do rio Tocantins) e Tocantins. Isolada das demais bacias amazônicas por eventos que remontam 1,8 milhão de anos, a biodiversidade da região compartilha muitos componentes, principalmente da ictiofauna de água doce, mas também é sabidamente uma região com alto endemismo, superando o nível de 40% para a ictiofauna¹³⁹. É também uma região distinta de domínios morfoclimáticos prevaletentes do Cerrado, numa zona de transição ecológica que sofreu importantes variações ao longo do Quaternário¹⁴⁰.

Outras porções da bacia amazônica com notáveis ocorrências de áreas extremamente sensíveis são a região andina e a bacia do rio Negro. A região da cadeia andina é reconhecida pela riqueza de anfíbios, aves, mamíferos e plantas vasculares com altos níveis de endemismo, especialmente para peixes³⁶. Variações altitudinais e climáticas tornam a região ecologicamente heterogênea, com riachos alpinos e rios torrenciais que abrigam espécies de peixes morfológicamente adaptadas para sobreviver em águas de alta corrente e que formam assembléias diversificadas ao longo de curtos gradientes de elevação¹⁴¹. Na bacia do rio Negro as áreas extremamente sensíveis da biodiversidade concentram-se nas



©Priscilla Ferreira / Apuleia leiocarpa

regiões de menores altitudes às margens do rio Branco e de seu afluente, o rio Uraricoera. O rio Branco corre ao longo de um gradiente latitudinal, em um importante limite geomorfológico ao longo de um ecótono de savana/floresta, marcado pelas corredeiras de Bem Querer. Acima das corredeiras, o alto rio Branco atravessa a formação sedimentar Boa Vista e as rochas cristalinas do Escudo das Guianas, e suas margens são ladeadas por matas de galeria¹⁴². No centro-sul do estado de Roraima ele atravessa uma bacia sedimentar baixa, com florestas de várzea amazônica ao longo de suas margens e também uma área de sistemas lacustres do lavrado e áreas alagadas (campinaranas), que formam ambientes periodicamente alagáveis^{143,144}. Esses habitats são uma importante contribuição para a diversidade beta da Amazônia, ricas em espécies endêmicas^{142,145} e a distribuição isolada em pequenas manchas, aliada à fragilidade intrínseca do habitat aumenta a preocupação com estes ecossistemas.

As áreas “Muito sensíveis” ocupam 335 UPs (1.809.326 km²) sendo 80 delas UCs de US. Localizam-se principalmente por toda calha principal do rio Amazonas, na cadeia andina, na bacia do rio Tapajós ao sul e do rio Negro ao norte. Embora as áreas com os dois maiores níveis

de sensibilidade cubram majoritariamente a região Amazônica Oriental, é possível observar que se conectam através da calha principal até os Andes. Tais áreas devem ser cuidadosamente avaliadas durante o processo de planejamento de novos empreendimentos hidrelétricos e priorizadas para o direcionamento de estratégias de conservação, por resguardarem as regiões com maior valor de conservação da biodiversidade sensível a empreendimentos hidrelétricos.

As áreas classificadas como “Sensíveis” estendem-se por cerca de 1.830.990 km² distribuídos por 344 UPs, 58 destas sendo UCs de US. Estas áreas são bem distribuídas por toda região amazônica, mas de forma particular ocupam toda a parte centro sul da bacia do rio Xingu, a bacia do rio Abacaxis e nordeste da bacia do rio Madeira e da bacia Costa Sul. Já as áreas “Menos Preocupantes” reúnem 96 UPs com 1.819.570 km² de extensão. Notadamente encontram-se na face ocidental da região amazônica com destaque para a bacia do rio Madeira, a bacia do rio Japurá-Caquetá e no Brasil na bacia do rio Javari e na planície de inundação do rio Amazonas.



©Gabriel Malo / Inia araguaiaensis

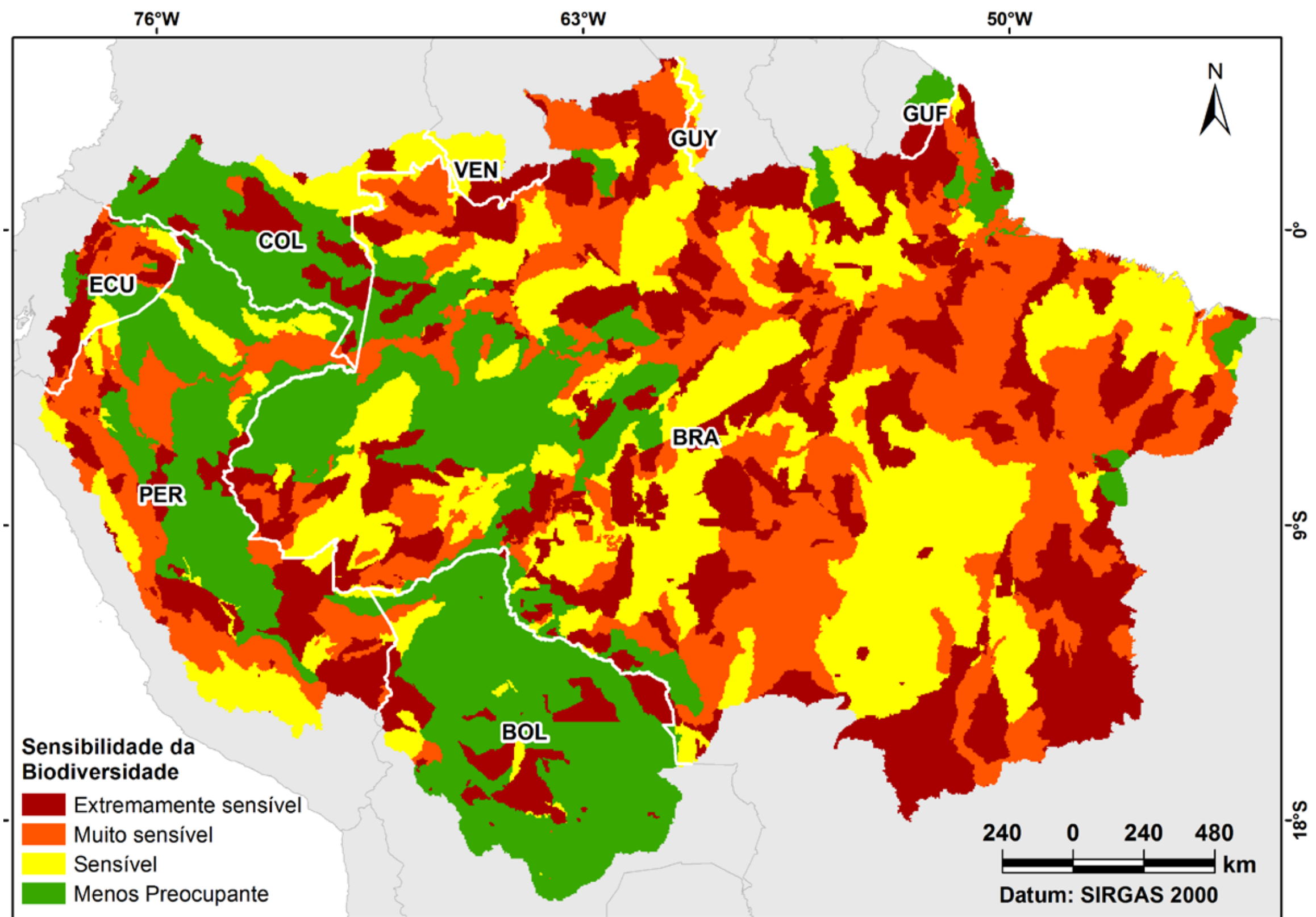


Figura 22. Mapa de Sensibilidade da biodiversidade aos impactos de empreendimentos hidrelétricos.

O desempenho da hierarquização das áreas sensíveis foi avaliado utilizando os valores médios e os intervalos de confiança (95%) da porcentagem de distribuição dos alvos de conservação da fauna e da flora presentes em cada nível de sensibilidade (Figura 23) e dos ambientes singulares (Figura 24), calculados com o uso do pacote *stats* do programa estatístico R v.4.0.3¹⁴⁶. Como os serviços ecossistêmicos estão presentes em toda região amazônica, mas com diferentes intensidades, aqui é demonstrada a magnitude dos serviços calculando os valores médios e desvio padrão, prestado em cada nível de sensibilidade (Figura 25).

Os resultados corroboram o modelo de priorização espacial em concentrar a maior proporção da distribuição dos alvos

nos níveis mais altos de hierarquização, reafirmando a importância biológica destas áreas. A análise de desempenho da hierarquização de sensibilidade da biodiversidade indica que mais de 75% da proporção da distribuição das espécies de fauna Criticamente em Perigo (CR) coincide com Áreas extremamente sensíveis (Figura 23). Para a flora Criticamente em Perigo (CR), o índice é ainda maior: mais de 90% da proporção da distribuição coincide com as Áreas extremamente sensíveis. Ao avaliar as categorias de ameaça de extinção da fauna isoladamente, observa-se uma tendência decrescente à medida em que se diminui a sensibilidade das áreas, de forma que grande parte da extensão da distribuição das espécies Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN), e Vulnerável (VU) coincide com as áreas de maior sensibilidade.

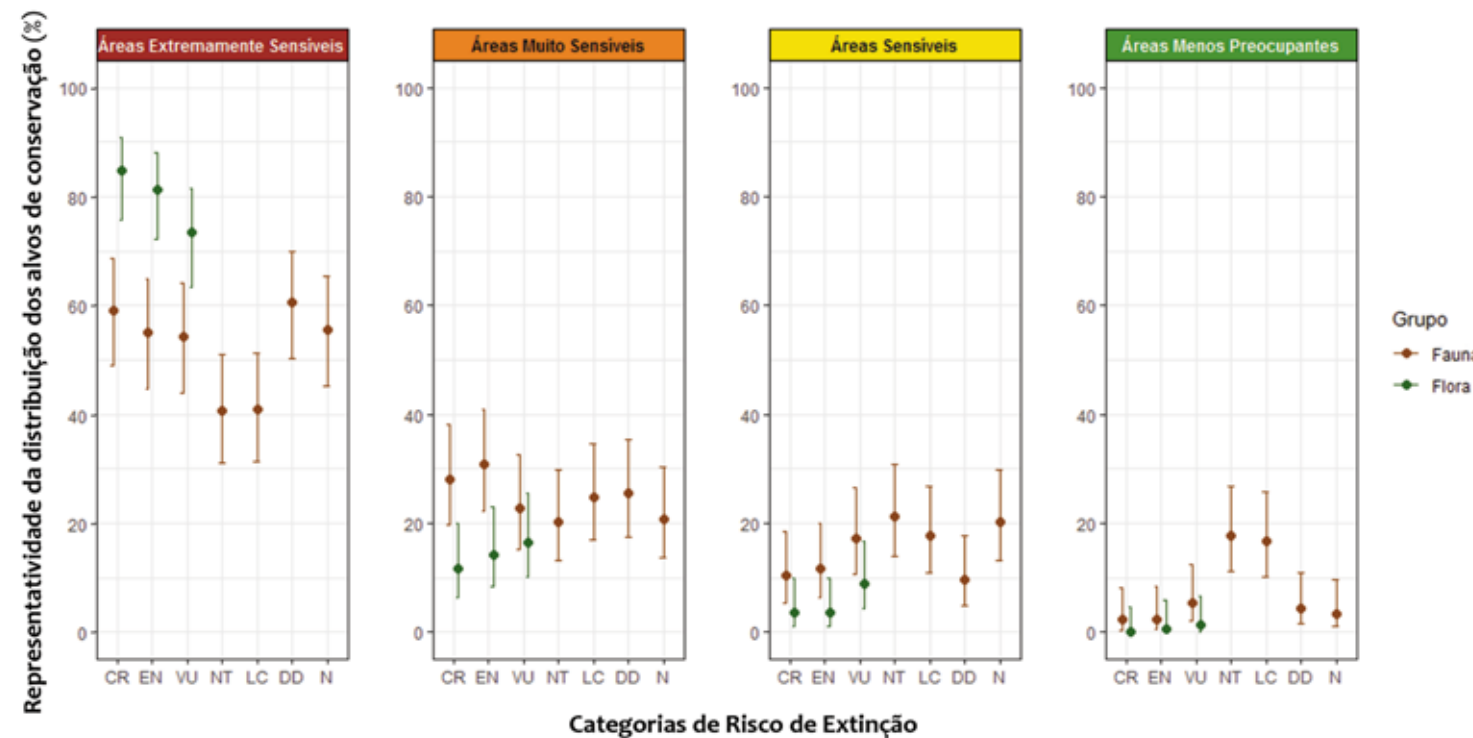


Figura 23. Proporção da Distribuição dos alvos de conservação na região amazônica. Valor médio e os intervalos de confiança (95%) da representatividade da distribuição dos alvos de conservação (fauna e flora) na região amazônica. CR – Criticamente em Perigo, EN – Em Perigo, VU – Vulnerável, NT – Quase Ameaçado, LC – Menos Preocupante

A mesma tendência decrescente a partir das Áreas extremamente sensíveis é observada nos ambientes singulares de cavernas, mas para os demais alvos dos ambientes singulares a distribuição mostrou-se equitativa entre as clas-

ses de sensibilidade (Figura 24). Também para os serviços ecossistêmicos não houve diferença na intensidade dos serviços prestados nas diferentes classes de sensibilidade (Figura 25).

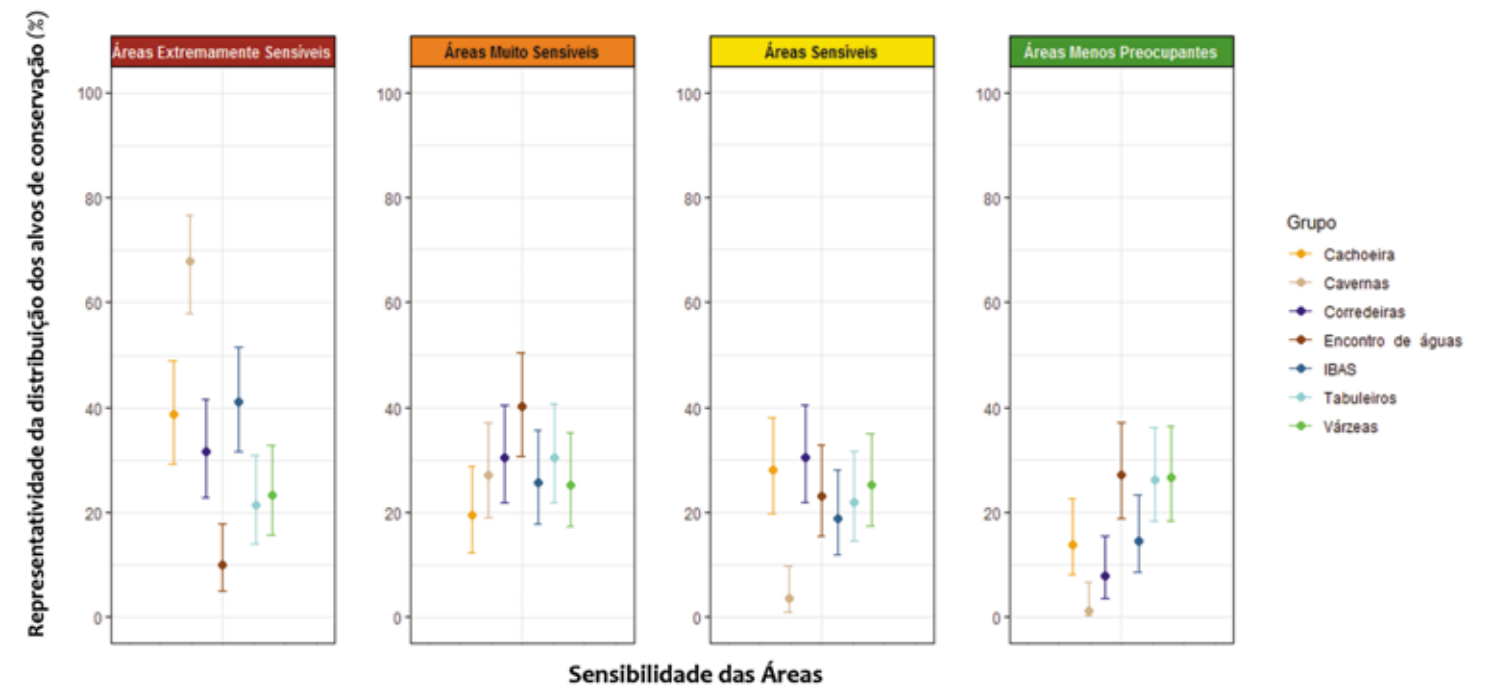


Figura 24. Valor médio e os intervalos de confiança (95%) da representatividade da distribuição dos alvos de conservação do componente ambientes singulares na região amazônica.

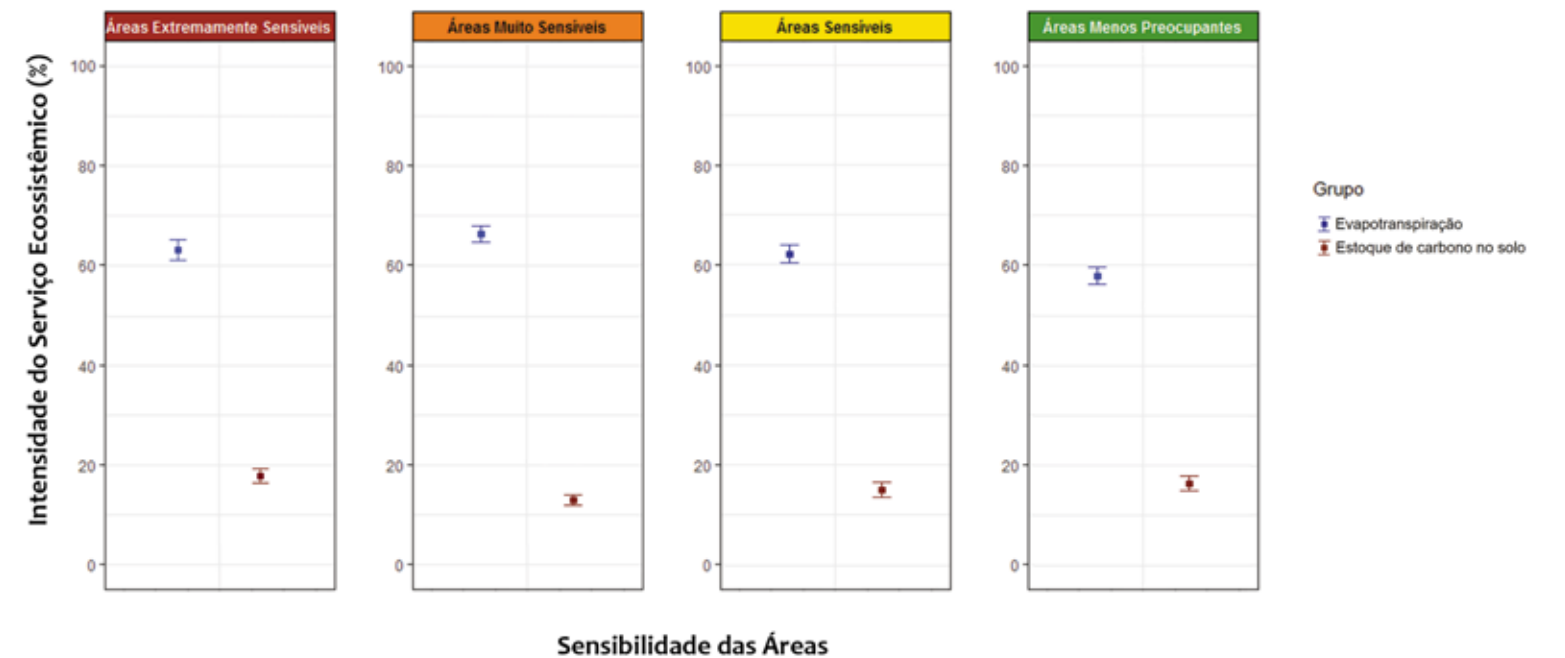


Figura 25. Intensidade dos serviços ecossistêmicos prestados nas diferentes categorias de Sensibilidade na região amazônica (Média +/- Desvio Padrão)

SEÇÃO IV

COMPATIBILIDADE ENTRE A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

4. COMPATIBILIDADE ENTRE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

4.1 ASPECTOS GERAIS

O mapa de compatibilidade é obtido a partir da sobreposição dos impactos espacialmente explícitos (seção 2.2) com o mapa de áreas sensíveis da biodiversidade (seção 3.5) (Figura 26). A representação da compatibilidade é feita a partir de um mapa bivariado no qual o eixo Sensibilidade da biodiversidade reflete a importância da unidade de planejamento para a ausência de perda líquida dos alvos de conservação na área de abrangência. Objetivamente, quanto maior a sensibilidade da área, maior a necessidade de prevenir que pressões da ameaça atuem sobre ela, dado que a inação repercutirá negativamente e, assim, potencialmente promoverá a perda líquida dos alvos. O eixo Exposição aos impactos sintetiza o efeito cumulativo das intervenções negativas dos empreendimentos hidrelétricos na paisagem e, por consequência, a capacidade de manutenção dos alvos de conservação. Portanto, este eixo também informa a necessidade da recuperação ambiental e uma estimativa do custo ambiental associado ao esforço e à urgência de estabelecimento das medidas de redução do impacto.

No processo de elaboração, as camadas espaciais que representam a Sensibilidade da biodiversidade e a Exposição aos impactos foram categorizadas em quartis, tendo como base a área total do estudo e foram sobrepostas, gerando 16 níveis de compatibilidade. Esta união permite uma comparação relativa entre a sensibilidade da biodiversidade de uma determinada UP e o nível de exposição aos impactos. O resultado reflete, necessariamente, em uma divisão territorial em áreas iguais para cada nível de compatibilidade. Ainda, para facilitar o entendimento e a aplicação do mapa de compatibilidade, os 16 níveis foram agregados em quatro categorias mais amplas de compatibilidade, permitindo diferentes escalas de análise: “Muito baixa compatibilidade”, “Baixa compatibilidade”, “Alta compatibilidade” e “Muito alta compatibilidade”.

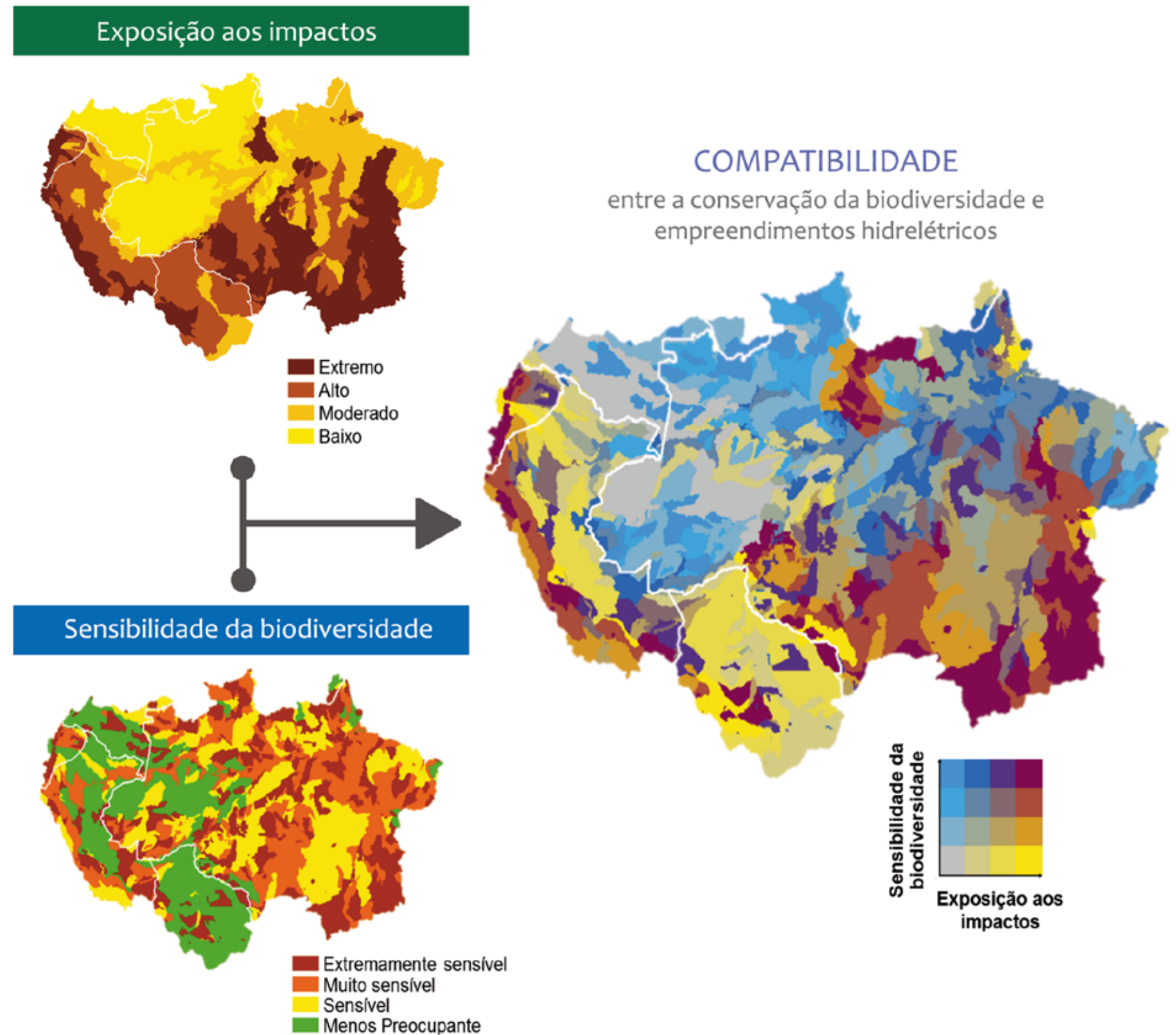


Figura 26. Esquema conceitual para construção do Mapa de Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos.

4.2 INTERPRETAÇÃO DO MAPA DE COMPATIBILIDADE

O Mapa de Compatibilidade deve ser interpretado para redução do impacto a partir da interação dos eixos de Sensibilidade da biodiversidade e Exposição aos Impactos. Como a Sensibilidade da biodiversidade reflete a susceptibilidade à perda líquida dos alvos de conservação, quanto maior seu valor menor devem ser as pressões dos empreendimentos hidrelétricos sobre as áreas mais sensíveis. Tendo como base este pressuposto o mapa de compatibilidade então subsidia o processo de escolha locacional dos empreendimentos hidrelétricos (Figura 27). Adicionalmente deve-se observar a Exposição aos impactos que indica os diferentes níveis de degradação ambiental decorrentes de empreendimentos hidrelétricos já implantados e em operação e, por consequência o quanto a área ainda é capaz de abrigar os alvos de conservação.

A análise integrada do mapa de compatibilidade fornece um gradiente de custo ambiental prévio — estimativa da complexidade do licenciamento e recuperação ambiental — em que áreas de “Muito baixa compatibilidade” e de “Baixa compatibilidade” devem ser evitadas (maior custo ambiental) e áreas de “Alta compatibilidade” e de “Muito alta compatibilidade” por serem menos sensíveis e degradadas (menor custo ambiental) devem ser priorizadas para a expansão de novos empreendimentos hidrelétricos ou priorizados no processo de repotencialização de usinas existentes.



Figura 27. Esquema conceitual para interpretação do mapa de Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos.

4.3 COMPATIBILIDADE ENTRE A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

A compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos representa claros padrões espaciais de localização das regiões que devem ser evitadas e conservadas, áreas que já apresentam conflitos para conservação e manutenção de alvos de conservação sensíveis e que se sobrepõe à locais em que houve avanço do desenvolvimento do setor hidrelétrico e áreas que são mais propícias para novos investimentos por apresentarem menor custo ambiental associado (Figura 28).

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” localizam-se predominantemente na área da calha norte do rio Amazonas, nas bacias do rio Purus e Juruá na região centro-oeste da calha sul e ainda à nordeste, na bacia Costa-Atlântico sul

(Figura 28). Estas são as áreas de maior sensibilidade da biodiversidade nas quais o investimento em novos empreendimentos deve ser evitado, pois implicariam em maior risco de perda líquida da biodiversidade sensível à empreendimentos hidrelétricos e, portanto, em maior custo ambiental.

As áreas de “Baixa compatibilidade” concentram-se na bacia do rio Tapajós à leste da região amazônica na bacia do rio Tocantins, na sub-bacia do rio Uatumã localizado na região centro-norte e ainda na cadeia Andina, especialmente Napo e Ucayali (Figura 28). São áreas de elevada sensibilidade da biodiversidade e que também já recebem extremos níveis de exposição aos impactos de hidrelétricas (conforme também detalhado nas seções 2.2 e 3.5 para exposição aos impactos e sensibilidade da biodiversidade, respectivamente). O planejamento territorial ambiental deve considerar com acurácia o efeito cumulativo de novos empreendimentos nestas áreas,

que potencialmente podem afetar de forma irremediável a biodiversidade. Deve ainda priorizar as estratégias para monitoramento e mitigação de impactos já existentes, além de prever medidas para recuperação da deterioração ambiental.

Áreas de “Alta compatibilidade” que, comparativamente, apresentam tanto uma menor sensibilidade da biodiversidade à empreendimentos hidrelétricos quanto uma baixa exposição aos seus impactos localizam-se principalmente nas áreas de entorno daquelas classificadas como áreas de “Muito baixa compatibilidade” (Figura 28). Uma maior proporção de áreas nesta categoria são encontradas nas bacias dos Rios Javari, Japurá-Caquetá, Iça-Putumauyo, Xingu e na bacia Costa-Atlântico sul.

Investimentos em empreendimentos hidrelétricos potencialmente devem ser direcionados para as áreas de

“Muito Alta compatibilidade”, localizadas em maior proporção na bacia do rio Madeira e Ucayali (Figura 28). Nestas áreas a sensibilidade da biodiversidade é menor e os níveis de modificação ambiental alcançam os maiores valores. A figura 29 A e B sumariza a proporção da distribuição das áreas e de UPs categorizadas em cada classe de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade, mostrando uma distribuição relativamente equitativa entre estas, especialmente em termos de área. O destaque é para uma maior proporção de UPs que se sobrepõe a áreas de “Muito Baixa compatibilidade”, isto é, de conflitos entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos, que demandam urgência no estabelecimento e execução de estratégias para remediação dos impactos da atividade sobre alvos sensíveis.



©Fernando Xavier / Reserva Biológica do Guaporé

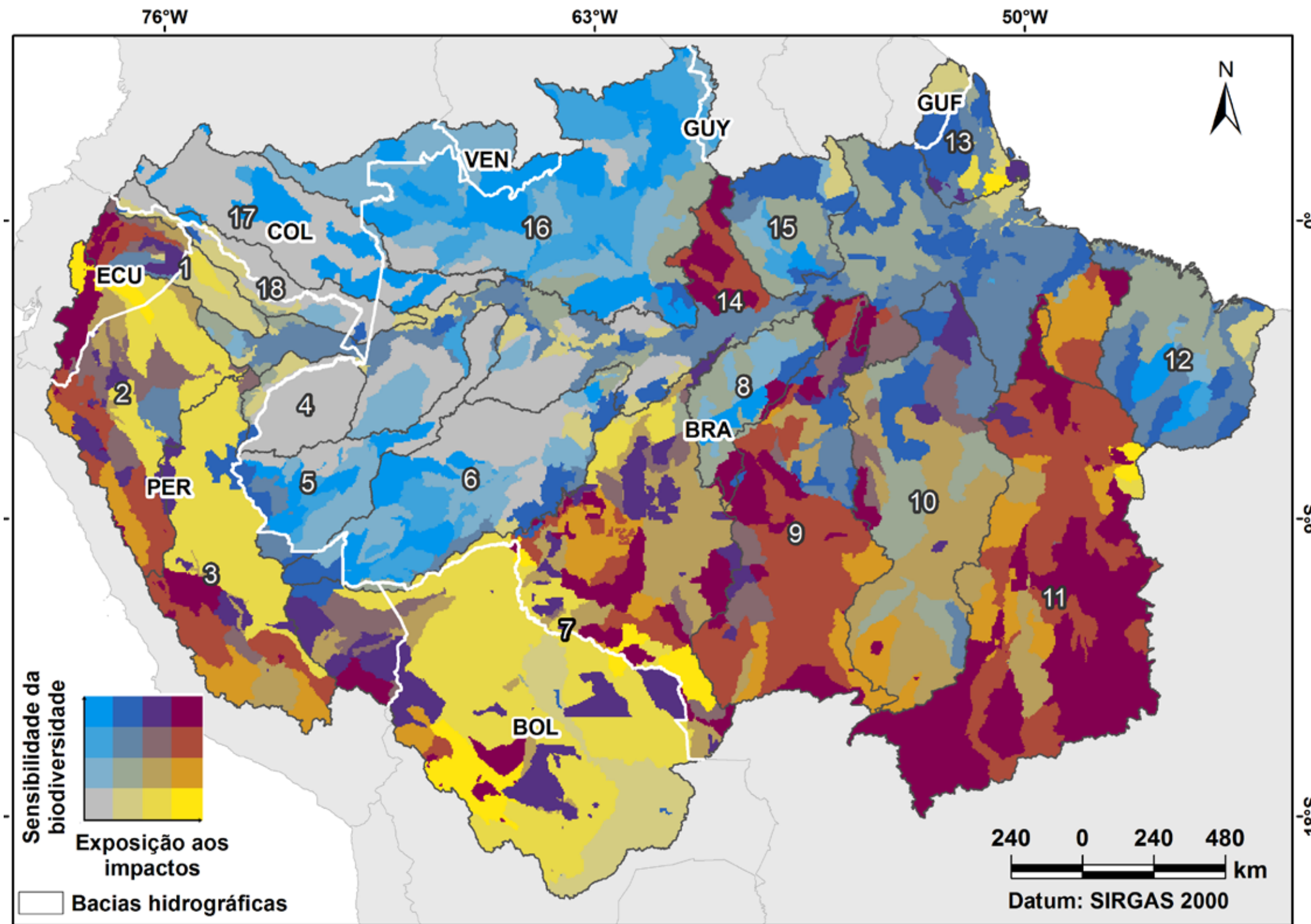


Figura 28. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: [1]. Napo, [2]. Marañón, [3]. Ucayali, [4]. Javari, [5]. Juruá, [6]. Purus, [7]. Madeira, [8]. Abacaxis, [9]. Tapajós, [10]. Xingu, [11]. Tocantins, [12]. Bacia da Costa Sul, [13]. Bacia da Costa Norte, [14]. Planície Amazônica e tributários menores, [15]. Trombetas, [16]. Negro, [17]. Japurá - Caquetá e [18]. Iça - Putumayo.

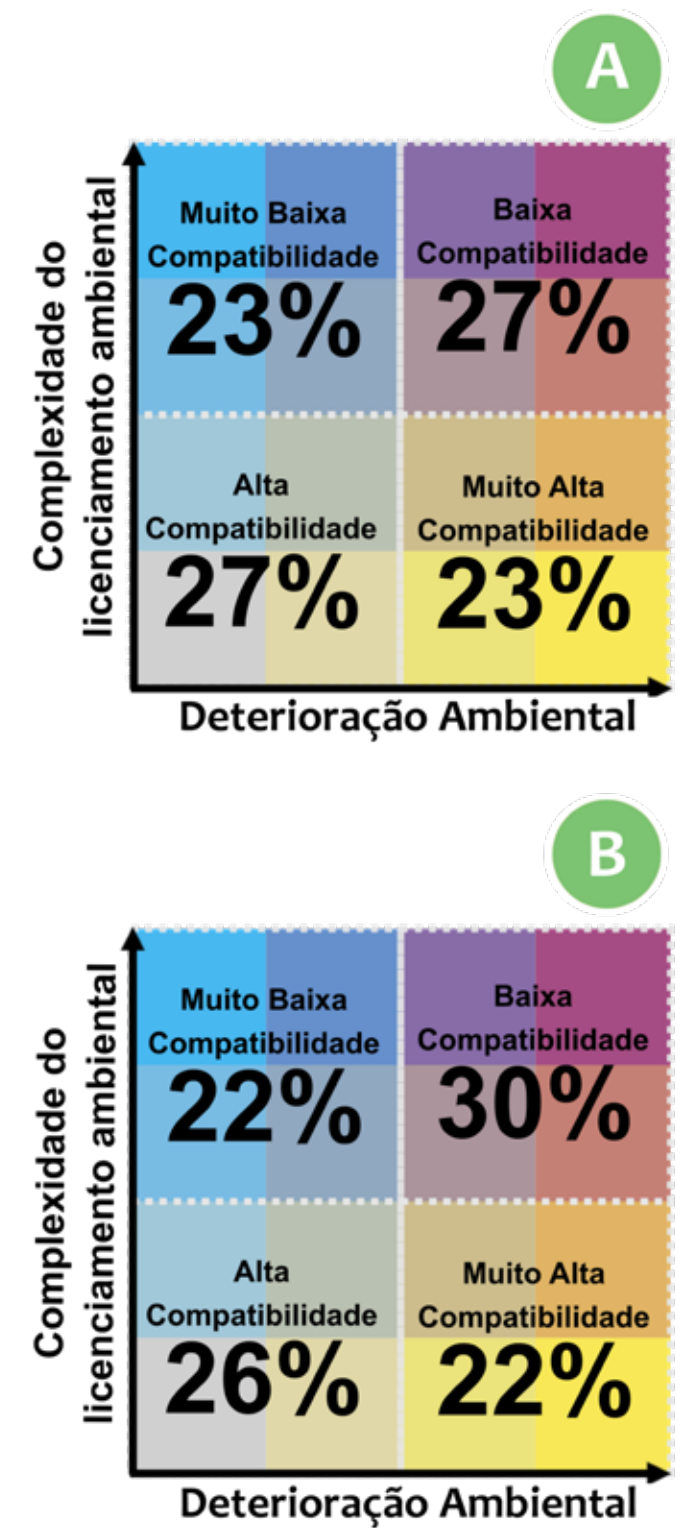


Figura 29. Proporção da área (A) e de Unidades de Planejamento (B) em cada uma das quatro categorias de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica.

Um panorama de cada uma das bacias da região amazônica é obtido quando avaliamos as proporções da área da bacia classificadas em cada categoria de compatibilidade (Figura 30). Assim, observa-se que: (i) nas bacias da Costa Norte e da Costa Sul predominam as áreas de “Muito baixa compa-

tabilidade”; (ii) a bacia do Tocantins foi aquela com maior proporção de áreas com “Baixa compatibilidade”; (iii) a bacia do Javari apresenta a maior proporção de áreas de “Alta compatibilidade” e (iv) a bacia Ucayali tem maior proporção de área de “Muito Alta compatibilidade”.

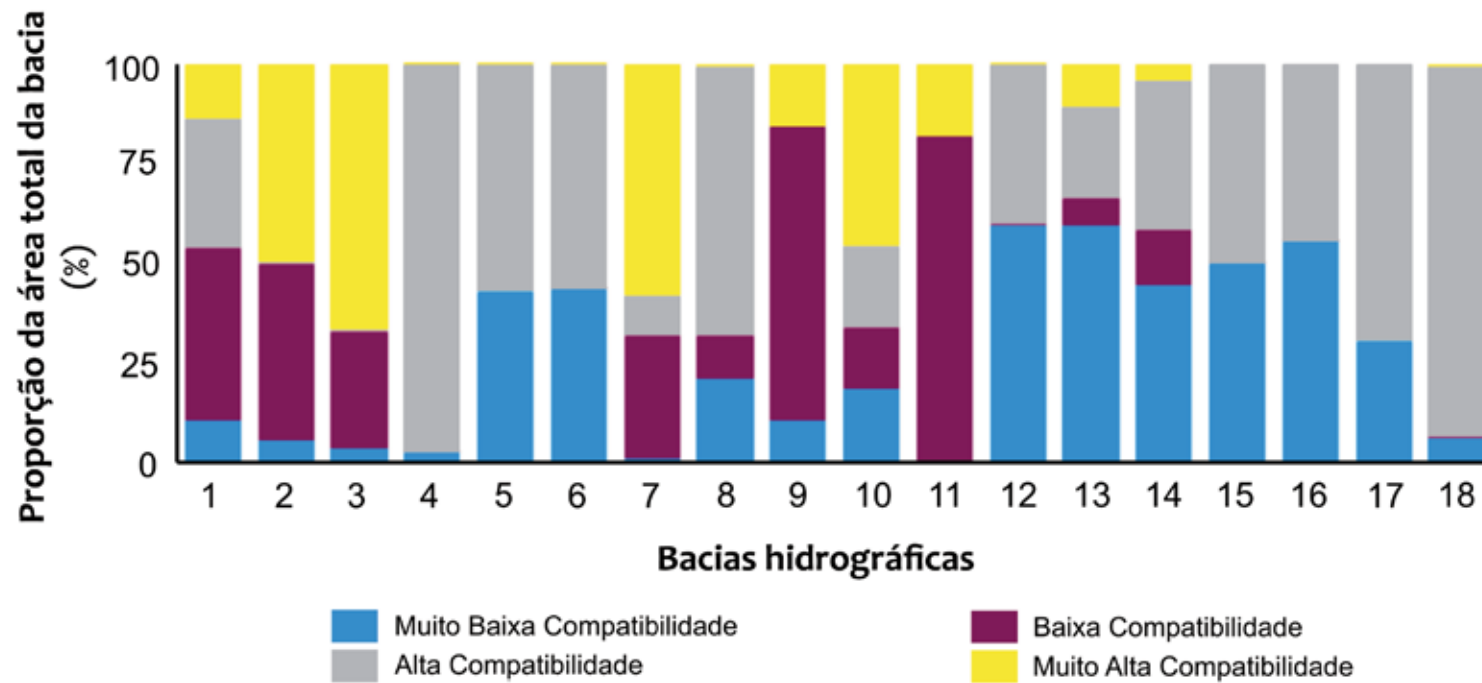


Figura 30. Proporção da área total em cada nível de compatibilidade para as diferentes bacias hidrográficas da região amazônica [1]. Napo, [2]. Marañón, [3]. Ucayali, [4]. Javari, [5]. Juruá, [6]. Purus, [7]. Madeira, [8]. Abacaxis, [9]. Tapajós, [10]. Xingu, [11]. Tocantins, [12]. Bacia da Costa Sul, [13]. Bacia da Costa Norte, [14]. Planície Amazônica e tributários menores, [15]. Trombetas, [16]. Negro, [17]. Japurá - Caquetá e [18]. Iça - Putumayo.

As categorias de compatibilidade de cada bacia da região amazônica são individualmente apresentadas para permitir a compreensão da relação do resultado encontrado com a caracterização ambiental e a ocorrência dos empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados (Figuras 31-33). Ressalta-se novamente que as análises de compatibilidade foram executadas para toda a região amazônica, por UP (ver Áreas de estudo, Seção I, item 1.4) que por ve-

zes são compartilhadas quando localizadas na interface de duas ou mais bacias, situação encontrada frequentemente quando a UP é uma UC, como no caso no PARNA da Amazônia que se insere em parte na bacia do Tapajós e parte na bacia Abacaxis. Assim a apresentação dos resultados aninhados pelas bacias dos principais afluentes informa unicamente os cenários específicos de cada uma, em comparação a toda paisagem.

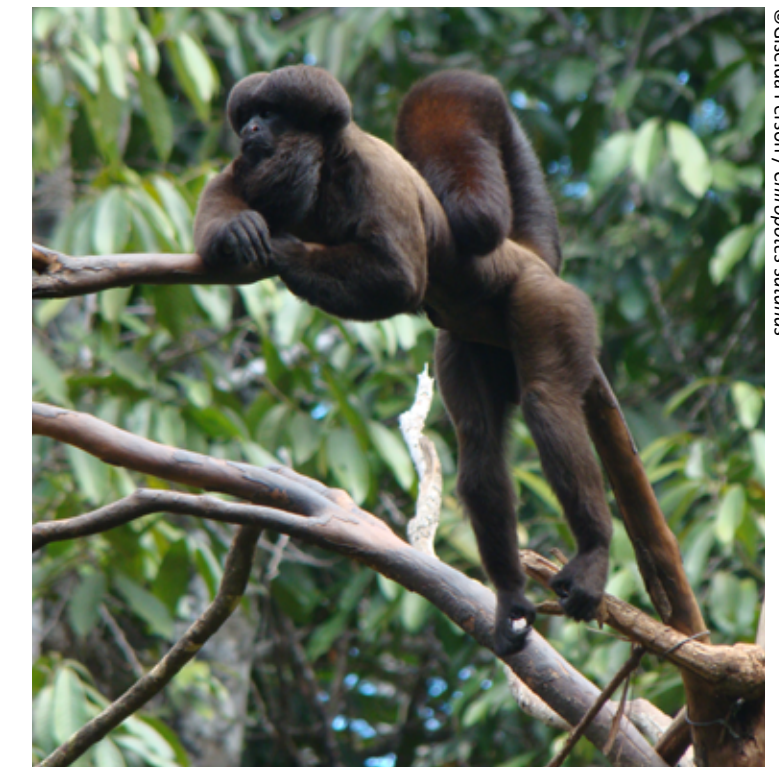
4.3.1 BACIA NAPO

A bacia de Napo [1], cobre 100.871,8 km² entre o Equador, Peru e Colômbia (Figura 31). No sopé dos Andes equatorianos, a bacia apresenta um largo gradiente altitudinal (158- 5890 m) e um sistema hídrico com milhares de rios e riachos. É tida como uma das ecorregiões mais biodiversas do mundo em grande parte devido não só às variações de altitude, mas também às condições climáticas e formações vegetais¹⁴⁷. A maior parte dos rios da bacia são categorizados como rios de “água branca”, com cargas expressivas de sedimentos oriundos das terras altas andinas¹⁴⁸. A bacia apresenta 27,7% de sua área protegida por 16 UCs (27.957 km²), das quais 62,5% são predominantes de PI e 37,5% de US. A maior parte dos rios eram de fluxo livre até poucas décadas atrás, com as barragens hidrelétricas da região restritas a pequenos afluentes, entretanto, grandes projetos como o Coca-Codo-Sinclair foram implantados ou estão planejados para a próxima década³⁶.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” ocorrem na região centro-oeste da bacia de Napo, incluindo as áreas protegidas pelo Parque Nacional Yasuní. As áreas de “Baixa compatibilidade” estendem-se dos Andes para a região central da bacia (Figura 31), sobre as quais estão sobrepostos todos os empreendimentos hidrelétricos existentes (N=11) e planejados (N=32), o que potencialmente gera conflitos com a conservação da biodiversidade sensível ali presente e demanda o estabelecimento de estratégias de monitoramento e mitigação de impactos robustos, incluindo especial atenção às seis UCs de PI existentes na área. Por sua vez, áreas de “Alta compatibilidade” são encontradas apenas na extremidade leste enquanto as áreas de “Muito Alta compatibilidade” são predominantes na face leste da bacia (Figura 31).

4.3.2 BACIA MARAÑÓN

A bacia Marañón [2] compreende áreas que vão desde a região norte do Peru até o sudeste do Equador e que cobrem aproximadamente 362.200 km² e guardam o mais extenso complexo de turfeiras da bacia Amazônica¹⁴⁹ (Figura 31). Apenas 13,7% (49.744 km²) de sua área está protegida por 45 UCs, 20 de PI e 25 de US. Nesta bacia, o rio Marañón drena os flancos orientais da Cordilheira Branca peruana, uma subcordilheira andina, e é visto como uma das principais nascentes do rio Amazonas. É também considerado como uma das últimas conexões fluindo da crista glacial dos Andes para a floresta amazônica¹⁵⁰, que, todavia, pode ter sua conectividade hídrica comprometida em função das várias barragens planejadas para o tronco principal do rio Marañón³⁶.



©Giselda Person / Chiroptes saramas

A bacia Marañón possui UPs majoritariamente categorizadas em uma de duas classes principais: ora como áreas de “Baixa compatibilidade”, ora como áreas de “Muito alta compatibilidade”. Excepcionalmente, apenas 2,3% da área da bacia é classificada de “Alta compatibilidade”, em UPs limitadas a zona central e sul da bacia, cortada apenas por Áreas de “Baixa compatibilidade” que se estendem dos Andes à face oriental da bacia pelas UPs sobrepostas ao rio Marañón (Figura 31). Empreendimentos hidrelétricos existentes (N=96) e planejados (N=39) concentram-se na porção equatorial da bacia com a ressalva que, tanto no Equador quanto no Peru, os empreendimentos hidrelétricos localizam-se em maior proporção na cadeia andina. Nas áreas de “Baixa compatibilidade” há indicações da existência de conflitos entre a conservação da biodiversidade sensível aí presente, consideravelmente já exposta aos impactos de empreendimentos hidrelétricos e que por esta razão demandam o estabelecimento e/ou ampliação das estratégias para redução de impactos ambientais. A estas áreas estão sobrepostas a grande maioria das UCs presentes na bacia. Em relação as áreas de “Muito alta compatibilidade” há uma maior proporção da categoria nas regiões norte e nordeste da bacia, embora também possam ser encontradas em porções à oeste, incluindo os Andes (Figura 31).

4.3.3 BACIA UCAVALI

O rio Ucayali é o maior tributário andino do rio Amazonas e drena 353.247 km² das áreas que formam sua bacia peruana [3] (Figura 31). Flui de sul a norte da floresta tropical ao longo da base sudoeste da Cordilheira dos Andes, antes de se unir ao rio Marañón para formar o rio Amazonas nas proximidades de Iquitos, Peru¹⁵¹. Da área total da bacia 15,2% (53.831 km²) são protegidas por 33 UCs, com 51% de PI e 49% de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” estão a nordeste da bacia, sobrepostas integralmente ao Parque Nacional Sierra del Divisor (PE). Esta é uma área reconhecida como uma das mais biodiversas do Peru¹⁵² (Figura 31). Áreas de “Baixa compatibilidade”, em que há uma biodiversidade sensível aos empreendimentos hidrelétricos e uma alta exposição aos impactos desta

atividade, estão localizadas na região mais à montante da bacia, próximas à cadeia andina. Na bacia Ucayali foram identificados um total de 65 empreendimentos existentes e 30 planejados. As demais áreas da bacia, foram categorizadas como de “Muito alta compatibilidade” e merecem destaque pois estão em maior proporção, inclusive quando comparadas às outras bacias analisadas (Figura 30). Tais áreas se distribuem por toda a região central e norte da bacia, seguindo o entorno do rio Ucayali até a sua confluência com o rio Marañón (Figura 31).

4.3.4 BACIA JAVARI

A bacia do rio Javari [4] situa-se na fronteira entre o Brasil e o Peru com uma área de drenagem que alcança 107.661,7 km² (Figura 31). O rio Javari é o divisor natural entre os países e um dos afluentes sul do rio Amazonas. Todas as UCs representam aproximadamente 7% da bacia (7.424 km²) e estão presentes apenas em sua porção peruana, totalizando 3 UCs (1 de PI e 2 de US).

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” também estão restritas àquelas sobrepostas ao Parque Nacional Sierra del Divisor (Peru), em sua extremidade noroeste. Toda a área restante da bacia foi categorizada como áreas de “Alta compatibilidade”, pois apresentam baixa sensibilidade da biodiversidade impactada por empreendimentos hidrelétricos e baixa exposição aos seus impactos. Destaca-se que não foram identificados empreendimentos hidrelétricos existentes ou planejados na bacia (Figura 31).



©Kennedy Borges / Vonellus cyanurus

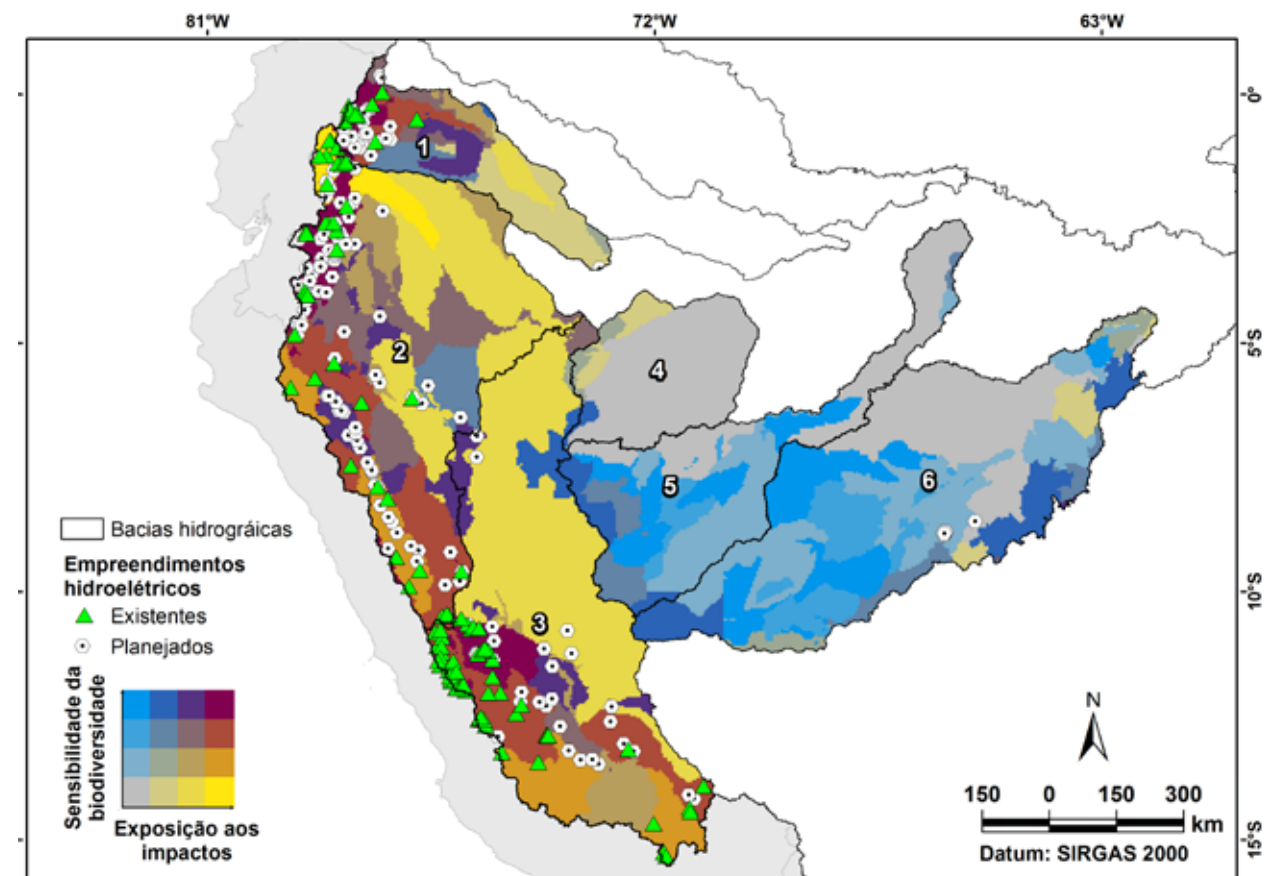


Figura 31. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: [1]. Napo, [2]. Marañón, [3]. Ucayali, [4]. Javari, [5]. Juruá, [6]. Purus

4.3.5 BACIA JURUÁ

A bacia do Juruá [5] está localizada ao sul da bacia Javari, também na região transfronteiriça Brasil-Peru (Figura 31). Com aproximadamente 189.000 km², possui vários pequenos afluentes (com 5-10 m de largura) e grandes lagos de várzea¹⁵³. O rio Juruá é um rio de água branca, com grande carreamento de sedimentos, mas diferente dos outros rios de água branca andinos porque suas nascentes estão situadas abaixo de 500 m de altitude¹⁵⁴. Áreas protegidas somam aproximadamente 24 % da bacia (45.088 km²), divididas em 3 UCs de PI e 13 UCs de PI.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” estão distribuídas em toda a porção centro sul da bacia (Figura 31). Por outro lado, as áreas mais ao norte foram classifica-

das como de “Alta compatibilidade”, com menores valores de sensibilidade da biodiversidade e de exposição ao impacto de empreendimentos hidrelétricos (Figura 31), à exceção de uma pequena porção sobreposta a RESEX do Baixo Juruá. Assim como na bacia do rio Javari, não foram identificados empreendimentos hidrelétricos existentes ou planejados na bacia do Juruá.

4.3.6 BACIA PURUS

A bacia Purus [6] estende-se por 368.192,7 km², principalmente sobre a depressão sudoeste da Amazônia, em elevações de 50 a 500 m e é uma das principais bacias hidrográficas da margem direita do rio Solimões-Amazonas (Figura 32)¹⁵⁵. O rio Purus nasce nas planícies orientais do Peru e

flui por cerca de 3.380 km do noroeste brasileiro até desaguar no rio Solimões. Cerca de 41% (152.019 km²) da bacia está protegida por 33 UCS, das quais 9 são de PI e 24 de US.

A classificação de compatibilidade da bacia apresenta predominância de duas categorias: as áreas de “Muito baixa compatibilidade” e “Alta compatibilidade”. A primeira está distribuída de forma homogênea por toda a bacia, incluindo as partes sobrepostas à várias UCS, como o Parque Nacional do Alto Purus (PE), o Parque Nacional Nascentes do Lago Jari (BR) ou o Parque Nacional Mapinguari (BR) (Figura 31). Já as áreas de “Alta compatibilidade” embora estejam presentes em UPs ao longo de toda a bacia, estão numericamente em maior proporção na região central. Nestas áreas estão sobrepostos os empreendimentos hidrelétricos previstos para a bacia (N=6), não tendo sido identificados usinas implantadas ou em operação (Figura 32).

4.3.7 BACIA MADEIRA

A bacia do rio Madeira [7] representa 18% da região amazônica, com aproximadamente 1.318.491 km² de extensão que envolve três países: Bolívia, Peru e o Brasil (Figura 32). Em sua extensão encerra um gradiente latitudinal que varia de 6.400 m na Cordilheira dos Andes até 25 metros de altitude, já na planície brasileira. O rio Madeira é o segundo maior afluente do Amazonas e responsável por contribuir com até 50% da carga de sedimentos deste, com vazão média anual estimada de 31.200 m³ e classificado como um rio de água branca¹⁵⁶. O potencial hidrelétrico do rio passou a ser aproveitado a partir da construção do Complexo Hidrelétrico do Madeira, que conta ao longo do seu trecho médio, com duas grandes hidrelétricas: Santo Antônio e Jirau. Estas estão localizadas logo a jusante da confluência dos rios Madre de Dios, Beni e Mamoré e constituem barreiras físicas à conectividade longitudinal da bacia¹⁸. Ao todo na bacia foram contabilizados 85 empreendimentos existentes e 48 planejados. Nesta bacia a proporção de áreas protegidas por UCS alcança 352.600 km² (26,7%), distribuídas em um total de 163 UCS, com 60 de PI e 103 de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” estão distribuídas no extremo norte e noroeste da bacia, em poucas UPs

que são também UCS como os PARNAs Nascentes do Lago Jari e Mapinguari ou ainda a Resex Chico Mendes. As áreas categorizadas como de “Baixa compatibilidade” estão presentes em toda a bacia, todavia em maior proporção na cadeia andina e a nordeste da bacia, na planície sobreposta ao escudo brasileiro (Figura 32). Nesta categoria estão a maior parte dos empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados para a bacia, tanto no território brasileiro quanto no do extremo sul do Peru. Por sua vez, áreas de “Alta compatibilidade” ocorrem principalmente ao sul da bacia. As áreas de “Muito Alta compatibilidade” destacam-se por sua maior proporção na bacia em comparação às demais, estendendo-se da região central às regiões a montante na Cordilheira dos Andes que é onde também são encontrados vários dos empreendimentos hidrelétricos andinos existentes na Bolívia (Figura 32).

4.3.8 BACIA ABACAXIS

A bacia Abacaxis [8], localizada na região Central da bacia Amazônica, drena cerca de 127.000 km², seu rio principal – Abacaxis – é um rio de águas pretas e localiza-se no interflúvio dos rios Madeira e Tapajós (Figura 32). Na bacia Abacaxis cerca 67.018 km² são protegidos por 13 UCS, dentre elas 4 de PI e 9 de US.

Na porção oriental e centro-sul da bacia estão as áreas de alta sensibilidade da biodiversidade em trechos classificados como de “Muito baixa compatibilidade” (Figura 31), em UPs sobrepostas às UCS ESEC Alto Maués, PARNA da Amazônia e PARNA do Acari. As duas UPs classificadas como “Baixa compatibilidade” estão na interface com a bacia do Tapajós e são compartilhadas com esta, o que explica sua categorização que é decorrente do fato de apresentarem alta sensibilidade da biodiversidade, mas serem expostas aos impactos cumulativos de empreendimentos hidrelétricos existentes na bacia vizinha (Figura 32). O destaque para Abacaxis, todavia são as áreas de “Muito alta compatibilidade” que proporcionalmente cobrem a maior parte da área da bacia (Figura 32). Apenas empreendimentos hidrelétricos planejados foram identificados para a bacia: duas PCHs e a uma UHE que está inclusive sobreposta ao PARNA do Acari.

4.3.9 BACIA TAPAJÓS

A bacia Tapajós [9] engloba uma área de quase 500 mil km² de extensão, o que representa aproximadamente 7% da região amazônica, com um gradiente altitudinal que varia de cerca de 800 m em sua parte sul a poucos metros acima do nível do mar na confluência com o rio Amazonas (Figura 32). O rio Tapajós é um rio de águas claras que drena, em seu trecho superior, o escudo pré-cambriano e, em sua parte inferior, o planalto central da formação cretácea Alter-do-Chão¹⁵⁷. É o único dos grandes afluentes da margem direita do rio Amazonas ainda não represado para produção de energia elétrica em larga escala e sua bacia é considerada a grande fronteira hidrelétrica e de desenvolvimento econômico na Amazônia¹⁵⁸. Localizada no limite do arco de desmatamento a bacia tem 120.220 km² protegidos por 29 UCS, com 9 delas de PI e 20 de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” representam apenas 9% da área total da bacia, com localização concentrada em

sua porção nordeste, sobrepostas às UCS PARNA do Jamanxin, PARNA do Rio Novo e FLONA de Jamanxin e numa pequena porção à oeste no PARNA da Amazônia (Figura 32). Também sendo áreas de alta sensibilidade da biodiversidade, as UPs categorizadas como áreas de “Baixa compatibilidade” destacam-se por ocupar 59,3% da área total da bacia, e diferenciam-se por ter alta exposição aos impactos. Nelas estão importantes UHEs como a São Manuel, Salto Apiacás, Colíder, e Teles Pires e ao menos outros 45 empreendimentos (CGHs e PCHs). Ainda estão planejados 128 empreendimentos hidrelétricos para a bacia e destes apenas nove encontram-se em áreas de “Alta compatibilidade”, que, por sua vez, se localizam unicamente no extremo sul da bacia (Figura 32). Entre os empreendimentos planejados, estão alguns projetos considerados controversos e que compõem o Complexo Hidrelétrico do Tapajós: as hidrelétricas de São Luiz do Tapajós e Jatobá^{158,159}. Ambas, no PRIM-HA, estão sobrepostas às áreas de “Baixa compatibilidade” e, portanto, investimentos nestas implicariam em alto custo ambiental.

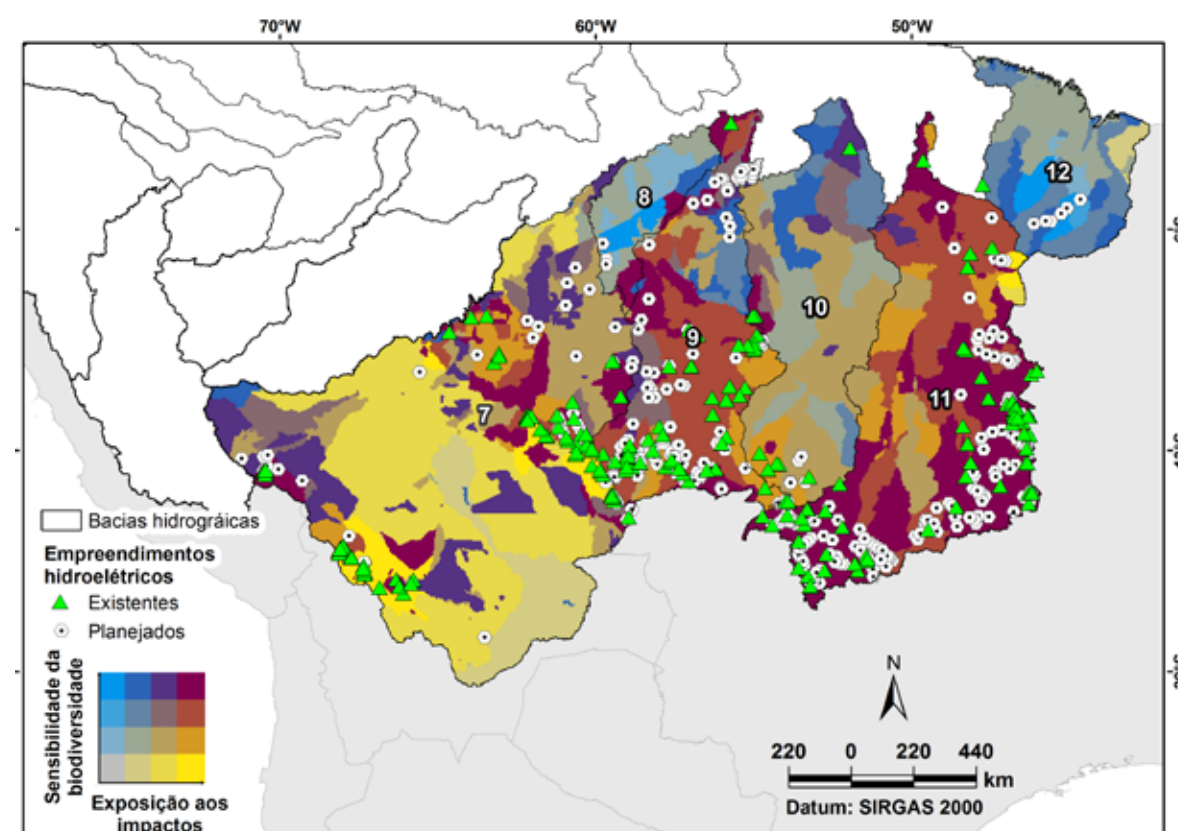


Figura 32. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: 7. Madeira, 8. Abacaxis, 9. Tapajós, 10. Xingu, 11. Tocantins, 12. Bacia da Costa Sul.

4.3.10 BACIA XINGU

A bacia do rio Xingu [10] resguarda 7% da área total da bacia Amazônica inserida no território brasileiro (Figura 32), com destaque socioambiental por deter considerável porção de áreas legalmente protegidas, seja por UC, seja como terras indígenas. Com mais de 2.000 km de extensão, o rio Xingu é um dos maiores afluentes do rio Amazonas e altamente sazonal e este é um dos principais argumentos para sua manutenção como um rio livre, pois represas hidrelétricas implicariam em uma regularização da vazão com impactos ambientais relevantes¹⁶⁰. Na mesorregião do sudoeste paraense, ocorre uma acentuada deflexão, com trechos no Xingu que somam aproximadamente 130 km de corredeiras e canais anastomosados, fluindo sobre o leito rochoso cristalino do escudo brasileiro - a Volta Grande do Xingu - que forma um complexo ecossistema ao qual está associado uma biodiversidade endêmica e ameaçada¹⁶¹. Intervenções ambientais ligadas à UHE de Belo Monte na Volta Grande do Xingu resultaram em inundação permanente de parte da planície fluvial do rio Xingu e afluentes, ampliação da deposição de sedimentos, aumento da disponibilidade de água subterrânea com a elevação do lençol freático e mudanças na temperatura das águas¹⁶². Na bacia 98.430 km² são protegidos por um total de 21 UCs, sendo 9 de PI e 12 de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” estão distribuídas ao norte da bacia Xingu, incluindo as áreas sobrepostas a ESEC Terra do Meio e a RESEX Verde para Sempre, além de uma porção localizada à sudeste, na região da Serra do Roncador (Figura 32). Áreas de “Baixa compatibilidade” circundam as áreas de “Muito baixa compatibilidade” ao norte (onde está a UHE Belo Monte) e ocorrem também em quatro outras UPs isoladas e presentes na região central, centro-oeste e sudoeste da bacia. Três destas são UCs: ESEC do Rio Ronuro, REBIO Nascentes da Serra do Cachimbo e Parque Estadual do Xingu. Por sua vez, áreas de “Alta compatibilidade” ocorrem principalmente na região central da bacia, nas adjacências das áreas de “Muito Alta compatibilidade” e se estendem até a região sul (Figura 32). A maior parte dos empreendimentos hidrelétricos existentes estão

exatamente na região sul da bacia, assim como os planejados, que se constituem basicamente de PCHs.

4.3.11 BACIA TOCANTINS

A bacia do rio Tocantins [11] representa 10,5% na região amazônica estendendo-se por 767.198 km² (Figura 32). Considerada uma das maiores bacias hidrográficas da América do Sul tem como principais rios o Tocantins e o Araguaia, que convergem em sua parte norte, com exutório na Baía de Marajó. Entre os tributários do Amazonas, o rio Tocantins é considerado o mais impactado não só pelas barragens, mas também pelo uso intensivo do solo¹³⁹. Cerca de 12% (92.217 km²) da bacia é protegido por 65 UCs, das quais 26 são de PI e 39 de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” restringem-se àquelas sobrepostas as FLONAS Tapirapé-Aquiri, Carajás e Itacaúnas, à nordeste da bacia. A categoria de compatibilidade com maior proporção de distribuição é representada por áreas de “Baixa compatibilidade”, que cobre 71 % da área da bacia (Figura 32), e inclusive é a maior em comparação com as demais bacias. Este resultado reflete a grande pressão de empreendimentos hidrelétricos existentes sobre uma biodiversidade com elevada sensibilidade aos seus impactos e indica a necessidade de estratégias para redução destes. Entre esses empreendimentos destaca-se por ocupar áreas com os maiores valores de “Baixa Compatibilidade” a UHE de Tucuruí, localizada no baixo Tocantins e considerada uma das “grandes” hidrelétricas da Amazonia brasileira (> 10 megawatts [MW] de capacidade instalada)¹⁶³. Merece atenção também o fato de que todos os empreendimentos planejados também se sobrepõem a UPs nesta categoria. A outra categoria encontrada são de áreas de “Muito Alta compatibilidade” localizadas principalmente em UPs a oeste e a leste da bacia (Figura 32).

4.3.12 BACIA DA COSTA SUL

A bacia da Costa Sul [12] drena uma área cerca de 272.302 km² e abrange áreas no extremo oriente da calha sul do Amazonas e no litoral ao sul da baía de Marajó (Figura 32). Os rios Mearim, Gurupi e Itapecuru configuram como os

principais cursos existentes na bacia. Da área total da bacia, 16% (43.978km²) são protegidos por um total de 30 UCs, das quais apenas quatro são de PI e o restante de US, a exemplo da APA das reentrâncias maranhenses.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” ocupam notável proporção da bacia (55,3%), concentradas principalmente na região sul (Figura 32). Em justaposição está o único empreendimento hidrelétrico existente registrado (CGH Boas Novas) assim como todos os empreendimentos planejados para a bacia, o que acende um importante alerta pois configuram-se como áreas que devem ser estrategicamente evitadas. Alternativamente, foram identificadas na bacia áreas de “Alta compatibilidade” distribuídas em sua face norte (Figura 32).

4.3.13 BACIA DA COSTA NORTE

A bacia da Costa Norte [13] ocupa 111.568 km² de extensão nos territórios do Amapá (Brasil) e leste da Guiana Francesa e assim engloba o litoral ao norte da baía de Marajó (Figura 33). É drenada pelo rio Oiapoque e uma considerável porção de sua área total é protegida por 13 UCs (70,9% ou 79.093 Km²), das quais seis são de PI e sete de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” estendem-se numa ampla faixa de leste à oeste da bacia (Figura 33), e incluem aquelas sobrepostas ao Parc Amazonien de Guyane (Guiana Francesa), ao PARNA Montanhas do Tumucumaque (Brasil), ao PARNA do Cabo Orange (Brasil) e a Floresta Estadual do Amapá (Brasil). Em áreas desta categoria estão também sobrepostas as três UHEs existentes na bacia: Cachoeira caldeirão, Coaracy Nunes e Ferreira Gomes e seis dos 12 empreendimentos hidrelétricos planejados. Áreas de “Baixa compatibilidade” ocupam pequenas porções da bacia, na sua região sul, incluindo a REBIO do Lago Piratuba. Áreas de “Alta compatibilidade” estão predominantemente localizadas ao norte da bacia e em um trecho à sudeste desta, sendo essa a categoria de maior representatividade da bacia (51%). Por fim as áreas de “Muito Alta compatibilidade” são encontradas predominantemente ao sul da bacia, tendo sido identificados três empreendimentos planejados nelas sobrepostos (Figura 33).

4.3.14 PLANÍCIE AMAZÔNICA E TRIBUTÁRIOS MENORES

As áreas da planície amazônica e sub-bacia de seus tributários menores [14] correspondem a 13% da região amazônica ($\cong 973.170$ km²), dividindo-a no sentido norte-sul (Figura 33). O rio Amazonas é o maior sistema fluvial do mundo e o maior em termos de descarga de água doce e carga de sedimentos, ele drena áreas com ecossistemas fortemente moldados pelos pulsos de inundação. Os cinturões contínuos de planícies inundadas e mosaicos de terras úmidas cobrem extensas áreas da floresta tropical e abrigam muitos organismos adaptados ao regime de inundação. Em relação à área total, 32% (320.178 km²) estão sobrepostos a 84 UCs, predominantemente de US (N=65).

Nesta região, as áreas de “Muito baixa compatibilidade” estão distribuídas nas UPs sobrepostas a planície de inundação do rio Amazonas, expandindo-se por todo o entorno da sua foz, assim com pelas sub-bacias dos rios Pacajá, Jari e parte de Guamá (Figura 33). Áreas de “Baixa compatibilidade” são concentradas nas sub-bacias do Rio Uatumã, Curuá-Una e parcialmente de Guamá, consideradas de alta sensibilidade da biodiversidade e expostas aos impactos de ao menos quatro UHE: Alto Jatapu, Pitinga e Balbina na sub-bacia Uatumã e, na outra sub-bacia, a UHE Curuá-Una, com a mais antiga represa construída na Amazônia Central. Por sua vez, áreas de “Alta compatibilidade” ocorrem principalmente na sub-bacias dos rios Jari, Tefé, Jutai e Madeirinha enquanto as áreas de “Muito Alta compatibilidade” são encontradas apenas na sub-bacia do Rio Guamá (Figura 33).

Os empreendimentos hidrelétricos planejados (N=17) sobrepõe-se a duas sub-bacias: Uatumã e Jari, sendo uma PCH na primeira e, na segunda, quatro PCHs e 12 UHE. A sub-bacia do Jari destaca-se, pois vários destes empreendimentos estão sobrepostos ou nas proximidades de UC. Ainda assim, nesta sub-bacia a prioridade de investimento pode ser avaliada na ótica da compatibilidade com a conservação da biodiversidade, pois estes se dividem em dois grupos com posições antagônicas: aquelas sobrepostas as áreas de “Muito Baixa compatibilidade” o que implica em alto custo ambiental e aquelas sobrepostas as áreas de “Alta compatibilidade”.

4.3.15 BACIA TROMBETAS

A bacia do rio Trombetas [15] abrange 150.032 km² na calha norte do rio Amazonas, em território brasileiro (Figura 33). Drenada pelo rio Trombetas, esta bacia é caracterizada por uma densa rede de drenagem e padrão predominantemente dendrítico, isto é, com correntes tributárias que se distribuem em todas as direções sobre a superfície do terreno. Considerável percentual da área da bacia está protegida por UCs, em torno de 56% do total (84.000 km²), distribuídas em duas UCs de PI e cinco UCs de US.

Nesta bacia as áreas de “Muito baixa compatibilidade” estendem-se de norte a sul da bacia (Figura 33), resguardam 57,5% da área total da bacia e englobam as áreas sobrepostas as seguintes UCs: ESEC do Grão Pará, a REBIO do rio Trombetas, a FLONA de Saracá-Taquera, a Floresta Estadual de Faro. Justamente sobreposta a esta categoria está também o único empreendimento hidrelétrico ainda planejado e identificado para a bacia, a UHE Cachoeira Porteira. As demais áreas pertencem unicamente a categorias de “Alta compatibilidade” na região centro-leste e em três UPs localizadas na região sudoeste e nordeste da bacia (Figura 33).

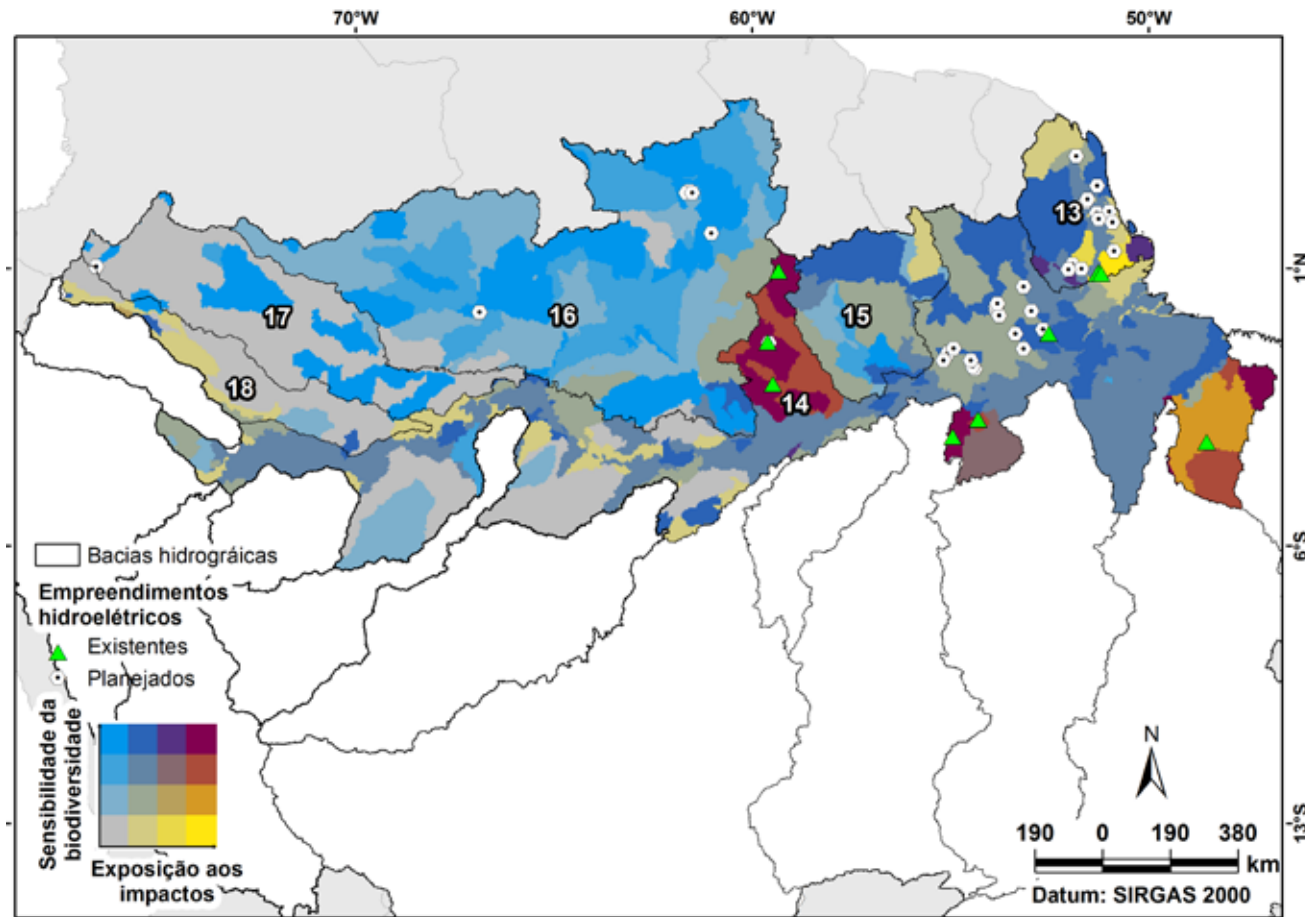


Figura 33. Mapa de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e os empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Bacias hidrográficas: 13. Bacia da Costa Norte, 14. Planície Amazônica e tributários menores: 14.1 Nany, 14.2 Jutai, 14.3 Tefe, 14.4 Madeirinha, 14.5 Curuá-una, 14.6 Pacajá, 14.7 Guamá, 14.8 Jari, 14.9 Uatumã, 14.10 Manacapuru e 14.11 Piorini 15. Trombetas, 16. Negro, 17. Japurá - Caquetá e 18. Iça – Putumayo

4.3.16 BACIA NEGRO

A bacia do rio Negro [16] inclui áreas da fronteira do Brasil, Colômbia, Guiana e Venezuela, uma região intensamente intemperizada do Escudo das Guianas (Figura 33). O rio Negro é o maior afluente da margem esquerda do rio do Amazonas, drenando cerca de 716.375 km², o que representa 9,8 % da região amazônica. A baixa carga de sedimentos característica do rio Negro, permite altas concentrações de ácido húmico e ácido fúlvico em solução, o que o define como um dos “rios de águas pretas”. A bacia possui aproximadamente 35% de sua área protegida (250.559 km²) por um total de 41 UCs, dentre elas 18 são de PI e 23 de US.

Na bacia apenas duas categorias de compatibilidade foram registradas: as áreas de “Muito baixa compatibilidade” que são homogeneamente distribuídas e as áreas de “Alta compatibilidade” que, embora também estejam presentes em várias UPs, localizam-se principalmente nas regiões de borda (Figura 33). Na bacia foram identificados apenas empreendimentos hidrelétricos planejados, que estão todos justapostos a áreas de “Muito baixa compatibilidade”, como a UHE Bem Querter, prevista para ser implantada no rio Branco.

4.3.17 BACIA JAPURÁ-CAQUETÁ

A bacia Japurá-Caquetá [17] reúne áreas drenadas na Colômbia e no Brasil, estendendo-se por 252.870 km² (Figura 33). O rio Caquetá nasce na Colômbia e passa a ser denominado Japurá no norte da Amazônia brasileira até desaguar na margem esquerda do rio Solimões, próximo a Tefé. É classificado como um rio de água branca. De sua área total 27% são protegidos por 18 UCs (68.557 km²), sendo 14 de PI e 4 de US.

As áreas de “Muito baixa compatibilidade” representam 27 % da área total da bacia (Figura 33) e correspondem unicamente às UCs colombianas Parque Nacional Natural Serrania de Chiribiquete, Parque Nacional Natural Yaigoje Apaporis, Parque Nacional Natural Cahuanari e, no Brasil,

ESEC Jauami-Japurá. Todo o restante da bacia é categorizado como áreas de “Alta compatibilidade”, sob a qual foi identificado o único empreendimento hidrelétrico planejado para a bacia, a UHE Andaqui (Colômbia) (Figura 33).

4.3.18 BACIA IÇA PUTAMAYO

A estreita bacia do Putumayo-Içá [18] engloba 118.196 km² ou 1,62% da bacia amazônica (Figura 33). Com cabeceiras nas regiões andinas próximos a 4.000 metros de altitude, percorre quatro países e drena as áreas das fronteiras Colômbia-Ecuador-Peru até terras brasileiras (rio Içá), onde deságua no rio Amazonas¹⁶⁴. A concentração de sedimentos é alta o suficiente para tornar as águas do Putumayo-Içá turvas, sendo considerado um rio de água branca. Entre os rios andinos é reconhecido como o único rio sem empreendimentos hidrelétricos¹⁸. Um total de 16 UCs estão sobrepostas à bacia, em uma área de 22.926 km², na qual sete são de PI e nove de US.

Áreas de “Muito baixa compatibilidade” da bacia são protegidas por UCs como a Parque Nacional Natural La Paya (Colômbia) Reserva Ecológica Cofán Bermejo (Ecuador), Parque Nacional Güeppi-Sekime (Peru) e o Parque Nacional Natural Amacayacu (Colômbia). No restante da bacia predominam as áreas de “Alta compatibilidade” (Figura 33). Não foram identificados empreendimentos hidrelétricos existentes ou planejados na bacia.



©Fátima Luna / Trichostichus inunguis

4.4 APLICAÇÕES DO MAPA DE COMPATIBILIDADE ENTRE A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

Mapas de compatibilidade podem ser aplicados desde o planejamento para a expansão da produção de energia elétrica com novos empreendimentos ou repotencialização de usinas existentes, até a fase de descomissionamento. Conforme a primeira etapa da hierarquia de mitigação de impactos (evitar - mitigar - compensar) (ver Figura 1 na seção 1.1), o uso do mapa de compatibilidade permite identificar onde é desejável evitar investimentos na implantação de hidrelétricas ou para ampliação dos já existentes por se tratar de áreas de alta relevância biológica (áreas de sensibilidade da biodiversidade categorizadas como “extremamente sensíveis” e “muito sensíveis”). No Mapa de compatibilidade tais áreas são identificadas tanto como “áreas de muito baixa compatibilidade” quanto “áreas de baixa compatibilidade”. Nestas, a construção ou ampliação de empreendimentos poderão acarretar maior custo ambiental devido a licenciamentos e medidas conservacionistas mais complexas. Embora os resultados sejam apresentados para cada UP (ver seção 1.6) as aplicações do mapa estendem-se para comparações que vão desde a escolha entre as alternativas de quedas de um mesmo empreendimento que ocupem mais de uma UP ou à comparação entre diferentes empreendimentos na bacia hidrográfica de interesse, permitindo um planejamento territorial que integre os efeitos cumulativos e sinérgicos da atividade.

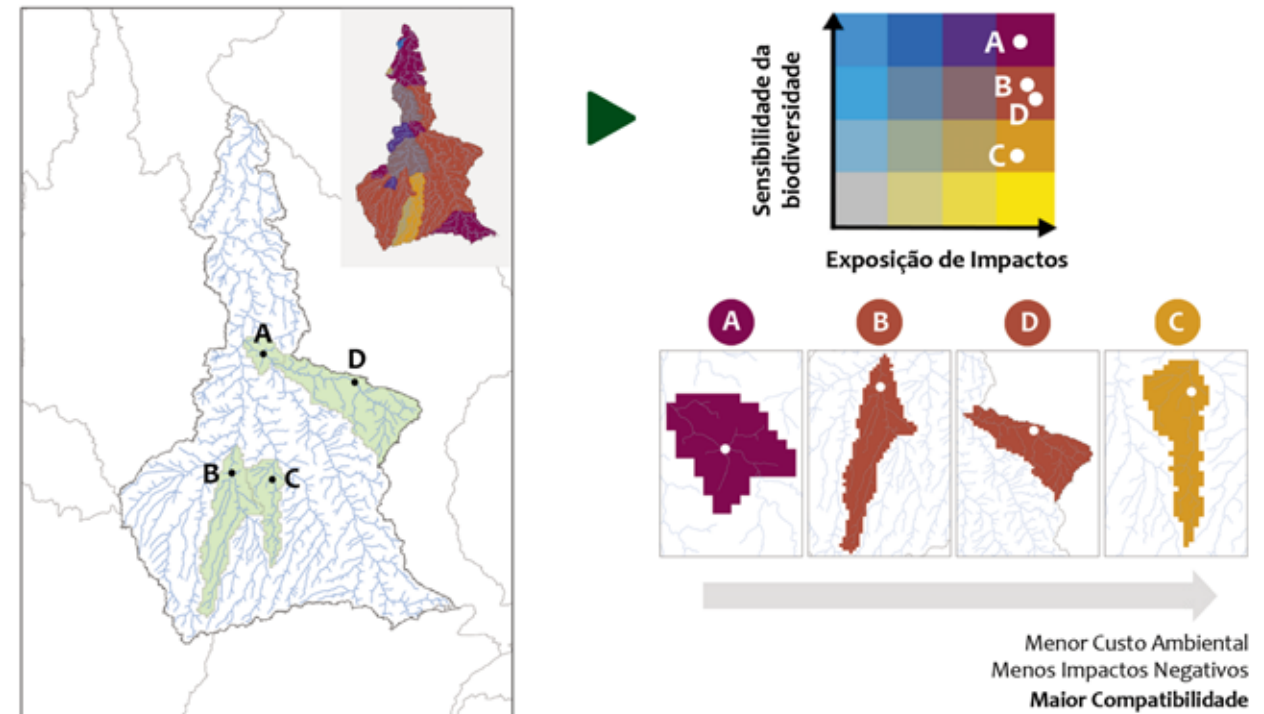
Adicionalmente, o mapa de compatibilidade indica também para as etapas de planejamento destas atividades socioeconômicas as áreas que devem ser priorizadas como alternativas locais. Por se sobreporem às áreas de menor sensibilidade da biodiversidade e maiores índices de exposição aos impactos, tendem a ser mais degradadas e oferecerem menores restrições ambientais. Nos mapas de compatibilidade, tais áreas são representadas como “áreas de muito alta compatibilidade”.

Após estabelecer onde o empreendimento pretende ser construído, é possível consultar a UP deste local e verificar a lista de alvos de conservação potencialmente ali presentes. Isso pode contribuir para subsidiar os processos de licenciamento pertinentes, a definição das metodologias de realização de estudos locais e direcionamento de condicionantes, o preenchimento de lacunas de conhecimento sobre componentes da biodiversidade potencialmente impactados pela atividade, a definição de planos de monitoramento e o estabelecimento de medidas de redução de impactos negativos mais eficazes.

O mapa de compatibilidade define a prioridade e a predominância das medidas mitigadoras para redução dos impactos ambientais. Os valores de Sensibilidade da biodiversidade direcionam a prioridade e concentram as intervenções conservacionistas para áreas mais sensíveis, ao passo que a exposição aos impactos orienta a predominância de medidas mitigadoras proativas para áreas de baixa exposição aos impactos e de medidas mitigadoras reativas para áreas de alta exposição. Neste contexto, assume-se que ações proativas são aquelas que se antecipam aos impactos, evitando que estes aconteçam, enquanto as ações reativas são aquelas que remediaram os impactos existentes¹⁶⁵.

Os resultados do PRIM-HA podem ser utilizados para: (i) hierarquizar os empreendimentos de uma mesma bacia hidrográfica de acordo com a compatibilidade da biodiversidade, de modo a suportar uma escolha locacional de menor impacto regional e permitir uma precisão da complexidade do licenciamento ambiental (Figura 34A); (ii) informar os componentes da biodiversidade e atributos da paisagem potencialmente presentes na UP de cada empreendimento. Esta última informação contribui para o direcionamento das metodologias de amostragens aplicadas ao EIA/RIMA e consequentemente para a confirmação de alvos de conservação localmente impactados, além de auxiliar nas orientações de medidas mitigadoras e compensatórias (Figura 34B e Material Suplementar-Anexo I).

A Avaliar a compatibilidade de empreendimentos hidrelétricos



B Consultar os alvos de conservação e medidas de mitigação de um empreendimento hidrelétrico



Figura 34. Exemplo de aplicação do mapa de compatibilidade para o planejamento estratégico de novos empreendimentos hidrelétricos em relação à escolha locacional e informações dos componentes da biodiversidade da bacia.

4.4.1 ANÁLISES CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE A PRODUÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E A COMPATIBILIDADE DA ATIVIDADE COM A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

O planejamento para a construção ou a ampliação de novos empreendimentos hidrelétricos ao relacionar as estimativas de produção elétrica às informações de compatibilidade da bacia hidrográfica incorpora uma análise de custo-benefício à tomada de decisão, em uma busca pelo equilíbrio e alcance dos objetivos econômicos e ambientais, capazes de permitir um planejamento territorial mais sustentável. O planejamento estratégico não eliminará os impactos de futuros empreendimentos, mas soma-se aos esforços já existentes de ambos os setores para proporcionar benefícios que superem ou reduzam externalidades ambientais destas atividades.

A proposta apresentada no PRIM-HA é a de que a compatibilidade seja acrescida às análises de custo-benefício de modo que sejam priorizados os investimentos nos empreendimentos que ofereçam maior produção elétrica e estejam localizados em áreas de maior compatibilidade. O cenário nacional atual reforça a necessidade desta abordagem para avaliar futuros empreendimentos, especialmente quando é observado que o Brasil apresenta a maior quantidade de barragens planejadas (380 das 557) (Figura 35). Ainda é possível destacar as bacias dos rios Tapajós e Tocantins, que sozinhas concentram 52% de todos os empreendimentos planejados para a região amazônica, com projetos de mesmo porte, mas com diferentes capacidades de produção e perspectivas de alto custo ambiental recorrente.



©Leandro Sousa / Teleoichthia centisquamia

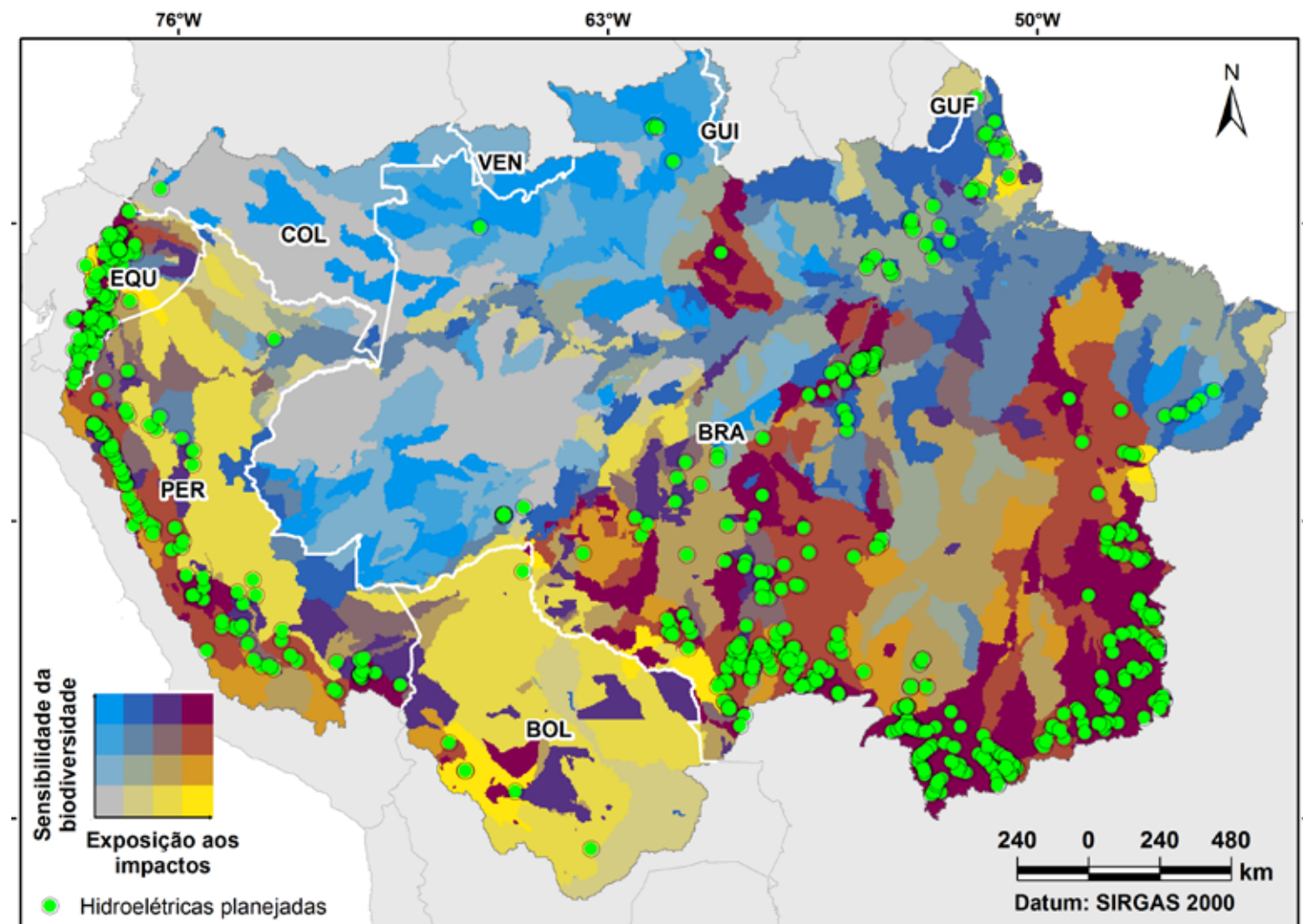
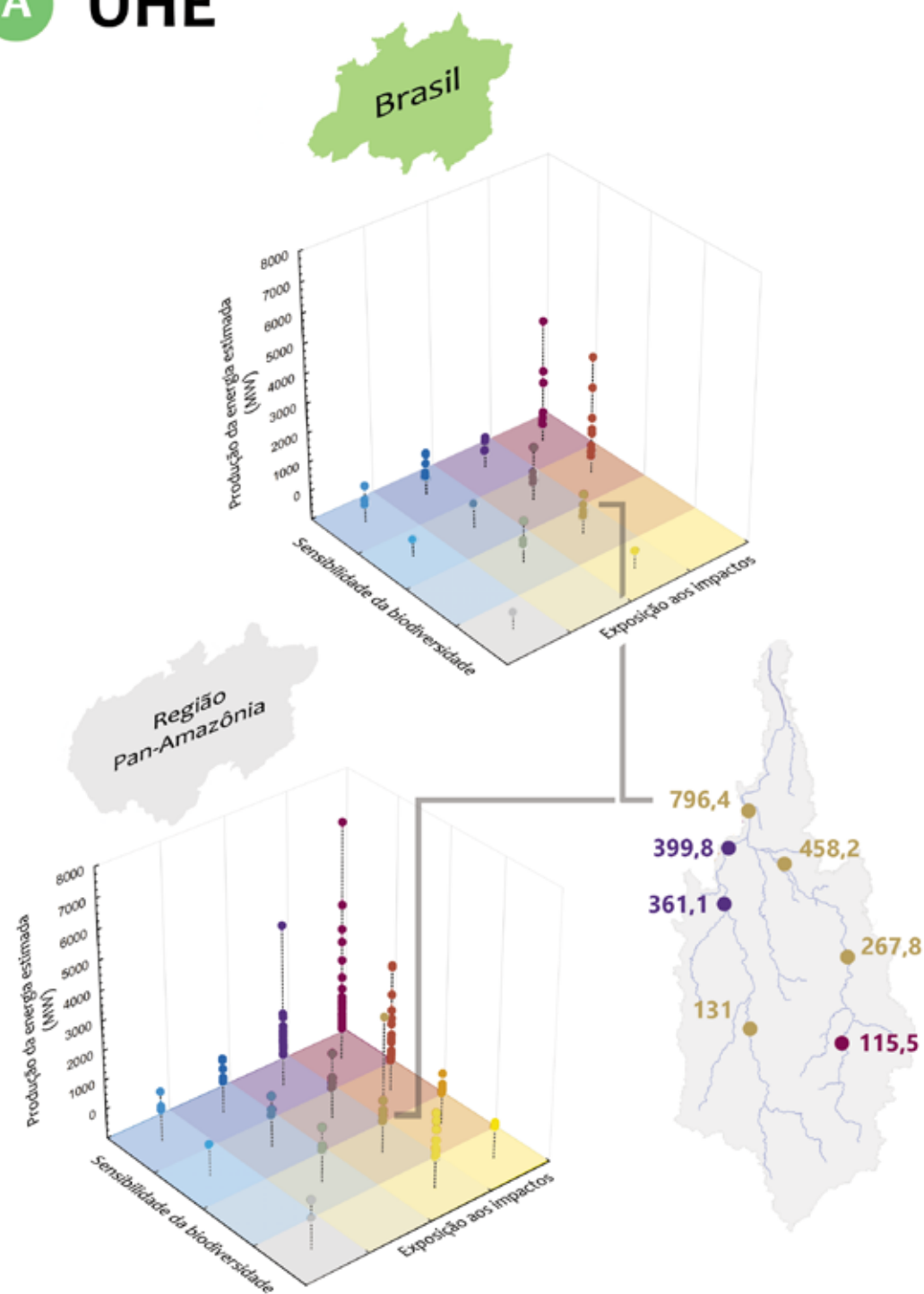


Figura 35. Sobreposição dos empreendimentos hidrelétricos planejados ao mapa de compatibilidade do PRIM-HA

O cruzamento das informações sobre a compatibilidade e a capacidade de produção de energia elétrica possibilita a realização de uma análise simples e direta das alternativas possíveis e identificação das soluções que otimizam a seleção ambientalmente mais sustentável e de maior geração elétrica. As UHE e PCHs planejadas foram distribuídas nas diferentes categorias de compatibilidade para toda a região amazônica e para o Brasil (Figuras 36 A e B). Adicionalmente, são apresentados exemplos de hierarquização de empreendimentos de acordo com o custo-benefício

em bacias para as quais estão previstos múltiplos projetos hidrelétricos. Assim é possível analisar comparativamente os projetos inclusos em uma mesma ou entre diferentes categorias de sensibilidade. Não foram identificadas informações sobre CGH planejadas no Brasil. Por fim, ressalta-se que este é mais um subsídio disponível para inserção das questões ambientais no processo decisório, sendo ainda necessário considerar os demais componentes que integram tais planejamentos, como por exemplo, as questões sociais.

A UHE



B PCH

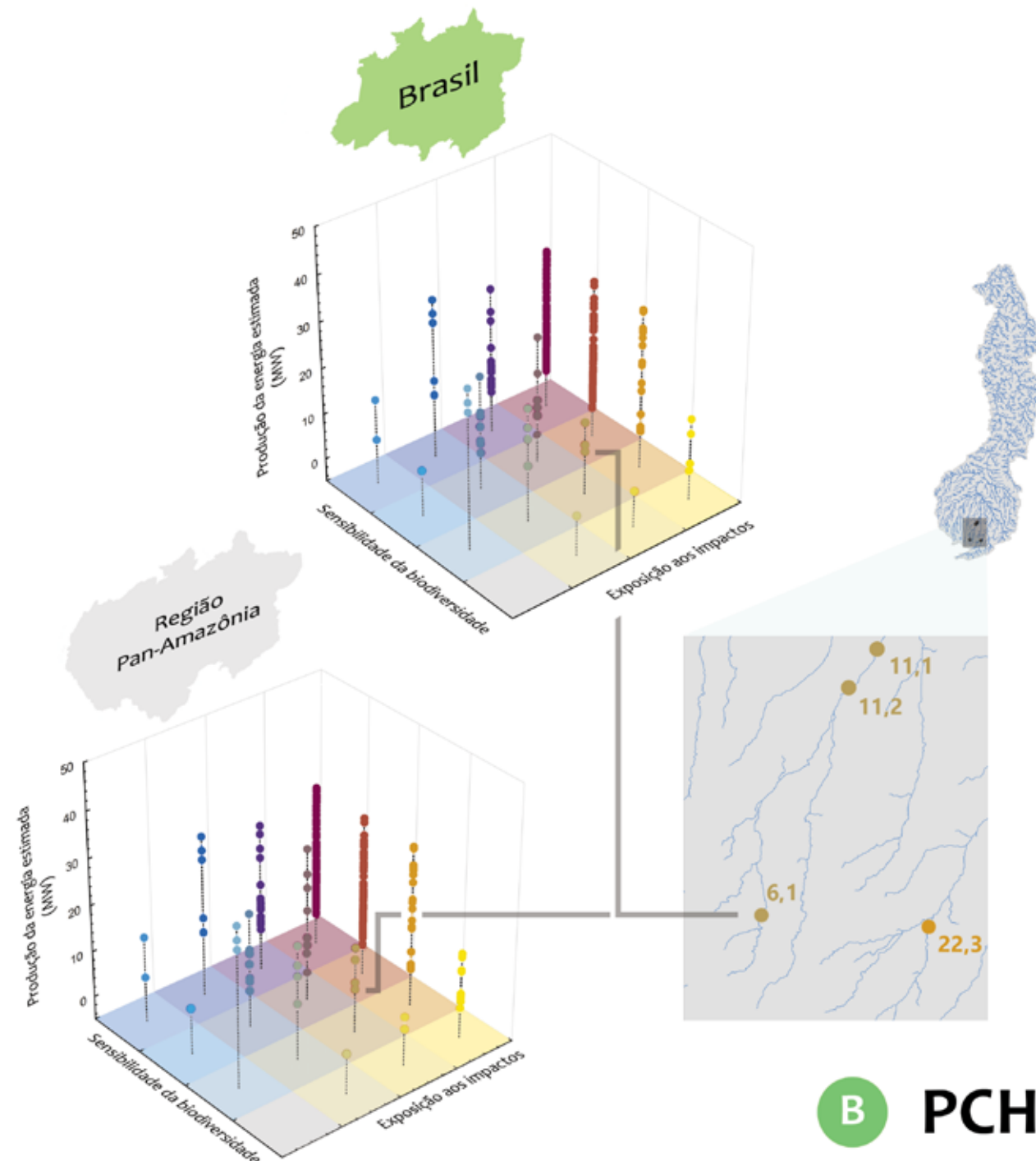


Figura 36. Exemplo de distribuição de UHEs(A) e PCHs (B) planejadas sobrepostos às categorias de compatibilidade entre empreendimentos hidrelétricos e a conservação da biodiversidade (eixos x e y) e de acordo com a capacidade produção de energia hidrelétrica (eixo z) para o Brasil e para a Região Amazônica. Em A está destacada a UHE com melhor custo-benefício pois está presente na classe de Muito Alta Compatibilidade e com maior estimativa de produção de energia (796,4 MW). Em B, todos os empreendimentos estão em classes de Muito Alta Compatibilidade, mas destaca-se a PCH com menor produção estimada de energia (6,1 MW), portanto, com menor custo-benefício.

4.5 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E OS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

A análise espacial da situação das UCs e seu entorno são fundamentais para definição de estratégias de conservação e de estimativas mais precisas de custo ambiental. São ainda mais importantes no cenário atual, em que muitas áreas protegidas em todo o mundo perdem proteções legais com a permissão de atividades humanas nestas (downgrading), a redução de sua extensão espacial (downsizing), ou a eliminação total de seu status de proteção (degazettement) (Protected area downgrading, downsizing, and degazettement - PADDD)^{166,167}.

Na região amazônica 533 Unidades de conservação (UC) ocupam uma área de 1.940.697 km², o que representa cerca de 26% da área de estudo do PRIM-HA. Estas UCs são distribuídas entre 198 UCs de PI e 335 UCs de US. Do total de UCs avaliadas no PRIM-HA, 350 encontram-se localiza-

das no Brasil abrangendo aproximadamente 1.530.450 km² e são classificadas como 116 e 234 UCs de PI e US, respectivamente. Estas UCs resguardam considerável parcela de floresta tropical e funcionam como importantes reservas de recursos naturais e barreiras verdes aos impactos antrópicos, quando comparadas a áreas não protegidas.

Regionalmente, mais da metade das UCs estão inseridas em áreas de “Extrema sensibilidade”, uma categoria que inclui todas as 198 UCs de PI (ver item 3.3, seção III) e ainda 106 UCs de US (Figura 37A). As demais UCs, todas de US, têm distribuição quase proporcional do número de UCs entre os restantes níveis de sensibilidade. Contrariamente ao cenário de sobreposição às áreas de sensibilidade, observa-se que as UCs de PI estão inseridas em todas as categorias de exposição aos impactos (Figura 37B). Foram contabilizadas 98 UCs de PI inseridas em áreas de “Extrema” e 56 em áreas de “Baixa” exposição aos impactos de empreendimentos hidrelétricos

(Figura 37B). Além disso, entre as UCs de US, evidencia-se uma disposição menos equitativa e predominam aquelas sobrepostas às áreas de “Extrema” exposição aos impactos.

Uma avaliação adicional preocupante é o registro de 87 empreendimentos hidrelétricos planejados sobrepostos, ou na zona limítrofe de UCs, que potencialmente implicam em alto custo

ambiental e processos de licenciamento mais morosos e caros (Tabela 6). Destaca-se, por exemplo a situação de UCs de PI nacionais como o PARNA da Chapada das Mesas com três PCHs planejadas ou a do PARNA dos Campos Amazônicos com duas UHEs em planejamento. Nas UCs de US foram registrados até 10 empreendimentos hidrelétricos (nove PCHs e uma UHE) para a APA de Pouso Alto e seis PCHs para a FLONA do Tapajós.

Tabela 6: Número de empreendimentos hidrelétricos planejados sobrepostos ou na zona limítrofe de UCs para a região amazônica.

Unidades de Conservação	Categoria	UCs com sobreposição de empreendimentos planejados	Empreendimentos planejados	
			PCH	UHE
APA	US	6	15	4
Área Natural de Manejo Integrado	US	1	0	1
Bosque de Proteção	US	1	1	0
FLONA	US	6	14	7
Floresta estadual	US	2	6	3
PARNA	PI	10	9	11
Parque estadual	PI	2	2	3
Parque Natural Municipal	PI	1	0	1
RDS	US	1	0	1
REBIO	PI	2	0	5
RESEX	US	3	1	2
Santuário Histórico	PI	1	0	1

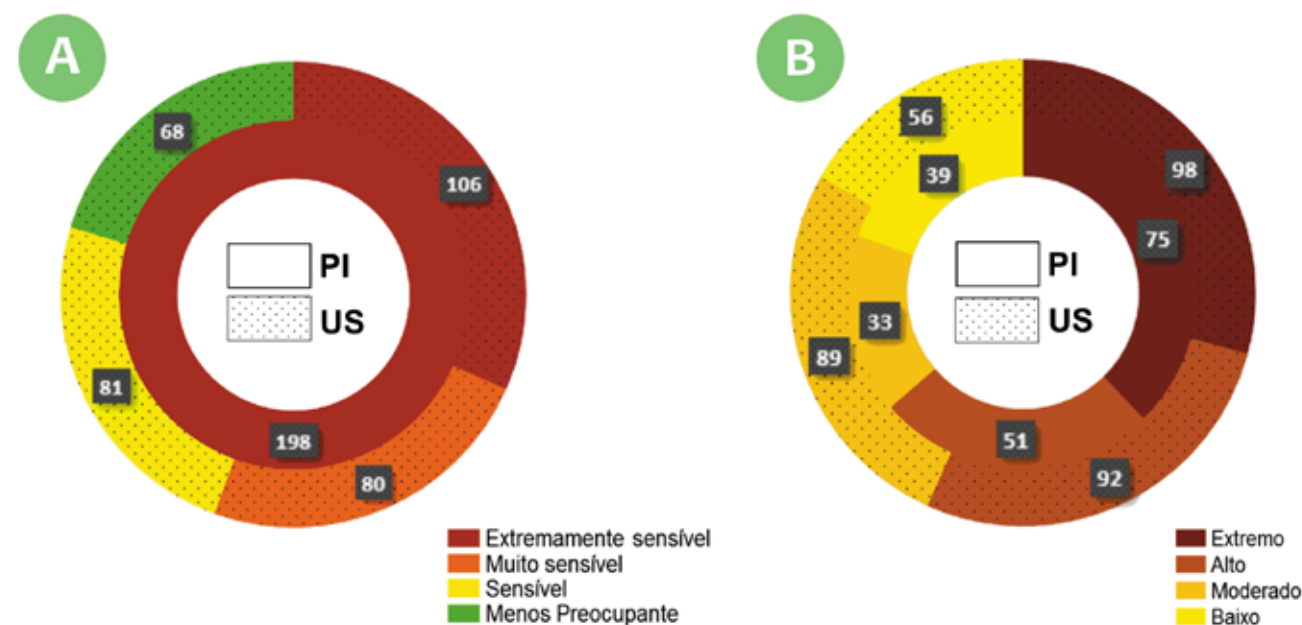


Figura 37. Proporção do número de UCs de PI e US por categoria de sensibilidade no PRIM-HA (A) e por exposição aos impactos de empreendimentos hidrelétricos (B).

Obviamente o intuito do PRIM-HA não é indicar áreas protegidas mais compatíveis para expansão de atividades hidrelétricas, pois aqui é reconhecida sua função estratégica para conservação da biodiversidade impactada não só por hidrelétricas, como também por outras atividades socioeconômicas. Destaca-se que mesmo UCs sobrepostas às áreas de muito alta compatibilidade têm extrema relevância e foram criadas com finalidades diversas, como para a proteção de outros componentes da biodiversidade e recursos naturais não incorporados ao PRIM-HA, mas que sofrem os impactos de outros vetores de ameaça. Por exemplo, a RESEX de Cururupu, tem por objetivo a proteção dos meios de vida e a cultura das populações tradicionais e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da área¹⁶⁸; a FLONA do Iquiri tem como objetivos promover o manejo de uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, a manutenção e a proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas, o apoio ao desenvolvi-

mento de métodos de exploração sustentável de florestas nativas e a pesquisa científica¹⁶⁹; a ARIE Seringal Nova Esperança, objetiva a proteção de exemplares raros da biota regional, em especial as espécies Castanheira (*Bertoletia excelsa*) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*)¹⁷⁰.

A hierarquização da compatibilidade das UCs e empreendimentos hidrelétricos: (i) orienta a proteção e conservação de alvos impactados por atividades hidrelétricas (muito baixa compatibilidade), (ii) identifica as UCs que tem maior urgência na definição de execução de medidas mitigadoras para redução de impactos em áreas com alto valor de conservação da biodiversidade, e nas quais já existem conflitos com a produção de energia hidrelétrica (baixa compatibilidade); (iii) distingue as UCs (alta e muito alta compatibilidade) em que haverá menor impacto ambiental sobrepostos ou em seu entorno, desde que respeitadas as restrições legais de cada país no tocante à instalação ou ampliação de empreendimentos hidrelétricos de diferentes portes.

A maior parte das UCs sobrepostas às áreas classificadas como “Muito baixa compatibilidade” estão na calha norte do Amazonas, especialmente nas bacias do rio Negro e Japurá-Caquetá (Figura 38). Por apresentarem alta biodiversidade e baixa exposição a hidrelétricas, a manutenção da proteção das UCs desta categoria aumentaria a probabilidade de conservação da biodiversidade a longo prazo. São exemplos: as UCs brasileiras ESEC Juami-Japurá, PARNA do Jaú e REBIO do ABUFARI, assim como o Parque Nacional Natural Rio Pure na Colômbia ou o National Park Serranía de la Neblina na Venezuela.

As UCs que ocorrem nas áreas de “Baixa compatibilidade”, em que são observadas as situações de conflitos entre a

conservação e os empreendimentos existentes, localizam-se principalmente na região do arco de desmatamento brasileiro e na cadeia andina. Nesta categoria estão por exemplo as UCs brasileiras REBIO de Uatumã, FLONA do Amaná, e FLONA de Tapajós.

Em áreas de “Alta compatibilidade” estão inseridas 83 UCs de US. São áreas classificadas como de “Baixa exposição” aos impactos de hidrelétricas, muitas delas localizadas nas bacias do rio Purus, Negro e na Planície amazônica. Já nas áreas de “Muito Alta compatibilidade” estão 65 UCs de US, distribuídas em maior número na bacia do rio Madeira, mas também presentes em sete outras bacias da região amazônica.



©Leonardo Milano / Parque Nacional de Anavilhanas

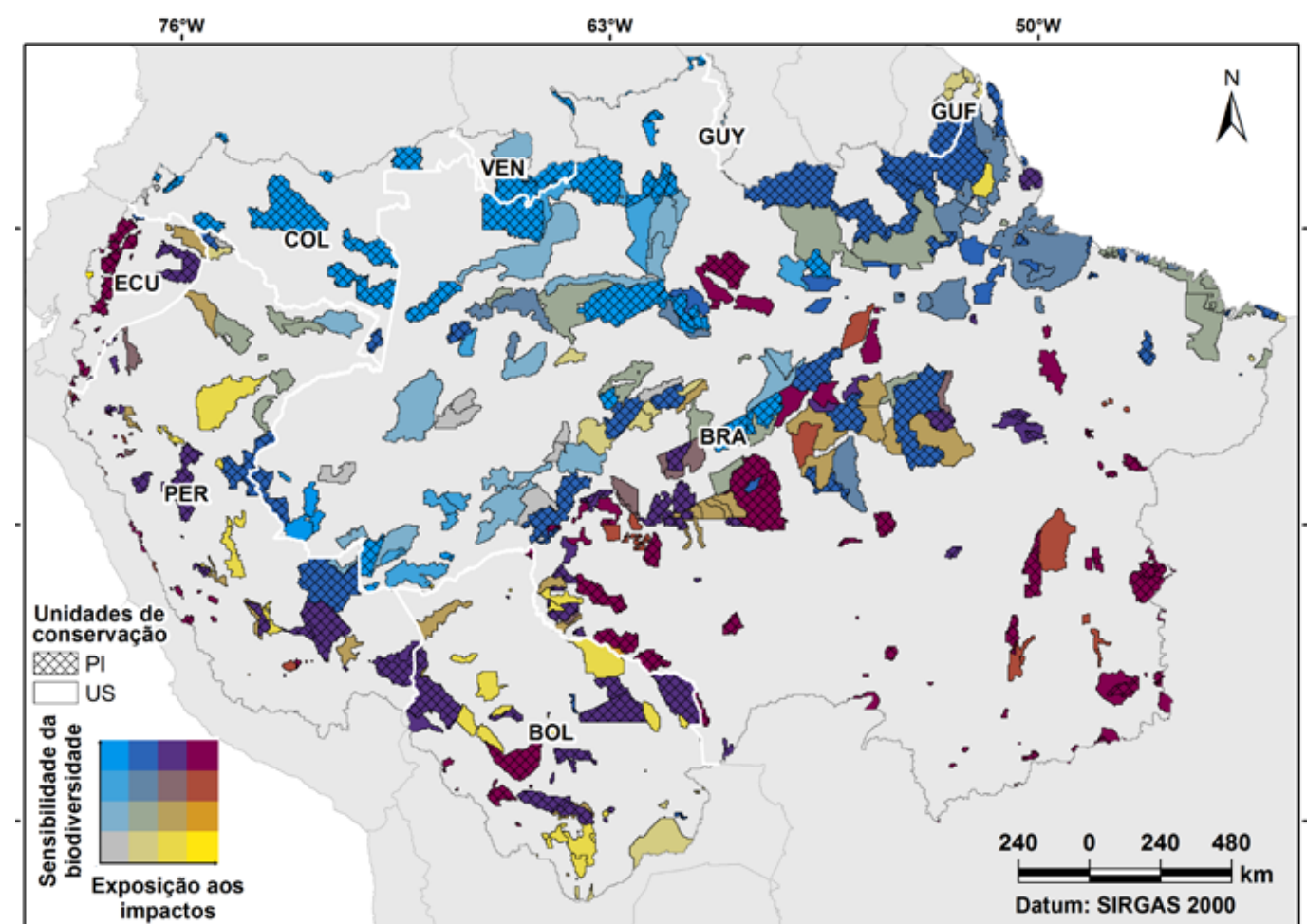


Figura 38. Compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e empreendimentos hidrelétricos em Unidades de Conservação.

SEÇÃO V

MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS

5. MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS

5.1 RECOMENDAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS E COMPENSATÓRIAS

O estabelecimento de medidas mitigadoras e compensatórias é o passo consecutivo após a escolha locacional do empreendimento. No PRIM-HA os Mapas de compatibilidade proporcionam um norte sobre a quantidade e a magnitude das medidas a serem adotadas para redução de impacto em resposta à compatibilidade da área selecionada. Após esforços despendidos para evitar os impactos, danos ambientais inevitavelmente persistirão e medidas mitigadoras e compensatórias deverão ser aplicadas para ressarcir as perdas ambientais irreparáveis provocadas pela ameaça (ver Figura 1).

Ressalta-se que o PRIM-HA é uma ferramenta para subsidiar a tomada de decisão no planejamento territorial, passível de incorporação nas AAE e AAI de empreendimentos hidrelétricos. Desde sua concepção o PRIM-HA engloba escalas espaciais sobre os impactos e a biodiversidade que são mais abrangentes do que as adotadas na escala local de cada empreendimento. Seus produtos, portanto, não devem ser aplicados em substituição aos instrumentos estipulados na legislação ambiental pertinente, mas tem o potencial de subsidiá-los e assim tornar as decisões mais eficientes e efetivas.

No Brasil, as medidas mitigadoras e compensatórias e os programas ambientais são propostas no EIA/RIMA e detalhadas no Projeto Básico Ambiental (PBA) que compõe o processo de Licença de Instalação (LI) do empreendimento. O PBA deverá orientar e explicitar as ações e obras que devem ser realizadas para recuperação do passivo ambiental decorrentes dos empreendimentos. As soluções

para mitigação dos impactos aos componentes da biodiversidade são apresentadas nas medidas elencadas para os componentes bióticos, que também são responsivos às medidas destinadas à reparação dos impactos no meio físico, e alcançar esta sinergia contribui para que os impactos sejam ainda mais reduzidos. Em um exemplo básico, as medidas de limpeza da área do reservatório (no componente biótico) e de controle dos processos erosivos (no componente físico) são necessárias para a manutenção da qualidade da água e, portanto, devem reduzir os impactos à biodiversidade aquática.

As ações para redução de impacto devem considerar que eles ocorrem sobre o meio ambiente ocorrem ao longo e após o tempo de vida do empreendimento e podem estender-se para além do local da construção. O delineamento das medidas propostas deve respeitar as peculiaridades ambientais locais, a composição da biodiversidade, o porte e tecnologias próprias de cada empreendimento. Os programas de diagnóstico e monitoramento exercem um papel fundamental para ajustar, de forma dinâmica, as medidas de mitigação de impactos à realidade do empreendimento e às adversidades não previstas. Inúmeros métodos de monitoramento, indicadores ambientais e forma de sistematização de informações têm sido desenvolvidos^{45,171,172}, mas não devem ser assumidos como únicas medidas efetivas para a redução de impacto.

Embora seja necessária a adequação à realidade local é possível sintetizar as soluções que comumente vêm sendo adotadas. Aqui é apresentada a relação das principais medidas para a redução dos impactos de empreendimentos hidrelétricos mensurados no PRIM-HA (Tabela 7). Ademais, está em elaboração pela COESP/ICMBio uma publicação que trará as medidas mitigadoras para os alvos de conservação da fauna sensíveis aos impactos de empreendimentos hidrelétricos e reunirá as principais alternativas de mitigação com aplicação direcionada a grupos funcionais específicos.

5.1.1 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DECORRENTES DA FRAGMENTAÇÃO LONGITUDINAL

A redução dos impactos decorrentes da fragmentação longitudinal pelos barramentos hidrelétricos é alcançada por medidas que busquem garantir o fluxo genético das populações isoladas reprodutivamente e o deslocamento de espécimes. A interrupção deste fluxo implica assim em diminuição da população, aumento da vulnerabilidade à predação, interferência no recrutamento de filhotes e pode levar a extinções de espécies, em especial as de comportamento migratório.

As ações dirigidas à biodiversidade terrestre para mitigar os impactos da fragmentação longitudinal incluem medidas de recomposição florestal que proporcionem uma conectividade de remanescentes de vegetação natural, a recuperação de habitats, o estabelecimento de corredores ecológicos, a manutenção de processos ecológicos e a prestação de serviços ecossistêmicos pela biodiversidade.

Em relação à biota aquática, estruturas e mecanismos propostos devem ser projetados e operados considerando os aspectos comportamentais das espécies, estimativas das populações migrantes, histórico de vazões locais e não somente os aspectos de engenharia (i.e. altura da barragem, topografia local, distância entre a barragem e a casa de força, etc.) e dos custos com manutenção e operação¹⁷³. Os mecanismos de transposição de peixes figuram como soluções comumente apresentadas para a mitigação deste impacto para a ictiofauna. Contudo, a eficiência destes mecanismos é dependente do conhecimento das características biológicas das espécies impactadas, como: (i) habilidades natatórias, (ii) distribuição temporal e espacial¹⁷⁴, (iii) distribuição das diferentes espécies em função de características do escoamento (i.e. profundidade, velocidade, nível de turbulência, qualidade da água, temperatura, oxigênio dissolvido, luminosidade, dentre outros)¹⁷³, (iv) e a capacidade dos peixes de localizarem o “caminho de volta” durante a migração para jusante^{60,175,176}. Adicionalmente, a eficácia



©Acervo IBAMA / Banco de germoplasma, UHE São Manoel

destes mecanismos também é influenciada pela atratividade oferecida no canal de entrada do dispositivo.

Entre os mecanismos de transposição, as passagens para peixes neotropicais têm sido revistas e sua efetividade questionada por limitações como alta seletividade a montante e a jusante, e por negligenciarem a dinâmica populacional, desova, recrutamento e dispersão das espécies^{60,177}. Embora um levantamento dos empreendimentos hidrelétricos que possuem estruturas de passagem de peixes tenha apontado a existência de apenas dois exemplos na porção brasileira da região amazônica¹⁷⁷. Para terem significado na conservação regional dessas espécies, tais instrumentos de manejo necessitam ter uma permeabilidade e conexão ampla para assegurar que os movimentos ascendentes e descendentes possam ser realizados⁷⁸ livremente e em escalas geográficas mais condizentes à ocorrência das espécies sensíveis.

A estocagem de peixes (ou peixamento) é uma alternativa de manejo historicamente utilizada para a recomposição de estoques, mas cuja adoção é bastante complexa e contestada, considerando os potenciais riscos ambientais. Para fins conservacionistas é categorizada como “suplementação¹⁷⁸” e entendida como uma estratégia para manutenção da diversidade genética. É recomendada apenas de forma direcionada e para solução de problemas específicos, por exemplo, aqueles derivados de interrupção de movimentos migratórios reprodutivos ou quando as áreas de desova e/ou os criadouros naturais foram eliminados ou são insuficientes para a manutenção da viabilidade populacional da espécie^{179,180}. Visto que essa técnica de manejo pode contribuir para a redução de impactos de fragmentação, mas também de perda e degradação de habitats. Consiste basicamente na soltura deliberada de peixes provenientes de sistemas naturais ou de cultivo em um determinado corpo d’água⁵⁹.

O mau uso da alternativa pode, entretanto, ao invés de reduzir, gerar impactos negativos quando há introdução de espécies não nativas, soltura deliberada de indivíduos, qualidade genética ruim ou contaminação por patógenos veiculados de forma

associada aos alevinos ou pela água, alterando a estrutura e o funcionamento das comunidades locais.^{179,181} O sucesso da implantação da técnica depende da definição de objetivos claros, do estabelecimento de um programa de estocagem robusto, laboratórios especializados, do conhecimento da biologia e ecologia da espécie nativa em questão, do conhecimento da capacidade de suporte do sistema, de informações sobre padrões espaciais e temporais de variação limnológica, dentre outros fatores^{179,180}.

5.1.2 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DECORRENTES DA PERDA DE HABITAT

A mitigação dos impactos da perda de habitat deve superar os efeitos advindos diretamente da eliminação de habitats durante a construção ou enchimento do reservatório, e, indiretamente, decorrentes da eliminação de habitats úmidos à jusante devido as alterações de vazão. A supressão de remanescentes de vegetação e o alagamento de praias, áreas de desova, corredeiras, cachoeiras e igarapés impacta mais fortemente as espécies de distribuição restrita e/ou de comportamento especialista, o que em situações extremas pode levar a extinções locais da espécie ou populações.

Projetos de barragens têm buscado mitigar os impactos da perda de habitats terrestres resgatando fisicamente animais da área de supressão da vegetação ou de inundação. Várias espécies fogem da área em que há a intervenção naturalmente, ou por indução direcionada, todavia os grupos de menor porte e com maior restrição locomotora precisam ser recolhidos e destinados a outros locais. Ninhos, tocas e demais áreas de nidificação ativas carecem de medidas de acompanhamento até que sejam naturalmente desocupadas, de modo a evitar sua remoção e que sejam realocados apenas em situações extremas. O resgate de fauna é uma medida que exige considerável atenção e planejamento, pois envolve questões como seleção dos locais de soltura, tratamento e recuperação de espécies debilitadas, conhecimento sobre capacidade de carga com base nos recursos ecológicos disponíveis, interações e ainda controle de pressão de caça e predação¹⁸².



©Acervo IBAMA / Escada de peixe

A despeito da sobreposição às medidas compensatórias, ações para conservação *in situ* e *ex-situ* das espécies são estabelecidas no intuito de proteger amostras da biodiversidade remanescente, a variabilidade genética e a salvaguarda de ambientes singulares. A conservação *ex-situ* de espécimes vegetais é utilizada mais frequentemente, tendo sido criados bancos de sementes e propágulos, que são por vezes aproveitados nos programas de recuperação da vegetação. Discussões a respeito de programas de conservação *ex-situ* da fauna tem sido cada vez mais suscitadas e precisam ser considerados como opções, pois, embora envolvam alto custo, podem figurar-se como alternativas importantes para evitar a extinção de espécies impactadas.

5.1.3 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DECORRENTES DA DEGRADAÇÃO DE HABITAT

A redução dos impactos das modificações na qualidade do habitat, especialmente nas áreas de reservatórios, deve atenuar os efeitos destas alterações sobre a biota no que concerne ao estabelecimento de alternativas para transpor filtros ambientais ou fatores adversos. Comumente os esforços concentram-se no controle da qualidade da água, prevenção da

estratificação térmica e redução da sedimentação, de modo que os parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos permitam a manutenção da biodiversidade¹⁸³. As medidas incluem ações que vão desde a limpeza da área do reservatório com remoção da vegetação antes do enchimento, para reduzir os problemas associados à decomposição da biomassa, evitando-se assim fenômenos de eutrofização pelo monitoramento das variáveis limnológicas e de qualidade da água durante toda vida útil do empreendimento.

Na mitigação da degradação a montante e a jusante associada ao controle de vazão, uma das alternativas tem sido a proposição de um Hidrograma de Consenso (HC). O princípio lógico do HC é o de definir quantidades mínimas de água, de forma a reproduzir artificialmente o pulso sazonal de cheias e secas que caracteriza as vazões naturais do rio garantindo assim a manutenção dos processos ecológicos, a sustentabilidade socioambiental da região e a viabilidade dos modos de vida e navegação de seus povos enquanto assegurando também a geração de energia da usina¹⁸⁴. O HC precisa considerar o nível de água, a velocidade, o tempo e o ritmo das cheias e vazantes, e que o estudo demonstre a extensão ou a proporção de pedrais e florestas aluviais que serão de fato alagados com os respectivos hidrogramas.

Tabela 7: Síntese das medidas mitigadoras, alvos e impactos de empreendimentos hidrelétricos.

Fase do empreendimento	Soluções mitigadoras de impactos	Objetivo da solução	Alvos de conservação contemplados	Impactos derivados de empreendimentos hidrelétricos potencialmente mitigados		
				Fragmentação longitudinal	Perda de habitat	Degradação de habitat
Instalação	Resgate de Fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Realocação da fauna não afungentada no processo de supressão vegetal ou pelas atividades de limpeza na área do canteiro de obras e reservatório; • Retirar a ictiofauna durante o desvio do curso d'água; • Retirar a fauna terrestre com capacidade de dispersão limitada presente na área do empreendimento; 	Fauna		X	
Instalação	Coleta de sementes e propágulos	<ul style="list-style-type: none"> • Preservar o patrimônio genético da flora de ocorrência na região do empreendimento, pela realocação de espécies ou coleta de sementes que podem ser utilizadas nos programas relacionados ao processo de produção de mudas, para a implantação da faixa ciliar variável, reposição florestal e recuperação de áreas degradadas; 	Flora		X	
Instalação	Limpeza da área do reservatório	<ul style="list-style-type: none"> • Promover a retirada da vegetação ocorrente na área do reservatório reduzindo a biomassa submersa e a eutrofização do reservatório; 	Peixes, mamíferos aquáticos, anfíbios			X
Instalação / Operação	Mecanismos para transposição de peixes como escadas de peixe, eclusas, elevadores, canal de passagem secundário.	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir o deslocamento da ictiofauna migradora, de modo a garantir a subida para desova dos peixes adultos e o retorno das larvas, peixes pequenos e adultos; 	Peixes	X		
Instalação / Operação	Recomposição florestal	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir a conectividade dos remanescentes florestais permitindo o fluxo de espécies da fauna e da flora 	Fauna e Flora	X		
Instalação / Operação	Estocagem de peixes	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a população de uma determinada espécie de peixe ou sua variabilidade genética pela soltura deliberada de peixes em um determinado corpo d'água provenientes de outros sistemas naturais ou de cultivo. 	Peixes	X	X	X
Operação	Mecanismos de repulsão (campos elétricos, luz estroboscópica, cortina de bolhas, barreiras de som, barreiras físicas telas ou redes)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos impactos durante a operação da usina, para diminuir a mortalidade de peixes aprisionados nas tubulações; 	Peixes			X
Instalação/Operação	Conservação <i>ex situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir a conservação de espécies diante da eliminação de seus habitats originais por meio da criação e reprodução em cativeiro. 	Fauna		X	
Operação	Hidrograma de consenso	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer as vazões mínimas necessárias para reproduzir artificialmente o pulso sazonal de cheias e secas que caracteriza as vazões naturais do rio para garantir a manutenção dos processos ecológicos, a sustentabilidade socioambiental da região e a viabilidade dos modos de vida e navegação de seus povos enquanto assegura também a geração de energia da usina 	Fauna			X

5.2 ANÁLISE DO AGRUPAMENTO DA COMPENSAÇÃO AMBIENTAL

A compensação é a última etapa do processo hierárquico de redução de impactos ambientais, destinada a indenizar os impactos residuais (irreversíveis e irreparáveis) que não foram mitigados pela escolha locacional e pela aplicação de medidas mitigadoras. O princípio subjacente à construção do Mapa de Grupos de Compensação Ambiental é que este indique para cada empreendimento hidrelétrico as melhores alternativas espaciais para compensação ambiental¹⁶⁵. O direcionamento dos esforços de redução de impactos para áreas que apresentem a maior similaridade na composição dos alvos de conservação permitirá que uma maior efetividade das medidas compensatórias seja alcançada.

A similaridade foi medida comparando a composição dos alvos de conservação 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 Bray-Curtis. A partir da matriz de similaridade construída com este índice, foi elaborado um agrupamento hierárquico aglomerativo, no qual utilizou-se como método de ligação a média aritmética da similaridade entre as unidades de planejamento (UPGMA), que pode ser representado por um dendrograma. Em seguida, as unidades de planejamento que compartilham mais de 50% ou mais de 75% de similaridade de alvos de conservação foram espacialmente dissolvidas, formando, respectivamente, os Grupos (50%) e Agrupamentos de Compensação Ambiental (75%) (Figura 40) de Compensação Ambiental.

No Brasil a legislação determina que o valor da compensação ambiental dos impactos residuais deve ser direcionado para unidades de conservação¹⁸⁵. A compensação ambiental foi instituída como instrumento de gestão ambiental no

artigo 36 da Lei do SNUC¹³³, sendo aplicada aos empreendimentos com significativo impacto ambiental, e obriga os empreendedores a apoiar a implantação e a manutenção de uma UC do grupo de Proteção Integral, ou de Uso Sustentável caso esta seja diretamente afetada. Os critérios de destinação dos recursos para empreendimentos pontuais terrestres, como hidrelétricas, 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). Tais critérios incluem desde a escolha de unidades de conservação localizadas no entorno do empreendimento (raio de 200km), que tenham ao menos uma fitofisionomia atingida pelo empreendimento, no mesmo

bioma e estejam presentes na mesma região hidrográfica afetada pelo empreendimento.

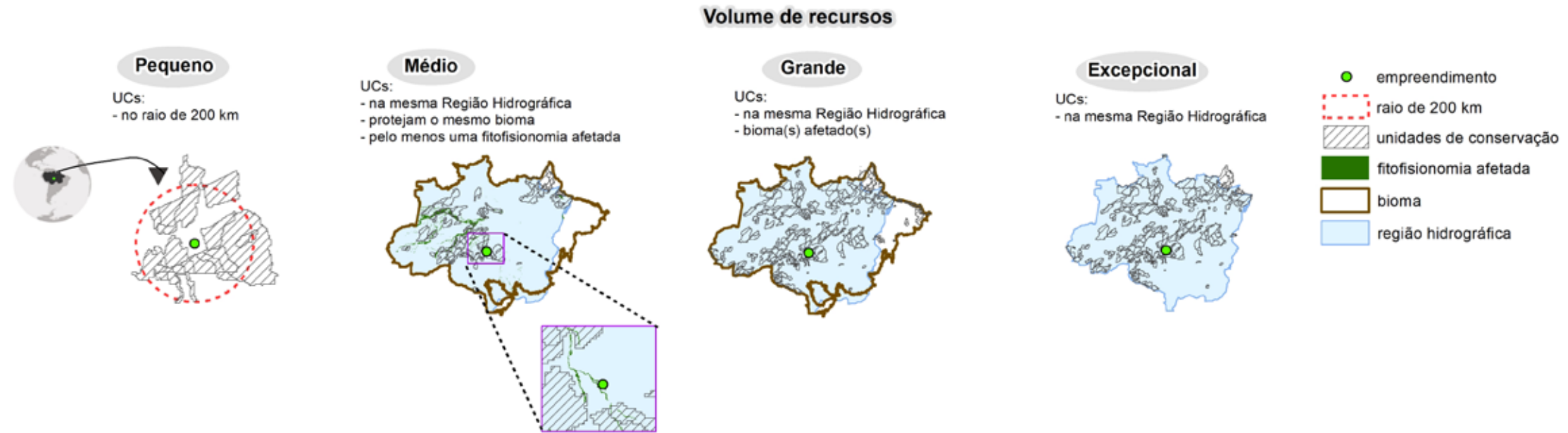
O Mapa de Grupos de Compensação Ambiental surge assim como uma estratégia complementar às regras da legislação ambiental vigente no Brasil, no intuito de aumentar a efetividade das medidas adotadas ao informar o nível de similaridade na composição dos alvos de conservação. A Figura 39 apresenta um exemplo hipotético de aplicação do Mapa de Grupos de Compensação Ambiental e dos critérios de destinação de recursos definidos pelo CCAF para UCs, considerando determinado empreendimento hidrelétrico. Os critérios para escolha de UCs variam de acordo com o volume de recursos que será destinado para compensação. No exemplo apresentado foi considerado uma UHE com “volume de recurso excepcional” e agrega-

do aos critérios de seleção de UCs para compensação do CCAF as análises de similaridade na composição dos alvos de conservação do PRIM-HA. O resultado indica para as UCs inseridas no grupo “N” para compensação ambiental tornando o processo de escolha mais ecologicamente apropriado e direcionado. Assim, o Mapa de Grupos, potencialmente amplia o alcance dos objetivos da compensação ambiental ao incorporar ao processo decisório o conjunto de alvos sensíveis ao impacto. Embora o uso dos critérios da CCAF para destinar recursos de compensação ambiental esteja previsto na legislação brasileira, o Mapa de Grupos de Compensação Ambiental pode também subsidiar a tomada de decisão em toda região amazônica, direcionando os grupos e agrupamentos mais prioritários para aplicação de recursos.



©Mauro Teixeira / Bechta psomophila

Critérios CCAF de seleção de UCs passíveis do recebimento de recursos de compensação ambiental



Critérios CCAF + Proposta do PRIM-HA

Dendrograma de similaridade na composição dos alvos de conservação

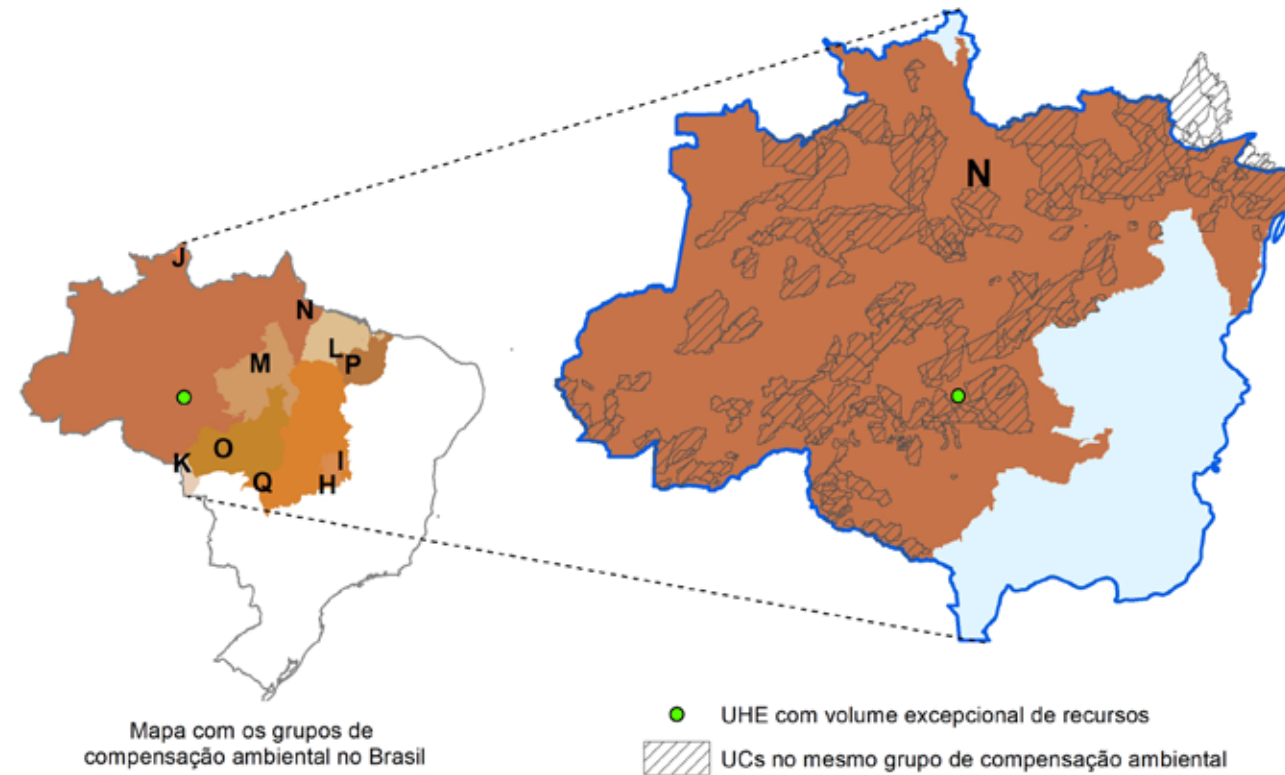
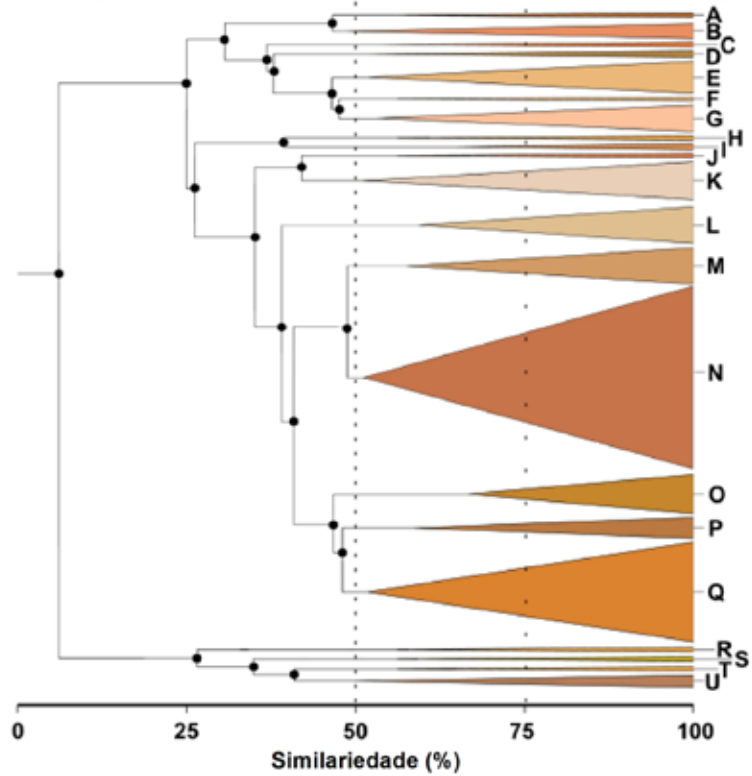


Figura 39. Exemplo de aplicação dos critérios de alocação de recursos da compensação ambiental usado pelo CCAF para empreendimentos pontuais no Brasil e da contribuição suplementar do Mapa de Grupos de Compensação Ambiental do PRIM-HA de compensação do PRIM-HA.

A análise de similaridade na composição de alvos de conservação sensíveis aos empreendimentos hidrelétricos agrupou as 1.544 unidades de planejamento em 21 grupos de Compensação Ambiental, com ao menos 50% de similaridade (Figura 40 A e B) e 181 agrupamentos em que no mínimo 75% da similaridade é atingida (ver exemplo em destaque na Figura 40C). A relação de similaridade na composição dos alvos de conservação entre os Grupos de Compensação Ambiental está representada pelos dendrogramas das Figuras 40 A. O Grupo “N” é o maior deles, reúne as UPs da calha principal do rio Amazonas e áreas adjacentes e alcança uma área de cerca de 445.089 km² (Figura 40 B). Dos 22 grupos 10 estão no território nacional e entre estes, todos possuem UC de PI, passíveis de serem indicadas para aplicação de recursos, destacando-se que além do grupo “N”, o maior número de subdivisões está na Amazônia oriental, nas áreas do bioma Cerrado e regiões limítrofes à Caatinga. A consulta grupos e agrupamentos de compensação ambiental poderá ser realizada acessando os arquivos espaciais disponibilizados nos anexos disponíveis no Material Suplementar.

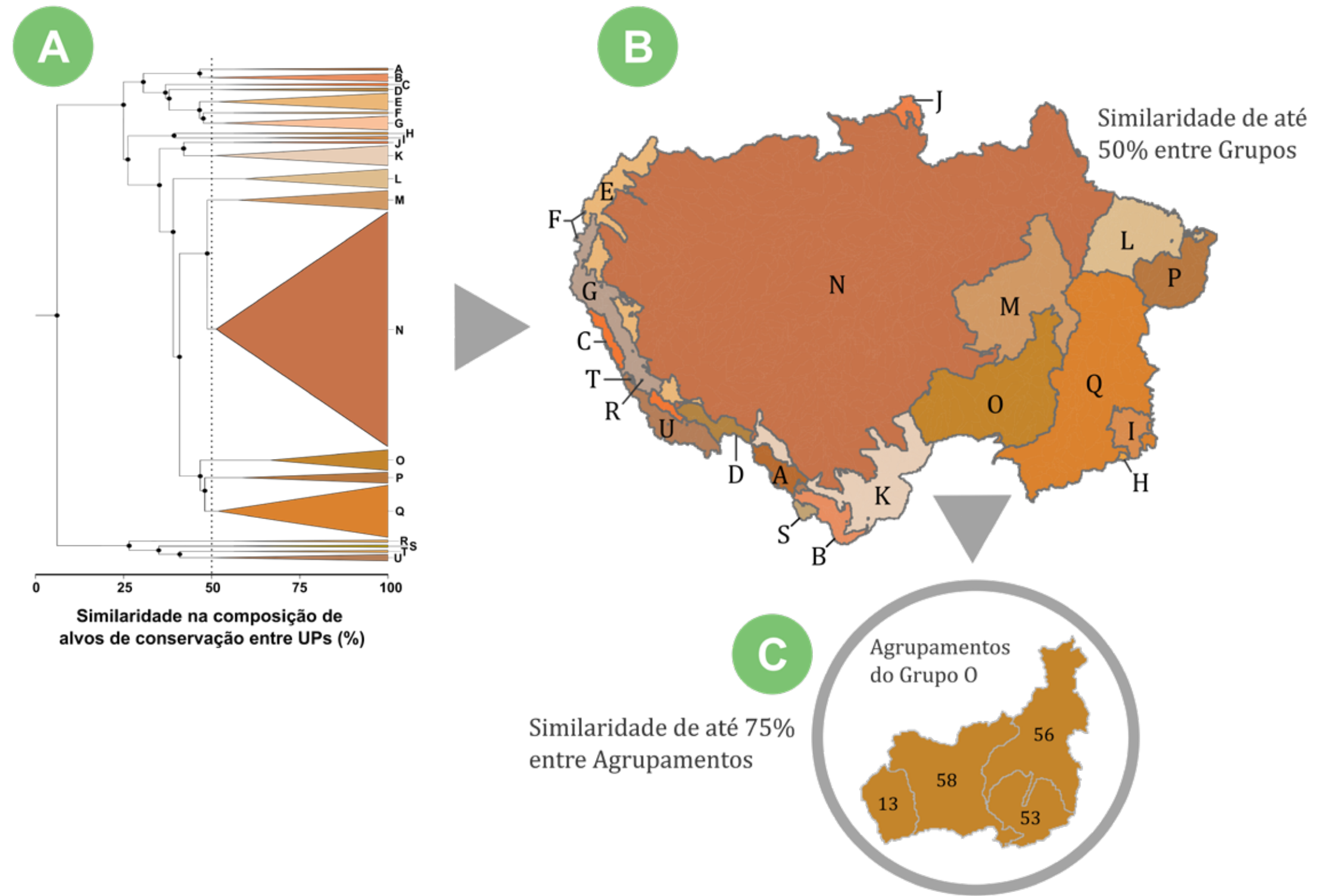


Figura 40. Representação espacial dos Grupo e agrupamentos de Compensação Ambiental dos impactos de empreendimentos hidrelétricos para a região Amazônica. A) Dendrograma de Compensação Ambiental; B) Mapa de Grupos de Compensação Ambiental e C) Exemplo para os Agrupamentos de Compensação Ambiental.

SEÇÃO VI

LACUNAS DE CONHECIMENTO

6 LACUNAS DE CONHECIMENTO

O acesso às informações e a disponibilidade de dados sobre a biodiversidade sensível à empreendimentos hidrelétricos e atividades socioeconômicas na região amazônica vem aumentando nos últimos anos. Todavia, os dados são em sua maioria dispersos, muitas vezes abordam certos países ou apenas bacias hidrográficas de menor porte, o que dificulta análises mais abrangentes em virtude da ausência e/ou indisponibilidade de dados nas demais áreas de interesse, do caráter distinto das metodologias e/ou da escala espaço-temporal ou ainda da falta de dados validados.

Com vistas a tornar pública as limitações de dados secundários encontrados durante a execução do PRIM-HA, busca-se dois objetivos: (i) promover uma cultura de transparência de indicar abertamente as áreas onde melhorias ou informações complementares são necessárias e (ii) instigar parcerias ou interesse técnico-científico para superá-las. Caso esta iniciativa for bem recebida, entende-se que não somente haverá a geração de conhecimento, mas que essas informações poderão agregar à robustez do PRIM em futuras atualizações. Nesse sentido, as lacunas de conhecimento encontradas podem ser divididas em dois conjuntos:

- ausência ou atualização de dados espaciais;
- metodologias distintas

A seguir, são detalhadas as principais lacunas de conhecimentos identificadas no Plano de Redução de Impactos de Empreendimentos hidrelétricos da Amazônia sobre a biodiversidade, indicadas como alvos de conservação durante a Oficina do PRIM-HA, mas que não foram inclusas nesta versão da ferramenta.

ESTOQUE DE CARBONO (VEGETAÇÃO)

A vegetação é um importante componente natural de armazenamento de carbono. Ao analisar a metodologia de diversos estudos sobre estimativas do estoque de carbono^{186–193} verificou-se que grande parte dos trabalhos utilizaram informações anteriores ao ano de 2007, com exceção

da Conservation International (2015)¹⁹¹ e Baccini *et al.*¹⁸⁹. Embora utilize dados razoavelmente recentes, até o ano de 2014, a publicação da Conservation International (2015)¹⁹¹ não contempla toda a área de estudo, com ausência de mapeamento na região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado pertencentes ao território brasileiro. Os resultados apresentados por Baccini *et al.*¹⁸⁹, apesar de englobar toda a região do PRIM-HA, contém apenas informações de perda e ganho da densidade de carbono entre os anos de 2003 à 2014. Desta forma, optou-se por não utilizar as informações sobre estoque de carbono da vegetação no PRIM-HA, apesar do seu papel preponderante para redução das mudanças climáticas, uma vez que as florestas tropicais funcionam como grandes sumidouros de carbono.

ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO

Áreas prioritárias são espaços territoriais indicados para a aplicação de medidas adequadas à conservação, à recuperação e ao uso sustentável de ecossistemas, incluindo iniciativas como a criação de unidades de conservação (UCs), o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, a fiscalização, o fomento ao uso sustentável e a regularização ambiental. Na tentativa de construção de uma base de dados de áreas prioritárias consolidada, buscou-se identificar aquelas áreas destinadas exclusivamente para criação de UCs¹⁹⁴. No entanto, diferentes metodologias, com diferentes objetivos foram identificados, tornando-se inviável a consolidação e utilização dessa camada de informação.

EXTRATIVISMO VEGETAL NÃO MADEIREIRO

O mapeamento do extrativismo vegetal não madeireiro foi obtido no documento “Mapping Essential Natural Capital in Amazonia: identifying important places for biodiversity and ecosystem services”, publicado pela Conservation International¹⁹¹, todavia, apesar da sua importância econômica para comunidades tradicionais, em especial na construção civil, as informações existentes não contemplam toda a área de estudo, o que impossibilitou a geração desta camada para o PRIM-HA.

POÇOS PROFUNDOS

Poços profundos são locais de significativa profundidade nos rios, que apresentam condições ambientais singulares que podem, por exemplo, ser fundamentais para alimentação de algumas espécies de peixes¹⁹⁵. Mesmo diante dos esforços realizados para obtenção de dados de poços profundos não foram encontradas informações específicas relacionadas ao mapeamento dessa camada na região amazônica, ou suficientes para construí-la. Vale ressaltar que a ausência de definições básicas como profundidade mínima, largura, extensão e volume, que permitem caracterizar os poços profundos, também foram um empecilho para a construção desta variável.

SEGURANÇA ALIMENTAR (PESCA PARA CONSUMO)

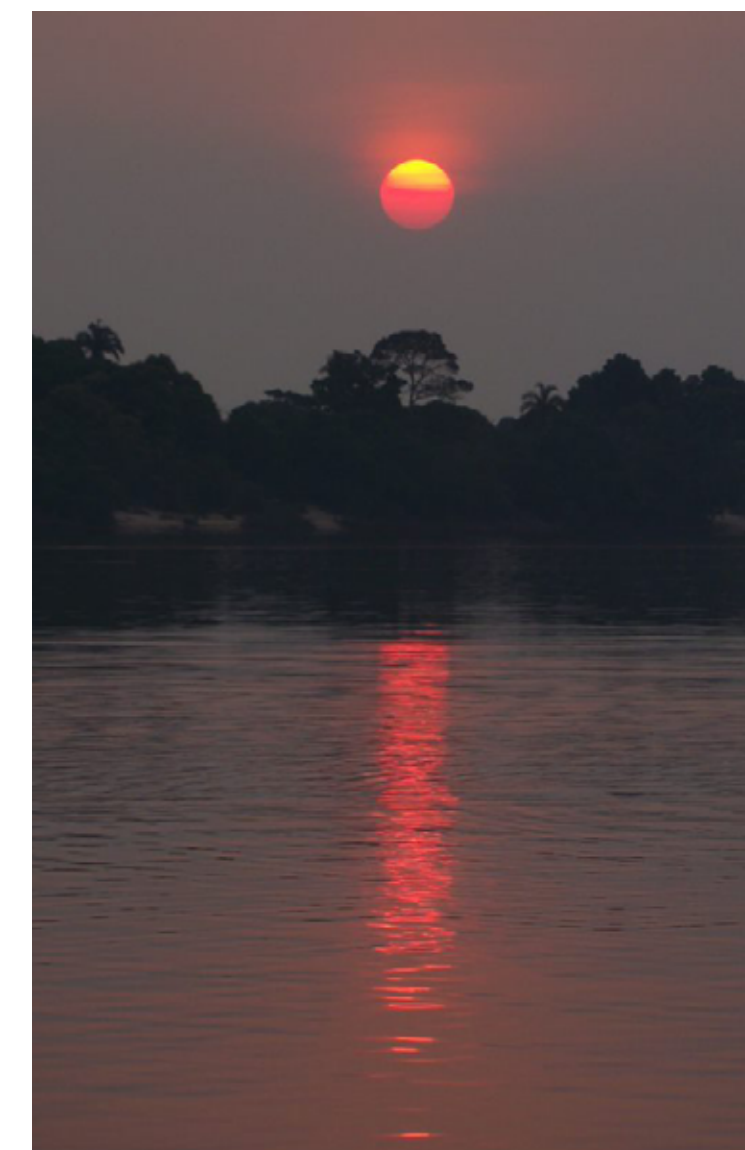
A pesca artesanal é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas pelos ribeirinhos na região amazônica, considerado um recurso social e cultural importante e uma fonte proteica essencial para o suprimento alimentar em áreas de baixo poder aquisitivo¹⁹⁶. Embora esta contribuição quanto serviço ecossistêmico seja valiosa para a sociedade, há uma escassez de mapeamentos espaciais e informações quantitativas sobre as espécies de peixes capturadas de forma artesanal. Tal limitação foi observada para a região amazônica, não sendo identificados estudos de forma integrada, assim, implicações sobre os possíveis impactos dos empreendimentos hidrelétricos nesse serviço ecossistêmico são obscuros¹⁹⁷.

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PLANEJADAS)

Empreendimentos hidrelétricos planejados com capacidade de produção instalada inferior a um MW, as chamadas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) não foram incorporadas nas análises trade-off do PRIM-HA. Não foram identificadas base de dados para o Brasil que permitissem reunir as informações sobre as PCHs planejadas e a Agência Nacional de Energia Elétrica³² apresenta apenas informações de PCH e UHE planejadas. A disponibilização de informações sobre as CGH planejadas são essenciais para compreensão

e gerenciamento dos impactos desses empreendimentos no futuro, uma vez que já há um expressivo número de empreendimentos existentes dessa natureza no território brasileiro, com tendência de aumento, em virtude da ampliação da demanda por energia.

Diante da identificação destas lacunas, emerge a necessidade de esforços futuros para o estabelecimento de parcerias dos setores público-privados, ONGs e universidades dos países pertencentes a região amazônica, a fim de gerar informações que permitirão análises ainda mais robustas, uma maior compreensão dos processos, fluxos e biodiversidade presentes nessa região.



©Daniel Raices / Rio Tocantins



©Renata Silva Almeida / *Podocnemis expansa*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. *LEI Nº 11.516, DE 28 DE AGOSTO DE 2007. Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes.*
2. MMA, Ministério do Meio Ambiente. *PORTARIA Nº 1.162, DE 27 DE DEZEMBRO DE 2018 Aprova o Regimento Interno do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.* 1–50 (Diário Oficial da União, 2018).
3. ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;. *PRIM - Plano de redução de impactos à biodiversidade.* (ICMBio, 2018). Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/arquivos/prim_livreto.pdf
4. Roberts, K. & Sjolund, A. Incorporating biodiversity issues into road design: the road agency perspective. in *Handbook of road ecology* (ed. van der Ree, R., Smith, D. J. & Grilo, C.) 1–551 (2015).
5. Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R. & Jordão, C. D. E. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras : a antiga e atual fronteira amazônica. *Ambient. Soc.* **XV**, 141–164 (2012).
6. Filizola, N. *et al.* Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. Amazônia-uma perspectiva interdisciplinar. in *Amazônia-Uma perspectiva interdisciplinar* (eds. Rivas, A. & Freitas, C. E. C.) 33–54 (Ed. EDUA, 2002).
7. Junk, W. J. *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System.* (Springer Science and Business Media, 1997).
8. World Commission on Dams. *Dams and development: A new framework for decision-making: The report of the world commission on dams.* (2000).
9. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Considerações sobre a Expansão Hidrelétrica nos Estudos de Planejamento Energético de Longo Prazo. *Empres. Pesqui. Energética* 23 (2018).
10. ONU, Organizações das Nações Unidas no Brasil. Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-d-a-onu> (2017).
11. De Faria, F. A. M., Jaramillo, P., Sawakuchi, H. O., Richey, J. E. & Barros, N. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. *Environ. Res. Lett.* **10**, (2015).
12. Fearnside, P. M. Greenhouse gas emissions from Brazil' s Amazonian hydroelectric dams. *Environ. Res. Lett.* **11**, 1002 (2016).
13. Meybeck, M. & Ragu, A. *River discharges to the oceans: an assessment of suspended solids, major ions and nutrients.* *Ass. Hydrol. Sci. Publ.* (1996).
14. MME & EPE. Plano decenal expansão de energia 2029. (2020).
15. ICMBio. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.* (2018).
16. Giffard, P., Llovel, W., Jouanno, J., Morvan, G. & Decharme, B. Contribution of the amazon river discharge to regional sea level in the tropical Atlantic Ocean. *Water (Switzerland)* **11**, 1–16 (2019).
17. Filizola, N. & Guyot, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Brazilian J. Geol.* **41**, 566–576 (2011).

18. Anderson, E. P. *et al.* Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Sci. Adv.* 1–8 (2018) doi:10.1126/sciadv.aao1642.
19. Castello, L. *et al.* The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. 217–229 (2013) doi:10.1111/conl.12008.
20. Salo, J. *et al.* River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. *Nature* **322**, 254–258 (1986).
21. Tedesco, P. A. *et al.* Data Descriptor : A global database on freshwater fish species occurrence in drainage basins. *Nat. Publ. Gr.* 1–6 (2017) doi:10.1038/sdata.2017.141.
22. Da Silva, J. M. C., Rylands, A. B. & Da Fonseca, G. A. B. The fate of the Amazonian areas of endemism. *Conserv. Biol.* **19**, 689–694 (2005).
23. Cardoso, D. *et al.* Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **114**, 10695–10700 (2017).
24. Strand, J. *et al.* Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest ' s Ecosystem Services. *Nat. Sustain.* **1**, 657–664 (2018).
25. Forsberg, B. R. *et al.* The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *PLoS ONE* vol. 12 (2017).
26. Latrubesse, E. M. *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* **546**, 363–369 (2017).
27. Castello, L. & Marcia Nunes Macedo. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Glob. Chang. Biol.* **22**, 990–1007 (2015).
28. Fearnside, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environ. Sci. Policy* **38**, 164–172 (2014).
29. Fearnside, P. M. & Fernandes, T. *Hidrelétricas Na Amazônia: Impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras.* vol. 2 (INPA, 2015).
30. Fearnside, P. M. Viewpoint - Brazil's madeira river dams: A setback for environmental policy in amazonian development. *Water Altern.* **7**, 256–269 (2014).
31. MIT, Ministério da Infraestrutura e Transportes. Plano Hidroviário Estratégico: Relatório do Plano 2013. 184 (2013).
32. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL). <https://sigel.aneel.gov.br> (2019).
33. GWF, G. F. W. Data: Land use - Large dams. www.globalforestwatch.org (2019).
34. CONELEC, C. N. de E. Sistema Nacional de Información. *Sistema de movilidad, energía y conectividad* <https://sni.gob.ec/coberturas> (2019).
35. Brasil, Ministério das Minas e Energia, E. de P. E. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. vol. 2 271 (2017).
36. Finer, M. & Jenkins, C. N. Proliferation of hydroelectric dams in the andean amazon and implications for andes-amazon connectivity. *PLoS One* **7**, 1–9 (2012).
37. Ezcurra, E. *et al.* A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers. *Sci. Adv.* **5**, 1–9 (2019).
38. Lima, A. De & Aurélio, M. Hydroelectric plants environmental viability : Strategic environmental assessment application in Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **52**, 1413–1423 (2015).
39. Winemiller, K. O. *et al.* Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science.* **351**, 128–129 (2016).
40. Fundingsland Tetlow, M. & Hanusch, M. Strategic environmental assessment: The state of the art. *Impact Assess. Proj. Apprais.* **30**, 15–24 (2012).
41. MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Avaliação Ambiental Estratégica.* (2002).
42. Pellin, A., de Lemos, C. C., Tachard, A., de Oliveira, I. S. D. & de Souza, M. P. Avaliação ambiental estratégica no brasil: Considerações a respeito do papel das agencias multilaterais de desenvolvimento. *Eng. Sanit. e Ambient.* **16**, 27–36 (2011).
43. EPE, Empresa de Pesquisa Energética; Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia hidrográfica do rio uruguai- *Relatório Final.* (2007).
44. Brasil. LEI Nº 10.847, DE 15 DE MARÇO DE 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. (2004).
45. MME, Ministério de Minas e Energia. *Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas.* (2007).
46. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO N.º 393, DE 4 DE DEZEMBRO DE 1998. Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas. (1998).
47. Brasil. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 279 , DE 27 DE JUNHO DE 2001. 27–30 (2001).
48. Cochrane, S. M. V., Matricardi, E. a. T., Numata, I. & Lefebvre, P. a. Landsat-based analysis of mega dam flooding impacts in the Amazon compared to associated environmental impact assessments: Upper Madeira River example 2006–2015. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* **7**, 1–8 (2017).
49. ANBIMA, A. B. das E. dos M. F. e de C. *Guia ASG - Incorporação dos aspectos ASG nas análises de investimento.* (2020).
50. Margules, C. R. & Pressey, R. L. Systematic conservation planning. *Nature* **405**, 243–253 (2000).
51. Ladle, R. J. & Whittaker, R. J. *Conservation Biogeography.* (Blackwell Publishing, 2011).
52. Reyers, B., van Jaarsveld, a S. & Krüger, M. Complementarity as a biodiversity indicator strategy. *Proc. Biol. Sci.* **267**, 505–13 (2000).
53. Van der Grift, E. a. *et al.* Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodivers. Conserv.* **22**, 425–448 (2013).
54. Venticinqu, E. *et al.* An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. *Earth Syst. Sci. Data* **8**, 651–661 (2016).

55. UNEP-WCMC, W. C. M. C. World Database on Protected Areas (WDPA). (2020).
56. Lees, A. C., Peres, C. a., Fearnside, P. M., Schneider, M. & Zuanon, J. a. S. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodivers. Conserv.* **25**, 451–466 (2016).
57. Grill, G. *et al.* Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* **569**, 215–221 (2019).
58. Petts, G. E. *Impounded rivers: perspectives for ecological management.* (J. Wiley & Sons, 1984).
59. Agostinho, A., Pelicice, F. M. & Gomes, L. C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region : impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian J. Aquat. Sci. Technol.* **68**, 1119–1132 (2008).
60. Pelicice, F. M., Pompeu, P. S. & Agostinho, A. A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. *Fish Fish.* **16**, 697–715 (2015).
61. Rahel, F. J. Homogenization of freshwater faunas. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **33**, 291–315 (2002).
62. Arraut, E. M. *et al.* Bottlenecks in the migration routes of Amazonian manatees and the threat of hydroelectric dams. *Acta Amaz.* **47**, 7–18 (2017).
63. Hrbek, T., Meliciano, N. V, Zuanon, J. & Farias, I. P. Remarkable Geographic Structuring of Rheophilic Fishes of the Lower Araguaia River. *Front. Genet.* **9**, 1–12 (2018).
64. Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M. & Revenga, C. Fragmentation and flow regulation of the World's large river systems. *Science.* **308**, 405–408 (2005).
65. Liermann, C. R., Nilsson, C., Robertson, J. & Ng, R. Y. Implications of Dam Obstruction for Global Freshwater Fish Diversity. *Bioscience* **62**, 539–548 (2012).
66. Adis, J. & Junk, W. J. Terrestrial invertebrates inhabiting lowland river floodplains of Central Amazonia and Central Europe: a review. *Freshw. Biol.* **47**, 711–731 (2002).
67. Castello, L. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. *Ecol. Freshw. Fish* **17**, 38–46 (2008).
68. Barbosa, T. *et al.* Effect of waterfalls and the flood pulse on the structure of fish assemblages of the middle Xingu River in the eastern Amazon basin. *Brazilian J. Biol.* **75**, (2015).
69. Bayley, P. B., Castello, L., Batista, V. S. & Fabré, N. N. Response of *Prochilodus nigricans* to flood pulse variation in the central Amazon Author for correspondence : *R. Soc. Open Source* **5**, (2018).
70. Latrubesse, E. M. *et al.* Vulnerability of the biota in riverine and seasonally flooded habitats to damming of Amazonian rivers. *Aquat. Conserv Mar Freshw Ecosyst.* 1–14 (2020) doi:10.1002/aqc.3424.
71. Oberdorff, T. *et al.* Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Sci. Adv.* **5**, 1–10 (2019).
72. Lake, S. A. M. *et al.* Linkages between Aquatic Sediment Biota and Life Above Sediments as Potential Drivers of Biodiversity and Ecological Processes. **50**, (2000).
73. Christer, N. & Berggren, K. Alterations of Riparian Ecosystems Caused by River Regulation. *Bioscience* **50**, 783–792 (2000).
74. ANEEL. Energia Hidráulica. in *Atlas de energia elétrica do Brasil* (2008).
75. Grill, G., Lehner, B. & Thieme, M. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* **569**, (2019).
76. Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A. E., Macdonald, G. K. & Zar, C. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environ. Res. Lett.* **10**, 015001 (2015).
77. Goulding, M. *et al.* Ecosystem-based management of Amazon fisheries and wetlands. *Fish Fish.* **20**, 138–158 (2019).
78. Agostinho, A. A., Thomaz, S. M. & Gomes, L. C. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. *Conserv. Biol.* **19**, 646–652 (2005).
79. Resende, A. F. de *et al.* Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: The collateral effects of hydropower production. *Sci. Total Environ.* **659**, 587–598 (2019).
80. Dynesius, M. & Nilsson, C. Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science.* **266**, 753–762 (1994).
81. Lehner, B. *et al.* High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Front. Ecol. Environ.* **9**, 494–502 (2011).
82. Scoles, R. Caracterização ambiental da bacia do Tapajós. in *Hidrelétricas, conflitos socioambientais e resistência na bacia do Tapajós* (ed. ALARCON, MILLIKAN, T.) 29–42 (International Rivers, 2016).
83. Ho, J. T., Thompson, J. R. & Brierley, C. Projections of hydrology in the Tocantins-Araguaia Basin , Brazil : uncertainty assessment using the CMIP5 ensemble Projections of hydrology in the Tocantins-Araguaia Basin , Brazil : uncertainty. *Hydrol. Sci. J.* **61**, 551–567 (2016).
84. Latrubesse, E. M., Stevaux, J. C. & Sinha, R. Tropical rivers. *Geomorphology* **70**, 187–206 (2005).
85. Fearnside, P. M. Brazil ' s environmental policies for the Amazon : Lessons from the last 20 years. in *Conference on Environmental Policy, Social Movements, and Science for the Brazilian Amazon, 5-6 November* (University of Chicago, 2009).
86. Araújo, A. S. Desterritorialização da comunidade de Apinagés em São João do Araguaia (PA) na perspectiva da construção da Usina Hidrelétrica de Marabá. (Universidade Federal do Tocantins, 2017).
87. Castilho, D. *Hidrelétricas na Amazônia brasileira : da expansão à espoliação.* (Universidad de Barcelona/Geocrítica, 2019).
88. Benchimol, M. & Peres, C. A. Widespread Forest Vertebrate Extinctions Induced by a Mega Hydroelectric Dam in Lowland Amazonia. *PLoS One* **7**, 1–15 (2015).
89. Rocha, M. *et al.* Thirty years after Balbina Dam: Diversity and floristic composition of the downstream floodplain forest, Central Amazon, Brazil pág. e2144, 2019. *Ecohydrology* **12**, (2019).
90. Fearnside, P. M. Hidrelétrica de Balbina: O faraonismo irreversível versus o meio ambiente na Amazônia. in *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras.* (ed. Fearnside, P. M.) 97–125 (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2015).
91. Kemenes, A. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa (CO₂ e CH₄) pela hidrelétrica de Balbina, Amazônia Central, Brasil. (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2006).

92. Fagundes, C. K., Vogt, R. C., de Souza, R. A. & De Marco, P. Vulnerability of turtles to deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating priority areas for conservation. *Biol. Conserv.* **226**, 300–310 (2018).
93. Fagundes, C. K., Vogt, R. C., Souza, R. A. de & De Marco Jr., P. Vulnerability of Turtles to Deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating Priority Areas for Conservation. *Biol. Conserv.* **226**, 300–310 (2018).
94. Isaac, V. J. *et al.* Food consumption as an indicator of the conservation of natural resources in riverine communities of the Brazilian Amazon. *An. Acad. Bras. Cienc.* **87**, 2229–2242 (2015).
95. Borges, A. L. I. *et al.* Diversidade florística e estrutura da mata de terra firme. in *Caxiuanã: Populações tradicionais, meio-físico e diversidade biológica* (ed. Lisboa, P. B. L.) 235–287 (Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002).
96. Benchimol, M. & Peres, C. A. Edge-mediated compositional and functional decay of tree assemblages in Amazonian forest islands after 26 years of isolation. *J. Ecol.* **103**, 408–420 (2015).
97. Dos Santos, E. A. *et al.* Palm distribution patterns in the southwestern Brazilian Amazon: Impact of a large hydroelectric dam. *For. Ecol. Manage.* **463**, 118032 (2020).
98. Jones, I. L., Peres, C. A., Benchimol, M., Bunnefeld, L. & Dent, D. H. Instability of insular tree communities in an Amazonian mega-dam is driven by impaired recruitment and altered species composition. *J. Appl. Ecol.* **56**, 779–791 (2019).
99. MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Portaria MMA No 444, de 17 de dezembro de 2014 Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna ameaçadas de Extinção*. 121–144 (2014).
100. MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Portaria MMA No 445, de 17 de dezembro de 2014 Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna ameaçadas de Extinção (Peixes e Invertebrados Aquáticos)*. 126 (Diário Oficial da União No 245, Seção 1, 2014).
101. Donald, P. F. *et al.* Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs): the development and characteristics of a global inventory of key sites for biodiversity. *Bird Conserv. Int.* **29**, 177–198 (2019).
102. Junk, W. As águas da Região Amazônica. in *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia* (eds. SALATI, E., JUNK, W., SHUBART, H. & OLIVEIRA, A.) 14–44 (1983).
103. Junk, W. J. *et al.* Brazilian wetlands : their definition , delineation , and classification for research, sustainable management , and protection. *Conserv. aquática ecossistemas Mar. e água doce* **24**, 5–22 (2014).
104. Melack, J. M. & Hess, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. in *Amazonian Floodplain Forests* (ed. Junk W., Piedade M., Wittmann F., Schöngart J., P. P.) 43–59 (Springer, 2010). doi:10.1007/978-90-481-8725-6.
105. Sánchez-botero, J. I. & Araujo-Lima, C. A. As macrófitas aquáticas como berçário para a ictiofauna da várzea do rio Amazonas. *Acta Amaz.* **31**, 437 (2001).
106. Petry, P., Conservancy, T. N., Bayley, P. B. & Markle, D. F. Relationships between fish assemblages , macrophytes and environmental gradients in the Amazon River Floodplain Relationships between fish assemblages , macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. *J. Fish Biol.* **63**, 547–579 (2003).
107. Ferreira Júnior, P. D. Influência dos processos sedimentológicos e geomorfológicos na escolha das áreas de nidificação de Podocnemis expansa (tartaruga-da-amazônia) e Podocnemis unifilis (tracajá), na bacia do rio Araguaia. (Universidade Federal de Ouro Preto, 2003).
108. Fagundes, C. K. *et al.* Vulnerabilidade dos sítios de desova das espécies-alvo do PAN Quelônios Amazônicos e efetividade de políticas públicas. in *Plano De Ação Nacional Para A Conservação Dos Quelônios Amazônicos* 61–68 (ICMBio, 2019).
109. Júnior, P. D. F. & Castro, P. de T. A. Geological control of Podocnemis nesting area in rio Javaés e Podocnemis unifilis no Rio Javaés , Ilha do Bananal , Brasil. *Acta Amaz.* **33**, 445–468 (2003).
110. Luz, V. L. F. *et al.* Conservação dos quelônios amazônicos no Brasil. in *Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Quelônios Amazônicos* (ICMBio).
111. Scheingross, J. S., Michael, P. & Fuller, B. M. Self-formed bedrock waterfalls. *Nature* **567**, 229–233 (2019).
112. Hawkins, C. P. *et al.* A Hierarchical Approach to Classifying Stream Habitat Features. *Fisheries* **18**, 3–12 (1993).
113. Leenheer, J. A. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. *Acta Amaz.* **10**, 513–526 (1980).
114. Hedges, J. I. *et al.* Compositions and fluxes of particulate material in the Amazon River . *Limnol. Oceanogr.* **31**, (1986).
115. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil - Região Norte. Vol I. 123–125 (1977).
116. Gualtieri, C. Hydraulic complexity at a large river confluence in the Amazon basin. *Ecohydrology* **10**, 1–12 (2017).
117. Benda, L. E. E. *et al.* The Network Dynamics Hypothesis : How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *Bioscience* **54**, 413–427 (2004).
118. ICMBio/CECAV. Cadastro Nacional De Informações Espeleológicas - CANIE. <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html> (2020).
119. Pires, J. M. Tipos de Vegetação da Amazônia. *Mus. Para. Emílio Goeldi- Publicação Avulsa* **20**, 79 – 209. (1973).
120. Wege, D. & Goerck, J. M. Áreas Importantes para a Conservação das Aves no Brasil. Parte I – Est ados do Domínio da Mata Atlântica. in *Áreas Importantes para a Conservação das Aves* (eds. Bencke, .A., Maurício, G. N., Develey, P. F. & Goerck, J. M.) 17–24 (SAVE Brasil., 2006).
121. Mwangi, M. A. K. *et al.* Tracking trends in key sites for biodiversity: A case study using Important Bird Areas in Kenya. *Bird Conserv. Int.* **20**, 215–230 (2010).
122. Fearnside, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amaz.* **36**, 395–400 (2006).
123. Rodrigues, S. R., Barros, A. T. M. De, Puker, A. & Taira, T. L. Diversidade de besouros coprófagos (Coleoptera, Scarabaeidae) coletados com armadilha de interceptação de voo no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Brasil. *Biota Neotrop.* **10**, 0–0 (2010).
124. Satyamurty, P. Moisture source for the Amazon Basin : A study of contrasting years Moisture source for the Amazon Basin : a study of contrasting years. *Theor Appl Clim.* **111**, 195–209 (2013).
125. Rocha, V. M. *et al.* Reciclagem de Precipitação na Bacia Amazônica : O Papel do Transporte de Umidade e da Evapotranspiração da Superfície. *Rev. Bras. Meteorol.* **32**, 387–398 (2017).
126. Scholes, R. J., Monteiro, P. M. S., Sabine, C. L. & Canadell, J. G. Systematic long-term observations of the global carbon cycle. *Trends Ecol. Evol.* **24**, 427–430 (2009).

127. Zhang, S., Simelton, E., Lo`vdahl, L., Grip, H. & Chen, D. Simulated long-term effects of different soil management regimes on the water balance in the Loess Plateau, China. *F. Crop. Res.* **100**, 311–319 (2007).
128. Egoh, B. *et al.* Mapping ecosystem services for planning and management. *Agric. Ecosyst. Environ.* **127**, 135–140 (2008).
129. Cerri, C. E. P. *et al.* Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agric. Ecosyst. Environ.* **122**, 58–72 (2007).
130. Lehtomäki, J. & Moilanen, A. Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environ. Model. Softw.* **47**, 128–137 (2013).
131. MMA, Ministério do Meio Ambiente *Portaria MMA No 443, de 17 de dezembro de 2014 Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção*. 1–25 (2014).
132. Lopes, J. M. Dinâmica migratória e reprodutiva de uma espécie reofílica de peixe (*Prochilodus costatus*) no Alto São Francisco, MG: diferenças entre populações locais e transpostas e implicações para a instalação de um sistema de transposição de peixes na UHE Três Mari. (Universidade Federal de Lavras, 2017).
133. Brasil. 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. 1–15 (2000).
134. Moilanen, A. Zonation - Spatial conservation planning methods and software version 4 User Manual. (2014).
135. Day, J. *et al.* *Guidelines for applying the IUCN protected area management categories to marine protected areas*. (IUCN, 2019).
136. Moilanen, U. M. A., Kujala, H., Leathwick, J. R., Wilson, K. A. & Possingham, H. P. The Zonation framework and software for conservation prioritization, Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools. in 196–210 (Universidade de Oxford, 2009).
137. Moilanen, A. Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biol. Conserv.* **134**, 571–579 (2007).
138. Velazco, S. J. E., Ribeiro, B. R., Laureto, L. M. O. & De Marco Júnior, P. Overprediction of species distribution models in conservation planning: A still neglected issue with strong effects. *Biol. Conserv.* **252**, 108822 (2020).
139. Akama, A. Impacts of the hydroelectric power generation over the fish fauna of the Tocantins river, Brazil: Marabá dam, the final blow. *Oecologia Aust.* **21**, 222–231 (2017).
140. AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos atuais e quaternários na região dos cerrados. , *S. Crat. Intracrat.* **14**, 1–39 (1981).
141. Anderson, E. P. & Maldonado-Ocampo, J. A. Una Perspectiva Regional de la Diversidad y Conservación de Peces Andinos Tropicales. *Conserv. Biol.* **25**, 30–39 (2011).
142. Laranjeiras, T. O. *et al.* The avifauna of Virua National Park, Roraima, reveals megadiversity in northern Amazonia. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 22(2), 138-171. *Rev. Bras. Ornitol.* **22**, 138–171 (2014).
143. Carvalho, T. M. de. Caracterização hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Branco, estado de Roraima, Brasil. (Universidade Federal do Ceará, 2018).
144. Naka, L. N. *et al.* The Avifauna of the Rio Branco, an Amazonian evolutionary and ecological hotspot in peril. *Bird Conserv. Int.* **30**, 27–39 (2019).
145. Capurucho, J. M. G. *et al.* Patterns and Processes of Diversification in Amazonian White Sand Ecosystems: Insights from Birds and Plants. in *Neotropical diversification: patterns and processes*. (eds. Cornelius, C., Vicentini, A. & Prata, E. M. B.) 245–270 (Springer, 2020). doi:10.1007/978-3-030-31167-4.
146. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. (2020).
147. Lessmann, J. *et al.* Freshwater vertebrate and invertebrate diversity patterns in an Andean-Amazon basin: implications for conservation efforts. *Neotrop. Biodivers.* **2**, 99–114 (2016).
148. Alexiades, A. V., Encalada, A. C., Lessmann, J. & Guayasamin, J. M. Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador. *J. Freshw. Ecol.* **34**, 249–263 (2019).
149. Wang, S., Zhuang, Q., Lähteenoja, O., Draper, F. C. & Cadillo-Quiroz, H. Potential shift from a carbon sink to a source in Amazonian peatlands under a changing climate. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **115**, 12407–12412 (2018).
150. Hill, A. F., Stallard, R. F. & Rittger, K. Clarifying regional hydrologic controls of the Marañón River, Peru through rapid assessment to inform system-wide basin planning approaches. *Elementa* **6**, (2018).
151. Schwenk, J., Khandelwal, A., Fratkin, M., Kumar, V. & Foufoula-Georgiou, E. High spatiotemporal resolution of river planform dynamics from landsat: The rivMAP toolbox and results from the Ucayali river. *Earth Sp. Sci.* **4**, 46–75 (2017).
152. Medina, C. E., López, E., Pino, K., Pari, A. & Zeballos, H. Biodiversidad de la zona reservada Sierra del Divisor (Perú): Una visión desde los mamíferos pequeños. *Rev. Peru. Biol.* **22**, 199–212 (2015).
153. Silvano, R. A. M., Do Amaral, B. D. & Oyakawa, O. T. Spatial and temporal patterns of diversity and distribution of the Upper Jurua River fish community (Brazilian Amazon). *Environ. Biol. Fishes* **57**, 25–35 (2000).
154. Assis, R. L., Wittmann, F., Piedade, M. T. F. & Haugaasen, T. Effects of hydroperiod and substrate properties on tree alpha diversity and composition in Amazonian floodplain forests. *Plant Ecol.* **216**, 41–54 (2015).
155. Dalagnol, R., Borma, L. de S., Mateus, P. & Rodriguez, D. A. Avaliação de impactos de mudanças climáticas nos recursos hídricos da Bacia do Purus no sudoeste da Amazônia. *Acta Amaz.* **47**, 213–226 (2017).
156. Rivera, I. A. *et al.* Decline of fine suspended sediments in the Madeira River basin (2003-2017). *Water* **11**, (2019).
157. H., P. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. in *The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin* (ed. Sioli H) 15–46 (W. Junk Publishers, 1984).
158. WWF, World Wide Fund for N. *Uma visão de conservação para a bacia do Tapajós*. (2016).
159. Fearnside, P. M. Brazil's São Luiz do Tapajós dam: The art of cosmetic environmental impact assessments. *Water Altern.* **8**, 373–396 (2015).

160. Silvestre, K. S. Mapeamento Da Dinâmica Fluvial Na Volta Grande Do Xingu Por Meio De Imagens Multitemporais Do Satélite. (Universidade de Brasília, 2019).
161. Fitzgerald, D. B. *et al.* Diversity and community structure of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: Implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. *Biol. Conserv.* **222**, 104–112 (2018).
162. Paula, E. M. S. De. Repercussão da Exploração Hidroelétrica no Funcionamento Geocológico de Paisagens Fluviais Amazônicas. *Rev. Bras. Geogr. Física* **06**, 2259–2270 (2019).
163. Fearnside, P. M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environ. Manage.* **27**, 377–396 (2001).
164. WCS, Wildlife Conservation Society, Putumayo-Içá. *Amazon Waters* <http://amazonwaters.org/basins/great-sub-basins/putumayo-ica/> (2021).
165. ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade *Plano de Redução de Impacto de Infraestruturas Viárias Terrestres sobre a Biodiversidade. PRIM-IVT.* (2018). Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/prim-ivt>
166. Pack, S. M. *et al.* Protected Area Downgrading, Downsizing, and Degazettement (PADDD) in the Amazon. *Biol. Conserv.* **197**, 32–39 (2016).
167. Mascia, M. B. & Pailler, S. Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) and its conservation implications. *Conserv. Lett.* **4**, 9–20 (2011).
168. Brasil. *DECRETO DE 2 DE JUNHO DE 2004. Cria a Reserva Extrativista de Cururupu, nos Municípios de Cururupu e Serrano do Maranhão, no Estado do Maranhão, e dá outras providências.* (2004).
169. Brasil. *DECRETO DE 8 DE MAIO DE 2008. Dispõe sobre a criação da Floresta Nacional do Iquiri, no Município de Lábrea, no Estado do Amazonas, e dá outras providências.* (2008).
170. Brasil. *DECRETO DE 20 DE AGOSTO DE 1999. Cria a Área de Relevante Interesse Ecológico Seringal Nova Esperança, no Município de Xapuri, Estado do Acre, e dá outras providências.* (1999).
171. IBAMA. *INSTRUÇÃO NORMATIVA No- 146, DE 10 DE JANEIRO DE 2007.* 56–58 (Diário Oficial da União- Seção 1, 2007).
172. Eletrobrás. Estudos Ambientais. in *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas* 45 (2003).
173. Bengueyfield, W., Hay, D., Joyce, S. & Greenbank, J. *Evaluation of restoring historic passage for anadromous fish at BC Hydro facilities. B.C. Hydro* (2001).
174. Andrade, E. de S. & Araújo, J. da C. Mitigating measures for environmental impacts caused by hydroelectric usine on fish. *Rev. Electrónica Vet.* **12**, (2011).
175. Pompeu, P. S., Agostinho, A. A. & Pelicice, F. M. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage. *River Res. Appl.* **28**, 504–512 (2012).
176. Fontes Júnior, H. M., Castro-Santos, T., Makrakis, S., Gomes, L. C. & Latini, J. D. A barrier to upstream migration in the fish passage of Itaipu dam (Canal da Piracema), Paraná river basin. *Neotrop. Ichthyol.* **10**, 697–704 (2012).
177. Lira, N. A. *et al.* Fish passages in South America: An overview of studied facilities and research effort. *Neotrop. Ichthyol.* **15**, 1–14 (2017).
178. WHITE, R. J., KARR, J. R. & NEHLSSEN, W. Better roles for fish stocking and aquatic resource management. in *Uses and effects of cultured fishes in aquatic ecosystems.* (eds. SCHRAMM, J., L., H. & PIPER, R. G.) 527–547 (American Fisheries, 1995).
179. Agostinho, A. A., Gomes, L. C. & Pelicice, F. M. Manejo da pesca em reservatórios. in *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil* (eds. Agostinho, A. A., Gomes, L. C. & Pelicice, F. M.) 227–381 (EDUEM, 2007).
180. Cowx, I. G. An appraisal of stocking strategies in the light of developing country constraints. *Fish. Manag. Ecol.* **6**, 21–34 (1999).
181. Radomski, B. P. J. & Goeman, T. J. The Homogenizing of Minnesota Lake Fish Assemblages. *Fisheries* **20**, 20–24 (1995).
182. Alho, C. J. R. Efeitos ambientais de reservatórios de hidrelétricas sobre mamíferos silvestres e tartarugas-de-água-doce na amazônia: Uma revisão. *Oecologia Aust.* **15**, 593–604 (2011).
183. UNEP, United Nations Environment Programme, ONU, U. N. F. & IUCN, International Union for Conservation *IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF DAMS: PROJECT SYNTHESIS REPORT.* (2001) doi:10.1201/9780429001055-42.
184. Zuanon, J. *et al.* Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. *Pap. do NAEA* **28**, (2020).
185. Eiten, G. Vegetação do Cerrado. in *Cerrado caracterização, ocupação e perspectivas* (ed. Pinto, M. N.) 17–74 (Editora da Universidade de Brasília, 1994).
186. Avitabile, V. *et al.* An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Glob. Chang. Biol.* **22**, 1406–1420 (2016).
187. Saatchi, S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvalá, R. C., Soares, J. V. & Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Glob. Chang. Biol.* **13**, 816–837 (2007).
188. Saatchi, S. S. *et al.* Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **108**, 9899–9904 (2011).
189. Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M. & Houghton, R. A. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science.* **363**, 1–11 (2017).
190. Baccini, A. *et al.* Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nat. Clim. Chang.* **2**, 182–185 (2012).
191. Conservation International. *Mapping Essential Natural Capital in Amazonia. Mapping Essential Natural Capital in Amazonia. Identifying important places for biodiversity and ecosystem services.* (2015) doi:10.13140/RG.2.2.19848.93446.
192. Liu, Y. Y. *et al.* Recent reversal in loss of global terrestrial biomass. *Nat. Clim. Chang.* **5**, 470–474 (2015).
193. Song, X. P., Huang, C., Saatchi, S. S., Hansen, M. C. & Townshend, J. R. Annual carbon emissions from deforestation in the Amazon basin between 2000 and 2010. *PLoS One* **10**, 1–21 (2015).

194. International, C. Protected Areas: collection from national sources. Bolivia: National Protected Areas, SERNAP 2009; municipal, departmental or regional protected areas data collected by Conservation International Bolivia in 2009. Brazil: Ministry of Environment (MMA) 2015. vol. 2015.
195. Santos, G. M. dos, Ferreira, E. J. G. & Zuanon, J. A. S. *Peixes comerciais de Manaus*. (in, 2009).
196. Lynch, A. J. *et al.* Inland fisheries – Invisible but integral to the UN Sustainable Development Agenda for ending poverty by 2030. *Glob. Environ. Chang.* **47**, 167–173 (2017).
197. Begossi, A. *et al.* Fish consumption on the amazon: A review of biodiversity, hydropower and food security issues. *Brazilian J. Biol.* **79**, 345–357 (2019).
198. ANA, A. N. de Á. Massa d'água. *Catálogo de Metadados* <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home> (2019).
199. Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* **540**, 418–422 (2016).
200. Farr, T. G. & Kobrick, M. The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.* **45**, 1–3 (2007).
201. Franklin, W. R. Triangulated irregular network program. (1973).
202. Venticinque, E. *et al.* METADATA - Amazon Aquatic Ecosystem Spatial Framework. *Earth Syst. Sci. Data* **51**, 1–20 (2016).
203. Lehner, B., Verdin, K. & Jarvis, A. New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos (Washington, DC)*. **89**, 93–94 (2008).
204. Hess, L. *et al.* LBA-ECO LC-07 Wetland Extent, Vegetation, and Inundation: Lowland Amazon Basin. (2015).
205. MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção [4] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. (2019).
206. Fagundes, C. K., Vogt, R. C., De Marco Júnior, P. & J, P. D. M. Testing the efficiency of protected areas in the Amazon for conserving freshwater turtles. *Divers. Distrib.* **22**, 123–135 (2016).
207. United States Geological Survey USGS. EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov>.
208. Michel, J., Youssefi, D. & Grizonnet, M. Stable Mean-Shift Algorithm and Its Application to the Segmentation of Arbitrarily Large Remote Sensing Images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **53**, 952–964 (2015).
209. Arcgis. ArcGIS Data Appliance. <https://doc.arcgis.com/en/data-appliance/7.2/maps/world-imagery.htm>ArcGIS. (2020).
210. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Base cartográfica contínua do Brasil, ao milionésimo – BCIM*. (2016).
211. WWD - World Waterfall Database. <https://www.worldwaterfalldatabase.com/> (2020).
212. Foundation, O. Open Street Maps. <https://www.openstreetmap.org/#map=4/-15.13/-53.19> (2020).
213. Trip Advisor. Cachoeiras. www.tripadvisor.com.br (2020).
214. Google. Google Earth Website. <https://www.google.com/earth/> (2020).
215. Hengl, T. *et al.* SoilGrids250m : Global Gridded Soil Information Based on Machine Learning. *PLoS One* **12**, e0169748 (2017).
216. Martens, B., Miralles, D. G., Lievens, H., Schalie, R. Van Der & Jeu, R. A. M. De. GLEAM v3 : satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. 1903–1925 (2017) doi:10.5194/gmd-10-1903-2017.
217. Moreira, A. A. *et al.* Assessment of terrestrial water balance using remote sensing data in South America. *J. Hydrol.* **575**, 131–147 (2019).
218. Mu, Q., Zhao, M. & Running, S. W. Remote Sensing of Environment Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sens. Environ.* **115**, 1781–1800 (2011).
219. Júnior, P. D. E. M. & Siqueira, M. F. D. E. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista ? *Megadiversidade* / **5**, 2–12 (2009).
220. Andrade, A. F. A., Velazco, S. J. E. & De Marco Jr, P. ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. *Environmental Modelling & Software. Environ. Model. Softw.* **125**, (2020).
221. Mendes, P., Velazco, S. J. E., Andrade, A. F. A. & Júnior, P. D. M. Dealing with overprediction in species distribution models: How adding distance constraints can improve model accuracy. *Ecol. Model.* **431**, 109180 (2020).
222. Martineli, G. & Moraes, M. A. *Livro vermelho da flora do Brasil*. (Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013).
223. IUCN, International Union for Conservation. Lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN. <https://www.iucnredlist.org>. (2017).
224. MINAM, M. del M. A. do P. Intercambio de Datos: Información del Mapa de Cobertura Vegetal. <https://geoservidor.minam.gob.pe/> (2015).
225. Friedl, M. A. *et al.* MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sens. Environ.* **114**, 168–182 (2010).
226. EPE, Empresa Pesquisa Energética WebMap EPE: Sistema Elétrico Existente: Linha de Transmissão - Base existente. (2020).
227. CONELEC, C. N. de E. Sistema de movilidad, energía y conectividad: Linea Transmision (2009). (2009).
228. OSINERGMIN. Lineas_Transmisión (MapServer). (2019).
229. Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). 2009. Biodiversity Offset Design Handbook. BBOP, Washington, D.C.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FONTE DE DADOS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

As hidrelétricas existentes e planejadas na região amazônica foram especializadas a partir da compilação de informações de cinco diferentes bases de dados, com 349 empreendimentos existentes e 557 planejados. No Brasil, as informações sobre empreendimentos hidrelétricos foram adquiridas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)³². Já para os países estrangeiros as informações foram coletadas da Global Forest Watch (GFW)³³, Conselho Nacional de Eletricidade do Equador (CONELEC)³⁴; Conservation International (2015)¹⁹¹ e da publicação de Anderson *et al* (2018)¹⁸. (Figura A1). A ocorrência de todos os registros de empreendimentos hidrelétricos foi inspecionada visualmente a fim de evitar duplicidade de empreendimentos.

Criou-se um código identificador (ID) para todos os empreendimentos hidrelétricos e optou-se por padronizar o campo referente às suas potências sendo, portanto, necessária a conversão para a unidade megawatts (MW). O tipo/descrição dos empreendimentos hidrelétricos foi organizado por categoria (UHE, PCH e CGH). O enquadramento das categorias foi determinado de acordo com os limiares estabelecidos pela ANEEL, quais sejam: Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) para aqueles com mais de 30 MW de potência instalada; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) com até 1 MW de potência instalada.

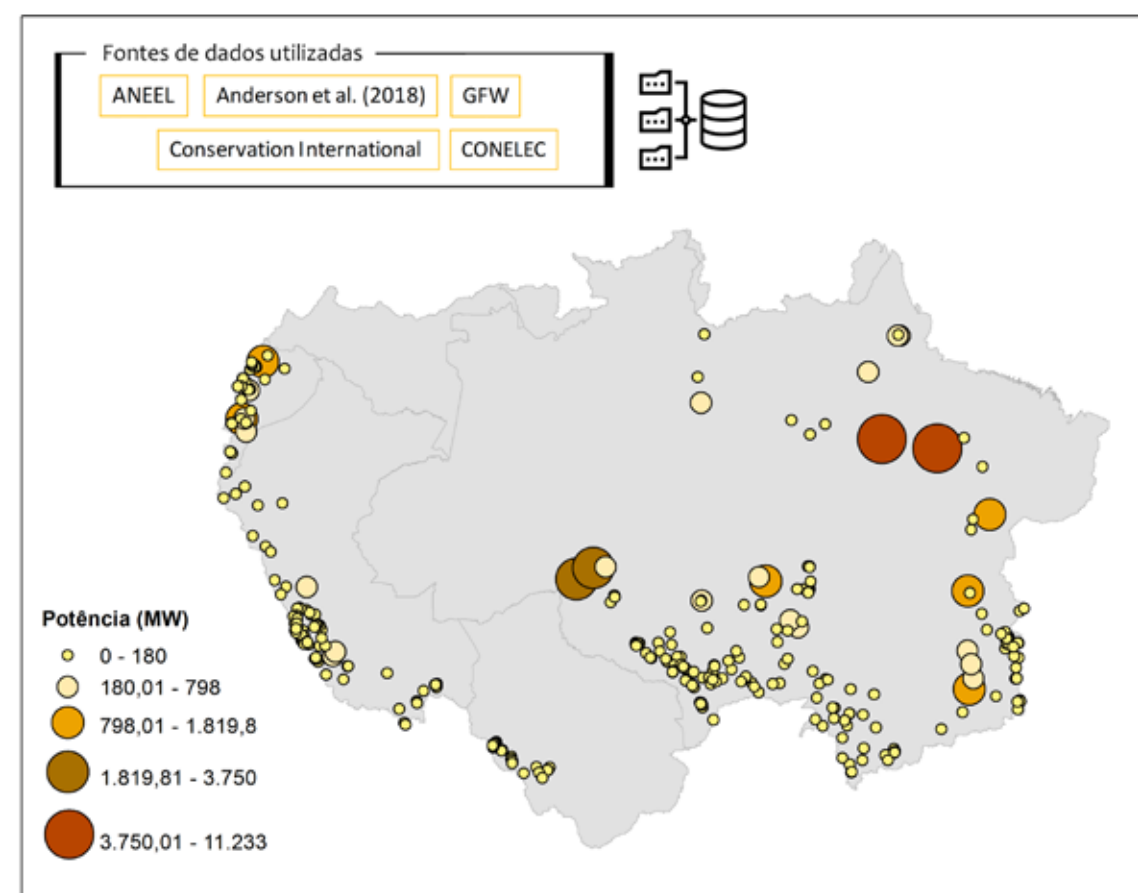


Figura A1. Fontes utilizadas para representação dos empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados na região amazônica e respectivos potenciais hidrelétricos instalados.

©Helder Lana / Reserva Extrativista Chocoaré-Mato Grosso

APÊNDICE B – MAPEAMENTO DE ÁREAS ALAGADAS E ESTIMATIVAS DE VOLUME DE BARRAMENTOS HIDRELÉTRICOS

• ÁREAS ALAGADAS POR BARRAMENTOS HIDRELÉTRICOS

A construção da camada de áreas alagadas por barramentos hidrelétricos é baseada em informações de diferentes bases de dados (Figura A2), provenientes da Agência Nacio-

nal das Águas (ANA)¹⁹⁸, e *Global Surface Water Explorer* da Comissão Europeia¹⁹⁹. Nos casos em que havia a ausência de informações dos espelhos da d'água existentes nos dados

da ANA e da *Global Surface Water Explorer*, a representação espacial das áreas alagadas foi construída por meio da classificação de imagens, utilizando cenas do Google Earth,

dos satélites Landsat 8 (NASA) e Sentinel-2 (ESA). No total, foram contabilizados mais de 11.000 km² de áreas alagadas na região amazônica por barramentos hidrelétricos.

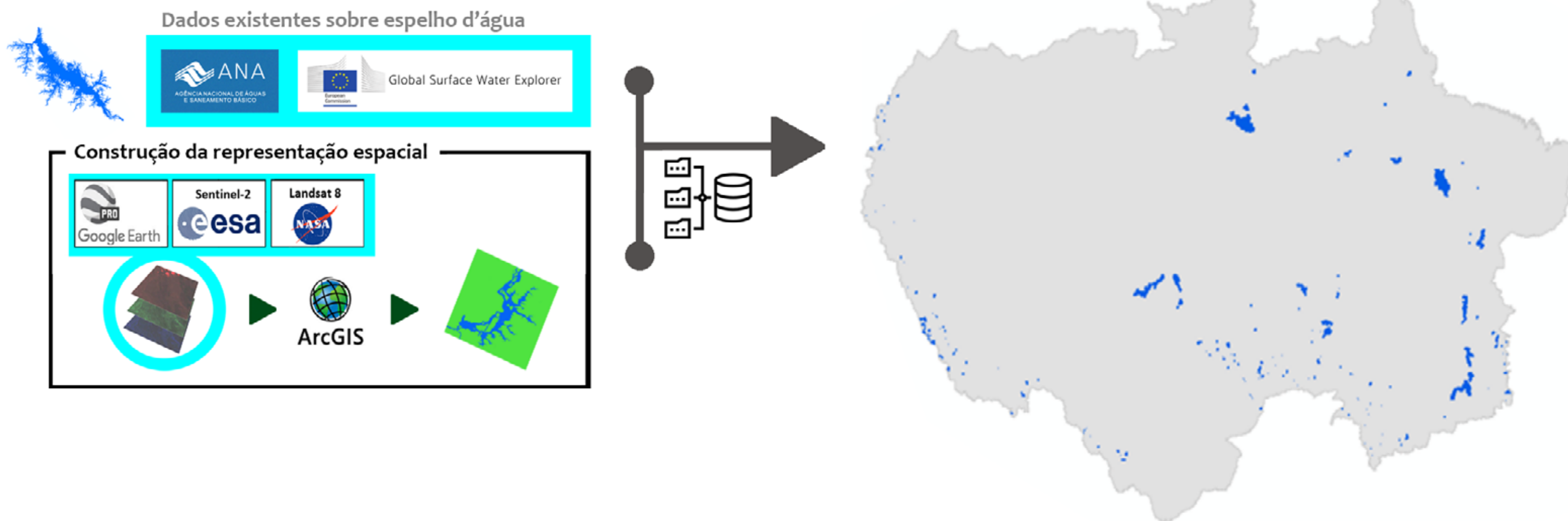


Figura A2. Fluxograma utilizado para construção da base de dados das massas d'água artificiais implantadas para produção de energia elétrica na região amazônica.

• **VOLUME DOS RESERVATÓRIOS:**

A capacidade de armazenamento dos reservatórios existentes para produção de energia elétrica na região amazônica, foi compilada a partir as diferentes bases de dados provenientes de agências reguladoras do Brasil e do Perú, Agência Nacional de Energia Elétrica e Autoridade Nacional de Águas, respectivamente (N=174). A capacidade foi também estimada, sempre que possível o processamento, para os casos em que havia ausência de dados do volume armazenado para empreendimentos hidrelétricos existentes (N=64).

As estimativas de volume foram realizadas por meio de processamento de dados altimétricos no software ArcGis, conforme ilustrado na Figura A3. A partir da hipsometria obtida da base *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, com resolução espacial de 30 metros²⁰⁰, tendo sido gerado um modelo de superfície 3D de grade TIN - Triangular Irregular Network²⁰¹. Essa modelagem de definição de superfícies de ajuste, juntamente com o mapeamento das áreas alagadas e informações da cota base dos reservatórios permitiram obter o volume em m³, por meio da ferramenta *polygon volume* do ArcGis.

Volume dos Reservatórios Hidrelétricos



Figura A3. Bases de dados e metodologia utilizada para estimativa dos volumes dos reservatórios hidrelétricos existentes na região amazônica.

APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DOS ÍNDICES DE PERDA HABITAT, FRAGMENTAÇÃO LONGITUDINAL E DEGRADAÇÃO DE HABITAT

FRAGMENTAÇÃO LONGITUDINAL

O *surrogate* do impacto fragmentação longitudinal foi construído a partir da comparação da variação natural dos comprimentos dos rios entre os diferentes níveis de bacia hidrográfica e do número e da posição de barramentos (Figura A4). Para tal, o PRIM-HA utilizou os dados da rede hidrográfica amazônica de Venticinque *et al.*⁵⁴ (2016) e dos barramentos hidrelétricos (ver Apêndice A) para avaliar o comprimento médio dos segmentos de rio – multiplicado pelo desvio padrão e dividido pelo número dos segmentos – dentro de cada bacia hidrográfica, para as sete escalas espaciais hierárquicas. Esses *surrogates* de fragmentação

da conectividade apresentam os maiores valores para as bacias com menor média e desvio padrão do comprimento dos rios e maior número de segmentos.

Em seguida, as sete camadas espaciais foram padronizadas, para uma escala contínua de zero a um, e sumarizadas pelo valor médio contido nos limites das unidades de planejamento. Esse resultado sintetiza o efeito cumulativo da fragmentação da conectividade hídrica de sucessivas quebras da escala local para regional, para as diferentes escalas geográficas de maneira aninhada e comparativa entre bacias de mesmo nível.

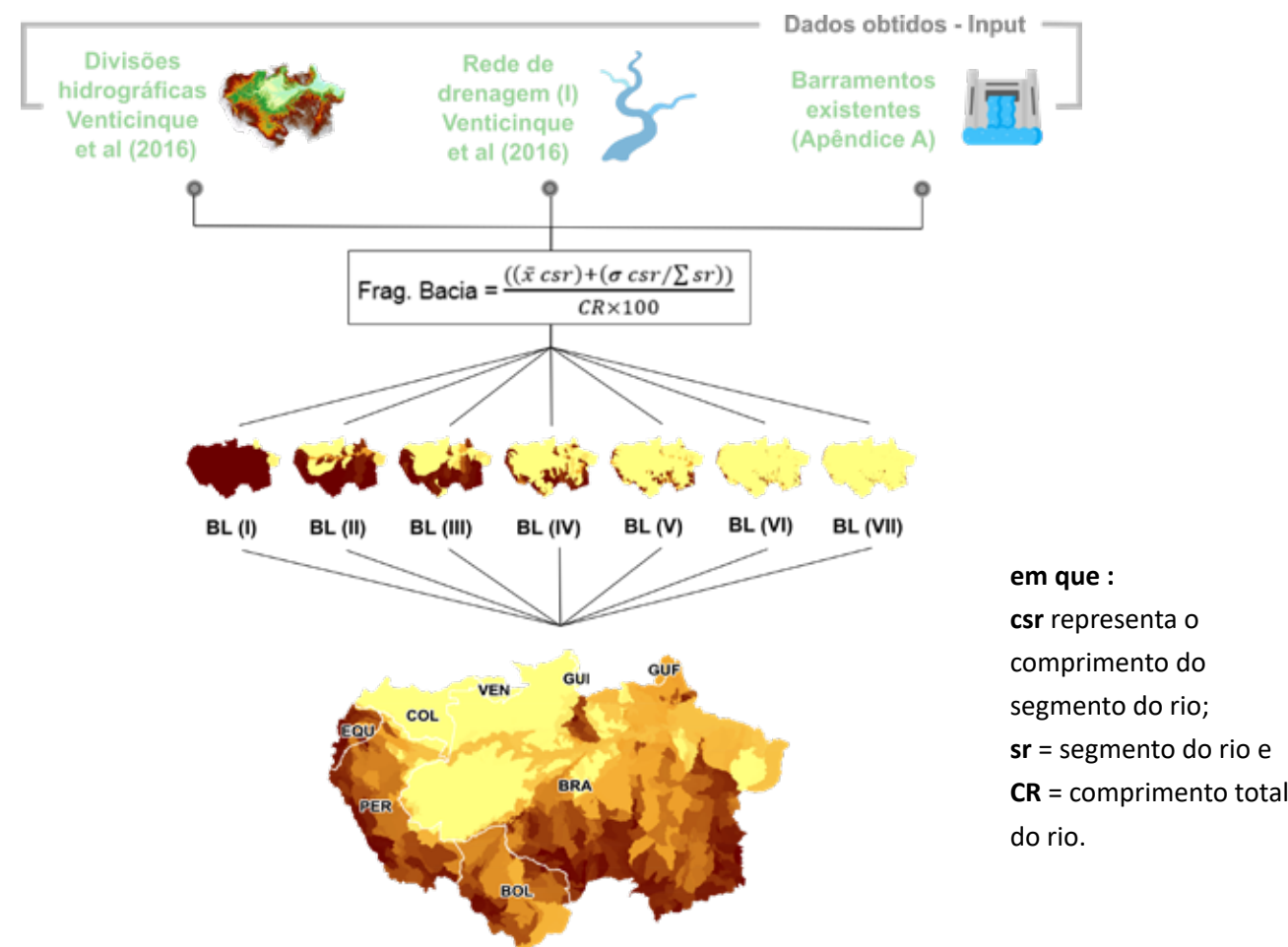


Figura A4. Fonte de dados e processamentos utilizados para estimativa do surrogate da fragmentação da conectividade dos rios do PRIM-HA.

PERDA DE HABITAT

Para construção do surrogate do impacto perda de habitat, as áreas alagadas artificialmente pelos barramentos das hidrelétricas (ver Apêndice B) foram sobrepostas às bacias hidrográficas para calcular sua proporção de área (km²) ocupada do total da bacia (Figura A5). Essa análise foi repetida para os sete níveis de bacias hidrográficas²⁰², de modo a representar o efeito aninhado da perda de habitat para as diferentes escalas. Em seguida, uma camada foi construída a partir de média dessas sete camadas, restritas aos limites das unidades de planejamento e padronizada para uma escala de valores contínuos de zero a um, resultando no surrogate que representa a perda de habitat.

Esse resultado sintetiza o efeito da perda de habitat em diferentes escalas geográficas, de maneira aninhada com bacias menores com a presença de áreas alagadas concentrando maior impacto dentro das bacias maiores e, comparativamente, entre bacias de mesmo nível, com aquelas com maior proporção de áreas alagadas submetidas à maior exposição aos impactos. Assim, são representados desde os impactos de vários barramentos acumulados em grandes bacias, até aqueles individuais restritos a pequenas bacias, estimando os efeitos da perda de habitat sobre alvos de conservação de distribuição espacial ampla e restrita.

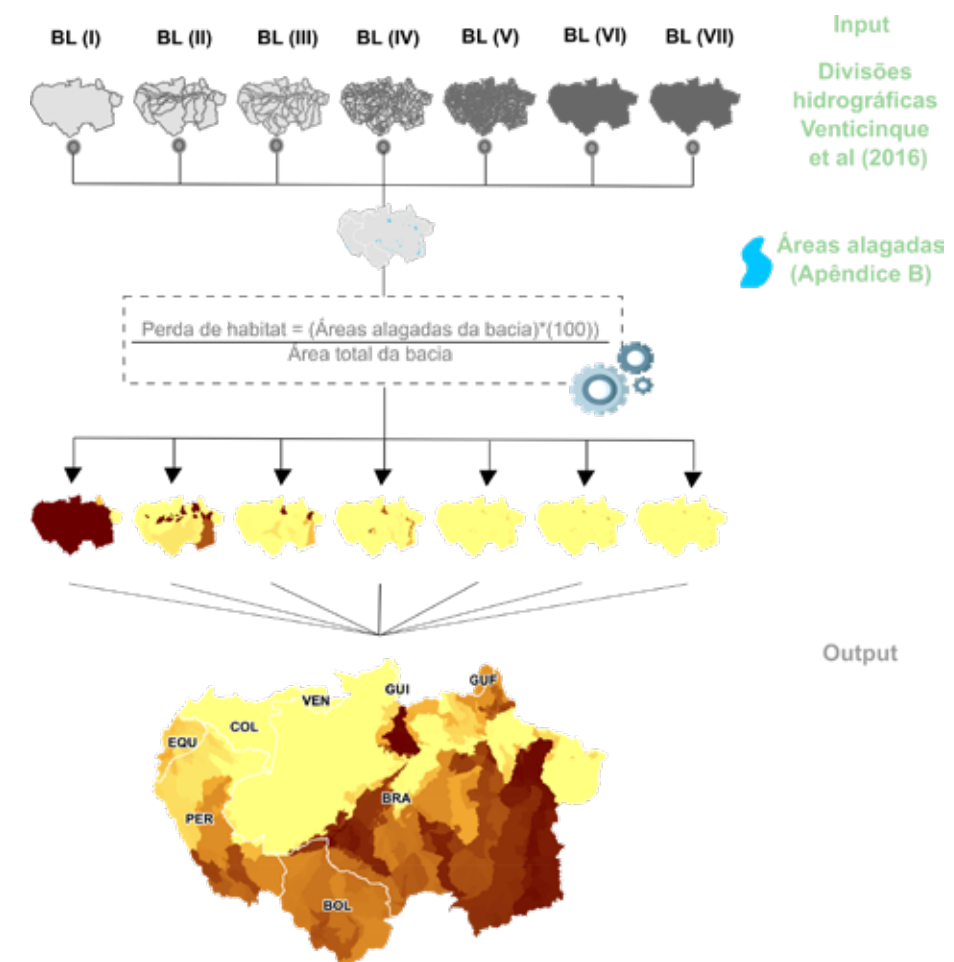


Figura A5. Fluxograma e fonte de dados obtidos para estimativa do surrogate perda de habitat do PRIM-HA.

DEGRADAÇÃO DE HABITAT

A degradação de habitat foi expressa a partir da construção da camada de Grau de Regulação (do inglês “Degree of regulation” DOR). Para isto nós utilizamos as bases de dados de barramentos e volumes compiladas no âmbito do PRIM-HA (ver Apêndice B), de conectividade da rede de drenagem e da vazão média anual por trechos de rios de Grill *et al.*⁷⁵. Os dados extraídos do trabalho de Grill foram elaborados a partir da base do *Hydrosheds*²⁰³. Os autores abordam o conceito de rios de fluxo livre, identificando aspectos de conectividade hídrica e os principais fatores de pressão que influenciam sobre esta conectividade. Um desses fatores de pressão é o grau de regulação (DOR). Este índice quantifica a proporção de fluxo anual de rio que pode ser retida pela presença de reservatório(s) e o quanto isso pode alterar o regime natural de vazão dos rios a jusante^{57,81}

O índice tem como base a relação entre o volume de armazenamento de um reservatório e o volume total do fluxo anual do rio no local da barragem, e é expresso como a porcentagem do volume do fluxo do rio que pode ser retido no reservatório da barragem⁷⁵:

$$DOR_j = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n svol_i}{dvol}$$

Em que:

DOR_j : é o valor de DOR no trecho j do rio

$svol_i$: é o volume de armazenamento de um reservatório i à montante do trecho j do rio,

n : é o número total de reservatórios a montante do trecho j do rio,

$dvol$: é volume médio natural de descarga de volume por ano, no trecho do rio j .

Para facilitar o processamento de dados, o cálculo do DOR foi limitado apenas para a rede de drenagem com a presença de empreendimentos existentes, e que apresentam conectividade com os demais trechos dos rios a jusante (aproximadamente 35.800 km). O índice foi ajustado para varia de 0 a 100%, considerando o limite superior como o alcance à capacidade de retenção total

do fluxo anual do trecho, inclusive para as situações que ultrapassassem este limite. O grau de regulação (DOR) foi calculado utilizando o software de linguagem python PyCharm 2020.1.2. a partir de scripts e do arquivo de configuração disponibilizados por Grill *et al.*⁷⁵, na plataforma do GitHub, no sítio <https://github.com/ggrill/Free-Flowing-Rivers> (Figura A6 e A7).

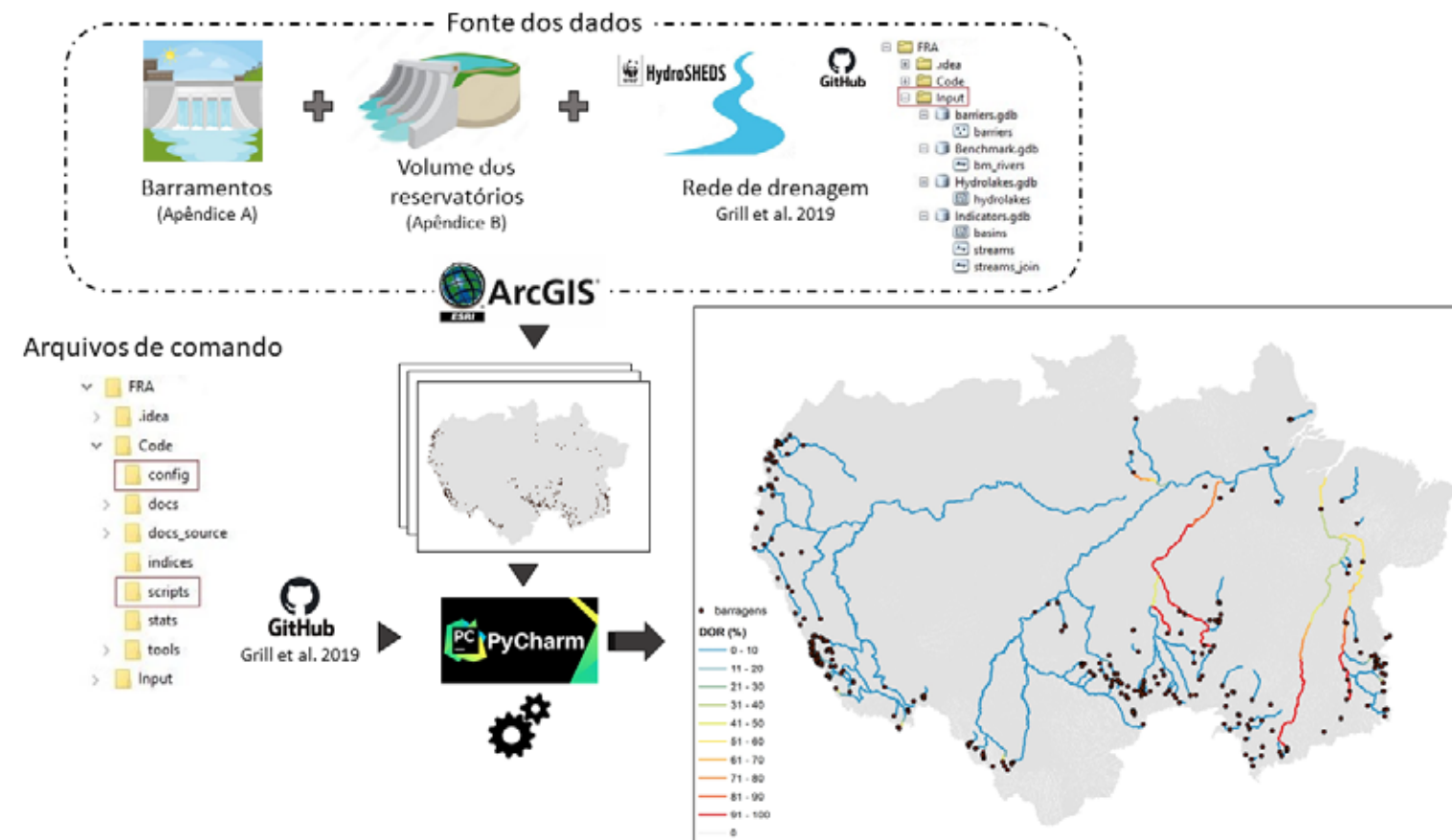


Figura A6. Fluxograma de elaboração e representação da camada Grau de Regulação (DOR).

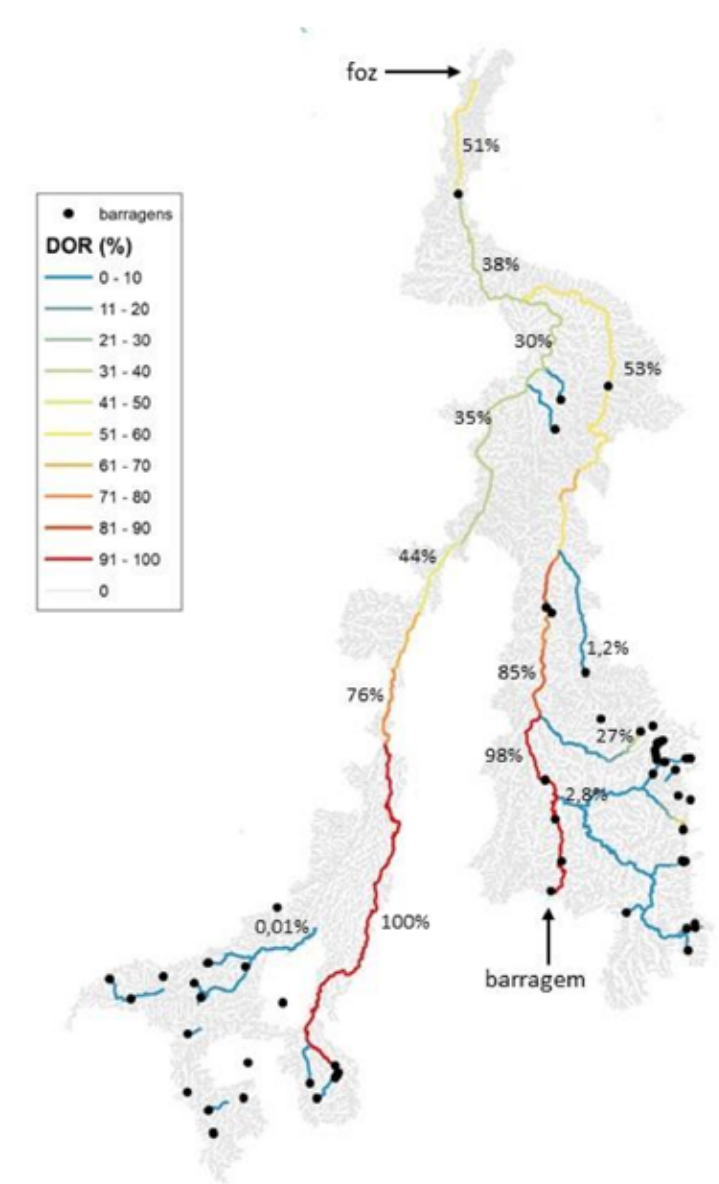


Figura A7. Representação do índice DOR que varia de 0% (sem retenção do fluxo anual dos rios) a 100% (da capacidade de retenção total do fluxo anual dos rios). O DOR apresenta valores mais altos quando há presença de barragens com reservatórios com capacidade de armazenamento de água iguais ou superiores ao volume de fluxo do rio e vai diminuindo à medida que o curso d’água segue a jusante ou quando há interferência de um afluente.

APÊNDICE D – CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE ALVOS DA BIODIVERSIDADE SENSÍVEIS AOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E OS VALORES DE IMPORTÂNCIA ATRIBUÍDOS.

Tabela A1: Critérios de priorização da fauna e flora sensíveis aos empreendimentos hidrelétricos, juntamente com explicação biológica utilizada para cada critério e os valores atribuídos.

	Critério de priorização	Explicação biológica	Tipo de variável	Valores atribuídos
I	Categoria de risco de extinção	Prioriza a conservação de espécies com maior risco de extinção (Portaria MMA 443, 444 e 445/2014) e as não ameaçadas sensíveis	Categórica	Criticamente em Perigo - CR (1,00) Em Perigo - EN (0,75) Vulnerável - VU (0,50) Quase Ameaçada - NT (0,25) Dados Insuficientes - DD (0,25) Menos Preocupante – LC (0,25).
II	Representatividade em Unidades de Conservação	Prioriza as espécies que apresentam uma menor representatividade dentro de Unidades de Conservação	Quantitativo	Proporção da distribuição da espécie fora de Unidades de Conservação (0 – 1).
III	Sensibilidade à Perda de habitat	Efeito da destruição do habitat sobre populações de distribuição restrita. A construção de hidrelétricas sobre a área de distribuição da espécie pode torná-la extinta localmente.	Categórica	Sensibilidade nula (0) Sensibilidade baixa (0,33) Sensibilidade moderada (0,66) Sensibilidade alta (0,99).
IV	Sensibilidade à Fragmentação longitudinal	Efeito da quebra de conectividade linear dos rios decorrente da construção dos empreendimentos hidrelétricos e consequente isolamento de populações. Esse efeito é determinado pelo comportamento migratório das espécies e sua respectiva necessidade de deslocamento pelo curso hídrico.	Categórica	Sensibilidade nula (0) Sensibilidade baixa (0,33) Sensibilidade moderada (0,66) Sensibilidade alta (0,99).
V	Sensibilidade à degradação do habitat	Efeito da redução de qualidade da água por empreendimentos hidrelétricos.	Categórica	Sensibilidade nula (0) Sensibilidade baixa (0,33) Sensibilidade moderada (0,66) Sensibilidade alta (0,99).

Tabela A2: Priorização de ambientes singulares e serviços ecossistêmicos sensíveis aos empreendimentos hidrelétricos, juntamente com explicação biológica utilizada para cada alvo e os valores atribuídos.

	Alvos de conservação	Explicação biológica	Valores atribuídos
I	Zonas úmidas	Proporção da área ocupada por zonas úmidas em cada célula do grid	0,38
II	Cachoeiras	Presença de cachoeiras por célula do grid	0,115
III	Corredeiras	Extensão das corredeiras (em km) por célula do grid	0,115
IV	Tabuleiros	Proporção da área ocupada por tabuleiros em cada célula do grid	0,10
V	Encontro de águas	Presença de encontro de águas por célula do grid	0,10
VI	Fitofisionomias	Presença de cada classe fitofisionômica na célula do grid	0,09
VII	Heterogeneidade Fitofisionomias	Número de classes fitofisionômicas por célula do grid	0,04
VIII	Cavernas	Número de cavidades subterrâneas por célula do grid	0,03
IX	IBAs	Presença de IBAs em cada célula do grid	0,03
Total - Ambientes singulares			1
I	Evapotranspiração	Valor médio da evapotranspiração por célula do grid	0,5
II	Estoque de Carbono	Valor médio do Estoque de carbono por célula do grid	0,5
Total - Serviços Ecossistêmicos			1

APÊNDICE E - FONTE DE DADOS E MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS ALVOS DE CONSERVAÇÃO

- AMBIENTES SINGULARES

- ✓ MAPEAMENTO DAS ZONAS ÚMIDAS

As zonas úmidas destacadas no PRIM-HA foram representadas por toda a diversidade de paisagens aquáticas presentes na região amazônica, que incluem áreas de planícies de várzeas, regiões pantanosas com vegetação arbustiva e herbácea inundadas permanentemente ou sazonalmente, florestas alagadas, manguezais, pequenos cursos d'água, até o próprio rio Amazonas.

As áreas úmidas mapeadas correspondem a 14% de toda a região amazônica e algumas regiões merecem destaque, como as bacias de Marañón e Ucayali, no Peru com regiões pantanosas dominadas por palmeiras, as savanas de Llanos de Mojos na bacia do rio Madeira, a bacia do rio Araguaia localizada entre os estados do Mato Grosso e Tocantins onde se encontra a Ilha do Bananal, e a região próxima à foz do rio Amazonas na Ilha de Marajó (Figura A8).

Para a elaboração da camada de zonas úmidas foram utilizadas as fontes de dados: Hess *et al.* (2015)²⁰⁴, Hess em Castello *et al.* (2013)¹⁹, e MapBiomas²⁰⁵. Os dados de Hess *et al.* (2015) correspondem a toda área de planície da bacia Amazônica, exceto as com altitude igual ou superior a 500 metros, referentes à Cordilheira do Andes que não foram incluídas no estudo. Os dados, também produzidos por Hess e obtidos em Castello *et al.* (2013) incluem a bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia e parte das ilhas adjacentes do estuário da Amazônia como a ilha de Marajó. Para o mapeamento destas áreas inundáveis foram utilizados mosaicos de imagens para os períodos de cheia e baixa inundaçã, obtidos do satélite JERS - 1 SAR e para os pequenos trechos (porções do sul da Bolívia e norte do Brasil) mosaicos de imagens ALOS PAL-SAR e Landsat, sendo todas as imagens com resolução espacial de aproximadamente 90 metros. Os dados do MapBiomas (2019) correspondem à parte do estado do Amapá, Maranhão e região da costa leste do Pará. Trata-se de imagens Landsat OLI com resolução de 30 metros e com classificação automática das imagens por meio da plataforma *Google Earth Engine*²⁰⁵

Para representação espacial da camada de zonas úmidas, os dados foram reamostrados para células de 25km² e classificados por proporção de área por célula do grid.

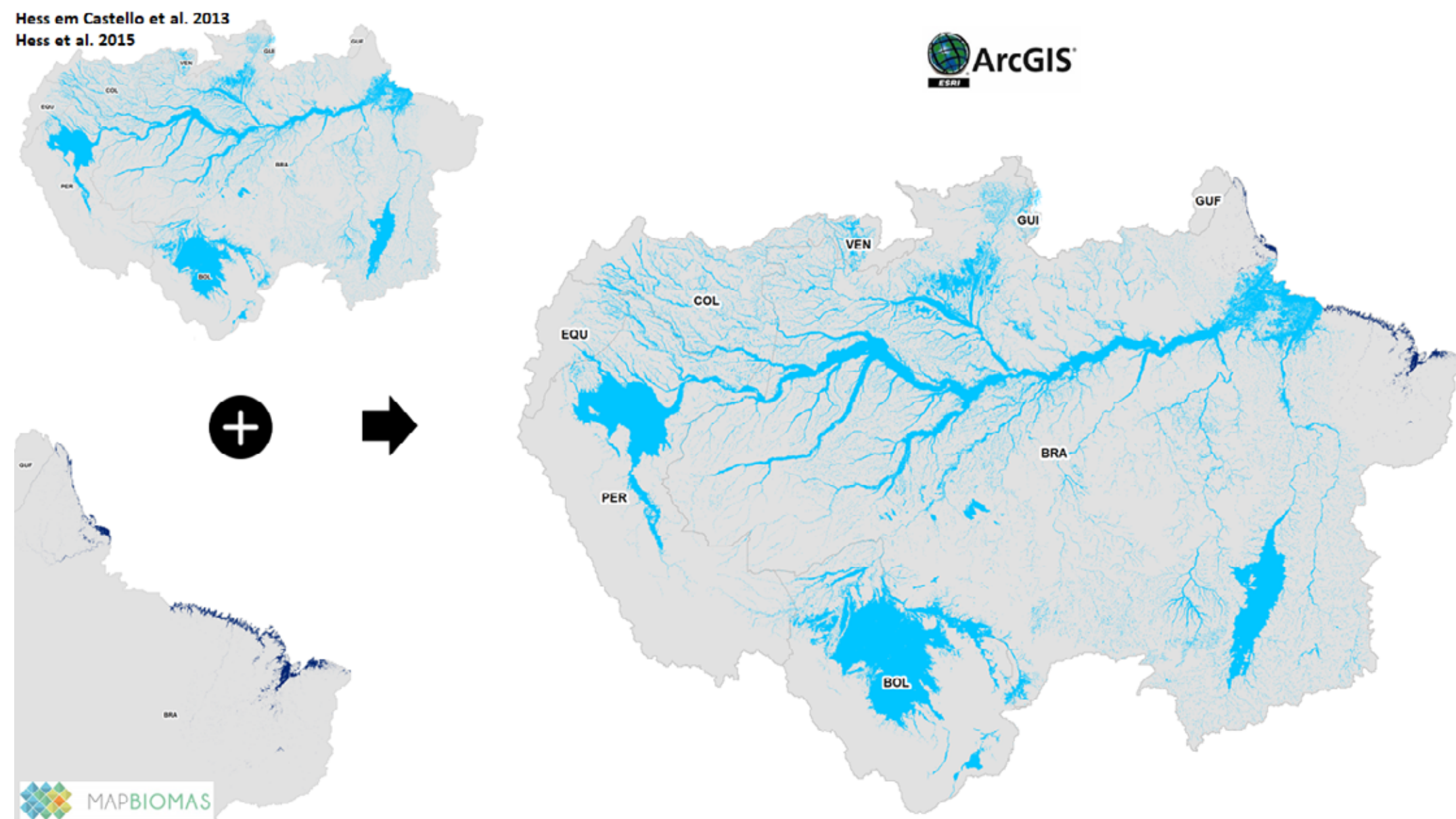


Figura A8. Representação da camada de zonas úmidas presentes na região amazônica.

✓ **MAPEAMENTO DE PRAIAS E TABULEIROS POTENCIALMENTE UTILIZADOS POR QUELÔNIOS**

A camada de bancos de areia foi utilizada para representar as áreas de praias e tabuleiros potencialmente utilizadas por quelônios como sítios de nidificação, em território nacional, produzidos e cedidos por Fagundes *et al* (2019)¹⁰⁸. A mesma metodologia foi seguida para estender as informações às áreas da bacia amazônica estrangeira. No método para mapeamento de bancos de areia proposto por Fagundes *et al* (2019)¹⁰⁸, sobrepõe-se os dados espaciais das áreas potenciais de desova de três espécies de quelônios amazônicos^{93,108,206}: *Podocnemis expansa*, *Podocnemis unifilis* e *Podocnemis sextuberculata* aos rios de

ordens 7 a 11⁵⁴, selecionando assim as áreas de drenagem potencialmente utilizadas pelas espécies. Pequenos trechos em que as drenagens apresentavam deslocamento do curso d'água foram corrigidas manualmente.

A partir destes trechos de drenagens foi gerado um buffer de 3km ao redor, como definição da área para identificação dos bancos de areia, e obtidas imagens do satélite Landsat 8 OLI, já com correção geométrica e atmosférica do sítio da United States Geological Survey (USGS)²⁰⁷ da área correspondente ao buffer. Para a representação desta camada espacial foram utilizadas 72 cenas do Landsat

com composição falsa cor (RGB bandas 467), das quais foi extraída uma máscara do buffer de 3km e gerado um mosaico com as imagens.

A fim de classificarmos os bancos de areia, foram coletadas amostras (Regiões de Interesse - ROI) das classes de vegetação, corpos d'água e bancos de areia, e para a obtenção de um resultado mais acurado, realizou-se o procedimento de segmentação da imagem anterior à fase de classificação, na qual se extraem conjuntos de pixels contíguos que melhor representem as áreas de interesse, definindo como algoritmo o *Mean Shift Segmentation*²⁰⁸. Em

seguida foram realizados testes de classificação de imagens supervisionadas e optou-se pelo método: *interactive supervised classification*, por apresentar uma melhor representação das classes amostradas. Após a classificação supervisionada foi feita uma verificação e validação manual dos bancos de areia. Todas as etapas de geoprocessamentos foram processadas no software ArcGIS 10.3.

Ao todo foram mapeados 4.405 km² de bancos de areia, que foram rasterizados em células de 25 km² e classificados por proporção da área ocupada por célula do grid (Figura A9).

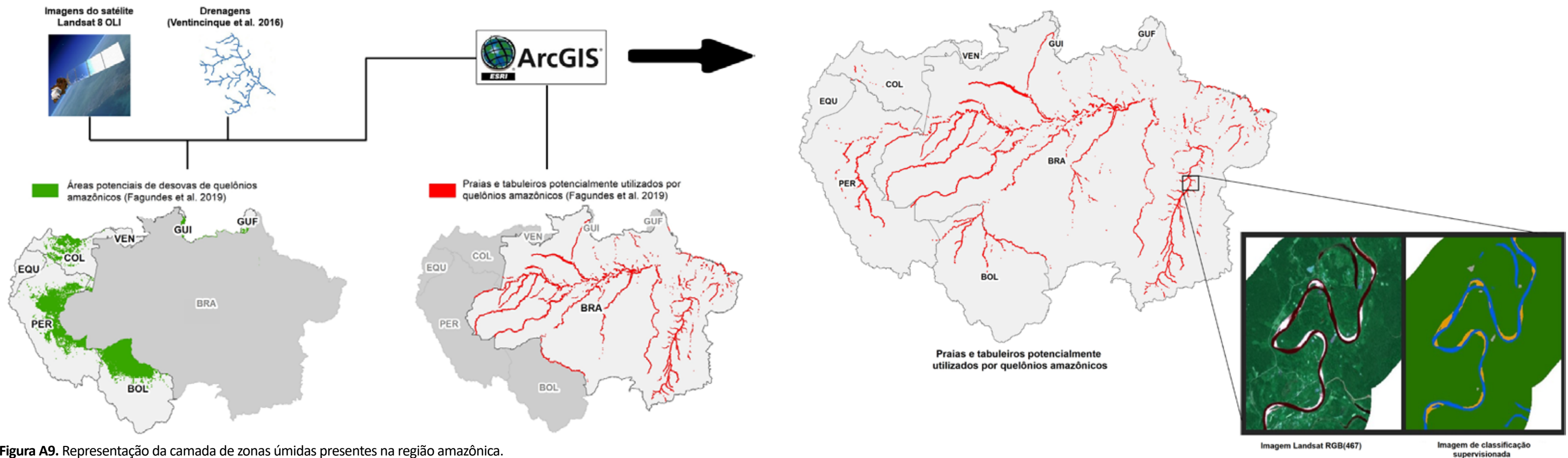


Figura A9. Representação da camada de zonas úmidas presentes na região amazônica.

✓ MAPEAMENTO DE CORREDEIRAS

O mapeamento das corredeiras foi processado no *software* ArcGIS 10.3, por meio da interpretação visual de imagens de satélite em rios de ordem 7 a 11 (Ventocinque *et al* 2016)^{54,202}. As imagens utilizadas na interpretação são as disponibilizadas no World Imagery, que fornece um compilado de diferentes satélites e imagens aéreas, de baixa a alta resolução espacial²⁰⁹. Em alguns trechos onde

não foi possível interpretar claramente as corredeiras, também foram consultadas adicionalmente imagens do *Google Earth*.

Foram percorridos aproximadamente 95.000 km de drenagens na escala de até 1:3000 com a presença de corredeiras para construção da camada espacial. Ao total foram mapeados 4.072 km de corredeiras para a área da região Amazônica (Figura A10).

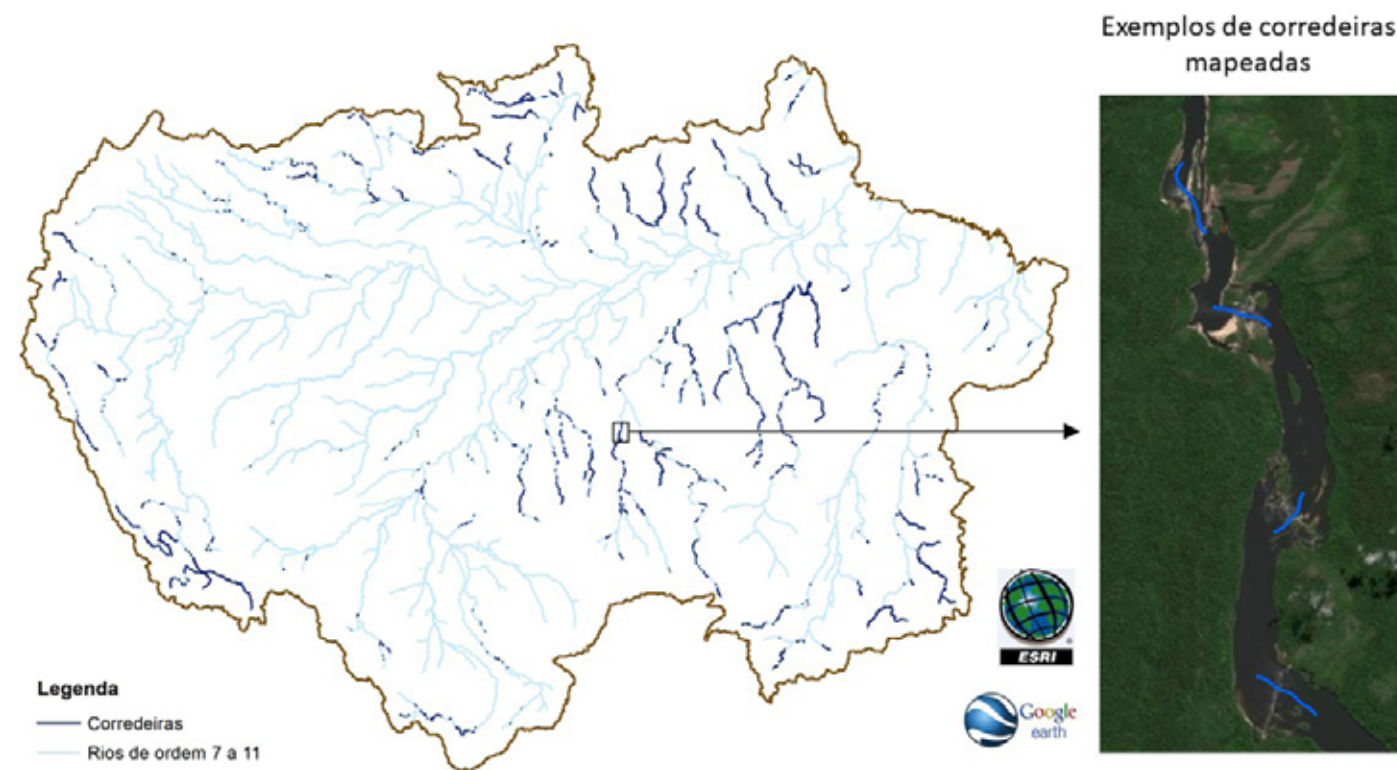


Figura A10. Representação das corredeiras mapeadas presentes na região amazônica.

✓ CACHOEIRAS

A camada de cachoeiras foi composta a partir de diferentes fontes de dados provenientes dos mapeamentos realizados pelo IBGE²¹⁰, World Waterfalls Database (WWD)²¹¹, Open Street Map (OSM)²¹² e Trip Advisor²¹³.

Os pontos de ocorrência de cachoeiras na região amazônica identificados passaram por um processo de conferência visu-

al com utilização do *software Google Earth*²¹⁴. Ao todo foram contabilizadas um total de 323 cachoeiras. Em seguida calculou-se a quantidade de cachoeiras em cada pixel de 5km que compõe a área de estudo do PRIM-HA (Figura A11).

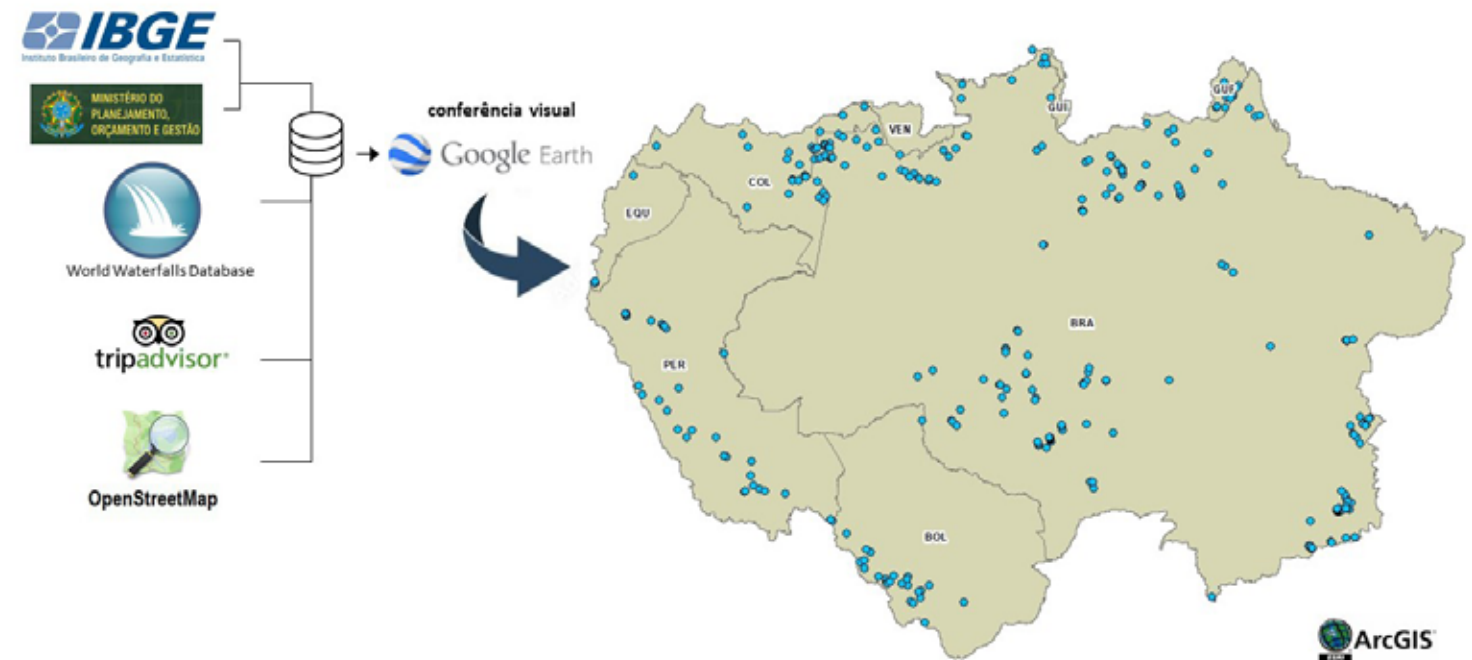


Figura A11. Fluxograma de métodos utilizados para construção da camada cachoeiras presentes na região amazônica.

✓ CAVERNAS

Os dados que compõem a camada de cavernas utilizados no PRIM-HA são provenientes de duas fontes: o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio), responsável pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE)¹¹⁸, para as cavernas localizadas em território

brasileiro; e o Open Street Map - OSM²¹² para as localizadas no exterior. Ao todo foram registradas 4.936 cavernas, tendo sido calculada a quantidade de cavernas em cada pixel de 5km que compõe o grid da área de estudo do PRIM-HA (Figura A12).

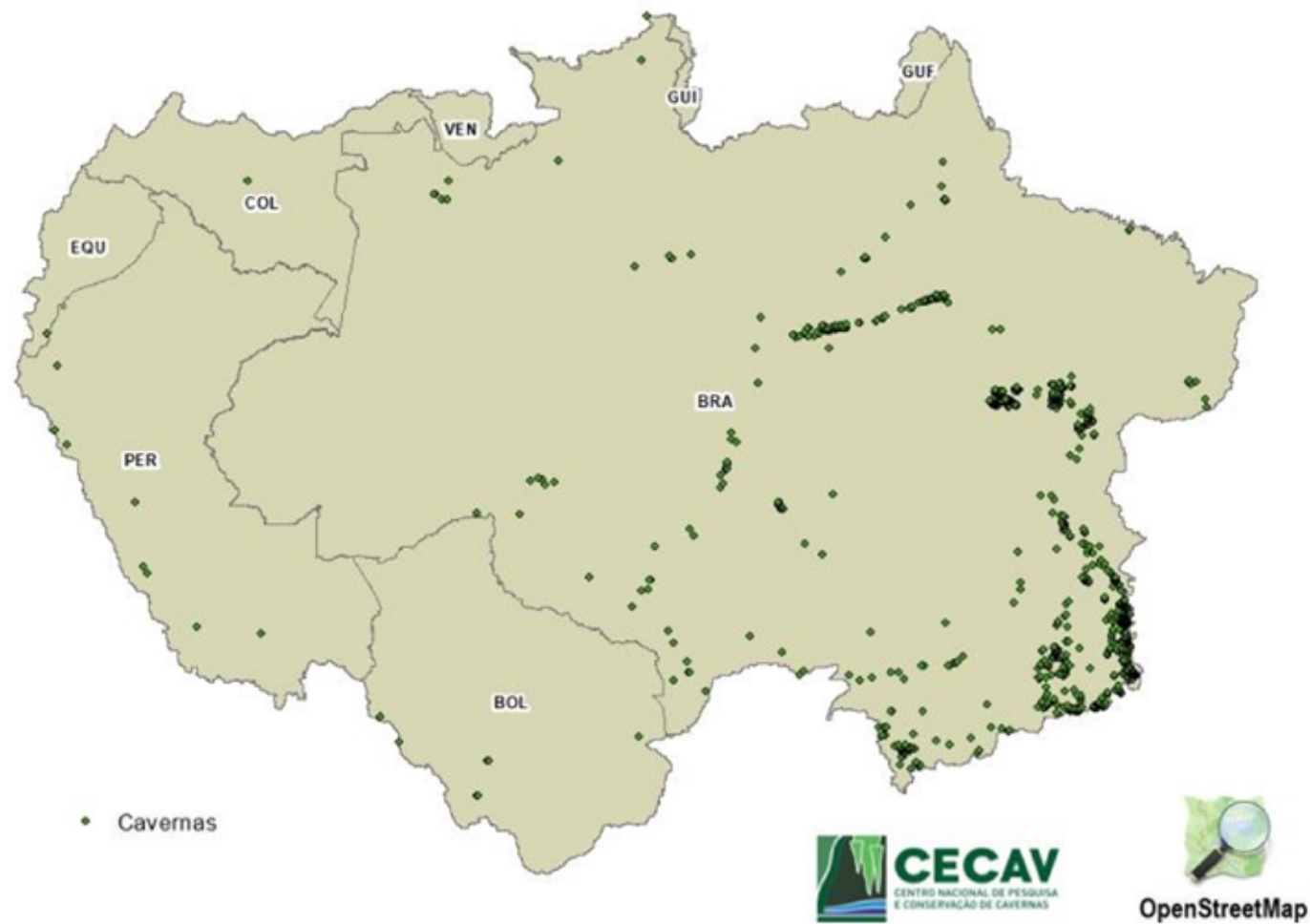


Figura A12. Representação das cavernas que compõem os habitats específicos do PRIM-HA.

✓ FITOFISIONOMIAS E HETEROGENEIDADE DE FITOFISIONOMIAS

Os tipos fitofisionômicos foram obtidos a partir de dados da United States Geological Survey (USGS), em formato matricial com resolução de 0,46 km (fonte: <https://rmgsc.cr.usgs.gov/outgoing/ecosystems/SAdata/>)²⁰⁷. Alguns trechos da área de estudo não apresentavam classificação e para obter a classe mais aproximada foram realizados processamentos pelo método de classificação pela vizinhança no R¹⁴⁶, utilizando 10 pixels por célula para a definição de classe de vizinho mais próximo.

As informações sobre os tipos fitofisionômicos foram utilizadas para compor duas diferentes camadas: a proporção de área de cada classe de fitofisionomia por célula do grid (camada fitofisionomia), e a riqueza de tipos fitofisionômicos também por célula (camada heterogeneidade de fitofisionomias).

A camada de fitofisionomias apresenta um total de 263 classes, compreendidas ao longo da bacia amazônica, que abrange diversas formações vegetais. Incluem áreas localizadas na cadeia dos Andes, extremidade Oeste da bacia, com aspectos mais herbáceos e arbustivos, áreas de formações florestais ombrófilas e áreas úmidas bastante características no bioma Amazônia. Ainda, formações savânicas, compostas por vegetação mais arbustiva, gramíneas ou árvores de pequeno porte, presentes no bioma Cerrado.

A camada de heterogeneidade fitofisionômica traz a informação da diversidade de espécies que estão presentes em cada célula de 5km (Figura A13). Foram obtidos valores de até 10 classes fitofisionômicas por célula presentes na área de estudo do PRIM Hidrelétricas da Amazônia

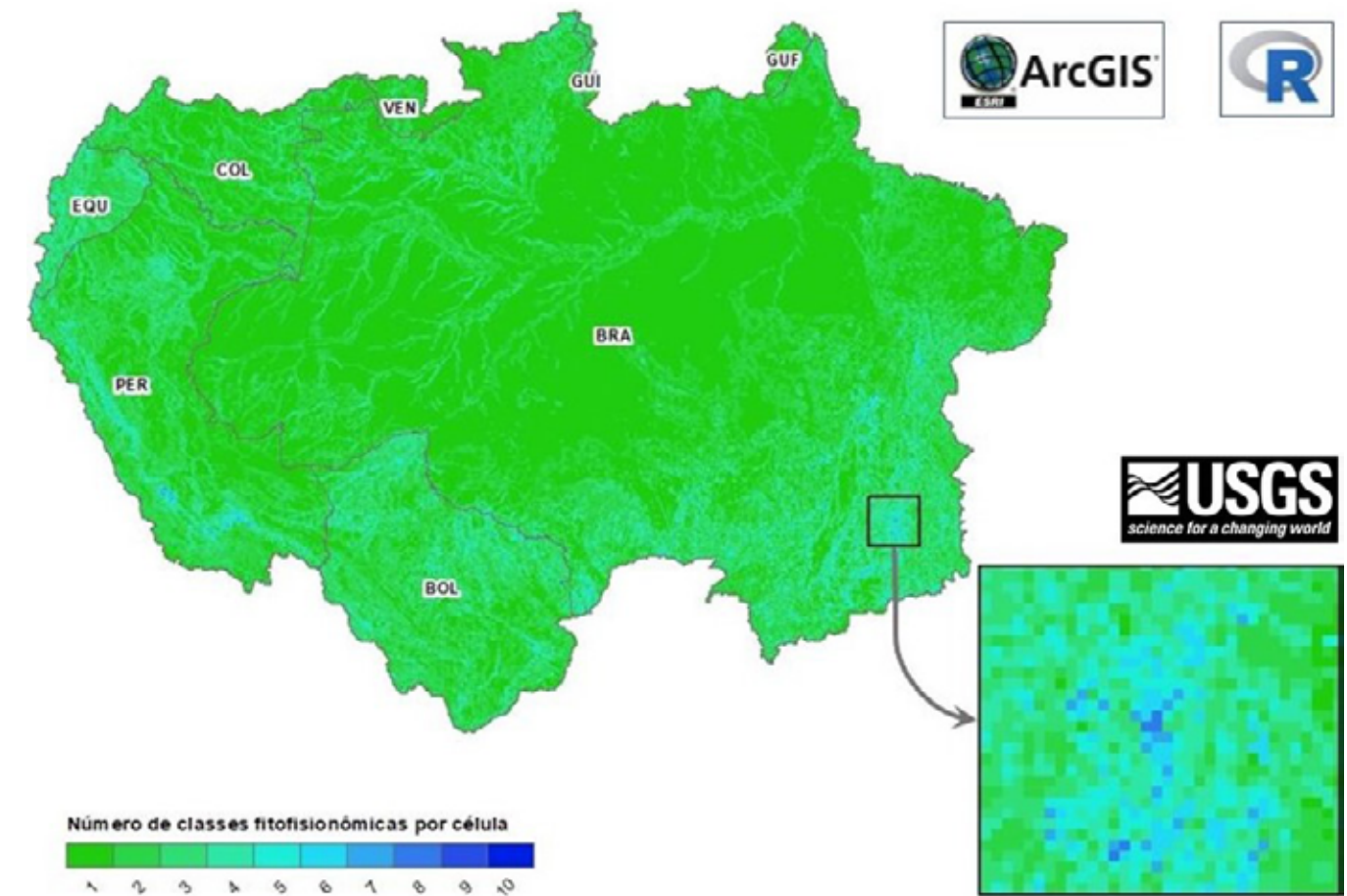


Figura A13. Representação da heterogeneidade dos tipos fitofisionômicos na área de estudo do PRIM-HA.

• SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

✓ ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO

A representação espacial do estoque de carbono no solo em dg/kg na região amazônica foi obtida da *Global Soil Information System (SoilGrids)* do International Soil Reference Information Centre (ISRIC)²¹⁵. Os dados são de livre acesso e possuem resolução espacial de 250 m. No PRIM-HA, optamos por utilizar três conjuntos de dados com diferentes profundidades (0-5; 5-15 e 15-30 cm). A média aritmética desses dados foi escolhida por apresentar maiores concentrações de carbono retido no solo²¹⁵.

Os valores de média dos dados das três profundidades de estoque de carbono no solo obtidas foram normalizados numa escala de zero a um, o que possibilitou a comparação das diferenças de retenção de carbono no solo entre regiões (25 km²) (Figura A14).

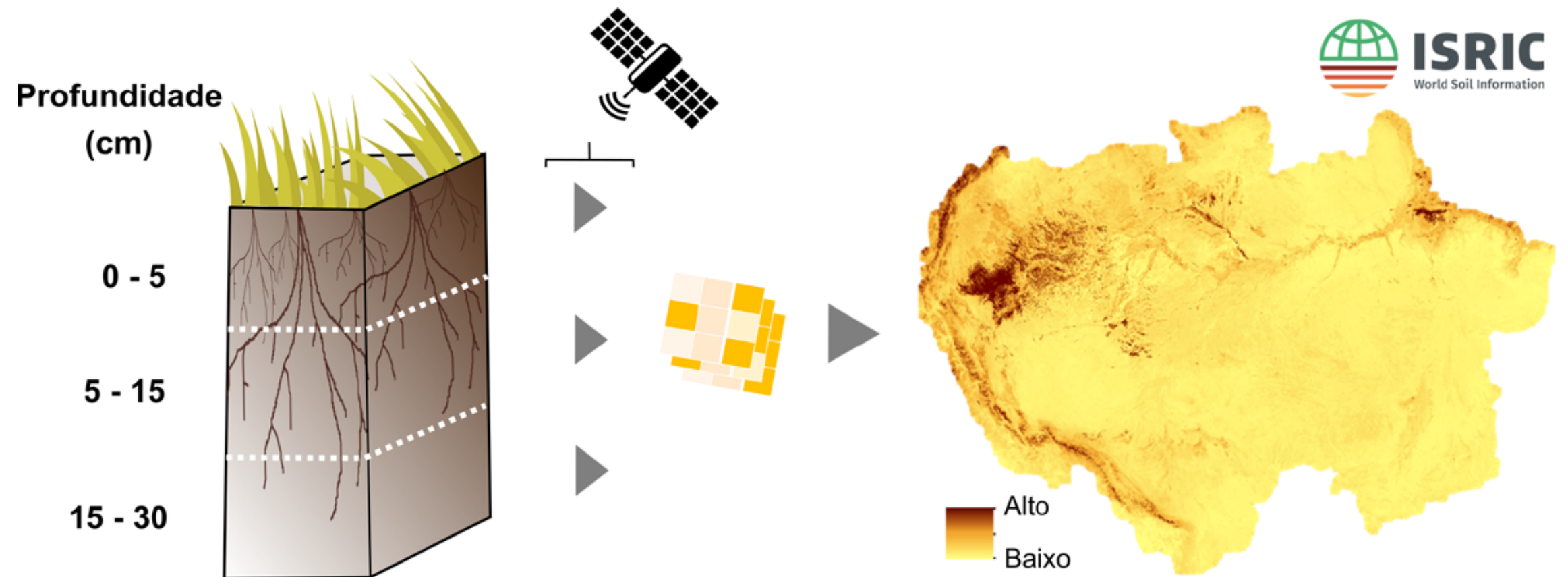


Figura A14. Representação da camada de zonas úmidas presentes na região amazônica.

✓ EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A camada de evapotranspiração foi representada pelas estimativas da quantidade de água evaporada pela superfície terrestre somada à transpiração das plantas entre os anos de 2000 a 2018. Para isso foram obtidas informações do conjunto de dados da Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM), que apresentam uma resolução espacial de 0,25° (~25 km x 25 km) e estimados com base na equação de Priestley-Taylor, a partir de dados de sensoriamento remoto²¹⁶. Os resultados disponibilizados dos dados do modelo GLEAM foram priorizados por apresentar menores incertezas para a região amazônica²¹⁷ quando comparados às estimativas da evapotranspiração real do modelo de Evapotranspiração Global MOD 16 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer -MODIS)²¹⁸.

A fim de obter uma síntese do fluxo de água evapotranspirada para atmosfera no período de 18 anos, optou-se pela estimativa da média anual da evapotranspiração em cada pixel de 5 km que compõe o grid da área de estudo do PRIM-HA. Tais informações foram utilizadas para gerar uma proporção média normalizada por uma área de 25 km², o que possibilitou uma comparação entre diferentes regiões (Figura A15).

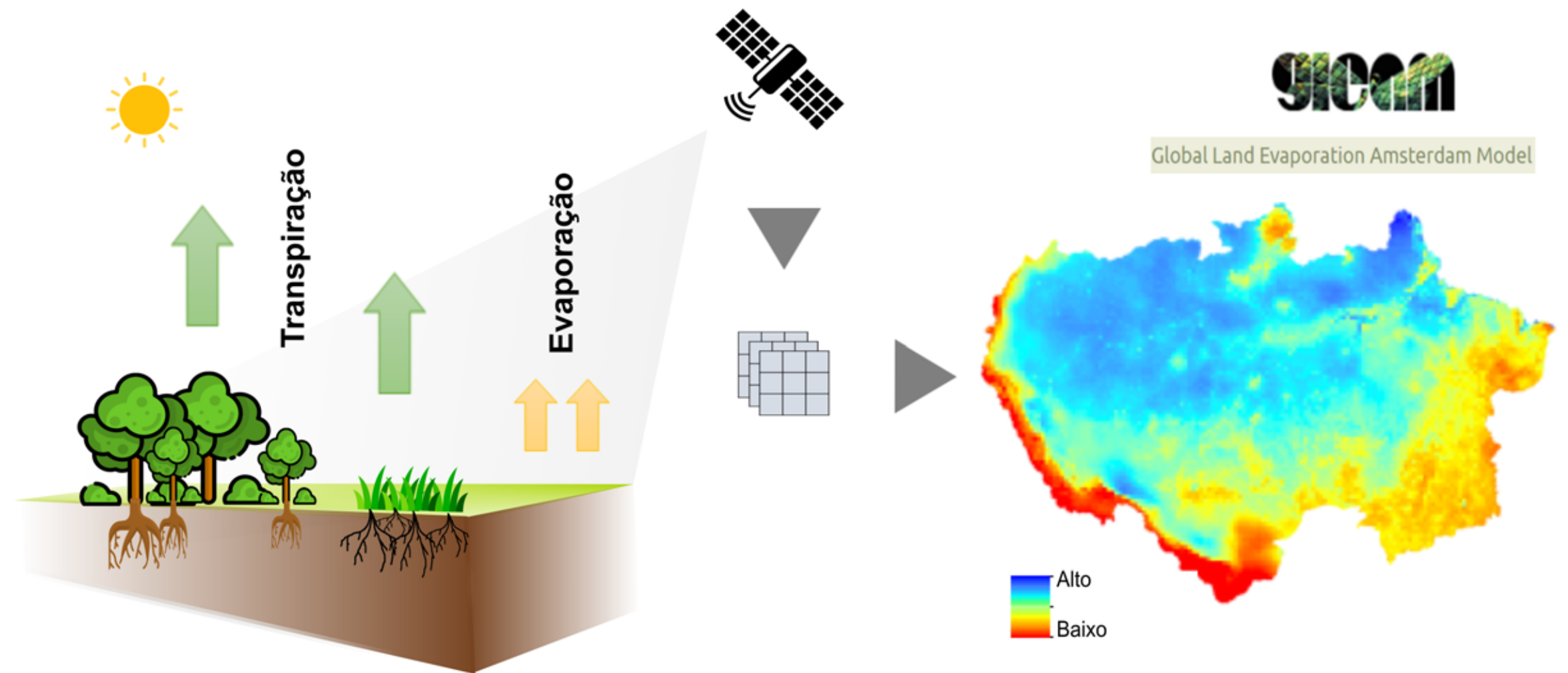


Figura A15. Distribuição espacial da proporção da evapotranspiração real (ETR) (médias anuais), da região Amazônica, para a série temporal de 2000-2018, obtidas do Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM).

• **REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESPÉCIES DE FAUNA E FLORA**

✓ **MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FAUNA**

A predição da distribuição potencial das espécies com mais de dez registros de ocorrência únicos foi realizada com a construção de modelos que extrapolam as características ambientais, a partir de variáveis bioclimáticas para projetar o nicho abiótico de cada espécie e indicar áreas onde há características ambientais adequadas para a sua ocorrência²¹⁹. Na construção dos modelos foram empregados os algoritmos *Maxent*, *Random Forest* e *SVM* para produzir um modelo consenso, utilizando o primeiro eixo da Análise de Componentes Principais - PCA das adequabilidades previstas por esses modelos para cada célula do mapa. Esse eixo foi padronizado para variar de zero a um e utilizado como a predição da adequabilidade para cada espécie. Para esta análise foi utilizado o pacote “ENMTML”²²⁰ do programa R.

Foram aplicados dois diferentes protocolos de controle de dispersão (métodos *a posteriori*), visando eliminar áreas previstas que podem estar fora da zona de acessibilidade da espécie. O intuito da aplicação destes protocolos é que os modelos utilizados para representar espacialmente as espécies no PRIM sejam mais conservadores, ou seja, restritivos ao apontar a real presença das espécies em uma unidade de planejamento. O primeiro destes protocolos é o MSDM-PRES que considera a presença das espécies para identificar as manchas de distribuição potencial utilizando o limiar LPT (*lowest presence threshold*)²²¹, tendo sido aplicado às espécies terrestres. Essas manchas de distribuição são tratadas como fragmentos de uma paisagem ambientalmente adequada para ocorrência de uma espécie, o que delimitaria espacialmente a sua distribuição²²⁰. O segundo protocolo foi desenvolvido para espécies aquáticas e nele

se realizou uma restrição espacial para as bacias hidrográficas com registros de ocorrência, assim como informações sobre o encadeamento montante-jusante destas. Para isto foi determinada a conectividade da rede de drenagem considerando as bacias hidrográficas nível 3 (BL3 de acordo com Venticinque *et al* 2016⁵⁴).

Todos os modelos foram validados pelos CNPCs/ICMBio e pesquisadores colaboradores, que indicaram os ajustes necessário na distribuição das espécies com base em informações conhecidas de fatores bióticos (por exemplo interações ecológicas como competição e predação) e de capacidade de dispersão (barreiras geográficas, por exemplo).

✓ **POLÍGONOS DE ESPECIALISTA**

Foram utilizados polígonos de especialistas para representar a distribuição das espécies da flora e fauna com menos de cinco registros ou espécies, dos peixes migradores migradores de acordo com a indicação de especialistas e das espécies de distribuição exclusivamente estrangeira. Os polígonos de especialista da flora nacional foram cedidos pelo CNCFlora/JBRJ e consistem nos chamados “polígonos de precisão”, adotados no processo de avaliação do risco de extinção²²². Para as espécies da fauna que possuíam menos de cinco registros, a distribuição foi representada pelos polígonos definidos a partir da seleção da(s) unidade(s) de planejamento (BL nível 6) que apresentassem registros de ocorrência das espécies. A representação mais adequada das espécies de peixes migradoras foi discutida durante a Oficina Preparatória do PRIM-HA e determinada pelos especialistas como sendo a área de vida destas espécies estimada com base em dados de pesca e captura⁷⁷. Já as espécies estrangeiras que não puderam ser modeladas foram representadas pelos polígonos de distribuição produzidos pela IUCN.²²³

APÊNDICE F – A FONTE DE DADOS E MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DA CONDIÇÃO DA PAISAGEM

A construção das camadas que representam a condição da paisagem foi feita com base em diferentes fontes de dados (Tabela A3). Estruturado por princípios técnicos, o PRIM-HA adotou como premissa a utilização de da-

dos secundários provenientes de: I) entidades governamentais de âmbito federal, II) dados publicados em periódicos internacionais, e III) arquivos mais recentes de código aberto.

Tabela A3: Dados espaciais utilizados para elaboração da condição da paisagem do PRIM-HA.

Dados	Escala geográfica da variável	Fontes	Representação espacial (área grid 25 km ²)	Condição da paisagem
Linhas de transmissão de energia elétrica existente*	Brasil	EPE	Proporção de comprimento por célula do grid	Desfavorável
	Equador	CONELEC		
	Peru	ICMBio*		
	Bolívia	Ministerio de Hidrocarburos		
Hidrovias	Brasil	ANTAQ	Proporção de comprimento por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	OTCA		
Ferrovias	Brasil	MI	Proporção de comprimento por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	COSIPLAN		
Rodovias	Brasil	DNIT e EPL	Proporção de comprimento por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	RAISG		

Continuação da Tabela A3

Dados	Escala geográfica da variável	Fontes	Representação espacial (área grid 25 km ²)	Condição da paisagem
Agropecuária	Brasil	MapBiomas	Proporção de área por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	MapBiomas/RAISG		
Área Urbana*	Brasil	MapBiomas	Proporção de área por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa e Venezuela	NASA		
	Peru	MINAM		
Mineração	Brasil	ANM	Proporção de área por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	RAISG		
Alagamento artificial - exceto hidrelétricas*	Brasil	ANA e ICMBio*	Proporção de área por célula do grid	Desfavorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	ICMBio*		
Unidades de conservação de uso sustentável	Brasil	ICMBio e MMA	Presença na célula do grid	Favorável
	Bolívia; Colômbia; Equador; Guiana; Guiana Francesa; Peru e Venezuela	World Database on Protected Areas		
Remanescente de vegetação natural	Pan-Amazônia	MapBiomas/RAISG	Proporção de área por célula do grid	Favorável

*Dados para as quais foram necessárias complementações e /ou atualizações.

✓ **ÁREA URBANA:**

Em virtude da deficiência ou inexistências de dados, foi necessário atualizar ou complementar as informações formando mosaicos de dados espaciais. A construção de mosaicos parte de pressuposto de que a dinâmica sobre a superfície terrestre é presente e constante, o que exige uma complementação de dados já existentes e a incorporação de mapeamentos recentes, proporcionando assim uma melhor acuidade na representação espacial. A seguir, são particularizados os procedimentos adicionais adotados sobre as variáveis utilizadas nas camadas que integram a condição da paisagem no PRIM-HA:

A disposição de áreas urbanas existentes na região Amazônica (Figura A16), foi organizada por meio do software ArcGis, a partir da compilação de três diferentes bases de dados. No território brasileiro optou-se por utilizar as informações publicadas pelo MapBiomas Brasil²⁰⁵ e para o Peru, dados de uso e cobertura da terra publicados via o Ministério do Ambiente do Peru (MINAM)²²⁴. Para os demais países (Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana e Guiana Francesa) foi adotado o mapeamento do produto MCD12Q1 da Agência Espacial Americana (NASA)²²⁵.

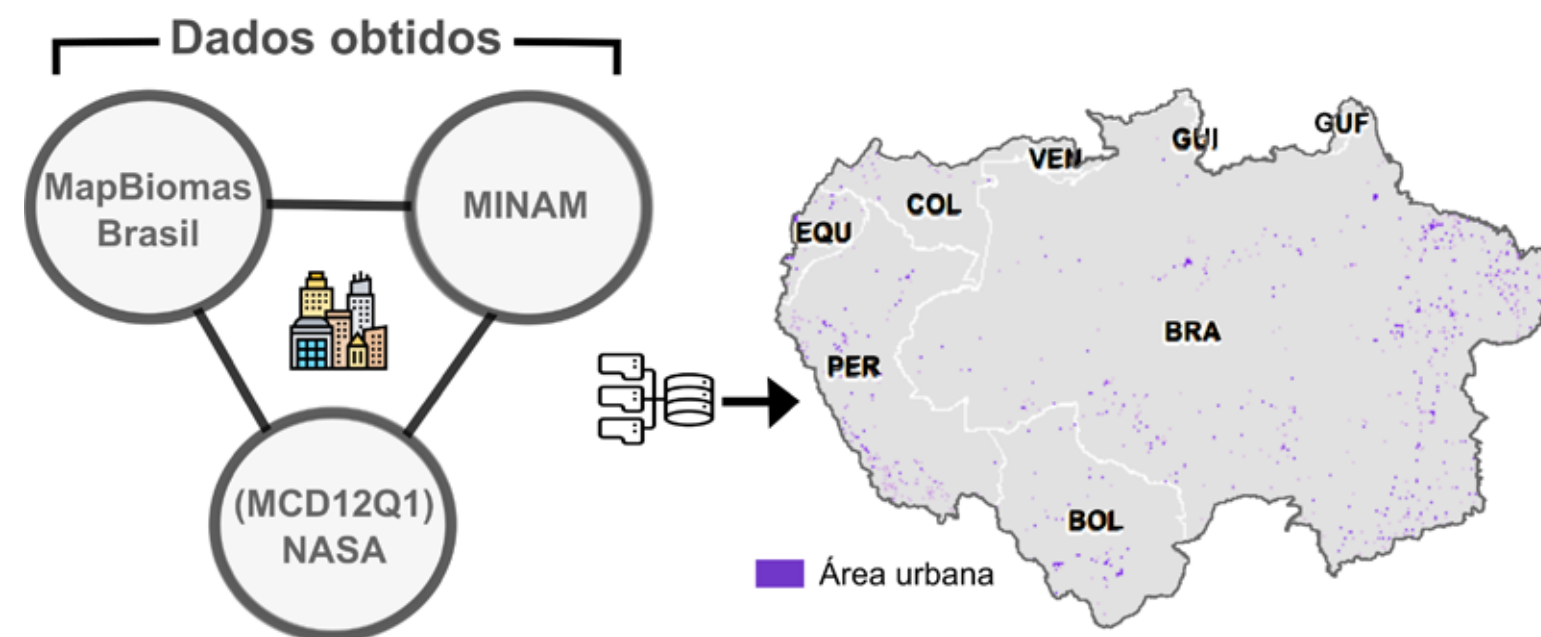


Figura A16. Fonte de dados obtidas para representação de áreas urbanas existentes na região amazônica.

✓ **LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:**

A base de dados sobre o traçado das linhas de transmissão de energia elétrica existentes na região amazônica foi elaborada com base em informações de agências reguladoras^{226,227} e disponíveis gratuitamente, com exceção do Peru, no qual, foram utilizadas imagens do aplicativo Google Earth, com base no maplayer da Osinergin²²⁸ (Figura A17).

Do total de oito países localizados na região amazônica, para quatro deles não foram obtidas informações a respeito da existência de linhas de transmissão, sendo eles: Colômbia, Venezuela, Guiana e Guiana Francesa. Isto se deve provavelmente em virtude da ausência de grandes empreendimentos hidrelétricos nas porções analisadas destes países.

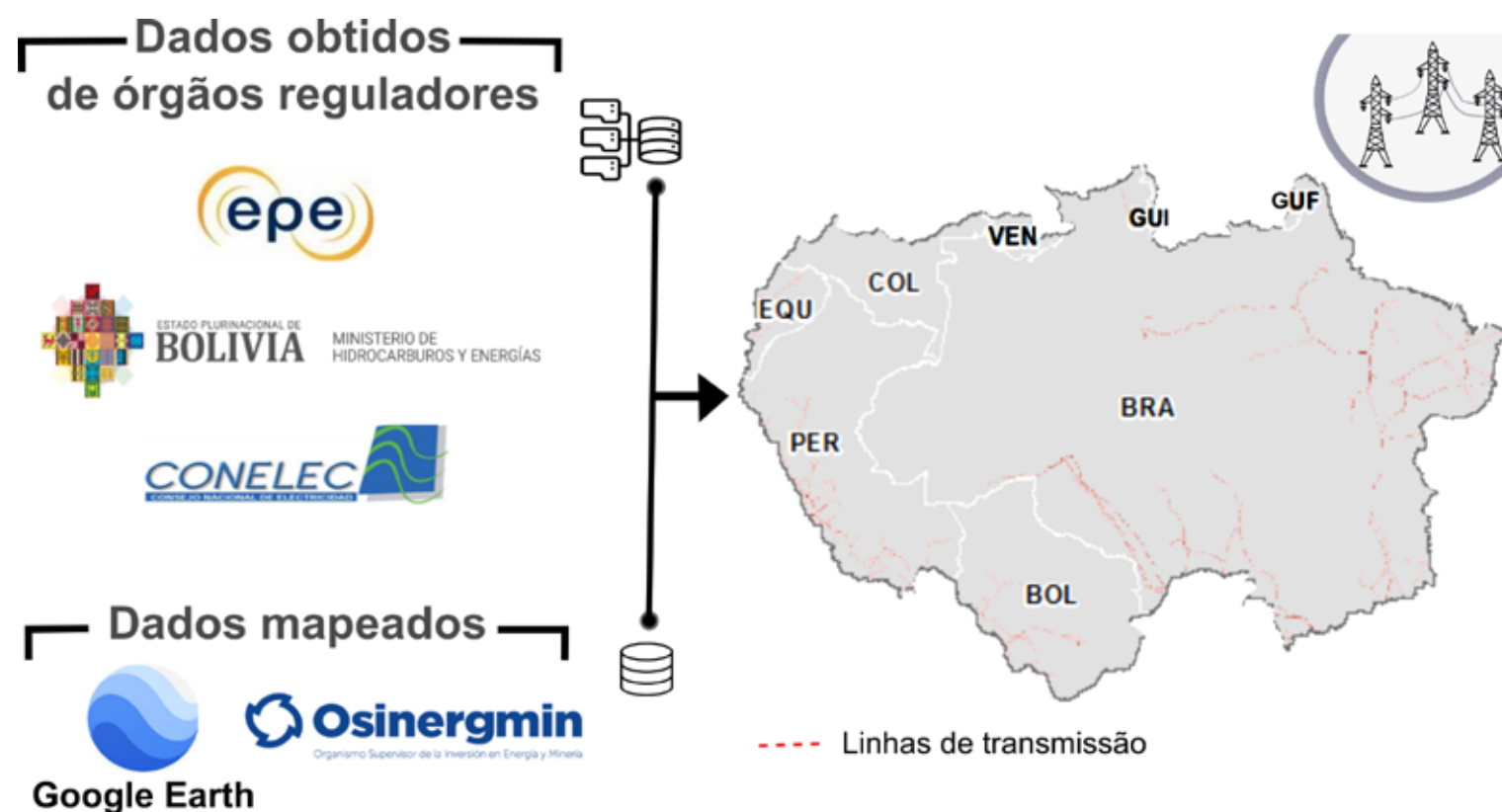


Figura A17. Descrição das fontes de informações obtidas e mapeadas para representação das linhas de transmissão de energia elétrica existentes na região amazônica.



©Acervo Parana Amazônia / Parque Nacional da Amazônia

GLOSSÁRIO

Adequabilidade ambiental - A capacidade de uma determinada área em manter a viabilidade ecológica e a integridade de populações, espécies e comunidades. A adequabilidade refere-se à garantia da persistência da biodiversidade a longo prazo.

Alvos de Conservação - Componentes da biodiversidade considerados no planejamento ambiental estratégico do PRIM por serem afetados por determinadas ameaças e que, conseqüentemente, merecem ser contemplados por ações de conservação (ex. fauna, flora, ambientes singulares, serviços ecossistêmicos).

Ameaça - Forças externas (poluição, espécies invasoras, distúrbios antropogênicos, entre outros) que poderão ocasionar prejuízos a integridade do meio ambiente ou dos componentes da biodiversidade. As ameaças devem ser classificadas conforme seu grau de relevância ou probabilidade de ocorrência.

Bacia hidrográfica - uma área de captação natural da água de precipitação da chuva que converge os escoamentos para um único ponto de saída (exutório). É, pois, composta por um conjunto de superfícies vertentes constituídas pela superfície do solo e de uma rede de drenagem formada pelos cursos d'água que confluem até chegar a um leito único no ponto de saída.

Barramentos hidrelétricos - obstrução artificial de curso d'água que vise à exploração de potencial de energia hidráulica, compreendendo-se do barramento às demais estruturas associadas.

Condição da Paisagem - Representa informações espaciais sobre integridade ambiental do habitat que potencialmente influenciam a distribuição dos componentes da biodiversidade.

Degradação de habitat - Qualquer processo que diminui a capacidade da paisagem em sustentar seu equilíbrio ecológico através da redução da qualidade ambiental, o que altera as interações bióticas e abióticas e favorecer o estabelecimento de espécies generalistas e/ou de espécies exóticas invasoras.

Empreendimento hidrelétricos - Empreendimentos formados por um conjunto de obras e equipamentos que produzem energia elétrica através do aproveitamento hidráulico dos rios. Podem ser categorizados segundo o porte⁷⁴ em Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) os empreendimentos com até 1 MW de potência instalada, Pequena Central Hidrelétrica (PCH) os com 1,1 MW a 30 MW de potência instalada e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) aqueles com mais de 30 MW.

Exposição ao impacto - A probabilidade de um processo de risco ambiental em uma determinada área.

Fragmentação longitudinal - Consiste na quebra da conectividade hídrica dos cursos d'água por empreendimentos hidrelétricos. Esta quebra de conectividade é um filtro seletivo aos alvos de conservação.

Hierarquia de Redução de Impacto Ambiental - Conceito lógico em que impactos ambientais são reduzidos de forma hierárquica, sendo primeiro priorizadas ações que evitem a ameaça potencializar seus impactos, em seguida ações que mitiguem os danos dos impactos, e, por último, ações que compensem os danos residuais não mitigáveis.

Impactos (diretos e indiretos) - Qualquer alteração do meio ambiente ou algum de seus componentes que resulte, direta ou indiretamente, de uma determinada ação ou atividade. Os impactos podem ser positivos ou negativos, sendo que o negativo representa uma quebra e prejuízos ao equilíbrio ecológico.

Perda de habitat - Consiste na supressão da complexidade dos ambientes naturais, geralmente representada pelo desmatamento de vegetação nativa ou eliminação de ambientes singulares como cachoeiras e cavernas. A principal consequência sobre biodiversidade é a extinção local e redução regional de recursos para os alvos de conservação.

Região amazônica - Área que engloba toda a bacia amazônica, a bacia do Tocantins e as áreas costeiras estuarinas e estende-se por nos oito países: Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru e Venezuela.

Resiliência - A capacidade de um componente da biodiversidade se recuperar às alterações externas (ambientais) ou internas (orgânicas) fazendo com que este persista no meio ambiente.

Resistência - A capacidade de um componente da biodiversidade suportar as alterações externas (ambientais) ou internas (orgânicas) fazendo com que este persista no meio ambiente.

Representação espacial - Extensão da distribuição geográfica potencial dos alvos de conservação (espécies, habitats, etc.).

Representatividade - Categoria de sensibilidade das áreas que define o grau de representação da abrangência e da adequabilidade.

Reservatório hidrelétricos - acúmulo artificial de água decorrente da construção da barragem hidrelétricas.

Sensibilidade - Característica que expressa a resiliência e resistência às perturbações do seu meio.

Unidades de Planejamento - Unidade mínima manejável de análise que delimita uma área geográfica, resumindo toda a variação ambiental, antrópica e espacial da paisagem.

Vulnerabilidade - É uma medida de probabilidade de ameaça a um alvo sensível (espécies, habitats, etc.) e pode ser caracterizada por três processos: exposição, intensidade e impacto.

REALIZAÇÃO



APOIO

(CENTROS NACIONAIS DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO)



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

