



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

CALIL TORRES AMARAL

**EXPOSIÇÃO DAS FLORESTAS DA AMAZÔNIA À VELOCIDADE
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Belém, PA
2021

CALIL TORRES AMARAL

**EXPOSIÇÃO DAS FLORESTAS DA AMAZÔNIA À VELOCIDADE
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Coorientadora: Prof. Dr. Ima Célia Guimarães Vieira.

Belém- Pará
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

A485e Amaral, Calil Torres.
 Exposição das florestas da Amazônia à velocidade das
 mudanças climáticas / Calil Torres Amaral. — 2021.
 94 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
 Coorientação: Prof^ª. Dra. Ima Célia Guimarães Vieira
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
 Ambientais, Belém, 2021.

 1. Mudanças Climáticas. 2. Velocidade climática. 3.
 Conservação. 4. Amazônia. I. Título.

CDD 551.69811

CALIL TORRES AMARAL

**EXPOSIÇÃO DAS FLORESTAS DA AMAZÔNIA À VELOCIDADE
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Data da Defesa: 19/03/2021

Banca Examinadora



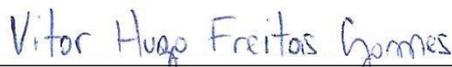
Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. David Roberto Galbraith – Membro Interno
Doutorado em Biogeoscience.
University of Edinburgh



Prof. Marcos Adami – Membro Interno
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



Prof. Vitor Hugo Freitas Gomes – Membro Externo
Doutor Em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Acredito que a ciência se reproduz e perpetua através da troca generosa de conhecimento. Portanto, a história da ciência é a história de encontros: entre mestres e alunos, especialistas em áreas diversas, nacionalidades diferentes ou, simplesmente, entre um estudante e um livro. Não há construção de conhecimento científico individual e, mesmo o estudante, aparentemente só, está em um diálogo dinâmico com todo o conhecimento acumulado por muitos cientistas e compilado em texto. Meu início de trajetória acadêmica não poderia ser diferente; por isso, sou grato e exprimo aqui meu agradecimento a todos os excelentes cientistas que estabeleceram esta generosa troca comigo desde 2019, quando iniciei o mestrado.

Primeiro, à Ima que me aconselhou o programa de ciências ambientais da UFPA e, assim, influenciou decisivamente meus interesses científicos. Obrigado Ima – sua sapiência e comprometimento são uma inspiração para mim. Agradeço especialmente também ao Luciano, que tive a sorte de conhecer no início da pesquisa, ao participar como aluno em seu curso de modelagem. As discussões levantadas nos encontros do curso foram a semente desta dissertação e aqueles encontros foram o início de nossa amizade. Obrigado Luciano. Também agradeço a meu orientador Everaldo, que confiou em minhas escolhas metodológicas, topou as mudanças necessárias no decorrer da pesquisa e encarou os desafios que surgiram.

Esta dissertação não seria possível sem meus pais, Denise e Dário, meu manancial de afeto, perene e transbordante. Obrigado por me apresentarem à muitos brasis e diversas amazônias; por me ensinarem a apreciar o sabor da estrada e o valor de um vínculo próximo com a natureza. Ganhei de presente ainda de vocês uma irmã caçula, Lia, por quem sou muito grato por toda a leveza que me trouxe nos dias mais tensos. Tive a sorte também de conhecer neste período minha amada Katherine, que não hesitou em me acompanhar na empreitada, mostrando inabalável doçura e dedicação, mesmo em muitas finais de semana sacrificados para construção deste trabalho. Agradeço também a todos meus amigos que, mesmo sem saber, ao trocar uma conversa descontraída, me estimularam a seguir. Meu muito obrigado ao Murilo, Bruce, Alana, Clarice, Vitória, Toni, Raphael, Maíra, Rebeca, Juliana, Swan e Isra.

Por fim, agradeço imensamente a toda equipe do PPGCA, formada por um corpo docente empenhado em estimular os alunos a compreender as questões ambientais da Amazônia através da interdisciplinaridade. Agradeço em especial à Elisane e aos companheiros que fiz ao longo do curso: Maryelle, Marcus, Brenda, Jozé, Greicy, Ilale, Tássio e toda a turma. Agradeço ainda o suporte financeiro possibilitado pela CAPES através da bolsa de mestrado. Por fim, agradeço à equipe da biblioteca da UFPA, em especial à Lúcia, pelo minucioso trabalho de normalização do texto. Obrigado a todos!

RESUMO

Mudanças climáticas estão ocorrendo de forma acelerada e, em face disso, espécies devem produzir respostas adaptativas para tentar garantir sua persistência. A redistribuição da biodiversidade é um dos efeitos mais prováveis nas regiões tropicais, uma vez que muitas espécies possuem nichos climáticos estreitos que as tornam menos capazes de se adaptar a novas condições ambientais. Evidências desse efeito já foram observadas em muitos grupos taxonômicos amazônicos. No entanto, permanece incerto se as espécies serão capazes de acompanhar as mudanças climáticas futuras. De acordo com projeções em estudos anteriores, a Amazônia está entre as regiões globais mais expostas as longas distâncias aos climas análogos futuros e ao surgimento de novas condições do clima. Junto a isso, o avanço do desmatamento pode restringir a quantidade de habitats favoráveis à persistência das espécies no futuro, além de prejudicar a conectividade até as áreas com clima análogo. As áreas protegidas (PAs) podem contribuir para a redistribuição da biodiversidade amazônica como refúgios climáticos, representando uma importante estratégia de conectividade entre os climas do presente e do futuro, mas podem ser insuficientes, face a velocidade das mudanças climáticas promovidas pelas atividades humanas. Velocidades climáticas representam um método para quantificar a taxa na qual as espécies devem alterar sua distribuição a fim de preservar suas características de adaptação climática atual. Neste trabalho, investiga-se a velocidade das mudanças climáticas no bioma Amazônia, baseada em análogos climáticos entre o presente e o futuro, a partir das direções de avanço (presente-futuro) e de recuo (futuro-presente), enfatizando a rede de PAs da região. A velocidade climática mediana destas áreas foi comparada com a das áreas não protegidas (UAs) do bioma, com o intuito de verificar eficácia do atual conjunto de PAs em manter condições climáticas favoráveis à adaptação das espécies em cenários de mudanças climáticas futuras. Além disso, foram identificados os refúgios climáticos do bioma Amazônia e foi quantificado o impacto do desmatamento sobre estas áreas. Para atingir estes objetivos, foram utilizados dados de médias anuais de temperatura do ar e precipitação com resolução espacial de 10 km, a fim de se descrever os mesoclimas atuais (1970-2000) e futuros (2041-2060). Os resultados mostram que os efeitos da velocidade de recuo serão maiores em magnitude e extensão espacial. Apesar disso, a rede de PAs será menos exposta aos impactos da velocidade de recuo que UAs – enfatizando a importância destas áreas como ferramenta na conservação. Em contraste, para os impactos relativos à velocidade de avanço, a rede de PAs será ligeiramente mais exposta que UAs – indicando que a disposição espacial atual da rede de PAs ainda não é a mais indicada para minimizar os impactos das mudanças climáticas. Encontrou-se também que os refúgios climáticos ocupam apenas 7 % do bioma Amazônia, e estão distribuídos nas bordas do limite biogeográfico. Em apenas 12 anos, o desmatamento causou uma perda de mais de 5 % destas áreas. Diante deste cenário, é preciso limitar ainda mais a perda de florestas e incluir os refúgios climáticos nas agendas de conservação da Amazônia, a fim de potencializar a conservação da biota

das florestas amazônicas sob cenários de mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Velocidade climática. Conservação. Amazônia.

ABSTRACT

Climate change is occurring at an accelerated rate and, as a result, species must produce adaptive responses to survive. The redistribution of biodiversity is one of the most anticipated effects for tropical species, as they have narrow thermal niches that make them less able to adapt to new environmental conditions. Evidence has already been observed in many Amazonian taxonomic groups, however, it remains uncertain whether the species will be able to follow up future climate changes. The Amazon is among the global regions most exposed to long distances to climates analogs and to the emergence of new climate conditions. Along with this, the advance of deforestation may restrict the amount of habitats favorable to the distribution of species in the future, in addition to impairing connectivity to areas with a similar climate. Protected areas (PAs) can contribute to the redistribution of Amazonian biodiversity as climate havens, representing an important connectivity strategy between present and future climates, but they may be insufficient, given the speed of climate change promoted by human activities. Climate velocities represent a method to quantify the rate at which species must change their distribution in order to preserve their current climatic adaptation characteristics. In this work, the speed of climate change in the Amazon biome is investigated, based on climatic analogues between the present and the future, from the directions of advancement (present-future) and retreat (future-present), emphasizing the network of PAs in the region. The median climatic velocity of these areas was compared with that of unprotected areas (UAs), in order to verify the effectiveness of PAs in maintaining favorable climatic conditions for the adaptation of species in future climate change scenarios. In addition, the climatic refuges of the Amazon biome were identified and the impact of deforestation on these areas was quantified. To achieve these objectives, data from annual air temperature and precipitation averages with a spatial resolution of 10 km were used, in order to describe the current (1970-2000) and future (2041-2060) mesoclimates. The results show that the effects of the recoil speed will be greater in magnitude and spatial extension. Despite this, the network of PAs will be less exposed to the impacts of the recoil speed than UAs - emphasizing the importance of these areas as a tool in conservation. In contrast, for impacts related to the speed of advancement, the PA network will be slightly more exposed than PAs - indicating that the current spatial layout of the PA network is still not the most suitable for minimizing the impacts of climate change. It was also found that climatic refuges occupy only 7% of the Amazon biome, and are distributed along the edges of the biogeographic limit. In just 12 years, deforestation has caused a loss of more than 5% of these areas. In view of this scenario, it is necessary to further limit the loss of forests and include climate refuges in the conservation agendas of the Amazon, in order to enhance

the conservation of the biota of Amazonian forests under climate change scenarios.

Keywords: Climate change. Climate Velocity. Conservation. Amazon forest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Esquema demonstrativo da interpretação ecológica dos efeitos das velocidades climáticas sobre a biodiversidade.....	22
Figura 2.1 - Avaliação da exposição baseada na velocidade de cada área protegida dentro do Bioma Amazônia (a) com base em nove categorias (b) derivadas da classificação do gradiente de valores de velocidades de avanço e de recuo de mudanças climáticas em três quantis iguais de área. notar que em (a) as pas não análogas estão indicadas em preto; estas categorias não estão incluídas no painel (b). a avaliação foi feita com base na linha de base (1970–2000) e dados de clima futuro (2041– 2060) determinados a partir de um modelo agrupado. em (c) vemos o limite biogeográfico da amazônia com pnas em preto e tis em cinza.....	33
Figura 2.2 - Velocidades climáticas de avanço em áreas protegidas e não protegidas (a); velocidades climáticas de recuo em áreas protegidas e não protegidas (b). a linha vermelha pontilhada representa o valor da mediana de cada uma das velocidades sobre todo o Bioma Amazônia...	34
Figura 2.3 – Distribuição espacial de velocidade climática de avanço no nível do pixel (a); distribuição espacial das velocidades de recuo no nível do pixel (B).....	35
Figura 2.4 – Comparação das velocidades climáticas de avanço entre pnas e tis (a); comparação das velocidades climáticas de recuo entre pnas e tis (b). a linha vermelha pontilhada representa o valor da mediana de cada uma das velocidades sobre todo o Bioma Amazônia	36
Figura 3.1 - Distribuição espacial dos refúgios climáticos em 2000 (a) e 2012 (b); distribuição dos ganhos e perdas de área de refúgios climáticos entre 2000-2012 com base na cobertura de dossel florestal (C).	49

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 Contextualização	12
1.2 Embasamento teórico dos temas centrais da pesquisa	14
1.2.1 Desafios à conservação na Amazônia no contexto das mudanças globais	14
1.2.2 Medindo a exposição à redistribuição espacial do clima	19
1.3 Problemática e interdisciplinaridade da pesquisa	23
1.4 Objetivos	25
1.5 Estrutura da dissertação	25
CAPÍTULO 2 EXPOSIÇÃO DAS ÁREAS PROTEGIDAS DA AMAZÔNIA À VELOCIDADE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS ATÉ 2050	27
2.1 Introdução	28
2.3 Material e métodos	30
2.3.1 Área de Estudo	30
2.3.2 Dados sobre Áreas Protegidas.....	30
2.3.3 Dados climáticos	30
2.3.4 Velocidades de Avanço e de Recuo	31
2.3.5 Avaliação da exposição climática	32
2.4 Resultados	33
2.5 Discussão	36
2.5.1 Exposição da rede de áreas protegidas da Amazônia à redistribuição climática e suas implicações ecológicas.....	36
2.5.2 Limites e oportunidades do método	39
2.5.3 Diferentes velocidades requerem diferentes estratégias de conservação.....	41
2.6 Conclusão	42
CAPÍTULO 3 DESMATAMENTO ESTÁ RESTRINGINDO REFÚGIOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA	43
3.1 Introdução	43
3.2 Material e métodos	45
3.2.1 Delimitação da cobertura do dossel florestal	45
3.2.2 Dados climáticos	45
3.2.3 Refúgios climáticos.....	46
3.2.4 Análise de dados	47

3.3 Resultados	47
3.4 Discussão	49
3.4.1 Refúgios Climáticos na Amazônia.....	49
3.4.2 Proteção dos refúgios	52
3.4.3 Desmatamento em refúgios climáticos	52
3.4.4 Limites do método	54
CAPÍTULO 4 SÍNTESE	57
4.1 Principais conclusões	57
4.2 Perspectiva futura	58
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A	71

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Contextualização

Desde sua formação no período Cretáceo, a Amazônia passou por diversos períodos glaciais e interglaciais, entremeados por cataclismas e periódicos extremos climáticos (BUSH et al., 2011; JARAMILLO et al., 2010). A rica assembleia de espécies distribuídas hoje nas florestas da Amazônia é um testemunho de que apesar das mudanças climáticas, o ritmo em que elas ocorreram possibilitou que as espécies pudessem acompanhá-lo, seja desenvolvendo mecanismos fisiológicos de adaptação ou migrando para habitats climaticamente adequados (DICK et al., 2013; GOMES et al., 2020). Evidências de pólen nos *hotspots* de biodiversidade dos Andes peruanos demonstram que o ritmo de aquecimento que espécies tropicais têm enfrentado há 10.000 anos é inferior a taxa de 1° C de aquecimento por milênio (BUSH et al., 2004). Em contrapartida, nos últimos 50 anos a Terra está aquecendo em um ritmo de 0,2° por década - o que significa um aumento na taxa de aquecimento de 20 vezes (HANSEN et al., 2006). Por conta disso, embora a faixa de temperaturas projetada para os próximos 50-100 anos possa estar dentro da experiência quaternária da bacia amazônica (BUSH et al., 2011), a taxa de mudança climática provavelmente não estará. Quando a velocidade das mudanças climáticas ultrapassa a capacidade dispersiva de uma espécie e a magnitude da mudança ultrapassa seus limites de tolerância climática - ela pode ser extinta. Já quando esta velocidade ultrapassa a capacidade da maior parte das espécies, pode acelerar também a taxa de extinção - o que evidências demonstram já estar ocorrendo em escala global, em ritmos centenas de vezes mais rápidos do que as observados em registros fósseis, potencialmente classificando este evento como a sexta extinção em massa (CEBALLOS et al., 2015).

Na Amazônia, a resposta fisiológica de algumas espécies de árvores ao estresse hídrico e aumento da concentração de CO₂ está sendo lenta em comparação ao ritmo das mudanças climáticas (ESQUIVEL-MUELBERT et al., 2019). Ao mesmo tempo, muitas espécies de plantas tropicais já estão mudando suas distribuições geográficas devido ao aquecimento - estendendo distribuições geográficas de terras baixas para vertentes andinas (FEELEY et al., 2011; FEELEY et al., 2012). Por outro lado, a bacia Amazônica está classificada entre as regiões globais com mais longas distâncias aos climas análogos (CARROLL et al., 2015; WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007a), indicando uma grande ameaça para a sobrevivência de espécies incapazes de acompanhar o ritmo das mudanças do clima (FEELEY; REHM; MACHOVINA, 2012). Soma-se a isso as restrições de distribuição espacial das espécies pelas mudanças de uso e cobertura da terra, capaz de reduzir a cobertura de dossel florestal das áreas análogas e a conectividade entre habitats (SENIOR; HILL; EDWARDS, 2019). Quando combinados, o desmatamento e as mudanças climáticas potencialmente

constituem a maior ameaça para a biodiversidade amazônica, podendo suprimir mais da metade da área original ambientalmente adequada da biota e, assim, causar o declínio da riqueza de espécies (GOMES et al., 2019).

Apesar do esforço de redução do desmatamento pela criação de áreas protegidas (KALAMANDEEN et al., 2018), mudanças de uso e cobertura da terra ainda constituem uma das maiores ameaças para a biodiversidade na Amazônia (HANSEN et al., 2020; LOVEJOY; NOBRE, 2018). Se o atraso na resposta fisiológica persistir e a capacidade dispersiva das espécies não for suficiente, as florestas podem ser cada vez mais dominadas por espécies climaticamente não adaptadas em termos de seu nicho climático, ameaçando potencialmente a capacidade desses ecossistemas de fornecer serviços essenciais como sequestrar carbono (PHILLIPS et al., 2017). No entanto, cenários futuros de melhoria de governança concebem a mitigação desses impactos sobre o bioma Amazônia, sendo necessário para isso uma trajetória de redução do desflorestamento e implementação de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2006). Este horizonte depende, portanto, da forma como a agenda de conservação ambiental será construída e executada (LAPOLA et al., 2018; LEMOS; ROBERTS, 2008; NOBRE et al., 2016).

Frente aos desafios inelutáveis à conservação da natureza em um planeta marcado por mudanças globais tornou-se necessária a criação de um arcabouço epistemológico que contemple os problemas ambientais modernos com uma abordagem integradora entre ciências naturais e ciências sociais; isto é, voltado para o desenvolvimento de uma “ciência da sustentabilidade”. Este esforço recente em pesquisa interdisciplinar tem como principais linhas de pesquisa: a criação de estratégias de adaptação pela sociedade; a elaboração de ações de mitigação dos problemas ambientais e sociais; e a medição da vulnerabilidade às adversidades. Assim, a ciência da sustentabilidade torna-se fundamental, tanto para a compreensão dos mecanismos e impactos da crise ambiental contemporânea, como também para a elaboração de novas estratégias de conservação que atentem às alterações climáticas em curso. Além disso, a ciência da sustentabilidade possui caráter transdisciplinar, portanto não se restringe apenas ao debate científico e deve desempenhar um papel influente na formulação de políticas públicas (VIEIRA, 2014).

Partindo desta perspectiva integradora das questões científicas, avanços na biologia da conservação indicam que a gestão de áreas protegidas deve considerar as implicações do futuro climático em curto, médio e longo prazo para elaboração de estratégias adaptativas e os métodos de priorização de áreas devem buscar a maximização da representatividade de elementos da biodiversidade combinada com os efeitos da redistribuição espacial das espécies (HOBBS et al., 2010; RESIDE; BUTT; ADAMS, 2018). Entretanto, a adaptação climática é um potencial ainda pouco explorado nos planejamentos nacionais da conservação dos países dentro do bioma Amazônia (TIGRE, 2019). Nesse sentido, é necessária a consolidação de um arcabouço para o planejamento

sistemático da conservação na Amazônia que contemple uma reflexão sobre os impactos históricos e os riscos potenciais das atividades humanas sobre os ecossistemas naturais (TOLEDO; ANJOS, 2019). O êxito da adaptação às mudanças climáticas exigirá, portanto, um esquema eficaz de pesquisa interdisciplinar e capacidade tecnológica - capazes de integrar a complexidade de fatores que afetam o ecossistema amazônico no contexto de mudanças globais.

1.2 Embasamento teórico dos temas centrais da pesquisa

1.2.1 Desafios à conservação na Amazônia no contexto das mudanças globais

A conservação das florestas da Amazônia é uma tarefa desafiante independentemente da escala de gestão, do objeto da conservação ou ainda do contexto sociopolítico. O desafio inerente decorre de seu aspecto ambiental e é multiplicado pela extensão espacial em que ocorrem os processos ecológicos. O bioma Amazônia assume a um só tempo um papel significativo nos ciclos globais de carbono – atuando como reservatório terrestre e de água – escoando o maior sistema fluvial da Terra (MULLIGAN et al., 2013), além de abrigar o museu geográfico natural com a coleção mais rica de espécies do planeta; correspondente a cerca de 10 a 15% de sua biodiversidade (HUBBELL et al., 2009). A área da bacia Amazônica drena cerca de 7 milhões de km² e em quase 5,3 milhões se estendem diversas fitofisionomias de florestas amazônicas (ARAGÃO et al., 2014; LAURANCE; WILLIAMSON, 2001; WENG et al., 2018). Frente a este complexo ecossistema, cientistas da conservação e tomadores de decisão, têm se dedicado há mais de 50 anos a elaborar estratégias e encaminhar políticas de conservação ambiental que levem em conta diferentes necessidades de proteção e, ao mesmo tempo, atendam a urgência do avanço do desmatamento. Hoje, além destes fatores, o contexto do aquecimento global e mudanças ambientais globais acrescenta ainda um novo desafio à conservação das florestas da Amazônia: as mudanças climáticas. Combinadas, mudanças de uso e cobertura da terra e mudanças climáticas constroem o cenário de impactos de larga escala na natureza (ASNER; LOARIE; HEYDER, 2010) sobre o qual a biologia da conservação do século XXI tem o desafio de planejar estratégias de mitigação e adaptação.

Os esforços de conservação tradicionalmente se restringem à proteção dos ecossistemas dentro das reservas ambientais e na restauração de áreas degradadas (HOBBS et al., 2010). O estabelecimento de um sistema de Áreas Protegidas (PAs) é, historicamente, a mais eficaz estratégia para minimizar a perda de biodiversidade, com importância estratégica em diferentes escalas de conservação (JOPPA et al., 2008; VIEIRA et al., 2008). PAs podem representar tanto um importante instrumento para conservação da biodiversidade, como também para manutenção dos serviços ambientais e território de povos tradicionais (FONSECA; LAMAS; KASECKER, 2010; TERBORGH et al., 2002). Isto faz com que o termo Área Protegida não compreenda um conceito

único; podendo ser utilizado em diferentes contextos e com significados específicos a depender da legislação de cada país (Lima, 2019). A legislação brasileira, por exemplo, reconhece que as PAs integram além das Unidades de Conservação (UCs), os Territórios Indígenas e os Territórios Quilombolas (BRASIL, 2006). A Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada (RAISG) separa as PAs em duas classes: Áreas Naturais Protegidas (PNAs) e Territórios Indígenas (ITs). Daqui para frente será utilizada esta classificação por servir para uma abordagem regional que contemple nomenclaturas diversas.

Na atualidade, a rede de PAs dentro do bioma Amazônia inclui territórios federais, estaduais e municipais de 8 países da América do Sul (Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela) e um território francês (Guiana Francesa). Este complexo sistema de áreas de preservação é composto em cerca de 24,6% por PNAs e 27,5% por ITs, com variação entre os países e alguns casos de sobreposições entre os tipos de unidades de proteção. Em comparação com outras principais classes de usos e coberturas da terra na Amazônia, as Áreas protegidas (incluindo os Territórios Indígenas) representam 47,5%; seguidas das áreas de uso agropecuário, com 13,3 % (RAISG, 2020). Porém, a configuração espacial da rede de PAs não foi sempre a mesma. Traçando uma linha histórica, ao longo dos últimos 50 anos elas têm se expandido na região, mas foi a partir da década de 1990 que se consolidou nos diferentes países da Amazônia um período de mais intensa criação de PAs (PFAFF et al., 2015). Este movimento se deu em resposta aos aumentos nos níveis de desmatamento nos anos prévios, que ampliaram aceleradamente a fronteira agrícola e a pressão sobre a floresta (LAPOLA et al., 2011).

Apesar do esforço de delimitação de PAs ter produzido uma diminuição significativa no desmatamento de corte raso (INPE, 2021), não obstante, as mudanças de uso e cobertura da terra ainda constituem uma das maiores ameaças para a biodiversidade na Amazônia (JUSYS, 2018; LOVEJOY; NOBRE, 2018) e calcula-se que mais da metade da região (53%; \pm 4,2 milhões de km²) está sob risco de pressões atuais ou ameaças de curto prazo associadas a crescimento nos setores de agricultura, pastagem, mineração, petróleo, madeira e transporte. Tais pressões ameaçam inclusive o território de Áreas Protegidas, com estimativas que indicam que a área combinada de ITs e PAs em risco constitui 18% (\pm 1,4 milhões de km²) da Amazônia, o que representa aproximadamente 43% de todo o carbono sob risco na região (WALKER et al., 2014). Quando se analisa em conjunto o desmatamento e a degradação, temos que as florestas primárias restantes na Amazônia podem reter apenas 46-61% do seu valor potencial de conservação e é provável que tenham perdido muitas espécies de alta conservação e importância funcional (BARLOW et al., 2016).

Em relação às mudanças climáticas, os modelos em totalidade projetam aumento de temperatura na região – potencialmente entre 2° e 7°C até 2100, podendo induzir aumento da evapotranspiração em regiões tropicais e redução da quantidade de umidade do solo, mesmo que a

precipitação não varia significativamente (EYRING et al., 2016; SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007). Quanto aos padrões de precipitação, modelos climáticos não concordam entre si, mas em suma nota-se um regime climático mais extremos sendo marcado pelo: prolongamento da estação seca e aumento de sua intensidade, enquanto a precipitação torna-se mais intensa durante a estação chuvosa (GLOOR et al., 2015; HILKER et al., 2014). Algumas das mudanças já podem ser percebidas, como o aumento da frequência de secas extremas na Amazônia nos últimos 15 anos – indicando, assim, que a Amazônia potencialmente já entrou em um novo regime de temperatura mais quente e de clima mais variável (MARENGO et al., 2018).

Além desses impactos, um desafio emergente da conservação no contexto das mudanças globais será lidar com os efeitos sinérgicos entre as ameaças do clima e das mudanças de uso e cobertura da terra. Estimativas apontam que quando combinados, o desmatamento e as mudanças climáticas, tornarão até 81% das florestas da Amazônia suscetível a mudança rápida de vegetação (ASNER et al., 2010) e podem causar um grande declínio na riqueza de espécies de árvores da Amazônia, suprimindo mais da metade da área original ambientalmente adequada para sua sobrevivência (GOMES et al., 2019). Desmatamento e mudanças climáticas operam em processo de retroalimentação; por um lado, o risco de incêndios florestais aumenta com temperaturas mais altas e menores taxas precipitação, devido ao secamento da vegetação, sobretudo na estação seca (SILVESTRINI et al., 2011; LAPOLA et al., 2011). Por outro, o desmatamento e a degradação florestal são a segunda maior fonte de emissão de gases de efeito estufa, fazendo da liberação do estoque de carbono das florestas tropicais na atmosfera um dos mais importantes agentes das mudanças climáticas (MATRICARDI et al., 2020; SOARES-FILHO et al., 2010). Além disso, na escala regional, o desmatamento pode provocar aumento da temperatura do ar em áreas sem cobertura vegetal (ALKAMA; CESCATTI, 2016) e promover redução da precipitação (KHANNA et al., 2017).

No contexto das mudanças globais, a rede de PAs da Amazônia assume um papel fundamental por diferentes perspectivas. Primeiro, considerando seu papel na conservação da biodiversidade, as PAs conservam em algum grau todas as 4953 espécies da flora arbórea amazônica classificadas como ameaçadas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (STEEGE et al., 2015). Em segundo lugar, considerando o balanço de carbono global, a porção estocada em biomassa acima do solo em Áreas Protegidas e Terras Indígenas é suficiente para desestabilizar ou contribuir para a estabilização da atmosfera do planeta (WALKER et al., 2014). Isto se deve ao fato de que a Amazônia contém aproximadamente 86,121 MtC (milhões de toneladas) de carbono armazenados em biomassa acima do solo, e apenas as ITs e PAs da Amazônia armazenam bem mais da metade (58%; 41.991 MtC) (WALKER et al., 2014). Além disso, projeções apontam que a rede de PAs é capaz também de prevenir a morte da floresta em um cenário de potencial ponto de inflexão climática provocados pelo desmatamento, protegendo em especial os ecossistemas mais

secos da bacia (WALKER et al., 2009). No entanto, apesar da importância comprovada das PAs existentes na Amazônia, estratégias tradicionais de conservação biológica podem não ser suficientes uma vez que os desafios enfrentados por elas no século XXI serão inéditos (HANNAH et al., 2002; RESIDE et al., 2018). Historicamente, a criação de áreas protegidas foca na proteção de ecossistemas dentro de reservas fixas e com limitada intervenção humana (HANNAH, 2010) e a restauração de área degradadas segue a lógica de restabelecer a assembleia de espécies uma vez alteradas (HOBBS et al., 2010). Além disto, a seleção de áreas prioritárias têm buscado maximizar a representação de elementos da biodiversidade e, ao mesmo tempo, servir como barreira para conter o desmatamento, vide o exemplo do PPCDAm na Amazônia brasileira (ANDAM et al., 2008).

No entanto, a redistribuição das espécies impulsionada pelas mudanças climáticas, exigirá que a biologia da conservação lide com a entrada de espécies invasoras na composição das comunidades e preserve ou restaure alvos em contínuo movimento (BELOTE et al., 2017). Um dos principais avanços recentes no planejamento da conservação à nível global foi o estabelecimento no acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas da adaptação climática como uma meta global de conservação. Com base na meta, os países da *United Nations Framework Convention to Climate Change* (UNFCCC) apresentaram as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) (UNFCCC, 2015), que representam um avanço em relação ao foco tradicional da conservação. Apesar disso, tais medidas ainda permanecem insuficientes para realmente enfrentar as mudanças climáticas, pois o bioma Amazônia, por seu caráter transfronteiriço e megadiverso, requer uma abordagem multinível que inclua, além dos esforços em nível global e nacional, uma resposta regional desenvolver estratégias adaptativas efetivas (TIGRE, 2019).

Nesse sentido, o primeiro passo para incorporar a adaptação às mudanças climáticas nos planejamentos de conservação nacionais deve ser avaliar a vulnerabilidade das PAs existentes às mudanças climáticas (GAME et al., 2011). Este mapeamento da vulnerabilidade da rede de PAs pode ser associado ao valor de conservação destas áreas para atribuir estratégias de manejo adaptadas a cada especificidade regional (BELOTE et al., 2017). Outra estratégia deve ser a seleção de áreas prioritárias que considerem os impactos das mudanças climáticas. Apesar da literatura de conservação conter um considerável número de recomendações a esse respeito (ver, (HELLER; ZAVALETA, 2009), elas pouca foram integradas aos planos de conservação nacionais (TIGRE, 2019). Muitas destas estratégias trazem benefícios adicionais para a conservação ou já fazem parte de algumas estratégias tradicionais (KILLEEN; SOLO, 2008). Ademais, a seleção de áreas prioritárias não necessariamente deve aplicar uma única abordagem; ao contrário, uma combinação de diferentes táticas pode garantir a proteção de um número maior de espécies (RIBEIRO et al., 2018). Por exemplo, uma das estratégias mais comuns de priorização de áreas que considera os efeitos das mudanças climáticas é identificação de áreas estáveis ao longo do tempo - os chamados refúgios

climáticos (ASHCROFT, 2010; ASHCROFT et al., 2012; CARROLL et al., 2015; ISAAK et al., 2016; KEPPEL et al., 2012).

Os refúgios climáticos podem ser lugares onde o clima permanecerá estável para um conjunto de espécies, permitindo sua persistência *in situ*; como também podem ser considerados os lugares distantes, atualmente, da distribuição geográfica de uma espécie (*ex situ*), mas no qual os indivíduos devem migrar para manter condições climáticas adaptadas (MICHALAK et al., 2018). Na Amazônia, a região centro-oeste e manchas úmidas em latitudes extra-equatoriais foram indicadas como potenciais refúgios por combinarem um regime de precipitação intenso e menor sazonalidade que se manteve mais estável no passado e manterá a estabilidade no futuro (KILLEEN; SOLO, 2008). Outro estudo utilizando modelos de nicho ecológico e variadas métricas de exposição previu refúgios climáticos para mamíferos, mas que não seguiram o padrão genérico de refúgios na região centro-oeste (RIBEIRO; SALES; LOYOLA, 2018). Porém, a fragilidade da decisão por conservar refúgios climáticos é que espécies/populações mais expostas não serão protegidas e, conseqüentemente, estarão comprometidas a serem localmente extintas (RIBEIRO; SALES; LOYOLA, 2018).

Uma das estratégias de priorização de áreas largamente indicada para Amazônia é a criação de corredores ecológicos que incorporem uma sequência de habitats naturais, permitindo que espécies em áreas mais expostas migrem para acompanhar o ritmo das mudanças (PARMESAN, 2006). KILLEEN (2008) sugeriu 3 tipos de corredores ecológico para Amazônia : 1) utilizando o critério de gradientes altitudinais, indica corredores desde as florestas de terras baixas até os campos de gelo das cordilheiras altas; 2) corredores nas matas ciliares no sul da Amazônia, que podem fornecer, ao mesmo tempo, refúgio úmidos à medida que a região se torne mais estressada pela seca, como também corredores latitudinais para permitam a migração; e 3) corredores de altitude nos Andes, localizados em topos de montanha acima da linha de geada permanente. Estes últimos podem conformam áreas ideais para o deslocamento para cima das espécies em resposta ao aquecimento do clima – como já indicam evidências observadas em uma encosta andina do Peru (FEELEY et al., 2012).

Proteger corredores pode fazer parte tanto de uma estratégia de curto prazo que visa minimizar a fragmentação das florestas existentes, como uma estratégia de longo prazo que permite que as florestas tropicais se reorganizem em resposta à mudança climática. Porém, apesar de ser potencialmente crucial como estratégia de conservação para diferentes ameaças, a conectividade entre áreas de conservação é muito menos desenvolvida do que a rede de áreas protegidas (HANNAH et al., 2002). Atualmente, existe apenas um corredor ecológicos oficialmente incorporado à rede de proteção na Amazônia, o corredor central do Amazonas, no Brasil. Porém, os critérios para sua delimitação não consideraram os impactos das mudanças climáticas (MMA, 2015).

Em suma, os desafios para conservação na Amazônia no contexto das mudanças globais são múltiplos e ainda não foram precisamente estimados. É provável que os impactos projetados das

mudanças climáticas sobre as espécies sejam ainda conservadores (IBÁÑEZ et al., 2006). Frente a isso, faz-se necessário a construção de um arcabouço para o planejamento sistemático da conservação na Amazônia que contemple uma reflexão sobre os impactos históricos e os riscos potenciais das atividades humanas sobre os ecossistemas naturais (TOLEDO; ANJOS, 2019). Deve fazer parte deste arcabouço dados recentes das respostas fenológicas e fisiológicas das espécies, modelos computacionais dos padrões climáticos e de distribuição das espécies, além de dados filogeográficos e de geologia histórica, pois podem ajudar no estabelecimento dos limites adaptativos das espécies e comunidades bióticas (BUSH; FLENLEY; GOSLING, 2011; ROSSETTI; TOLEDO, 2007). Embora a ciência ainda possa avançar mais na elaboração de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças globais, a importância de uma região amazônica intacta deve ser sublinhada, a fim de apoiar a formulação de políticas e manter esse sensível ecossistema funcionando. O êxito destes esforços exigirá não apenas um esquema eficaz de pesquisa interdisciplinar e capacidade tecnológica, mas também um esforço regional e global organizado em um contexto político amplo (MARENCO et al., 2018).

1.2.2 Medindo a exposição à redistribuição espacial do clima

O nicho ecológico de uma espécie pode ser sinteticamente definido como o conjunto de condições ambientais, representando um hipervolume ambiental no qual uma espécie seria capaz de sobreviver, crescer e reproduzir (SÓBERON, 2007). O clima é reconhecidamente um fator determinante para explicar grande parte dos padrões espaciais de distribuição das espécies uma vez que um organismo não poderá sobreviver fora dos seus limites de tolerância climática (PEREZ; STROUD; FEELEY, 2016; PETERSON; SOBERÓN, 2012; SOBERON; PETERSON, 2005). O conceito de nicho climático, que é um aspecto do nicho ecológico, pode ser definido como o conjunto de condições climáticas associadas à distribuição das espécies (nicho Grinnelliano - SÓBERON, 2007).

O modelo de envelopes climáticos (MEC) é o método mais difundido de mensuração e aproximação do nicho climático (RANGEL; LOYOLA, 2012). Este tipo de modelo parte do pressuposto de que as espécies estão atualmente em equilíbrio com o clima e quantificam a relação entre observações empíricas de espécies (presença/ausência ou somente presença) e variáveis climáticas estruturadas espacialmente, projetando assim o nicho climático, através do tempo e/ou do espaço geográfico (WIENS et al., 2009). Entretanto, é possível também realizar este tipo de modelagem sem estabelecer relação entre observações empíricas de espécies, partindo somente dos dados climáticos estruturados espacialmente. O pressuposto, dessa forma, é que o nicho climático de uma espécie existente em uma célula corresponde aos valores das variáveis climáticas desta célula.

Este método tem sido consolidado em métricas de busca por climas análogos (LITTLEFIELD et al., 2017; ORDONEZ; WILLIAMS, 2013; WILLIAMS; JACKSON, 2007).

Mudanças climáticas irão produzir uma redistribuição espacial das condições climáticas atuais, provocando inclusive o desaparecimento de alguns climas e surgimentos de novos (WILLIAMS et al., 2007a). Em respostas à estas mudanças, espécies deverão ser capazes de se aclimatar por plasticidade fenotípica, adaptar por mudanças fisiológicas ao longo de gerações ou migrar para manter seu nicho climático, e apenas falhando em todas estas possibilidades, as espécies podem ser extintas (FEELEY et al., 2012). A comunidade científica atualmente tem o desafio de desenvolver métricas que sintetizem estes efeitos complexos das mudanças climáticas como ferramenta para mapear as ameaças futuras à biodiversidade e identificar o grau de vulnerabilidade dos ecossistemas (GARCIA et al., 2014). Sumariamente, a vulnerabilidade de um sistema (espécies, populações, habitat ou ecossistemas) pode ser avaliada em função de fatores intrínsecos às espécies - sensibilidade e a capacidade adaptativa; e extrínsecos - exposição a um fator de risco (WILLIAMS et al., 2008).

A exposição consiste na mudança no clima de determinado local ou região na qual um organismo se encontra. Uma vez que o clima é um sistema complexo, a exposição pode ser quantificada em função de diferentes aspectos da mudança do clima e agrupadas em duas categorias: 1) Mudanças climáticas “locais”, relacionadas a magnitude de mudança na média ou nos extremos de uma variável climática e que podem causar reduções no tamanho de uma população; e 2) mudanças climáticas “regionais”, relacionadas as mudanças na distribuição das condições climáticas em uma determinada região. Seu impacto na biodiversidade está relacionado com a redução (ou expansão em alguns casos) da área de distribuição geográfica de uma espécie (GARCIA et al., 2014).

A velocidade das mudanças climáticas é uma métrica ao nível regional que pode ser usada para avaliar a exposição de um sistema (HAMANN et al., 2015) e representa a taxa (km/ano) em que determinada condição climática irá mudar ao longo da paisagem. De uma perspectiva biológica, descreve a velocidade que um organismo necessita para migrar enquanto mantém condições climáticas constantes (DOBROWSKI; ABATZOGLOU; SWANSON, 2013). Esta métrica pode ser mensurada utilizando o envelope climático específico de uma espécie (SERRA-DIAZ et al., 2013), ou apenas dados climáticos, permitindo mostrar alterações absolutas em qualquer variável única (BURROWS et al., 2014) e tornando-se uma métrica útil para situações em que faltam informações específicas de espécies (CARROLL et al., 2015).

Dois metodologias gerais têm sido usadas para calcular a velocidade das mudanças climáticas: a “velocidade local” e a “velocidade análoga”. Ambas as medidas permitem inferências úteis para o manejo e conservação de espécies e podem apresentar resultados diferentes (BRITO-MORALES et al., 2018). A primeira, de Loarie et al. (2009) calcula a razão entre a tendência

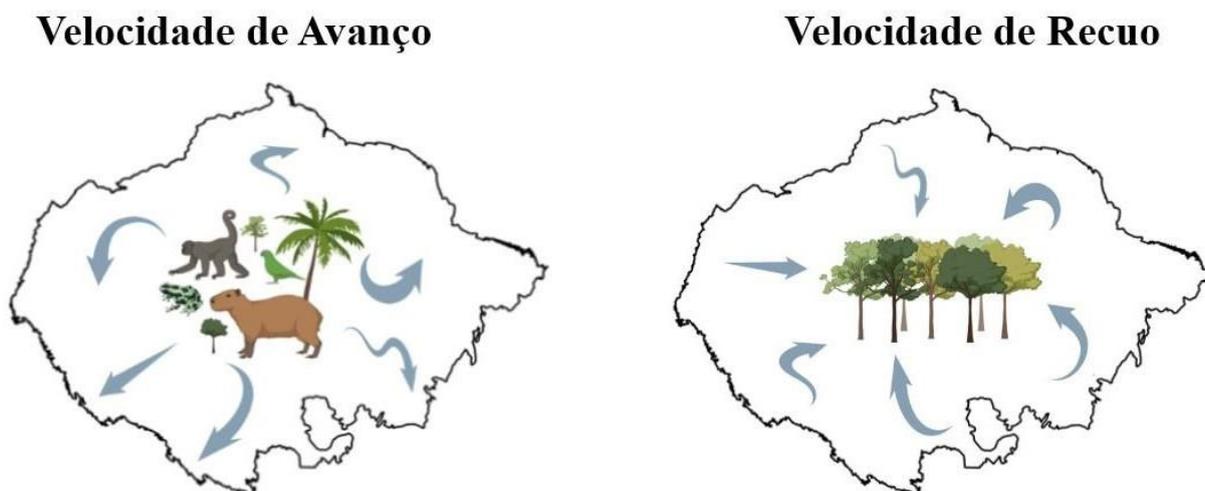
temporal de mudanças climática e o gradiente espacial local. Porém, por considerar a variabilidade climática somente de células de grades vizinhas, o cálculo se aproxima do infinito em áreas planas, mesmo que climas futuros semelhantes sejam encontrados próximos. A métrica possui também a desvantagem de não combinar facilmente diferentes variáveis (DOBROWSKI et al., 2013). A segunda abordagem (velocidade análoga - VoCC), definida por (HAMANN et al., 2015), representa a mínima distância em linha reta (euclidiana) até onde as células de grade com climas análogos mais próximos serão encontrados no futuro. Ela pode descrever a velocidade da variação climática com base na heterogeneidade da paisagem e é facilitada por algoritmos de pesquisa de vizinho-mais-próximo eficientes. Além disso, o método de velocidade análogo pode ser multivariado e, portanto, suas estimativas de deslocamento climático serão conjuntamente influenciadas por variáveis climáticas de mudanças rápidas e mudanças lentas. A presença de climas análogos futuros é fortemente determinada pela definição de análogo – que pode se basear tanto em valores fixos quanto ser específica para cada célula. Quando as condições climáticas futuras da paisagem escapam à esta definição este clima pode ser considerado sem análogos climáticos (GARCÍA MOLINOS et al., 2019).

A velocidade baseada nos análogos climáticos pode ser utilizada em duas direções: a velocidade de avanço – que calcula a distância de um pixel com determinada condição climática no presente até o pixel mais próximo com condição análoga no futuro; e a velocidade de recuo – que calcula a distância de um pixel com determinada condição climática no futuro até o pixel mais próximo com condição análoga no presente. Apesar dessas duas formas de velocidade baseadas nos mesmos dados de entradas parecerem diferir apenas nas direções de tempo opostas, elas podem produzir resultados profundamente diferentes, mas com informações complementares para apoiar a conservação da biodiversidade. As implicações ecológicas em cada uma são: 1) Com a velocidade de avanço, sugere-se a ameaça de incapacidade de uma espécie adaptada ao clima atual, de dispersar na velocidade necessária a fim de manter seu nicho climático constante. Pode acarretar, em último caso, na extinção; 2) Com a velocidade de recuo, sugere-se a ameaça de isolamento deste pixel como habitat adequado para espécies, uma vez que as velocidades necessárias para o colonizar sejam maiores que as capacidades de dispersão. Pode acarretar efeitos nas funções e serviços ecossistêmicos (CARROLL et al., 2015).

A velocidade de avanço é particularmente útil para avaliar o status de conservação de uma espécie e suas populações sob mudanças climáticas. Por outro lado, a velocidade de recuo é uma medida útil para avaliar a capacidade de determinado local em servir como refúgio climático para as espécies. No caso da velocidade de avanço, ela será geralmente menor em áreas de grande heterogeneidade espacial. Porém, maior nos pontos mais altos da topografia porque alcançar o clima análogo mais próximo no futuro pode exigir dispersão a áreas de maior elevação. Ao passo que a

velocidade de recuo, é geralmente baixa em áreas de alta topografia porque organismos que se adaptaram aos novos climas podem estar próximos às descidas. Por outro lado, o habitat no fundo do vale geralmente carece de análogos climáticos próximos (CARROLL et al., 2015; HAMANN et al., 2015).

Figura 1.1 – Esquema demonstrativo da interpretação ecológica dos efeitos das velocidades climáticas sobre a biodiversidade.



A abordagem da velocidade das mudanças climáticas tem sido aplicada em diferentes escalas e para diferentes finalidades. Destacam-se, por exemplo: 1) medir a exposição de ecossistemas marinhos e terrestres (BURROWS et al., 2011; DIFFENBAUGH; GIORGI; PAL, 2008; LOPRESTI et al., 2015; ORDONEZ; WILLIAMS, 2013; PINSKY et al., 2013; SALTRÉ et al., 2016); 2) avaliar a vulnerabilidade das áreas protegidas sob mudanças climáticas (ACKERLY et al., 2010; LOARIE et al., 2009; SCHUELER et al., 2014); 3) avaliar a exposição e capacidade de migração das espécies (BARBER; NIELSEN; HAMANN, 2016; BATEMAN et al., 2013; BURROWS et al., 2014; DOBROWSKI et al., 2013; HAMANN et al., 2015; ORDONEZ; WILLIAMS, 2013; SCHIPPERS et al., 2011; SCHUELER et al., 2014; SERRA-DIAZ et al., 2013); 4) identificar refúgios climáticos no passado e do futuro (HAIGHT; HAMMILL, 2019; ISAAK et al., 2016; ROBERTS; HAMANN, 2016; SANDEL et al., 2011).

Refúgios climáticos calculados com VoCC permitem a identificação de padrões contrastantes de áreas menos expostas às mudanças climáticas, portanto esta é uma aplicação oportuna como estratégia de conservação. Na prática, ao utilizar as velocidades de avanço e de recuo é possível classificar: 1) Refúgios *In Situ* - identificando áreas de onde os organismos devem emigrar com menores velocidade para rastrear um local com condições climáticas semelhantes no futuro; e 2)

Refúgios *Ex Situ* - identificando áreas para onde os organismos devem imigrar com menores velocidades a partir de áreas circundantes. Áreas com baixas velocidades climáticas podem ser consideradas como áreas prioritárias para proteção porque é provável que irão conter um conjunto consistente de espécies, uma vez que interações ecológicas evoluirão juntas em um clima que se move lentamente (BRITO-MORALES et al., 2018).

O conceito analítico de velocidade das mudanças climáticas, tal como proposto por (HAMANN et al., 2015), apresenta diferentes potencialidades e limites metodológicos. Outras diferentes métricas foram elaboradas com intuito de complementar algumas destas lacunas. Por exemplo, a velocidade baseada na distância aos climas análogos pode representar uma medida imperfeita de exposição, pois considera que os organismos percorrerão a distância mínima para atingirem regiões de climas análogos (distância euclidiana). Assim, sugerem-se novos métodos de busca por climas análogos baseados no percurso de mínima exposição à climas diferentes pelos organismos (DOBROWSKI; PARKS, 2016).

Outro limite é que a velocidade análoga é uma função simples da variação espacial e temporal do clima em uma paisagem específica; portanto, não são utilizados dados biológicos e nenhuma resposta biológica específica é inferida diretamente da taxa e direção esperadas dos migrantes climáticos. Diante disto, um novo tipo de métrica de velocidade foi elaborada - a velocidade bioclimática. Esta utiliza modelos de distribuição de espécies (SDMs) para estimar a velocidade na qual as espécies devem se mover para rastrear seu nicho climático. Contudo, mesmo com a utilização desta métrica, a presença de condições climáticas adequadas pode não garantir a existência de habitats adequados para espécies, que depende de muitos fatores ecológicos adicionais (CARROLL et al., 2015). Por exemplo, as distribuições de muitas espécies tropicais são determinadas principalmente pelo tipo de solo e outros fatores ambientais não climáticos (PHILLIPS et al., 2003). Isto significa que as projeções de disponibilidade de habitat adequado no futuro para espécies utilizando este tipo de métrica provavelmente ainda serão conservadoras em relação à redução real que poderá acontecer (IBÁÑEZ et al., 2006).

1.3 Problemática e interdisciplinaridade da pesquisa

Espécies amazônicas de fauna e flora já estão mudando suas distribuições geográficas em resposta a mudanças climáticas. A resposta biológica no eixo espacial é uma das oportunidades cruciais para a sobrevivência de espécies no bioma Amazônia, pois muitas espécies tropicais possuem nichos climáticos estreitos e, assim, são menos capazes de se aclimatar ou adaptar. Entretanto, a região também está classificada entre as regiões globais com maiores velocidades climáticas e mais longas distâncias aos climas análogos futuros, indicando uma grande ameaça para a sobrevivência de

espécies incapazes de acompanhar o ritmo das mudanças do clima. Nas últimas décadas, o intenso avanço do desmatamento está restringindo ainda mais a possibilidade de movimentação das espécies e a disponibilidade de área de habitats adequados. Neste contexto, as Áreas Protegidas da Amazônia representam uma importante ferramenta na conservação das florestas, porém a rede de Áreas Protegidas atual pode ser insuficiente para conservar o nicho climático da maior parte das espécies. Diante destas considerações, pergunta-se:

- a) Qual é a exposição da rede de PAs na Amazônia à redistribuição das condições climáticas?
- b) Como estão distribuídos os macrorrefúgios climáticos dentro da floresta amazônica?

Para responder a estas questões é necessária uma abordagem interdisciplinar – capaz de contemplar as temáticas envolvidas em sua diversidade e complexidade. A abordagem será aplicada tanto para a compreensão dos mecanismos e impactos da redistribuição das condições climáticas, como também para a elaboração de novas estratégias de conservação que atentem às alterações ambientais em curso. Partindo desta compreensão integradora, nesta pesquisa serão somadas três disciplinas distintas para a compreensão do problema delineado. A primeira área em debate é a Climatologia, que aporta as variáveis necessárias para quantificar a exposição que diferentes porções da superfície terão às condições climáticas do futuro. A segunda ciência associada é a Biologia da Conservação, que proporciona abordagens práticas de avaliação de áreas protegidas e seleção de novas áreas prioritárias. A terceira área em questão é a Ecologia, pois a problemática indicada pela métrica de exposição é essencialmente ecológica, visto que calcula a velocidade com que as espécies devem migrar para acompanharem o ritmo das mudanças do clima.

Assim, nesta pesquisa integraram-se estas três disciplinas com o objetivo comum de avaliar a exposição da rede de Áreas Protegidas da Amazônia e elaborar uma estratégia de conservação na região que atente aos impactos previstos das mudanças climáticas. Demonstrou-se esta abordagem com uma aplicação em uma análise piloto na Amazônia ao utilizar variáveis bioclimáticas e cenários futuros delimitados. Ressalta-se que o mesmo processo pode ser aplicado e adaptado a vários cenários de mudanças climáticas, com intuito de apoiar o desenvolvimento de novas alternativas para a gestão e tomada de decisões para priorização de Áreas Protegidas.

1.4 Objetivos

Quantificar a velocidade das mudanças climáticas no bioma Amazônia e a exposição de sua rede de Áreas Protegidas às velocidades à estas mudanças, e avaliar o potencial de áreas menos expostas de servirem como refúgios climáticos.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Quantificar a velocidade das mudanças climáticas no bioma Amazônia.
- b) Projetar a exposição da rede de PAs da Amazônia às velocidades das mudanças climáticas e comparar os valores entre áreas não protegidas e diferentes categorias de proteção (Capítulo 2).
- c) Identificar a distribuição dos macrorrefúgios climáticos dentro da floresta amazônica e quantificar sua perda de área devido ao desmatamento (Capítulo 3).

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 4 capítulos. O capítulo 1 é uma exposição do arcabouço teórico empregado na elaboração das duas questões científicas e na construção do método para respondê-las. Desta forma, primeiro são discutidos os desafios enfrentados pela biologia da conservação para incorporar os impactos das mudanças globais no planejamento da conservação, com ênfase nas especificidades dos ecossistemas amazônicos. Em seguida, são apresentados e detalhados os principais conceitos usados na dissertação: velocidade das mudanças climáticas e refúgios climáticos. O capítulo consta ainda de um tópico para sumarizar a questão científica – onde são destacadas as lacunas no conhecimento da exposição do bioma Amazônia às mudanças climáticas e a importância destas respostas para a conservação na região.

O capítulo 2 examina os efeitos da velocidade das mudanças climática no bioma Amazônia e a exposição da rede de áreas protegidas à estas mudanças. Foram quantificadas as velocidades nas direções presente-futuro e futuro-presente, capazes de sugerir implicações ecológicas diferentes. Os valores foram comparados entre diferentes classes de proteção e com áreas não protegidas.

O capítulo 3 identifica como estão distribuídos os macrorrefúgios climáticos dentro da floresta amazônica e calcula a perda de macrorrefúgios pelo desmatamento. Foi utilizada a métrica de velocidades climáticas do capítulo 2, com adição de dados de uso e cobertura da terra. Foi

contabilizada ainda a porcentagem de proteção dos macrorrefúgios e a distribuição deles entre as ecorregiões do bioma Amazônia.

O capítulo 4 é a síntese da dissertação, onde são sumarizados os resultados da abordagem sobre a velocidade das mudanças climáticas no bioma Amazônia (capítulos 2 e 3). Além disso, é discutida de forma integrada a redistribuição das condições climáticas e suas implicações sobre as espécies amazônicas. A conclusão apresenta as implicações dos resultados para a conservação na Amazônia e prospectos futuros para a investigação dos impactos das mudanças climáticas e a elaboração de estratégias de adaptação.

CAPÍTULO 2 EXPOSIÇÃO DAS ÁREAS PROTEGIDAS DA AMAZÔNIA À VELOCIDADE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS ATÉ 2050

Resumo

Mudanças na distribuição das espécies em resposta às mudanças climáticas podem fazer com que elas migrem de áreas protegidas. A Amazônia está entre as regiões globais mais expostas a longas distâncias aos climas análogos futuros e ao surgimento de condições climáticas sem análogos no passado. Como resultado, as espécies presentes dentro da rede de Áreas Protegidas (PAs) da Amazônia podem ser ameaçadas ao longo do século XXI. Neste estudo, investigou-se a velocidade das mudanças climáticas baseada em análogos futuros e passados nas direções de avanço e de recuo na rede de PAs do bioma Amazônia, a fim de avaliar a exposição destas áreas às mudanças climáticas e verificar sua eficácia em manter as condições climáticas atuais. Usando dados de média anual de temperatura do ar e precipitação com resolução de 10 km que descrevem os mesoclimas atuais (1970-2000) e futuros (2041-2060), avaliou-se as velocidades em todo bioma Amazônia e as velocidades médias de Áreas Naturais Protegidas (PNAs) e Terras Indígenas (ITs). Os resultados mostram que os efeitos da velocidade de recuo serão maiores que da velocidade de avanço no bioma Amazônia. Apesar deste padrão, a rede de PAs será menos exposta aos impactos da velocidade de recuo que UAs – enfatizando a importância destas áreas como ferramenta na conservação. Em contraste, para os impactos relativos à velocidade de avanço, a rede de PAs será ligeiramente mais exposta que UAs – indicando que a disposição espacial atual da rede de PAs ainda não é a mais indicada para minimizar os impactos de uma possível redistribuição climática. Além disso, encontrou-se uma grande extensão de não-análogos por velocidades de recuo no centro da Amazônia, indicando que altas temperaturas e mudanças nos padrões de precipitação, ultrapassarão a variabilidade histórica de toda o bioma, o que torna esta área potencialmente isolada como habitat adequado para espécies. A maior parte dos climas não-análogos está em PNAS, porém os riscos induzidos em ITs devem também ser ressaltados uma vez que elas apresentaram velocidades climáticas maiores do que PNAS em ambas as métricas. Assim, apesar do importante papel das PAs como instrumento de conservação, elas não estão imunes aos efeitos das mudanças climáticas e novas estratégias de manejo, específicas para cada área e que permitam a adaptação às mudanças globais, serão necessárias.

Palavras-chave: Exposição; VoCC; Redistribuição climática; Amazônia; Áreas Protegidas

2.1 Introdução

As mudanças climáticas devem se tornar a mais grave ameaça à biodiversidade no século XXI (PECL et al., 2017; THOMAS et al., 2004). Entre as numerosas e multifacetadas respostas ecológicas para as mudanças do clima, provavelmente a principal é a redistribuição espacial da biodiversidade global (IPCC, 2018). Diante disso, apesar da demarcação de áreas protegidas (PAs) ser considerada a mais eficiente e econômica linha de defesa no esforço global para proteger a biodiversidade (BALMFORD et al., 2002; BRUNER et al., 2001; RODRIGUES et al., 2004), e ser reconhecida sua eficácia no controle do desmatamento e outras pressões antrópicas de uso e cobertura da terra (THOMAS; GILLINGHAM, 2015), até mesmo as comunidades naturais existentes em PAs não estão imunes às mudanças climáticas.

Na Amazônia, uma extensa rede de 2344 territórios indígenas (ITs) e 610 áreas naturais protegidas (PNAs), se expande por mais 4,1 milhões de km² e ocupam 52% do bioma (WALKER et al., 2014). Somente o estoque de carbono das PAs e ITs da Amazônia é suficiente para desestabilizar ou contribuir para a estabilização da atmosfera do planeta (WALKER et al., 2014). Porém, enquanto estas PAs estão sujeitas a perturbações crônicas como desmatamento e degradação florestal (JUSYS, 2018), evidências sugerem que as mudanças climáticas podem limitar sua eficácia (FEELEY; REHM, 2012) e, combinados, clima e mudanças de uso e cobertura da terra podem intensificar os distúrbios nos ecossistemas (GOMES et al., 2019). Garantir a relevância e eficácia contínuas desta rede de PAs está, portanto, entre os desafios cruciais para a biologia da conservação no século XXI (GROVES et al., 2012; HANNAH, 2010).

A projeção da distribuição espacial das novas condições climáticas e a inferência sobre o movimento potencial das espécies são informações imprescindíveis para definir estratégias de conservação. Dentre as métricas de avaliação da exposição da biota às mudanças climáticas (GARCIA et al., 2014), destaca-se a velocidade climática, que é uma métrica que descreve a mudança espacial das variáveis climáticas ao longo do tempo, resultando em uma taxa de mudança (km/ano), e que sob a perspectiva biológica, descreve a velocidade que um organismo necessita para migrar enquanto mantém as condições climáticas constantes (DOBROWSKI et al., 2013). Esta é uma métrica de avaliação da exposição climática cada vez mais utilizada no planejamento da conservação (BRITO-MORALES et al., 2018) e, por utilizar apenas dados climáticos, torna-se indispensável para ecossistemas megadiversos com ausência de informações específicas, como o bioma Amazônia.

A velocidade baseada nos análogos climáticos representa a distância real até onde climas análogos serão encontrados no futuro e pode ser utilizada em duas direções no tempo: a velocidade de avanço – que calcula a distância de um pixel com determinada condição climática no presente até o pixel mais próximo com condição análoga no futuro; e a velocidade de recuo – que calcula a distância de um pixel com determinada condição climática no futuro até o pixel mais próximo com

condição análoga no presente. A capacidade de calcular duas diferentes métricas permite a extração de duas implicações ecológicas de um mesmo pixel: 1) Com a velocidade de avanço, sugere-se a ameaça de incapacidade de uma espécie adaptada ao clima atual, de dispersar na velocidade necessária a fim de manter seu nicho climático constante. Pode acarretar, em último caso, na extinção; 2) Com a velocidade de recuo, sugere-se a ameaça de isolamento deste pixel como habitat adequado para espécies, uma vez que as velocidades necessárias para colonizá-lo sejam maiores que as capacidades de dispersão. Pode acarretar efeitos nas funções e serviços ecossistêmicos (CARROLL et al., 2015).

A Amazônia foi classificada entre as regiões globais mais expostas a novas condições climáticas (WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007a), e com as maiores distâncias a temperaturas análogas até 2100 (WRIGHT; MULLER-LANDAU; SCHIPPER, 2009). Estudos prévios de velocidade realizados na escala macroclimática e considerando apenas a temperatura, superestimaram valores em regiões próximas ao equador, impulsionadas, sobretudo, pelo domínio de áreas planas (LOARIE et al., 2009). Carroll et al. (2015) gerou a primeira visualização da distribuição espacial da velocidade baseada em análogos para a Amazônia. Entretanto, esta aplicação baseou-se também em uma escala macroclimática (50x50 km). A aplicação de escalas mais finas como meso (1-10km), topo (10m-1km) ou microclimática (<50m) é imprescindível para identificação de refúgios e outras áreas cuja conservação facilite a persistência da biodiversidade sob as mudanças climáticas, mesmo dentro de regiões potencialmente inadequadas (CARROLL et al., 2017a). Utilizando a escala de 5km x 5km, Feeley e Rehm (2012) e (FEELEY; SILMAN, 2016) buscaram análogos climáticos de de avanço, primeiro em toda Amazônia brasileira com cenários de desmatamento, e depois com foco no limite da rede de PAs. Contudo, não foram calculadas as diferentes magnitudes de exposição das PAs, tampouco foram calculadas as velocidades de recuo. Mais recentemente, Ribeiro et al. (2018) também utilizaram a velocidade de avanço, associada com modelos de nicho ecológico, porém como uma entre várias medidas para identificar áreas prioritárias para mamíferos.

Em vista das altas taxas de exposição às mudanças climáticas anteriormente projetadas na Amazônia, e dada sua importância global como museu geográfico com a coleção mais rica de espécies da Terra (HUBBELL et al., 2009), pergunta-se: 1) Qual é a exposição da rede de PAs na Amazônia a redistribuição climáticas face aos cenários futuros de mudanças?; 2) Onde estarão os maiores os níveis de exposição, dentro ou fora das PAs?; 3) Onde serão os maiores os níveis de exposição, em ITs ou PNAs? Desta forma, o objetivo deste capítulo é avaliar a exposição das PAs a redistribuição das condições climática na Amazônia que ocorrerá até 2050 sob o cenário SSP2 do IPCC. Utilizaremos a métrica das velocidades climáticas baseadas em análogos (de avanço e de recuo) (GARCÍA MOLINOS et al., 2019), para: 1) Projetar a exposição das PAs às velocidades de avanço

e de recuo; 2) Comparar a exposição entre PAs e UAs; 3) Comparar as exposições entre ITs e PNAs. As comparações foram feitas entre os valores medianos das velocidades e entre as extensões espaciais das áreas sem análogos. As análises são feitas tanto no nível de pixel, quanto no nível regional de cada AP, a fim de comparar os padrões sobre diferentes escalas de análise. Trabalha-se com as hipóteses de que: o bioma Amazônia será exposto a altas taxas de velocidades de avanço e de recuo e apresentará grande extensão de áreas sem análogos climáticos; contudo, diferenças significativas de exposição entre PAs e UAs, bem como ITs e PNAs serão encontradas. Espera-se inferir diferentes implicações ecológicas, e conseqüentemente diferentes estratégias de conservação para a Amazônia.

2.3 Material e Métodos

2.3.1 Área de Estudo

Definimos a região de estudo do bioma Amazônia usando o limite biogeográfico delineado pela Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada (RAISG, 2019) (Figura Suplementar S2.1). O bioma Amazônia é caracterizado por uma alta diversidade de ecorregiões (53) que se distribui em cerca de 7 milhões de quilômetros quadrados (DINERSTEIN et al., 2017). A área possui baixa diversidade topográfica, com elevações isoladas em alguns dos oito países (Bolívia, Brasil, Colômbia, Ecuador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela) e um território francês (Guiana Francesa) que compreendem o bioma.

2.3.2 Dados sobre Áreas Protegidas

A rede de PAs foi definida utilizando a base de dados atualizada em setembro de 2020 do World Database on Protected Areas (UNEP-WCMC, IUCN, 2019), o banco de dados global mais abrangente sobre PAs terrestres e marinhas. Este conjunto de dados espaciais inclui PAs que são administradas por entidades nacionais, regionais ou internacionais e representam um sistema de proteção de base ecológica de todos os países do mundo. Considerou-se aqui todas as PAs terrestres existentes no bioma. PAs definidas por entidades internacionais como os sítios RAMSAR, reservas da biosfera e patrimônios da humanidade não foram consideradas. Ao todo, trabalhou-se com 837 PAs que cobrem 3.111.929 milhões de km². Assim, cerca de 44,8 % da área de estudo está coberta por PAs, das quais 42,7 % são Terras Indígenas (ITs).

2.3.3 Dados climáticos

A base de dados utilizada foi a WorldClim, um repositório gerado a partir de dados climáticos

mensais interpolados espacialmente para áreas terrestres globais em uma resolução espacial alta (aproximadamente 1x1 km) (FICK; HIJMANS, 2017). Utilizou-se a reamostragem na escala de 10x10 km, pois nesta escala o clima é determinado por fatores que vão desde padrões de circulação continental em larga escala até a variabilidade local do terreno, o que é fundamental para aplicação da métrica de velocidade climática e as inferências sobre a distribuição espacial dos organismos vivos (CARROLL et al., 2017a; STRALBERG et al., 2018). Todos os cálculos das velocidades climáticas foram realizados no programa R (R CORE TEAM, 2021) e as análises espaciais através dos programas de geoprocessamento ArcGis Pro e QGis 3.10.

Foram selecionadas as variáveis bioclimáticas média de temperatura anual (Bio1) e precipitação anual (Bio12), uma vez que elas representam tendências anuais biologicamente relevantes. A temperatura média anual representa um importante papel como variável indicadora de um conjunto de outras métricas baseadas na temperatura (JONES; KELLY, 1983; MATHYS et al., 2016), além de resultar em projeções com níveis relativamente mais baixos de incerteza em comparação com a precipitação (FLATO, 2014). A precipitação total anual, por outro lado, foi escolhida devido à sua importância para compreensão ecológica do funcionamento do ecossistema amazônico (MALHI et al., 2020). As condições climáticas atuais representam os valores médios registrados de um período climático de referência de 1970–2000 (FICK; HIJMANS, 2017). Dados climáticos futuros foram representados por um ensemble de 5 GCMs (Tabela suplementar S2.1), todos retirados do World Climate Research Program Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) e selecionadas para o período de 2041-2060, sob um cenário de concentração de combustíveis fósseis SSP2-4.5. Este cenário prevê uma trajetória média dentro da gama de caminhos futuros, no qual as tendências continuam seus padrões históricos sem desvios substanciais. Tal condição tem o potencial de refletir uma trajetória de mínimo ganho de governança climática, no qual as sociedades reduzem rapidamente as emissões, mas não o suficiente para limitar o aquecimento abaixo de 2° C. Está projetada, assim, a implantação de políticas climáticas rigorosas em alguns países, mas que mantêm a temperatura até o final do século XXI na média de 3° C – portanto, acima do objetivo firmado no Acordo de Paris de 2015 (EYRING et al., 2016; O’NEILL et al., 2016).

2.3.4 Velocidades de Avanço e de Recuo

Foram calculadas as velocidades climáticas de avanço e de recuo através do algoritmo de velocidade baseada em climas análogos desenvolvido por García Molinos et al. (2019). Utilizou-se a configuração *least-cost path*, na qual o algoritmo identifica condições climáticas análogas entre o clima de base (médias atuais) e as projeções futuras, utilizando um mecanismo de busca por células com menores dissimilaridades climáticas baseado no desvio padrão da climatologia da região.

Portanto, para cada pixel de 100 km² da Amazônia, encontrou-se o trajeto com menor custo até uma célula com condições climáticas análogas. Na velocidade de avanço calculou-se a distância até o análogo futuro que corresponda aos valores encontrados no presente das variáveis climáticas. Da mesma forma, para calcular a velocidade de recuo, calculou-se o trajeto com menor custo entre um pixel com o clima projetado para o futuro e outro com condições análogas no presente. As células para as quais nenhuma correspondência pode ser encontrada nas projeções futuras representam condições climáticas que escapam à variabilidade histórica anual de qualquer outra região do bioma Amazônia. Como essas áreas representam células sem valores dentro do gradiente de velocidade, elas foram tabuladas separadamente dos cálculos de velocidade climática.

2.3.5 Avaliação da exposição climática

Avaliou-se a exposição da rede de PAs da Amazônia às mudanças climáticas usando a métrica da velocidade baseada em climas análogos com o método de busca *least-cost path*. Primeiro, foram calculadas as velocidades climáticas de avanço e de recuo com base na linha de base (1970-2000) e no clima do meio do século XXI (2041-2060) para todos os pixels dentro de PAs e classificou-se cada área protegida através de uma caracterização conjunta de velocidades de avanço e de recuo. As classes são determinadas pela classificação da faixa de valores de velocidade de avanço e de recuo em baixa, moderada e alta usando três quantis de área igual (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2021) que, no total, resultam em um gráfico bivariável de nove quadrantes (Figura suplementar S2.2). PAs classificadas como não-análogas foram apenas aquelas que não possuem análogos em nenhum pixel.

Foram aplicadas análises estatísticas não-paramétricas devido a distribuição dos dados não formarem uma curva normal. As comparações entre os grupos analisados foram feitas com base em parâmetros como mediana e intervalo interquartil, uma vez que representam melhor distribuições não-normais. A velocidade mediana de toda rede de PAs foi comparada com a velocidade mediana em UAs para avaliar a eficácia da disposição espacial do sistema de PAs em manter as velocidades climáticas menores. Da mesma forma, compararam-se as velocidades climáticas medianas diferenciando as categorias PNAs e ITs com intuito de investigar a presença de diferença significativa de exposição entre as diferentes tipologias de PAs. As análises foram realizadas também ao nível de pixel a fim de comparar a variabilidade dos valores sobre diferentes escalas de análise.

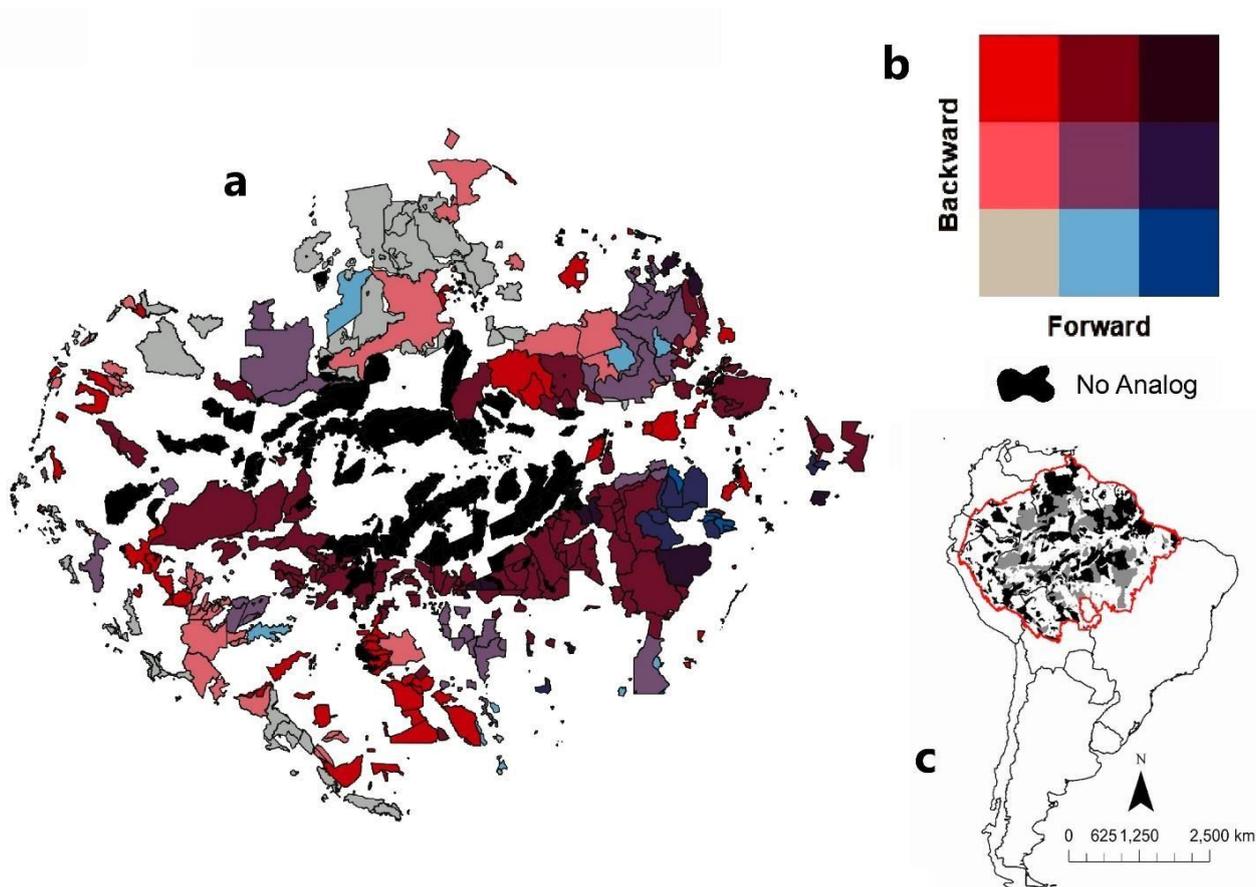
Para quantificar a extensão espacial das células sem análogos a quantidade de células não-análogas foi contabilizada em cada uma das PAs. Também foram comparadas as extensões de não-análogos entre UAs e PAs, bem como entre ITs ou PNAs. Por fim, comparou-se a distribuição geográfica da região identificada como não-análoga, com a distribuição da variabilidade histórica anual de precipitação e temperatura e dos deltas climáticos (2050-1990) (Figura suplementar S2.3),

a fim de comprovar através da concordância espacial a correlação entre menores valores de variabilidade e maiores valores de delta climático como indicadores de células sem análogos.

2.4 Resultados

A avaliação de exposição baseada na velocidade mostra que a extensão das áreas com altas velocidades apenas em de recuo (32,4 %) é bem maior que de avanço (5,85 %), como está representado na maior quantidade de áreas em vermelho claro do que em azul escuro. Este resultado se destaca se considerarmos a grande quantidade de PAs com baixas velocidades de avanço (31,3 %) (cinza e tons claro e escuro de vermelho), em relação à de recuo (16,3 %) (cinza e tons claro e escuro de azul). Além disso, uma porcentagem maior enfrenta velocidades combinadas entre de avanço e de recuo baixas (11,4 %), em cinza, do que em relação velocidades combinadas altas (3,1 %), em vinho. Contudo, a menor quantidade de PAs classificadas com altas velocidades pode subestimar a real ameaça a qual estas áreas estarão submetidas.

Figura 2.1 - Avaliação da exposição baseada na velocidade de cada área protegida dentro do bioma Amazônia (a) com base em nove categorias (b) derivadas da classificação do gradiente de valores de velocidades de avanço e de recuo de mudanças climáticas em três quantis iguais de área. Notar que em (a) as PAs não análogas estão indicadas em preto; estas categorias não estão incluídas no painel (b). A avaliação foi feita com base na linha de base (1970–2000) e dados de clima futuro (2041–2060) determinados a partir de um modelo agrupado. Em (c) vemos o limite biogeográfico da Amazônia com PNAs em preto e TIs em cinza.

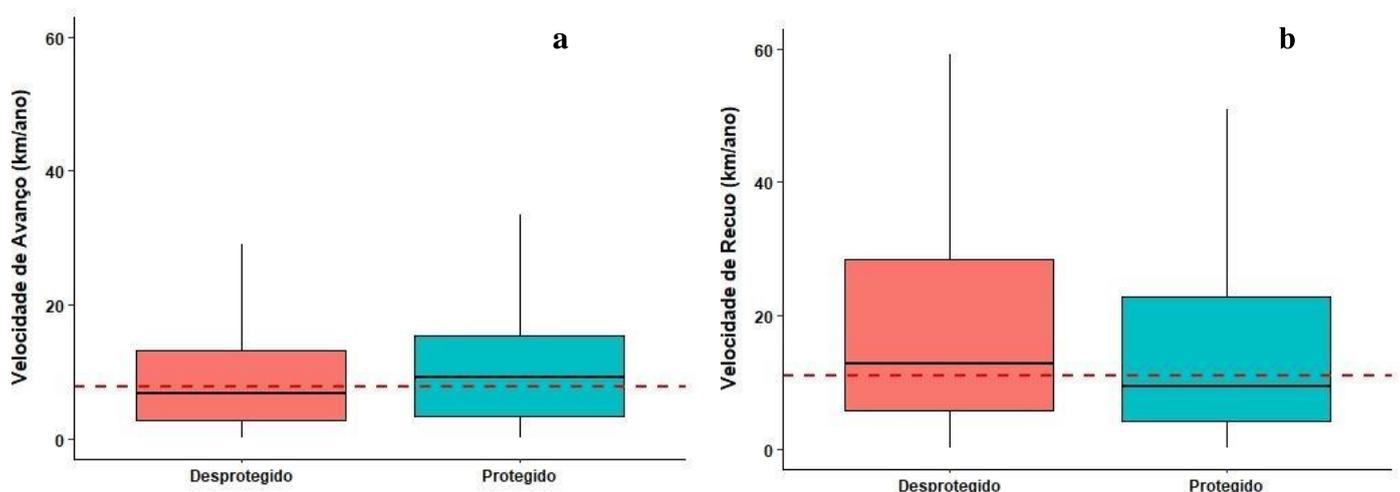


Se considerarmos a presença de climas não análogos, nossos resultados mostram que aproximadamente um terço (33,5 %) das PAs não possuem análogo climático em alguma das métricas, sendo que 33 % delas são por novos climas (não análogo em velocidade de recuo) e 0,5 % são por climas que desaparecem (não análogo em velocidade de avanço). As PAs também variaram em relação a presença de climas não análogos na escala do pixel (Figura 3.a-b). Cerca de 3,2 % das PAs apresentaram ao menos um pixel que não possui análogos climáticos considerando o parâmetro de avanço, e quase 45 % das PAs sob o parâmetro de recuo.

Considerando toda a extensão da área sem análogos climáticos, 58,6 % dos climas novos estão em UAs e 41% em PAs. Em relação aos climas que desaparecem, 60,7 % estão em UAs e 39,2% em PAs. A comparação das extensões espaciais das células não-análogas entre as classes de proteção mostrou que 67% dos climas novos encontram-se em PNAs e 32,5 % em ITs, enquanto para os climas desaparecidos, 99 % encontram-se em PNAs. Em relação às PAs com extensão total sem análogos (Figura 2.1), 61 % são ITs e 38 % são PNAs, enquanto as PAs com climas desaparecidos, todas são PNAs. As PAs ameaçadas em toda sua extensão por não-análogos em ambas as métricas são uma PNAs e outra TI.

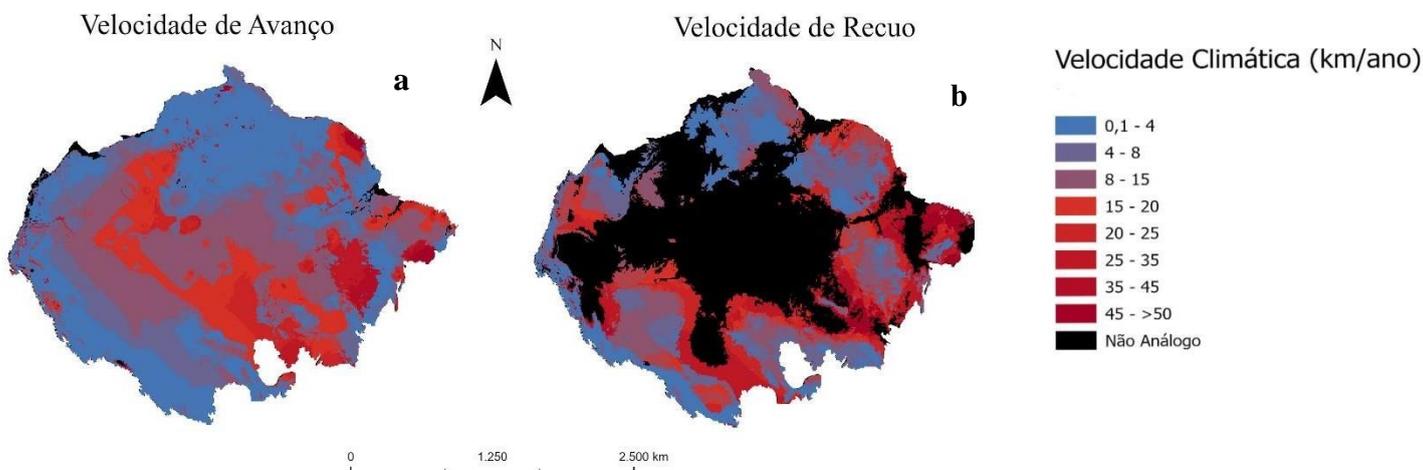
A comparação entre as medianas da velocidade de avanço e de recuo ao longo do bioma Amazônia mostrou diferença estatisticamente significativa através do teste de Mann-whitney ($W = 1435894876$, $p\text{-value} < 0,001$), sendo a velocidade de recuo (10,9 km/ano) superior à velocidade de avanço (7,6 km/ano). Ao compararmos as velocidades dentro e fora das PAs (Figura 2), o teste de Mann-whitney mostrou que suas medianas são significativamente diferentes em ambas as velocidades, de avanço ($W = 715900341$, $p < 0,001$) e de recuo ($W = 300464189$, $p < 0,001$). Na velocidade de avanço, a mediana das áreas protegidas (9 km/ano) foi superior à das áreas não protegidas (6 km/ano). De forma oposta, na velocidade de recuo, a mediana das áreas não protegidas (12,8 km/ano) foi superior à das áreas protegidas (9 km/ano), que permaneceu igual em ambas as velocidades.

Figura 2.2 - Velocidades climáticas de avanço em áreas protegidas e não protegidas (a); Velocidades climáticas de recuo em áreas protegidas e não protegidas (b). A linha vermelha pontilhada representa o valor da mediana de cada uma das velocidades sobre todo o bioma Amazônia



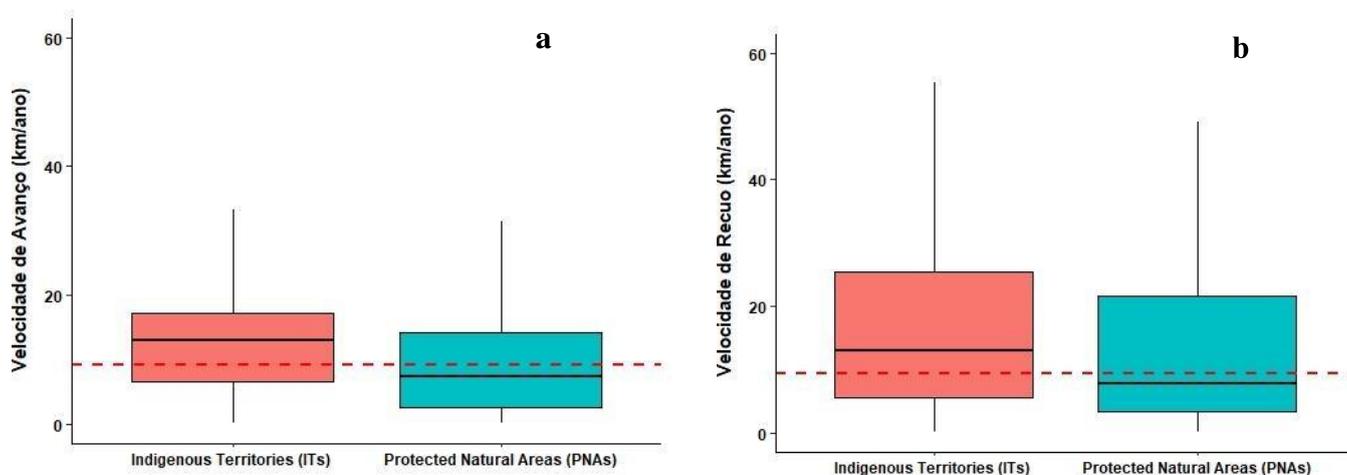
A velocidade de recuo está distribuída gradativamente desde valores com velocidades mais baixas nas bordas do bioma, tornando-se mais altas nos interiores, em especial, na região estuarina. No centro do bioma Amazônia, ao longo de toda a região de várzea do rio Amazonas, há uma expressiva extensão de condições climáticas não análogas à variabilidade histórica de todo o restante do bioma. A velocidade de avanço é mais alta ao longo de uma diagonal estendida do centro-oeste ao sudeste da Amazônia, mas apresenta focos de maiores velocidades na serra dos Carajás, no Oeste do estado do Maranhão, no extremo norte do estado do Amapá e em parte das guianas.

Figura 2.3 – Distribuição espacial de velocidade climática de avanço no nível do pixel (a); distribuição espacial das velocidades de recuo no nível do pixel (b).



Por fim, a comparação das velocidades climáticas medianas entre PNAs e ITs (Figura 4) mostrou, através do teste de Mann-Whitney, diferença significativa entre as categorias nas duas velocidades, de avanço ($W = 166466959$, $p\text{-value} < 0,001$) e de recuo ($W = 52366546$, $p\text{-value} < 0,001$). Em ambas as velocidades, a mediana de ITs foi maior do que das PNAs. A velocidade de avanço mediana em PNAs é de 7 km/ano, enquanto em ITs chega a 13 km/ano. As velocidades de recuo são maiores para ambas as categorias, sendo 7,8 km/ano em PNAs e 12,8 km/ano em ITs.

Figura 2.4 – Comparação das velocidades climáticas de avanço entre PNAS e TIs (a); Comparação das velocidades climáticas de recuo entre PNAS e TIs (b). A linha vermelha pontilhada representa o valor da mediana de cada uma das velocidades sobre todo o bioma Amazônia.



2.5 Discussão

2.5.1 Exposição da rede de áreas protegidas da Amazônia à redistribuição climática e suas implicações ecológicas

As mudanças climáticas podem submeter as espécies a condições climáticas que extrapolam os limites de seus nichos climáticos e, para persistir, os indivíduos, populações ou espécies devem produzir respostas adaptativas. Tais efeitos ecológicos podem ocorrer em todos os níveis de biodiversidade, de organismos à biomas, além de poderem impactar diversas dimensões dos mecanismos ecossistêmicos, como a dimensão espacial (distribuição das espécies), temporal (processos fenológicos) e individual (fisiologia dos organismos) (BELLARD et al., 2012). A interpretação ecológica dos efeitos da velocidade das mudanças climática é frequentemente associada ao movimento de espécies (BRITO-MORALES et al., 2018) e sua interpretação ecológica parte do pressuposto de que as espécies não serão capazes de se aclimatar.

Para espécies tropicais, como possuem estreitos nichos climáticos associados à sua história evolutiva, espera-se uma capacidade limitada de se aclimatar à alta magnitudes de mudanças no clima que estão previstas para o trópicos nas próximas décadas do século XXI (CUNNINGHAM; READ, 2003). Evidências observadas da dinâmica florestal a longo prazo na Costa Rica, Panamá e Malásia, por exemplo, indicaram que árvores têm declínio nas taxas de crescimento correlacionadas com o aumento regional de temperaturas (CLARK, 2003; FEELEY et al., 2007). Da mesma forma, outros estudos indicaram diminuições nas taxas de crescimento de árvores tropicais e na produtividade primária líquida da floresta, bem como aumento na mortalidade de árvore, quando a disponibilidade

de água é reduzida (CLARK; CLARK; OBERBAUER, 2010; NEPSTAD et al., 2007; ZHAO; RUNNING, 2010). Entretanto, esta ainda é uma premissa sujeita à equívocos para o ecossistema amazônico, uma vez que estudos de plasticidade fenotípica ou aclimação em grandes árvores tropicais de vida longa são esparsos ou inexistentes. Neste trabalho, mesmo considerando tais incertezas, serão discutidas as implicações ecológicas da métrica de velocidade das mudanças climáticas assumindo a premissa que a maior parte das espécies não será capaz de se aclimatar e, portanto, responderá às mudanças climáticas através de mudanças espaciais.

A compreensão das causas que determinam a exposição às velocidades climáticas pode ser dividida em duas. Para áreas que possuem climas análogos, a magnitude de velocidade é determinada pela distância aos climas análogos. Portanto, depende de variáveis ambientais que configuram geograficamente a área de estudo, as quais não foram investigadas neste trabalho. Para áreas que possuem climas não-análogos, a exposição é determinada pela magnitude das variáveis climáticas utilizadas, pois seus valores escapam à variabilidade histórica da região de estudo. Como se utilizou a definição multivariável de análogo climático, não há um limite único de temperatura ou precipitação que determine a presença de climas não-análogos. Em vez disso, a definição de não-análogo é resultado da ausência de associação dos valores de precipitação e temperatura da variabilidade histórica de cada célula. Podemos confirmar tal padrão através da concordância espacial entre a região não-análoga e as áreas de menor variabilidade histórica anual (1970-2000) e com deltas climáticos (2050-1990) mais altos de temperatura e precipitação (Figura S2.3).

A compreensão dos impactos ambientais indicados pela métrica parte da premissa de que as espécies hoje estão distribuídas em habitats com condições climáticas ideais e, em face das mudanças climáticas, irão rastrear tais nichos climáticos ao longo da paisagem (WIENS et al., 2009; WANG et al., 2012). Em células com análogos a métrica de avanço sugere a ameaça de incapacidade de uma espécie adaptada ao clima atual, de dispersar na velocidade necessária a fim de manter seu nicho climático constante. Quando os valores de precipitação e temperatura condizentes com a variabilidade histórica de uma área não são encontrados associados no futuro ao longo de todo o bioma, esta área é considerada como clima desaparecido, e intensifica-se o risco de extinção de espécies adaptadas. Por outro lado, a métrica de recuo sugere a ameaça de isolamento de uma área como habitat adequado para espécies, uma vez que as velocidades necessárias para colonizá-la sejam maiores que as capacidades de dispersão. Quando o clima futuro escapa à variabilidade histórica do presente em todo o bioma, ele é considerado como clima novo, e intensifica-se o risco de isolamento desta área como habitat adequado.

Os resultados mostram que a rede de PAs será menos exposta aos impactos da velocidade de recuo que UAs – enfatizando a importância destas áreas como ferramentas na conservação. Em contraste, para os impactos relativos à velocidade de avanço, a rede de PAs será ligeiramente mais

exposta que áreas não protegidas – indicando que a disposição espacial atual da rede de PAs ainda não é ideal para minimizar os impactos da redistribuição climática. Apesar desta diferença, tanto PAs como UAs estarão expostas a altas taxas de velocidade climática – com destaque para a velocidade de recuo, que provocará efeitos maiores em magnitude considerando um valor mediano em todo o bioma Amazônia. Em estudos anteriores a Amazônia já havia sido classificada com alta exposição a novas condições climáticas ((WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007a), grandes distâncias a temperaturas análogas até 2100 (WRIGHT; MULLER-LANDAU; SCHIPPER, 2009) e altas velocidades de avanço e de recuo (CARROLL et al., 2015). Tais projeções contrastam com a taxa de migração latitudinal média de 2 km/ano observada na maioria dos ecossistemas e grupos taxonômicos estudados até o momento e chegam próximas às taxas de migração de 15 km/ano, as mais rápidas observadas até o momento (CHEN et al., 2011). Os resultados de nossa abordagem enfatizam tais tendências anteriormente projetadas. Porém, nossa projeção possibilitou inferir tipos e magnitudes de ameaças particulares dentro do bioma Amazônia. Ademais, ao utilizar o recorte espacial das PAs foi possível identificar os diferentes arranjos de tipos de exposição que estão submetidas cada uma das PAs da Amazônia.

Os impactos potenciais de ambas as velocidades serão maiores em ITs do que em PNAS. Isso significa que espécies dentro de ITs, mais do que em PNAS, estão muito distantes de seus análogos climáticos e teriam de dispersar em altas velocidades anuais até 2050, ao mesmo tempo que seus antigos habitats não se tornarão adequados para outras espécies colonizadoras. Dada a correlação entre a velocidade baseada em análogos com as características geográficas (CARROLL et al., 2015), sugerimos que este padrão é resultado do arranjo entre a distribuição das velocidades climáticas e a disposição espacial das ITs. Entretanto, estudos posteriores são indicados para identificar quais características espaciais determinam este padrão.

O mesmo padrão marcante de exposição da velocidade de recuo pode ser visto na extensão espacial de áreas sem climas análogos. Destaca-se uma grande distribuição de novos climas ao longo de toda região central da Amazônia, tornando esta área inadequada como habitat para espécies que não consigam se aclimatar ou adaptar, e assim, indicando potenciais efeitos nas funções e serviços ecossistêmicos das florestas de várzeas (ABRIL et al., 2014). Em contraste, poucas áreas foram identificadas como climas desaparecidos. A maior parte destas áreas com novos climas e/ou climas desaparecidos está fora das áreas protegidas e da parcela dentro de PAs, a maior parte está distribuída espacialmente em PNAS. Mas vale ressaltar que ao considerar PAs com todo seu território sem análogos climáticos, as ITs são maioria – reforçando o padrão de alta exposição encontrado em áreas análogas.

Estes resultados contrastam com o papel significativo das PAs, e em especial as ITs, na conservação de florestas, o qual reduz as emissões de carbono florestal e contribui para mitigação das

mudanças climáticas (RICKETTS et al., 2010). Uma série de estudos tem demonstrado que as PAs da Amazônia agem como amortecedores do avanço da fronteira de pressões externas, reduzindo o desmatamento (JUSYS, 2018), degradação (WALKER et al., 2020) e ocorrência de incêndios (NEPSTAD et al., 2006) em comparação com outras áreas. A partir de nossos resultados, é preciso considerar que apesar do importante papel das PAs na contenção de mudanças de uso e cobertura da terra, elas não estão imunes aos efeitos das mudanças climáticas e novas estratégias de conservação que considerem as mudanças globais serão necessárias para estas áreas.

2.5.2 Limites e oportunidades do método

A velocidade climática (abordagens locais e análogas), em sua forma mais simples, captura distâncias mínimas em linha reta baseada apenas nas condições climáticas. Porém, outras informações podem ser adicionadas para representar melhor os processos ecológicos subjacentes às redistribuição climática, tais como fatores não climáticos que condicionam a dispersão, como a permeabilidade do habitat (MCGUIRE et al., 2016), rios e rodovias atuando como barreiras (SENIOR; HILL; EDWARDS, 2019), ou forças direcionais, como o vento e as correntes oceânicas (GARCIA-MOLINOS et al., 2017). Dado o intuito deste trabalho de aplicar a métrica de velocidade climática na conservação, atentou-se por adicionar informações que refinassem o significado biológico da métrica. Assim, utilizou-se pela primeira vez na Amazônia métrica de *least-cost path* (DOBROWSKI; PARKS, 2016; MCGUIRE et al., 2016), na qual a variabilidade histórica das condições climáticas locais é utilizada para traçar rotas menos expostas a mudanças do clima. Entretanto, o impacto real de condições climáticas análogas distantes espacialmente no futuro depende não apenas do grau de exposição, mas também da sensibilidade e da capacidade adaptativa das espécies.

A decisão das variáveis climáticas utilizadas é uma etapa definidora de muitas das incertezas que serão incorporadas ao modelo pois elas representam as variáveis controladoras das inferências ecológicas. Assim, ao selecionar a variável deve-se considerar a escala da análise, a condição ambiental da área e a relação funcional entre a variável e sua resposta biológica inferida. A maioria das análises de velocidade do clima utiliza a temperatura porque ela influencia as distribuições de espécies na paisagem. No entanto, a métrica pode ser aplicada a qualquer variável ambiental. Além disso, a maioria das variáveis ambientais usadas nesse tipo de métrica utilizam estatísticas resumidas, que podem prever diferentes aspectos ecológicos. Por exemplo, valores médios anuais podem prever melhor mudanças em relação a toda distribuição de uma espécie, enquanto valores extremos podem ser mais apropriados para prever os limites de tolerância que determinam a distribuição de uma espécie (BRITO-MORALES et al., 2018).

Considerando a escala continental do bioma Amazônia, foram selecionadas as variáveis bioclimáticas média de temperatura média anual (Bio1) e precipitação total anual (Bio12) por representarem tendências biologicamente relevantes de toda a distribuição das espécies. A primeira foi utilizada pois muitos estudos mostram que espécies tropicais apresentam nichos termais mais estreitos que de outras latitudes, tornando-as mais sensíveis ao aumento de temperatura (PEREZ; STROUD; FEELEY, 2016). A segunda foi escolhida pois estudos mais recentes mostram ainda que espécies a distribuição biogeográfica de árvores neotropicais está diretamente associado aos gradientes de tolerância hidráulica (ESQUIVEL-MUELBERT et al., 2017). Métricas de valores extremos são também importantes para predição da persistência das espécies em determinada área, porém não foram utilizadas devido a ausência de dados históricos mensais dessas variáveis bioclimáticas compiladas na mesma escala espacial e período histórico utilizados. A base de dados histórica é necessária para construção do método de busca *least-cost path*.

Análises comparativas como as realizadas neste trabalho (UAs vs PAs; ITs vs PNAs), podem mascarar a real ameaça que as espécies estarão submetidas. Em nossa análise, a exposição à velocidades moderadas e baixas significa um espectro de velocidades de 0-13 km/ano para velocidade de avanço e 0-21 km/ano para velocidade de recuo, segundo a definição das classes pelo método quantile (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2021). Em pesquisas anteriores, PAs da América do Norte foram classificadas com velocidades altas quando obtinham valores acima de 10 km/ano (BATLLORI et al., 2017). Portanto, aqui, mesmo a classificação de velocidades moderadas, a depender da capacidade de dispersão e sensibilidade da espécie, poderá indicar alto risco. Do mesmo modo, se por um lado as PAs em velocidade de recuo revelaram um valor mediano menor que em UAs, por outro lado, este valor é de 12 km/ano, o qual pode implicar ameaças severas à algumas espécies.

Por muito tempo duvidou-se da aplicabilidade de métricas baseadas na velocidade de mudança do clima em regiões com diversidade topográfica relativamente baixa, como florestas tropicais baixas (LOARIE et al., 2009). Devido ao alinhamento espacial da métrica com as características geográficas que orientam os padrões climáticos (CARROLL et al., 2017b), quando aplicada com resoluções espaciais grosseiras pode superestimar a exposição de uma paisagem ao não considerar variações climáticas em escalas mais finas como meso (1-10km), topo (10m-1km) ou microclimática (<50m). A utilização da escala mesoclimática permitiu identificar diferentes arranjos entre tipos de velocidades e magnitudes de exposição regionais que devem ser considerados em futuros planejamentos de conservação. Acrescenta-se que resoluções espaciais mais finas são necessárias, por exemplo, para detectar microrefúgios relevantes para muitas espécies (STRALBERG et al., 2020; TINGLEY et al., 2014).

Outro possível erro de estimativa pode ocorrer ao analisar a quantidade de pixels não-

análogos. Dentro de uma mesma área protegida podem ocorrer diferentes valores de velocidades, inclusive condições climáticas não análogas. Em nossa análise (Figura 2.1), apenas em PAs onde todos os pixels estão sem análogos são classificadas como não-análogas. Sendo assim, espécies adaptadas à nichos climáticos que não terão análogos no futuro podem estar ameaçadas mesmo em PAs com baixas velocidades climáticas. Ademais, análises mais aprofundadas sobre o impacto dos novos climas e climas que desaparecem sobre as espécies da Amazônia são necessárias (WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007b).

Por fim, salienta-se aqui que este trabalho não leva em conta as influências das mudanças de uso e cobertura da terra na dispersão das espécies. Porém, o desmatamento e a degradação podem influenciar na dispersão das espécies, tanto servindo como barreiras que restringirão o movimento das espécies entre os climas análogos (FEELEY; REHM, 2012), quanto na potencialização dos efeitos das mudanças climáticas em escala local (LAURANCE et al., 2011), regional (LAURANCE; WILLIAMSON, 2001) e global (WERTH; AVISSAR, 2002). Associado a isto, soma-se as limitações metodológicas próprias de análises baseadas em métricas de mudanças climáticas e o grau de incerteza de projeções climáticas (LENOIR; SVENNING, 2015).

2.5.3 Diferentes velocidades requerem diferentes estratégias de conservação

Apesar dos altos valores de exposição projetados para ocorrerem nas PAs da Amazônia e de sua ineficácia em manter velocidades climática em valores menores que em UAs (para velocidade de avanço), salienta-se que as PAs continuam a ser a melhor estratégia de conservação *in situ*, com importância estratégica em todas as escalas de conservação (JOPPA et al., 2008; VIEIRA et al., 2008). As PAs, além de reservarem um grande estoque de carbono (WALKER et al., 2014), exercem importante papel em reduzir o número de espécies ameaçadas da Amazônia (STEEGE et al., 2015) e na contenção contra as mudanças de uso e cobertura da terra, sobretudo das ITs (NEPSTAD et al., 2006; WALKER et al., 2020).

Porém, associadas às PAs, estratégias de manejo adaptativo (HANNAH et al., 2013) podem ser aplicadas tendo em vista os impactos na distribuição das espécies projetados pela métrica de velocidade climática. Em áreas com altas velocidades de avanço recomenda-se a mitigação de outros estressores antropogênicos para auxiliar na adaptação e, em casos extremos, a migração assistida (BRITO-MORALES et al., 2018; THOMAS, 2011). Sugerem-se ainda estratégias de conservação que priorizem a proteção e conectividade de paisagens climaticamente heterogêneas, seja a partir da expansão das reservas existentes ou da criação de novos corredores que facilitem o movimento em resposta às mudanças climáticas (ACKERLY et al., 2010). Em áreas com altas velocidades de recuo é indicada a intervenção por meio de migração assistida, seja no contexto de conservação de espécies com distribuições restritas ou em larga escala, como movimento de populações de espécies

amplamente distribuídas em operações regulares de reflorestamento (PEDLAR et al., 2012). Também são indicadas ações focadas no monitoramento de espécies exóticas invasoras que podem ocupar nichos vazios (BRITO-MORALES et al., 2018).

O êxito da conservação da biodiversidade no século XXI exigirá um esquema eficaz para avaliar a vulnerabilidade das PAs. Apesar das limitações metodológicas próprias de análises baseadas em métricas de mudanças climáticas (LENOIR; SVENNING, 2015), é urgente o refinamento das informações acerca do efeito das mudanças globais sobre a biota na faixa tropical, com destaque para as mudanças de distribuição das espécies. Com o aporte fornecido aqui espera-se melhorar ainda mais nossas habilidades para identificar as diferentes necessidades de manejo adaptativo das PAs frente às mudanças climáticas, fornecendo aos tomadores de decisão dados mais personalizados para a conservação da biodiversidade na Amazônia.

2.6 Conclusão

Os efeitos da velocidade de recuo serão maiores em magnitude considerando a mediana em todo o bioma Amazônia. Este padrão marcante da velocidade de recuo ocorre tanto para condições climáticas com análogos futuros como sem análogos futuros, com destaque para uma grande extensão de não-análogos no centro da Amazônia. Isto indica que altas temperaturas e mudanças na precipitação ultrapassarão a variabilidade histórica que ocorre no bioma, podendo acarretar efeitos nas funções e serviços ecossistêmicos das florestas de várzeas. Apesar disso, a rede de Áreas Protegidas será menos exposta aos impactos da velocidade de recuo que áreas não protegidas – enfatizando a importância destas áreas como ferramenta na conservação. Em contraste, para os impactos relativos à velocidade de avanço, a rede de PAs será ligeiramente mais exposta que áreas não protegidas – indicando que a disposição espacial atual da rede de PAs ainda não é a mais indicada para minimizar os impactos da redistribuição climática. Além disso, em ambas as velocidades, os impactos potenciais serão maiores em ITs do que em PNAs. Contudo, a exposição em PNAs também deve ser enfatizada uma vez que a extensão de não-análogos é maior nesta classe. Portanto, apesar do importante papel das PAs na contenção de mudanças de uso da terra, elas não estão imunes aos efeitos das mudanças climáticas e novas estratégias de manejo, específicas para cada área e que permitam a adaptação às mudanças globais, serão necessárias.

CAPÍTULO 3 DESMATAMENTO ESTÁ RESTRINGINDO REFÚGIOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA

Resumo

Refúgios climáticos são algumas das áreas mais importantes para conservação por representarem as últimas oportunidades de sobrevivência para muitas espécies em um contexto de mudanças climáticas. O avanço do desmatamento, além de comprometer a manutenção da biodiversidade e de seus serviços ecossistêmicos, pode esgotar as poucas áreas que serviriam como habitats adequados para espécies em um futuro próximo. Na Amazônia, uma combinação de rápidas taxas de mudanças climáticas, extenso desmatamento e baixos níveis de tolerância climática, fazem com que a maior esperança para evitar a perda de biodiversidade seja a migração de espécies para habitats florestais com climas favoráveis. Neste capítulo identificou-se a distribuição espacial dos macrorrefúgios climáticos do bioma Amazônia e quantificou-se sua alteração pelo desmatamento entre 2000 e 2012. Refúgios foram identificados a partir das menores velocidades climáticas baseadas na distância aos climas análogos, que permite identificar refúgios In Situ e Ex Situ. Encontrou-se que os macrorrefúgios ocupam apenas 7 % da Amazônia e estão distribuídos nas bordas do limite biogeográfico. Aproximadamente 70 % são refúgios In Situ e os outros ~43% são refúgios Ex Situ, sendo 14% áreas com sobreposições entre as classes. Mais da metade dos refúgios climáticos estão dentro de Áreas Protegidas (69 %), mas eles não cobrem todas as ecorregiões, sendo as maiores extensões no escudo das Guianas e Yungas bolivianas. Em 12 anos, o desmatamento causou uma perda de 5,6% dos refúgios climáticos In Situ, ao mesmo tempo que o crescimento de florestas secundárias causou um ganho de 4 % e 0,4 % em refúgios prioritários e Ex situ, respectivamente. Diante deste cenário, é preciso limitar ainda mais a perda de florestas e focar a agenda de conservação da Amazônia para a proteção de refúgios climáticos como prioridades para melhorar a adaptação da biota das florestas às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Macrorrefúgios; VoCC; Desmatamento; Mudanças climáticas; Climas Análogos

3.1 Introdução

Entre as multifacetadas respostas da biodiversidade às mudanças climáticas, a redistribuição espacial é uma das oportunidades mais aguardadas para a sobrevivência de espécies na Amazônia. Isto porque as espécies tropicais possuem nichos termais estreitos, tornando-as menos capazes de se aclimatar ou adaptar (mas ver, BARROS et al., 2019), provavelmente pela evolução sob regimes climáticos estáveis (PEREZ; STROUD; FEELEY, 2016). Evidências na escala regional (FEELEY et

al., 2011) e continental (FEELEY et al., 2012) sugerem que muitas espécies de plantas tropicais já estão mudando suas distribuições geográficas potencialmente em resposta a mudanças no clima. Entretanto, ao mesmo tempo, a bacia amazônica está classificada entre as regiões globais com maiores velocidades climáticas e mais longas distâncias à climas análogos (CARROLL et al., 2015; WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007a), indicando uma grande ameaça para a sobrevivência de espécies incapazes de acompanhar o ritmo das mudanças do clima (FEELEY et al., 2012). Diante disso, a identificação e proteção de áreas climaticamente adequadas para espécies no futuro representa uma ferramenta imprescindível no planejamento da conservação das florestas da Amazônia no século XXI.

Porém, além da disponibilidade futura de climas adequados, o potencial de uma espécie florestal de mudar sua distribuição espacial em resposta às mudanças climáticas depende também da conservação da cobertura de dossel florestal das áreas análogas e da conectividade entre elas e a distribuição atual da espécie (SENIOR; HILL; EDWARDS, 2019). Mudanças de uso e cobertura da terra constituem uma das maiores ameaça para a biodiversidade na Amazônia (LOVEJOY; NOBRE, 2018) e a fragmentação da paisagem é capaz de reduzir substancialmente a velocidade dos movimentos de espécies de planta (CORLETT; WESTCOTT, 2013). Por conta disso, métodos que encontrem climas análogos no futuro (HAMANN et al., 2015; WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007a) e que busquem trajetos que evitem barreiras antrópicas (GARCIA-MOLINOS et al., 2017) ou de menor custo climático (DOBROWSKI; PARKS, 2016) têm sido incorporados nos estudos de priorização de áreas protegidas. Em geral, tais métodos são aplicados individualmente, sendo poucos estudos que os integraram (LAWLER et al., 2013; LITTLEFIELD et al., 2017; MCGUIRE et al., 2016; SENIOR; HILL; EDWARDS, 2019) e, desses, nenhum identificou refúgios climáticos com foco no ecossistema amazônico, nem considerou como a área de refúgios mudaram ao longo do tempo em função do desmatamento.

Refúgios climáticos são áreas-chave para a conservação da biodiversidade uma vez que fornecem o único habitat onde elementos da biota podem se retrair, persistir ou potencialmente se expandir sob mudanças nas condições ambientais (KEPPEL; WARDELL-JOHNSON, 2012; MICHALAK et al., 2018). Estes podem ser identificados a partir de diferentes métodos e escalas, a depender dos interesses aplicados de conservação (CARROLL et al., 2017b). A Amazônia é um ecossistema megadiverso e com lacunas de informações sobre a distribuição das espécies, fazendo com que a priorização de áreas destinadas à proteção deste bioma seja um desafio para os tomadores de decisão e para a comunidade científica (JOPPA, 2008; VIEIRA et al., 2008; ALBERNAZ et al., 2014). Neste contexto, a escala espacial de macrorrefúgios - definidos por mesoclimas (1-10 km²) - pode direcionar ações de conservação de uma vasta e diversa fração da biota. A métrica de velocidades climáticas (VoCC) - taxas (km/ano) nas quais os organismos teriam que se mover para

manter as condições climáticas consistentes sob mudanças do clima (HAMANN et al., 2015) – oferece uma oportunidade metodológica de utilizar apenas dados climáticos para medir a exposição às mudanças climáticas. Além disso, macrorrefúgios calculados com VoCC podem indicar duas oportunidades de conservação, a depender do método de mensuração: 1) identificando áreas de onde os organismos devem emigrar com menores velocidade para rastrear um local com condições climáticas semelhantes no futuro – classificadas como Refúgios *In Situ*; e 2) identificando áreas para onde os organismos devem imigrar com menores velocidades a partir de áreas circundantes – classificadas como Refúgios *Ex Situ*.

Neste capítulo, pergunta-se: 1) como estão distribuídos os macrorrefúgios climáticos dentro da floresta amazônica?; e 2) Como as mudanças de uso e cobertura da terra tem afetado a distribuição dos refúgios? Para responder a estas questões foi utilizada a métrica de velocidades baseado em climas análogos com o método de busca *least-cost path* nas direções de avanço (refúgios *In Situ*) e de recuo (refúgios *Ex Situ*). A busca por climas análogos foi restringida às áreas com florestas em 2000 e 2012, e a extensão dos refúgios - bem como a distância média até eles - foi comparada em cada um dos anos a fim de quantificar o efeito das mudanças de cobertura da terra. Por fim, analisou-se também a porcentagem de conservação destas áreas e a distribuição delas entre as ecorregiões do bioma Amazônia.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Delimitação da cobertura do dossel florestal

A cobertura do dossel florestal do bioma Amazônia foi delimitada a partir do limite biogeográfico definido pela Rede Amazônica de Informação Socioambiental (RAISG) sobre a base de dados de Hansen et al. (2013). Os dados originais na escala 30 x 30 m foram reamostrados para a escala de 10 x 10 km. Foram recortadas duas máscaras: uma com a cobertura do dossel florestal do ano 2000 e outra com a cobertura do dossel florestal do ano 2012 – sendo que esta última considera os ganhos e perdas no intervalo entre as duas. Em ambas foram filtradas somente as áreas com > 50% de dossel florestal, consideradas como áreas naturais Hansen et al. (2013) (Figura Suplementar 3.1).

3.2.2 Dados climáticos

Utilizou-se a base de dados WorldClim, um repositório gerado a partir de dados climáticos mensais interpolados espacialmente para áreas terrestres globais em uma resolução espacial alta (aproximadamente 1x1 km) (FICK; HIJMANS, 2017). Aplicou-se uma reamostragem na escala de 10x10 km - escala capaz de captar fatores que vão desde padrões de circulação continental em larga

escala até a variabilidade local do terreno e indicada para aplicação da métrica de velocidade climática pois infere com maior acurácia sobre a distribuição espacial dos organismos vivos (CARROLL et al., 2017b; STRALBERG et al., 2018).

As variáveis bioclimáticas média de temperatura anual (Bio1) e precipitação anual (Bio12) foram selecionadas (Figura Suplementar 3.2). Condições climáticas atuais são representadas pelos valores médios registrados no período de 1970–2000 (FICK; HIJMANS, 2017). Dados climáticos futuros foram representados por um ensemble de 5 GCMs (Tabela suplementar S2.1), todos retirados do World Climate Research Program Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) e selecionadas para o período de 2041-2060, sob um cenário de concentração de combustíveis fósseis “*middle of the road*” (SSP245). Este cenário tem o potencial de refletir uma extensão das experiências históricas, descrevendo um aumento constante das emissões ao longo do século XXI, ao mesmo tempo que limita a temperatura média global a menos de 2 graus Celsius (EYRING et al., 2016; FRICKO et al., 2017). Todos os cálculos das velocidades climáticas foram realizados em R (R CORE TEAM, 2021) e as análises espaciais através de softwares de geoprocessamento.

3.2.3 Refúgios climáticos

Refúgios climáticos foram definidos a partir das velocidades baseadas em climas análogos com o método de busca *least-cost path*, desenvolvido em García Molinos et al. (2019). A velocidade baseada em análogos calcula o deslocamento espacial das condições climáticas ao longo do tempo (HAMANN et al., 2015). Como é baseada na distância aos climas análogos, quanto maior esta distância, maior será a exposição de uma célula às mudanças climáticas. O método de busca *least-cost path* encontra trajetórias de menor custo com base na variabilidade climática do período histórico de base (1970-2000). O clima análogo específico para cada célula foi definido como a média climática (bio 1 e bio 12) mais o conjunto de valores contemplados pelo desvio padrão da variabilidade histórica mensal da temperatura média e da precipitação total anual de cada célula (1970-2000). Como utilizou-se duas variáveis climáticas, bio1 e bio12, foram mensuradas as distâncias aos climas análogos em cada uma e calculada a média entre elas. Quando os valores da variabilidade histórica mensal de uma das variáveis climáticas não são encontrados, a célula é considerada não-análoga.

A busca por análogos pode ser medida por dois tipos de velocidades: de avanço – distância dos climas presentes até seus análogos no futuro - e de recuo – distância dos climas futuros até seus análogos no presente. Cada uma das métricas determina implicações ecológicas diferentes e, a partir delas, é possível definir diferentes tipos de refúgios climáticos. Áreas com mais baixas velocidades de avanço implicam que espécies adaptadas ao seu nicho climático necessitarão se deslocar com

baixas velocidades para acompanhar o ritmo das mudanças climáticas. Tal condição torna estas áreas refúgios climáticos *In Situ*. Por outro lado, áreas com mais baixas velocidades de recuo implicam que as condições climáticas do futuro de uma determinada célula serão adequadas para espécies localizadas em células próximas, tornando menores as velocidades necessárias para as espécies migrantes acompanharem o ritmo das mudanças climáticas. Esta condição torna estas áreas refúgios climáticos *Ex Situ*. Classificou-se como macrorrefúgios climáticos as células com o percentil mínimo 5 de velocidades de avanço e de recuo. O limite de percentil 5 foi utilizado anteriormente em abordagens de refúgios climáticos em regiões temperadas (HAIGHT; HAMMILL, 2019) e apresentou valores condizentes com a taxa de migração média de espécies na maioria dos ecossistemas e grupos taxonômicos estudados até o momento (<2 km/ano) (CHEN et al., 2011). Para o limite biogeográfico da Amazônia, o percentil 5 do gradiente de velocidades de avanço e de recuo foi de 0,6 km/ano. Células classificadas como refúgios em ambas as métricas foram classificadas como refúgios prioritários e células com velocidades acima do percentil 5 e células sem análogos climáticos nas duas velocidades e nos dois cenários anuais não foram consideradas.

3.2.4 Análise de dados

Primeiro, foram calculadas as extensões espaciais dos refúgios *In Situ*, *Ex Situ* e Prioritários nos anos 2000 e 2012. Em seguida, calculou-se a diferença entre estas áreas para medir o impacto das mudanças de cobertura da terra sobre a área dos refúgios. Quantificou-se também a extensão espacial de Áreas Protegidas dentro dos refúgios climáticos em cada um dos anos e a extensão espacial dos refúgios em cada ecorregião. Calculou-se também as velocidades médias para o limite de percentil 5 e comparou-se como os valores mudaram em função das mudanças de cobertura do dossel florestal. Todos os valores de área (em km²) e os percentuais foram tabelados (Tabela 3.1). O ano de 2012 foi utilizado como base para descrição da distribuição dos refúgios por ser o ano mais recente com acurácia de informações sobre as perdas e ganhos de cobertura do dossel florestal (HANSEN et al., 2013).

3.3 Resultados

Os macrorrefúgios climáticos estão distribuídos ao longo de 460.549, 75 km², ocupando 7,8 % das áreas com cobertura de dossel florestal. Cerca de 70 % dessa área é constituída de refúgios climáticos *In Situ* e os outros 43 % em refúgios climáticos *Ex Situ*, sendo 14 % da área total constituída por sobreposição entre as classes (Tabela 3.1). Cerca de 69 % dos refúgios climáticos estão dentro de PAs, onde 41 % são Refúgios *Ex Situ* e 64 % Refúgios *In Situ*. Das 53 ecorregiões

do bioma Amazônia, 14 não possuem áreas classificadas como macrorrefúgios climáticos. A ecorregião com maior extensão de área classificada como refúgios foi a Bolivian Yungas para refúgios Ex Situ e In Situ, seguida das ecorregiões das guianas (Tabela suplementar S3.2).

Tabela 3.1 - Comparação das extensões espaciais (km²) e da porcentagem correspondente das classes de refúgios climáticos entre 2000 e 2012.

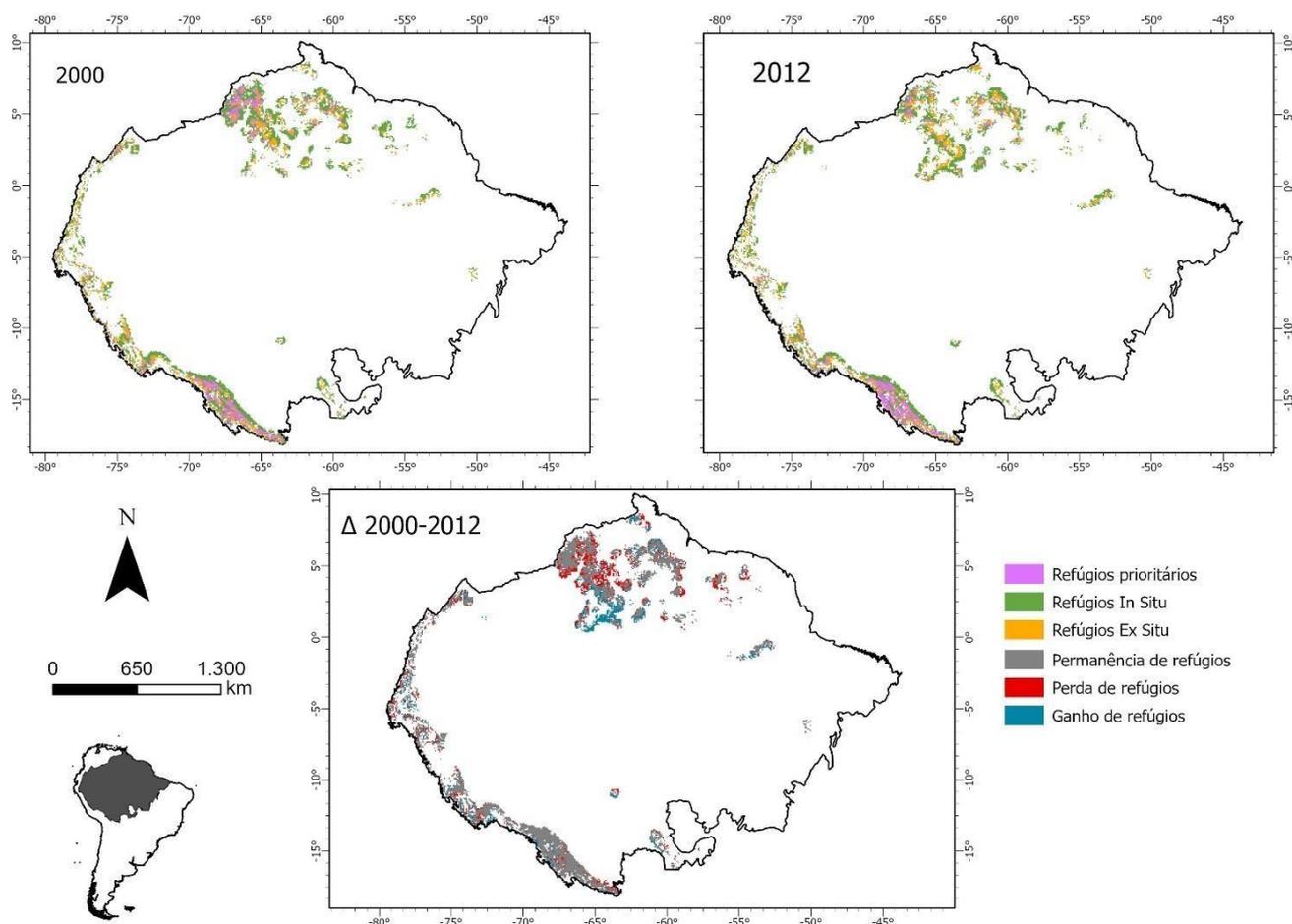
Tipos de Refúgios	2000	2012	Δ 2000-2012
<i>Refúgio Total (km²)</i>	479.507,90	460.549,75	18.958,15
<i>% Refúgio</i>	7,8	7,8	-3,9
<i>Refúgio In Situ (km²)</i>	351.748,80	324.876,90	26.871,90
<i>% In Situ</i>	73,3	70,5	-5,6
<i>Refúgio Ex Situ (km²)</i>	199.731,90	201.962,30	2.230,40
<i>% Ex Situ</i>	41,6	43,8	0,4
<i>Prioritário (km²)</i>	46.315,70	66.290,20	19.974,50
<i>% Prioritário</i>	9,6	14,3	4,1

Entre 2000 e 2012 os macrorrefúgios climáticos In situ e Ex Situ da Amazônia tiveram trajetórias contrárias. Refúgios In Situ tiveram sua área restringida em 26.871,90 km², perda correspondente a 5,6 % da área de cobertura de dossel florestal disponível para refúgios. Por outro lado, refúgios Ex Situ tiveram sua área aumentada em 2.230,40 km² e refúgios prioritários em 19.974,50 km², ganhos correspondentes a 5 % da área de cobertura de dossel disponível para refúgios em 2000. A ecorregião que mais perdeu Refúgios In Situ em extensão areal foi a Guianan Highlands moist forests (~ 12.517 km²) e a que mais perdeu Refúgios Ex Situ foi a Pantepui forests & shrublands (~ 8.885 km²). Porém, se considerarmos a proporção à área total das ecorregiões em 2000, a ecorregião que mais perdeu áreas de refúgio In Situ foi a Cordillera Central Páramo (~ 60 %) e a que mais perdeu refúgio Ex Situ foi a Northwest Andean montane forests (100 %).

Como a base de dados de cobertura da terra também quantifica os ganhos de cobertura de dossel florestal (HANSEN et al., 2013), registrou-se o ganho total de 25.917,90 km², correspondente a 5 % da área de cobertura de dossel florestal disponível para refúgios em 2000. Uma ecorregião que não possuía refúgios climáticos em 2000, passou a ter em 2012: a Purus Várzea (ver Tabela suplementar S3.1). A ecorregião que mais ganhou Refúgios In Situ em extensão foi a Negro-Branco moist forests (~ 3.496 km²) e a que mais ganhou Refúgios Ex Situ foi a Bolivian

Yungas (~ 3.789 km²). Se considerarmos a proporção à área total das ecorregiões em 2000, a ecorregião que mais ganhou áreas de refúgio In Situ foi a Northern Andean Páramo (~ 935 %), e a que mais ganhou refúgios Ex Situ foi a Maranhão Dry Forests (~ 493 %).

Figura 3.1 - Distribuição espacial dos refúgios climáticos em 2000 (a) e 2012 (b); Distribuição dos ganhos e perdas de área de refúgios climáticos entre 2000-2012 com base na cobertura de dossel florestal (c).



3.4 Discussão

3.4.1 Refúgios Climáticos na Amazônia

Usando um modelo de macrorrefúgios utilizando a velocidade baseada em análogos a partir da temperatura e precipitação, nossos resultados indicaram que até 2050 potencialmente 7 % da Amazônia representará áreas climaticamente adequadas e de fácil migração para as espécies. As áreas restantes apresentarão áreas não análogas ao clima do presente ou muito distantes para que as espécies consigam migrar. Os macrorrefúgios climáticos estão espacialmente distribuídos nas bordas da bacia Amazônica, em maior proporção nas bordas oeste, junto à encosta andina, e na borda norte, no escudo das guianas (Figura 3.1-b). A borda sudeste é a que possui menor extensão de refúgios climáticos em

florestas. O centro da Amazônia apresenta uma grande extensão espacial ausente de refúgios climáticos. Esta região, composta principalmente por florestas de várzea, é constituída por células onde condições climáticas atuais estarão muito distantes dos análogos futuros ou condições climáticas futuras irão escapar à variabilidade histórica.

Estes resultados concordam com evidências observadas por FEELEY (2012) que, usando dados de coleta de herbários, demonstrou que a maioria das espécies de plantas amazônicas que exibem movimentos de extensão estão perdendo habitats mais rápido em porções mais quentes e de baixa elevação de suas distribuições geográficas e compensando isso com a migração para novas áreas em altitudes mais elevadas. A mesma tendência é evidenciada em dados de experimentos de campo (FEELEY et al., 2011b), com os quais identificou-se aumento na abundância relativa de táxons de várzea na encosta oriental dos Andes peruanos. Ambos os estudos apontam que a falta de um gradiente latitudinal dentro dos trópicos, faz com que espécies equatoriais precisem mudar suas distribuições para maiores altitudes (FEELEY; REHM; MACHOVINA, 2012). Nesse sentido, um dos maiores obstáculos para a migração das espécies, no ritmo intenso com que mudanças climáticas estão ocorrendo nos trópicos, será o baixo gradiente de elevação na Amazônia, que torna estas distâncias muito longas em alguns locais (LOARIE et al., 2009). Tal condição é representada explicitamente neste modelo pelo padrão de refúgios climáticos nas bordas do limite do bioma e extensa ausência de refúgios no centro da Amazônia.

Vale notar que em ambas as evidências observadas (FEELEY et al., 2011b; FEELEY, 2012), elevações médias das espécies de plantas amazônicas estão acontecendo em uma velocidade menor do que mudanças simultâneas de temperatura (FEELEY; REHM; MACHOVINA, 2012). Tal condição contrasta com estudos em regiões temperadas que sugerem que espécies de planícies são mais propensas a ter maiores faixas geográficas, potencialmente em resposta a altos índices históricos de velocidades climáticas, enquanto o oposto é verdadeiro em regiões topograficamente complexas (OHLEMÜLLER et al., 2008; SANDEL et al., 2011). Para espécies amazônicas permanece desconhecido se serão capazes de migrar rápido o suficiente para acompanhar as mudanças climáticas atuais e futuras (SANDEL et al., 2011).

Ao comparar nossos resultados com outras projeções percebe-se concordância dos valores, apesar de diferentes fontes de dados e métodos de busca por análogos. Feeley e Rehm (2012) mensurou - também utilizando precipitação e temperatura - que 53 % das células possuíam análogos em 2050 que podem ser alcançados com velocidades 2 km/ano. Os resultados de nosso modelo indicam que 8 % das células possuem análogos que podem ser alcançados com velocidades de até 0,6 km/ano (percentil 5 de velocidades). Um teste foi feito utilizando o percentil 50 de velocidades, limitando a busca por análogos em células com até 3 km/ano, e para estas até 51 % das áreas possuem análogos climáticos (Figura suplementar 3.3). Além de diferentes métodos de busca análogos e da

utilização de diferentes gerações de GCMs (modelos do CMIP6, utilizados aqui, apresentam valores médios mais elevados) – nosso modelo acrescenta o cálculo das velocidades de recuo, que representam implicações ecológicas únicas (HAMANN et al., 2015), tais como o potencial isolamento de uma área como habitat adequado para espécies e o surgimento de climas que escapam à variabilidade histórica do presente em todo o bioma, nomeados novos climas.

A localização dos refúgios climáticos nas bordas do limite biogeográfico da Amazônia acarreta desafios particulares para sua conservação a depender da localização geográfica. A borda sudeste é a região de maiores níveis históricos de desmatamento, conformando uma fronteira de expansão agrícola. Refúgios climáticos nesta área, portanto, estão duplamente ameaçados: pelo maior nível de fragmentação de habitats e pelos menores extensões de refúgios climáticos (AGUIAR et al., 2016). A borda oeste compreende a encosta andina, e uma expansão de áreas protegidas nessa área será desafiada por micro-endemias geograficamente isoladas e padrões endêmicos variados entre táxons, além do aumento do desmatamento de menor escala (SWENSON et al., 2012).

Em relação aos tipos de refúgios, que por sua vez indicam as habilidades necessárias para espécies sobreviverem, identificou-se dois terços da área de refúgios da Amazônia como refúgios *In Situ* e um terço refúgios *Ex Situ*, sendo que 14 % das áreas possuem sobreposição de ambas as classes. Refúgios *In Situ* são caracterizados por condições climáticas relativamente constantes que facilitam a persistência das espécies (KEPPEL; WARDELL-JOHNSON, 2012). Portanto são áreas essenciais para espécies de baixa capacidade dispersiva (ASHCROFT, 2010; CARROLL et al., 2015) e indiscutivelmente de alta prioridade para a conservação dado seu potencial em reter populações (MICHALAK et al., 2018). Enquanto isso, refúgios *Ex Situ* são áreas que irão servir como florestas de climas adequados para muitas espécies no futuro. Portanto, são ideias para espécies incapazes de ocupar continuamente sua distribuição atual.

A maior proporção de refúgios *In Situ* e refúgios Prioritários, em comparação com refúgios apenas *Ex Situ*, indica que a maior parte dos habitats adequados no futuro serão em áreas com condições climáticas cada vez mais raras e que, ao mesmo tempo, permanecerão dentro dos limites da variabilidade histórica das células circundantes. Devido a isso, é possível inferir uma intensa mudança composicional nas comunidades destas áreas, seja por interações de competição, ou por incompatibilidades fenológicas entre espécies de flora e fauna (PARMESAN, 2006). Interações de competição causadas pela redistribuição da biodiversidade são pouco consideradas em avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade, porém modelos indicam que elas podem diminuir a riqueza de espécies e produzir as chamadas comunidades "não análogas", definidas como uma nova combinação de espécies que atualmente não co-ocorrem. Tais impactos podem ser maiores quando espécies possuem nichos estreitos, as taxas médias de dispersão em toda a comunidade são baixas e quando as espécies diferem nas habilidades de dispersão – como é o caso de espécies

tropicais (URBAN et al., 2012). Entretanto, ressalta-se que projeções de mudanças distributivas de espécies sob as mudanças climáticas baseadas em modelos do tipo envelope climático (WIENS et al., 2009) não são projetadas para incorporar explicitamente as interações entre as espécies e carecem de investigações sobre este efeito à nível de bioma na Amazônia.

3.4.2 Proteção dos refúgios

A identificação de refúgios é uma etapa chave na produção de dados que informem melhor a tomada de decisão baseada nos inequívocos impactos das mudanças climáticas (JONES et al., 2016; RESIDE et al., 2018). Nesse sentido, o primeiro passo para uma priorização de áreas protegidas que lide com os impactos das mudanças climáticas deve ser avaliar o quão bem as áreas atuais já alcançam esse propósito (HAIGHT; HAMMILL, 2019). Nosso modelo mostra que uma proporção substancial de mais da metade dos refúgios climáticos está protegida pela configuração atual da rede de áreas protegidas do bioma Amazônia. Esta descoberta indica que muitas PAs da região - assim como de outras latitudes (MICHALAK et al., 2018) - têm um papel importante a desempenhar na conservação de espécies adaptadas a condições climáticas cada vez mais raras. Entretanto, a outra metade dos refúgios da Amazônia existem fora da rede atual de PAs. Espera-se, portanto, que a identificação destas áreas possa levar a reavaliações de sua conservação e, assim, evite o avanço das mudanças de uso e cobertura da terra sobre elas.

Uma segunda análise comparativa dos refúgios climáticos foi feita entre as classes de ecorregiões no bioma Amazônia. Ecorregiões são unidades contendo um conjunto distinto de comunidades e espécies naturais definidas com base no conhecimento biogeográfico existente (OLSON et al., 2001). Assim, são úteis para o planejamento da conservação em escalas regionais. Em nosso modelo, a maior parte das ecorregiões estão cobertas em algum nível por refúgios, apesar de que 14 das 53 ecorregiões não possuem refúgios. As ecorregiões com maiores extensões de refúgios climáticos estão distribuídas nas Yungas bolivianas e no escudo das guianas – esta última uma das áreas mais prístinas da Amazônia (GOMES et al., 2019) e com uma composição de espécies de flora única (TER STEEGE et al., 2000). Contudo, apesar do potencial do escudo das Guianas para refúgios climáticos, a baixa abundância de espécies no holoceno médio e final (GOMES et al., 2020), pode indicar que outros fatores podem interferir na ocupação desta área como habitat adequado (ver ter STEEGE et al., 2003).

3.4.3 Desmatamento em refúgios climáticos

Entre 2000 e 2012 foram perdidos aproximadamente 4 % da área de refúgios climáticos das florestas na Amazônia. Este intervalo de 12 anos foi um período de intensas mudanças na dinâmica

de desmatamento. Durante os primeiros anos do século, apenas na Amazônia brasileira, o desmatamento atingiu suas maiores taxas históricas, com o pico de 27.772 km² / ano em 2004 e, já em 2012, o desmatamento diminuiu para sua menor taxa das últimas duas décadas, 4.571 km²/ano (INPE, 2021). Também no intervalo entre 2000-2012 a distribuição espacial de perda da floresta mudou: o padrão de arco do sul da Amazônia brasileira deu lugar à pontos críticos no Peru e Bolívia; ao mesmo tempo que o padrão de novas clareiras florestais grandes (> 50 ha) diminuiu significativamente, dando lugar ao padrão de novas clareiras pequenas (<1 ha) (KALAMANDEEN et al., 2018). Apesar de não entrarem no escopo deste estudo os dados a partir de 2012, vale notar que após os anos de tendência de queda, o desmatamento na Amazônia volta a aumentar a partir de 2015, chegando a atingir em 2018 níveis semelhantes ao pico de desmatamento histórico (RAISG, 2020). Os resultados indicam ainda que a borda com menores extensões de refúgios é a borda sudeste e isto concorda com o histórico desta região como ponto crítico do desmatamento (AGUIAR et al., 2016). Ao mesmo tempo, a mudança de pontos críticos para áreas no Peru e Bolívia preocupa pela grande quantidade de refúgios climáticos identificados nas encostas andinas destes países.

Além da perda de refúgios, como os dados de alta resolução espacial (30 metros, degradados para 10km) utilizados neste modelo são capazes de capturar toda a dinâmica da cobertura de dossel florestal – foram identificadas também áreas com ganhos de refúgios climáticos. Aproximadamente 0,4 % das células experienciaram ganhos de refúgios. A ecorregião que mais ganhou Refúgios *In Situ* em extensão foi a Negro-Branco moist forests (~ 3.496 km²) e a que mais ganhou Refúgios *Ex Situ* foi a Bolivian Yungas (~ 3.789 km²). Porém, se compararmos a proporção de área em 2012 à área total das ecorregiões em 2000, a ecorregião que mais ganhou áreas de refúgio *In Situ* foi a Northern Andean Páramo (~ 935 %), e a que mais ganhou refúgios *Ex Situ* foi a Maranhão Dry Forests (~ 493 %). Tal acréscimo em termos percentuais pode ser reflexo da metodologia de identificação de dossel florestal que é sensível à queimadas e pode assim resultar em grandes variações anuais (HANSEN et al., 2013). As florestas secundárias representam um importante papel no planejamento da conservação e política ambiental na Amazônia (WANG et al., 2020) e estudos sobre sua influência no movimento das espécies podem aprofundar métricas de potencial redistribuição da biodiversidade (CHAZDON et al., 2009). Neste modelo também não foi levada em conta a qualidade da floresta – apenas considerou-se as células com cobertura de dossel florestal maior que 50 % (HANSEN et al., 2013). Mas vale notar que, apesar de menos estudados, os distúrbios causados pela degradação florestal excedem as taxas de desmatamento na Amazônia brasileira em extensão espacial (MATRICARDI et al., 2020).

O desmatamento entre 2000-2012 causou não somente perda de área dos macrorrefúgios, mas também o aumento da distância média que espécies irão percorrer para atingir os refúgios climáticos *Ex Situ*. A fragmentação da paisagem é capaz de servir como barreira para a migração das espécies,

reduzindo a velocidade real dos movimentos de espécies de planta (CORLETT; WESTCOTT, 2013) e limitando a capacidade das espécies de rastrear climas adequados conforme eles mudam rapidamente (MCGUIRE et al., 2016). Os resultados indicam, dessa forma, que o desmatamento em áreas adjacentes aos refúgios está limitando ainda mais a capacidade das espécies de migrarem para estes locais e fazendo com que seja necessário o deslocamento com velocidades anuais maiores.

Por fim, é bastante constatado que a perda indiscriminada de florestas tropicais por desmatamento significa também a perda de biodiversidade (BARLOW et al., 2016; GIBSON et al., 2011), serviços ecossistêmicos (NOBRE et al., 2016) e reservas de carbono terrestre (AGUIAR et al., 2016). Quando combinados, o desmatamento e as mudanças climáticas podem causar um grande declínio na riqueza de espécies de árvores da Amazônia, suprimindo mais da metade da área original ambientalmente adequada das espécies (GOMES et al., 2019). O modelo aqui desenvolvido mostra que quando esta supressão de florestas tropicais ocorre em uma área potencialmente adequada como habitat para espécies no futuro, perde-se ainda uma das poucas possibilidades das espécies se adaptarem às mudanças climáticas. Além disso, mesmo se a mudança no uso e cobertura da terra não ocorre em áreas de refúgios, mas em adjacências, há o potencial de limitar as trajetórias de migrações.

3.4.4 Limites do método

Um dos maiores desafios da modelagem atual é prever a potencial redistribuição das espécies levando em conta diferentes fatores climáticos, não apenas a temperatura, e combiná-los com fatores que interferem na conectividade entre os climas análogos, como a fragmentação dos habitats. Em busca de maior relevância ecológica, utilizou-se aqui uma definição de análogos a partir de uma análise multivariada (Temperatura média anual e Precipitação anual) e aplicou-se um método de busca capaz de traçar rotas com menor custo climático sobre uma camada de cobertura de dossel florestal que exclui áreas desmatadas. Entretanto, além do clima e das mudanças de uso e cobertura da terra, muitos outros fatores não considerados podem influenciar a condição de habitat adequado para espécies. Por exemplo, as distribuições de muitas espécies tropicais são determinadas principalmente pelo tipo de solo e outros fatores ambientais não climáticos (CARVALHO; MUSTIN, 2017; PHILLIPS et al., 2003). Isto significa que as projeções de disponibilidade de habitat adequado no futuro para espécies da Amazônia provavelmente ainda são conservadoras em relação à redução real que poderá acontecer (IBÁÑEZ et al., 2006).

Neste modelo a definição de refúgios baseou-se nos 5 % menores valores de velocidades das mudanças climáticas distribuídas no bioma Amazônia, que corresponde à velocidade de 0,6 km/ano para as velocidades de avanço e de recuo. Esta escolha seguiu o método de Haight e Hammill (2019) para definição de refúgios e impactou os padrão espacial do modelo. Uma maior abrangência

de valores para definição de refúgios resultaria proporcionalmente em uma maior extensão de áreas. Por exemplo, uma definição de refúgios como células com valores de velocidades climáticas 50 % menores, corresponderia à velocidades de até 3km/ano e estenderia os refúgios para até 51% do bioma Amazônia (Figura Suplementar 3.3).

No modelo desenvolvido os resultados são limitados pela resolução de 10 km, com base nos dados de entrada do clima. Esta escala permite identificar os macrorrefúgios, que constituem um índice de potencial adequabilidade de habitats em uma abordagem de conservação mais ampla (CARROLL et al., 2017b). No entanto, macrorrefúgios não devem ser considerados isoladamente na priorização de áreas para conservação e para avaliar refúgios de espécies individuais, ou planejar a conservação em escala regional, modelos em escala mais fina podem ser mais informativos (CARROLL et al., 2017b; STRALBERG et al., 2018). É importante notar também que os macrorrefúgios climáticos aqui identificados representam apenas um tipo de refúgio e que outros tipos também são importantes. Isso inclui áreas mais resistentes à extremos climáticos (MORELLI et al., 2016), refúgios em redes de drenagem para espécies aquáticas (TROIA et al., 2019) e refúgios à distúrbios específicos como incêndios florestais, secas ou surtos de insetos (KRAWCHUK et al., 2020). É possível ainda classificar os refúgios com base na trajetória climática ao longo da paisagem e no tempo de permanência das espécies nestas áreas, diferenciado assim refúgios, *stepping stones* e *holdouts* (HANNAH et al., 2014).

Outra maneira de aumentar a relevância ecológica dos modelos de potencial redistribuição das espécies é investigar mais profundamente os processos ecológicos que determinam outras consequências das mudanças climáticas sobre a biodiversidade. Em face de tais mudanças, espécies deverão ser capazes de se aclimatar por plasticidade fenotípica, adaptar por mudanças fisiológicas ao longo de gerações ou migrar para manter seu nicho climático, e apenas falhando em todas estas possibilidades, as espécies podem ser extintas (FEELEY; REHM; MACHOVINA, 2012). A métrica VoCC é comumente utilizada para inferir implicações ecológicas no eixo espacial, assim não foram incluídas neste modelo e nem serão discutidas as respostas fenológicas e fisiológicas das espécies (BELLARD et al., 2012).

A compreensão das respostas ecológicas no eixo espacial tem como premissa a abordagem de envelopes climáticos, isto é: de que as espécies estão atualmente em equilíbrio com o clima e, em face das mudanças climáticas, irão rastrear seus nichos climáticos ao longo da paisagem (WIENS et al., 2009). Entretanto, a realidade é que uma espécie pode ser capaz de tolerar uma gama de condições climáticas mais ampla do que seu nicho climático atual – isto quando não há outros fatores como predação ou competição (HILLERISLAMBERS et al., 2013). Portanto, para explorar as possibilidades de algumas espécies persistirem através de migração – ou de outras respostas ecológicas individuais e combinadas – sugere-se a inclusão de atributos funcionais que indiquem

capacidades dispersivas e tolerâncias climáticas. Por exemplo, estudos recentes indicam que determinados atributos funcionais de tolerância à seca e ao calor determinam a sobrevivência das árvores amazônicas (BARROS et al., 2019; TIWARI et al., 2020).

A Amazônia é uma área chave para investigação do movimento potencial das espécies em resposta às mudanças climática. Esta será uma das últimas oportunidades para a sobrevivência das espécies, uma vez que a região amazônica combina rápidas velocidades climáticas (HAMANN et al. 2015; LOARIE et al., 2009), baixas capacidades das espécies se aclimatarem ou se adaptarem às mudanças globais (PEREZ; STROUD; FEELEY, 2016) e intenso avanço da fronteira do desmatamento (KALAMANDEEN et al., 2018). Sendo assim, nosso modelo de refúgios a partir de menores velocidades necessárias para acompanhar as mudanças climáticas indica que é urgente que os refúgios climáticos sejam incorporados nos planos de conservação implementados no bioma Amazônia – seja na conservação de florestas previstas como refúgios climáticos, ou seja na recuperação de refúgios climáticos atualmente degradados.

CAPÍTULO 4 SÍNTESE

Esta pesquisa ocupa-se de componentes importantes de um dos maiores desafios ambientais atuais: os impactos das mudanças globais sobre a biota amazônica. A compreensão destes impactos requer uma abordagem científica de investigação integrada sobre a diversidade de respostas bióticas às mudanças climáticas e a diversidade de fatores que afetam os ecossistemas amazônicos, considerando as múltiplas dimensões das mudanças do clima. Assim sendo, objetivou-se investigar especificamente a exposição à redistribuição espacial das condições climáticas no bioma Amazônia calculando a taxas de dispersão necessárias para rastrear climas adequados até 2050. Buscando contemplar etapas importantes da conservação no processo de adaptação às mudanças climáticas, duas abordagens se seguiram. A primeira consistiu em avaliar a exposição da rede de Áreas Protegidas à métrica em questão. Quantificaram-se as velocidades medianas sobre a rede de Áreas Protegidas e compararam-se os valores entre diferentes classes de proteção e, também, com áreas não protegidas. A segunda focou na priorização de áreas protegidas a partir da abordagem de velocidades climáticas. As áreas com menores velocidades climáticas foram consideradas refúgios climáticos. Considerou-se as velocidades sobre uma camada de cobertura de dossel florestal que limitou a busca por condições climáticas em florestas – o que aumentou a relevância ecológica e permitiu a quantificação da perda de refúgios pelo desmatamento histórico (até o ano de 2012). Este capítulo apresenta as principais conclusões da pesquisa e conclui destacando a perspectiva para futuros esforços sobre a investigação da conservação do bioma Amazônia.

4.1 Principais conclusões

- ➔ A rede de Áreas Protegidas será menos exposta aos impactos da velocidade de recuo que áreas não protegidas – enfatizando a importância destas áreas como ferramenta na conservação. Em contraste, para os impactos relativos à velocidade de avanço, a rede de PAs será ligeiramente mais exposta que áreas não protegidas – indicando que a disposição espacial atual da rede de PAs ainda não é a mais indicada para minimizar os impactos da redistribuição climática. Apesar deste padrão encontrado na comparação entre áreas protegidas e não protegidas, os efeitos da velocidade de recuo serão maiores em magnitude em todo o bioma Amazônia. O mesmo padrão marcante da velocidade de recuo ocorre na extensão espacial das áreas sem climas análogos, com destaque para uma robusta região de não-análogos no centro da Amazônia. Isto indica que altas temperaturas e mudanças na precipitação ultrapassarão a variabilidade histórica de toda o bioma, podendo acarretar efeitos nas funções e serviços ecossistêmicos das florestas de várzeas. Em ambas as velocidades, os impactos potenciais

serão maiores em ITs do que em PNAs. Porém, a exposição em PNAs também deve ser enfatizada uma vez que a extensão de não-análogas é maior nesta classe. Tais resultados mostram que apesar do importante papel das PAs na contenção de mudanças de uso e cobertura da terra, elas não estão imunes aos efeitos das mudanças climáticas e novas estratégias de manejo, específicas para cada área e que permitam a adaptação às mudanças globais, serão necessárias.

- Os macrorrefúgios climáticos da Amazônia já perderam 4% de sua área pelo impacto do desmatamento. Apesar de 69 % dos refúgios estarem dentro de Áreas Protegidas, o restante desprotegido está potencialmente ameaçado devido à sua distribuição espacial nas bordas do bioma Amazônia – onde historicamente avança o desmatamento. Atualmente os refúgios ocupam apenas 7,8 % do bioma Amazônia (460.549,75 km²), sendo que cerca de 70 % destes são refúgios *In Situ*, 43 % refúgios *Ex Situ* e 14% são sobreposições entre as classes. Eles distribuem-se espacialmente em diferentes níveis por quase todas as ecorregiões, sendo as maiores extensões nas Yungas bolivianas e no escudo das guianas.

4.2 Perspectiva futura

Essa dissertação contribuiu com uma melhor compreensão dos impactos potenciais das mudanças globais sobre os ecossistemas amazônicos; nomeadamente, a redistribuição das espécies em resposta aos novos arranjos das condições climáticas na paisagem. No entanto, a sustentabilidade futura da Amazônia depende de mais esforços, tanto da pesquisa científica de abordagem interdisciplinar, quanto da aplicação de políticas públicas que proporcionem o ganho de governança ambiental. No âmbito da ciência, faz-se necessária a construção de um arcabouço epistemológico, baseado em um arsenal de dados básicos de biodiversidade, que aprofunde a compreensão sobre os impactos das mudanças globais de forma integrada e multiescalar. Para isso, aponta-se como algumas das tarefas fundamentais a mensuração das diferentes dimensões das mudanças climáticas, que devem ter seus efeitos associados às mudanças de uso e cobertura da terra, e a modelagem das diferentes respostas bióticas, que podem considerar os traços funcionais de tolerância climática. Tais lacunas devem ser preenchidas visando a elaboração de eficientes e regionalizadas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas – atendendo às particularidades da vulnerabilidade do ecossistema amazônico. No âmbito das políticas públicas, os avanços recentes das metas nacionais dos países amazônicos, baseadas no Acordo de Paris, devem ser cumpridas. Entretanto, uma vez que a Amazônia é um ecossistema transfronteiriço, os avanços e retrocessos da conservação das florestas de um país podem interferir nos territórios vizinhos. Portanto, faz-se necessária um planejamento multinível que

inclua, além dos esforços em nível global e nacional, uma resposta regional para desenvolver estratégias adaptativas efetivas.

REFERÊNCIAS

- ABRIL, G. *et al.* Amazon River carbon dioxide outgassing fuelled by wetlands. **Nature**, v. 505, n. 7483, p. 395–398, 2014.
- ACKERLY, D. D. *et al.* The geography of climate change: implications for conservation biogeography. **Diversity and Distributions**, v. 16, n. 3, p. 476–487, 2010.
- AGUIAR, A. P. D. *et al.* Land use change emission scenarios : anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, p. 1821–1840, 2016.
- ALKAMA, R.; CESCATTI, A. Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. **Science**, v. 351, n. 6273, p. 600–604, 2016.
- ANDAM, K. S. *et al.* Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 42, p. 16089–16094, 2008.
- ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913–931, 2014.
- ASHCROFT, M. B. Identifying refugia from climate change. **Journal of Biogeography**, v. 37, n. 8, p. 1407–1413, 2010.
- ASHCROFT, M. B. *et al.* A novel approach to quantify and locate potential microrefugia using topoclimate, climate stability, and isolation from the matrix. **Global Change Biology**, v. 18, n. 6, p. 1866–1879, 2012.
- ASNER, G. P.; LOARIE, S. R.; HEYDER, U. Combined effects of climate and land-use change on the future of humid tropical forests. **Conservation Letters**, v. 3, n. 6, p. 395–403, 2010.
- BALMFORD, A. *et al.* Ecology: economic reasons for conserving wild nature. **Science**, v. 297, n. 5583, p. 950–953, 2002.
- BARBER, Q. E.; NIELSEN, S. E.; HAMANN, A. Assessing the vulnerability of rare plants using climate change velocity, habitat connectivity, and dispersal ability: a case study in Alberta, Canada. **Regional Environmental Change**, v. 16, n. 5, p. 1433–1441, Sep. 2016.
- BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 2016.
- BARROS, F. de V. *et al.* Hydraulic traits explain differential responses of Amazonian forests to the 2015 El Niño-induced drought. **New Phytologist**, v. 223, n. 3, p. 1253–1266, 2019.
- BATEMAN, B. L. *et al.* Appropriateness of full-, partial- and no-dispersal scenarios in climate change impact modelling. **Diversity and Distributions**, v. 19, n. 10, p. 1224–1234, 2013.
- BATLLORI, E. *et al.* Potential relocation of climatic environments suggests high rates of climate displacement within the North American protection network. **Global Change Biology**, n. January, p. 1–12, 2017.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, p. 365–377, 2012.

- BELOTE, R. T. *et al.* Wild, connected, and diverse: Building a more resilient system of protected areas. **Ecological Applications**, v. 27, n. 4, p. 1050–1056, 2017.
- BOUCHER, O. *et al.* Presentation and evaluation of the IPSL-CM6A-LR climate model. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 12, n. 7, p. 1–52, 2020.
- BRITO-MORALES, I. *et al.* Climate velocity can inform conservation in a warming world. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 33, n. 6, p. 441–457, 2018.
- BRUNER, A. G. *et al.* Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, v. 291, n. 5501, p. 125–128, 2001.
- BURROWS, M. T. *et al.* The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems. **Science**, v. 334, n.652, p. 652–655, Nov. 2011.
- BURROWS, M. T. *et al.* Geographical limits to species-range shifts are suggested by climate velocity. **Nature**, v. 507, n. 7493, p. 492–495, 2014.
- BUSH, M.; FLENLEY, J.; GOSLING, W. **Tropical rainforest response to climate change**. [S.l.] Springer Science & Business Media, 2011.
- CARVALHO, W. D. de; MUSTIN, K. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017.
- CARROLL, C. *et al.* Biotic and climatic velocity identify contrasting areas of vulnerability to climate change. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. e0140486, 2015.
- CARROLL, C. *et al.* Scale-dependent complementarity of climatic velocity and environmental diversity for identifying priority areas for conservation under climate change. **Global Change Biology**, v. 23, n. 11, p. 4508–4520, 2017a.
- CARROLL, C. *et al.* Scale-dependent complementarity of climatic velocity and environmental diversity for identifying priority areas for conservation under climate change. **Global Change Biology**, v. 23, n. 11, p. 4508–4520, 2017b.
- CEBALLOS, G. *et al.* Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. 9–13, 2015.
- CHAZDON, R. L. *et al.* The potential for species conservation in tropical secondary forests. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1406–1417, 2009.
- CHEN, I. C. *et al.* Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 1024–1026, 2011.
- CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; OBERBAUER, S. F. Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO₂. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 747–759, 2010.
- CLARK, J. S. Uncertainty and Variability in Demography and Population Growth : A Hierarchical Approach Published by : Ecological Society of America. **Special Feature Ecology**, v. 84, n. 6, p. 1370–1381, 2003.
- CORLETT, R. T.; WESTCOTT, D. A. Will plant movements keep up with climate change? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 8, p. 482–488, 2013.

- CUNNINGHAM, S. C.; READ, J. Do temperate rainforest trees have a greater ability to acclimate to changing temperatures than tropical rainforest trees? **New Phytologist**, v. 157, n. 1, p. 55–64, 2003.
- DICK, C. W. *et al.* Neogene origins and implied warmth tolerance of Amazon tree species. **Ecology and Evolution**, v. 3, n. 1, p. 162–169, 2013.
- DIFFENBAUGH, N. S.; GIORGI, F.; PAL, J. S. Climate change hotspots in the United States. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 16, p. 1–5, 2008.
- DINERSTEIN, E. *et al.* An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. **BioScience**, v. 67, n. 6, p. 534–545, 2017.
- DOBROWSKI, S. Z. *et al.* The climate velocity of the contiguous United States during the 20th century. **Global Change Biology**, v. 19, n. 1, p. 241–251, 2013.
- DOBROWSKI, S. Z.; ABATZOGLOU, J.; SWANSON, A. K. The climate velocity of the contiguous United States during the 20th century. **Global Change Biology**, v. 19, p. 241–251, Aug. 2013.
- DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A. Climate change velocity underestimates change exposure in mountainous regions. **Nature Communications**, v. 7, n.12349, p. 1–8, 2016. DOI: 10.1038/ncomms12349.
- ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Biogeographic distributions of neotropical trees reflect their directly measured drought tolerances. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017.
- ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Compositional response of Amazon forests to climate change. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 39–56, 2019.
- EYRING, V. *et al.* Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 2016.
- FEELEY, K. J.; REHM, E. M. Amazon's vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers. **Global Change Biology**, v. 18, n. 12, p. 3606–3614, 2012.
- FEELEY, K. J.; SILMAN, M. R. Disappearing climates will limit the efficacy of Amazonian protected areas. **Diversity and Distributions**, v. 22, n. 11, p. 1081–1084, 2016.
- FEELEY, K. J.; REHM, E. M.; MACHOVINA, B. Perspective: the responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate, or go extinct? **Frontiers of Biogeography**, v. 4, n. 2, p. 69–84, 2012. <https://doi.org/10.21425/F5FBG12621>.
- FEELEY, K. E. J. *et al.* Directional changes in the species composition of a tropical forest. **Ecology**, v. 92, n. 4, p. 871–882, 2011.
- FEELEY, K. J. *et al.* Decelerating growth in tropical forest trees. **Ecology Letters**, v. 10, n. 6, p. 461–469, 2007.
- FEELEY, K. J. *et al.* The relative importance of deforestation, precipitation change, and temperature sensitivity in determining the future distributions and diversity of Amazonian plant species. **Global Change Biology**, v. 18, n. 8, p. 2636–2647, 2012.

- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.
- FLATO, G. Evaluation of climate models. **Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, v. 9781107057, p. 741–866, 2014.
- FONSECA, P. O. R. M.; LAMAS, I.; KASECKER, T. O Papel das unidades de conservação. **Scientific American**, v. 39, p. 18–23, Mar. 2010.
- FRICKO, O. *et al.* The marker quantification of the shared socioeconomic pathway 2: a middle-of-the-road scenario for the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 251–267, 2017.
- GAME, E. T. *et al.* Incorporating climate change adaptation into national conservation assessments. **Global Change Biology**, v. 17, n. 10, p. 3150–3160, 2011.
- GARCIA-MOLINOS, J. *et al.* Improving the interpretability of climate landscape metrics: an ecological risk analysis of Japan's Marine Protected Areas. **Global change biology**, v. 23, n.10, p. 4440–4452, 2017.
- GARCÍA MOLINOS, J. *et al.* VoCC: an r package for calculating the velocity of climate change and related climatic metrics. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 12, p. 2195–2202, 2019.
- GARCIA, R. A. *et al.* Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity. **Science**, v. 344, n. 6183, 2014.
- GIBSON, L. *et al.* Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 378–381, 2011.
- GLOOR, M. *et al.* Recent Amazon climate as background for possible ongoing special section : **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 9, p. 1384–1399, 2015.
- GOMES, V. H. F. *et al.* Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 7, p. 547–553, 2019.
- GOMES, V. H. F. *et al.* Modelling the distribution of Amazonian tree species in response to long-term climate change during the Mid-Late Holocene. **Journal of Biogeography**, v. 47, n. 7, p. 1530–1540, 2020.
- GROVES, C. R. *et al.* Incorporating climate change into systematic conservation planning. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 7, p. 1651–1671, 2012.
- HAIGHT, J.; HAMMILL, E. Protected areas as potential refugia for biodiversity under climatic change. **Biological Conservation**, v. 241, p. 108258, May. 2019.
- HAMANN, A. *et al.* Velocity of climate change algorithms for guiding conservation and management. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 997–1004, 2015.
- HANNAH, L. *et al.* Conservation of biodiversity in a changing climate. **Conservation Biology**, v. 16, n. 1, p. 264–268, 2002.
- HANNAH, L. A global conservation system for climate-change adaptation: Special section. **Conservation Biology**, v. 24, n. 1, p. 70–77, 2010.

- HANNAH, L. *et al.* Global climate change adaptation priorities for biodiversity and food security. **PLoS ONE**, v. 8, n. 8, Aug. 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072590>.
- HANNAH, L. *et al.* Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 29, n. 7, p. 390–397, 2014.
- HANSEN, J. *et al.* Global temperature change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 39, p. 14288–14293, 2006.
- HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 850, p. 123–134, Nov. 2013.
- HANSEN, M. C. *et al.* The fate of tropical forest fragments. **Science Advances**, v. 6, n. 11, p. 1–10, 2020.
- HELLER, N. E.; ZAVALETA, E. S. Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. **Biological Conservation**, v. 142, n. 1, p. 14–32, 2009.
- HILKER, T. *et al.* Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 45, p. 16041–16046, 2014.
- HILLERISLAMBERS, J. *et al.* How will biotic interactions influence climate change-induced range shifts? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.1297, n.1, p. 112-125, May. 2013.
- HOBBS, R. J. *et al.* Guiding concepts for park and wilderness stewardship in an era of global environmental change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, n. 9, p. 483–490, 2010.
- HUBBELL, S. P. *et al.* How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? **In the Light of Evolution**, v. 2, p. 107–126, 2009.
- IBÁÑEZ, I.N. *et al.* Predicting biodiversity change: outside the climate envelope, beyond the species-area curve. **Ecology**, v. 87, n. 8, p. 1896–1906, 2006.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Amazon program** - monitoring the Brazilian Amazon by satellite: the PRODES, DETER, DEGRAD and TerraClass Systems, 2021. Available at www.inpe.br . Accessed 3 de january 2021.
- ISAAK, D. J. *et al.* Slow climate velocities of mountain streams portend their role as refugia for cold-water biodiversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 16, p. 4374–4379, 2016.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUCN. **Annual Report 2018**. p. 1–50, 2019. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2019-007-En.pdf>.
- JARAMILLO, C. *et al.* Effects of rapid global warming at the paleocene-eocene boundary on neotropical vegetation. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 957–961, 12 nov. 2010.
- JONES, K. R. *et al.* Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review. **Biological Conservation**, v. 194, p. 121–130, 2016.
- JONES, P. D.; KELLY, P. M. The spatial and temporal characteristics of Northern Hemisphere surface air temperature variations. **Journal of Climatology**, v. 3, n. 3, p. 243–252, 1983.

- JOPPA, L. N.; LOARIE, S. R.; PIMM, S. L. On the protection of “protected areas”. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 18, p. 6673–6678, 2008.
- JUSYS, T. Changing patterns in deforestation avoidance by different protection types in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v. 13, n. 4, p. 1–16, 2018.
- KALAMANDEEN, M. *et al.* Pervasive rise of small-scale deforestation in Amazonia. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2018.
- KEPPEL, G.; WARDELL-JOHNSON, G. W. Refugia: keys to climate change management. **Global Change Biology**, v. 18, n. 8, p. 2389–2391, 2012.
- KHANNA, J. *et al.* Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 3, p. 200–204, 2017.
- KILLEEN, T. J.; SOLO, L. A. Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. **Philosophical Transactions - Royal Society of London, B**, v. 363, p. 1881–1888, Feb. 2008.
- KRAWCHUK, M. A. *et al.* Disturbance refugia within mosaics of forest fire, drought, and insect outbreaks. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 18, n. 5, p. 235–244, 2020.
- LAPOLA, D. M. *et al.* Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **PNAS**, v. 115, n. 46, p. 11671–11679, 2018.
- LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R. Impacts of climate change and the end of deforestation on land use in the Brazilian Legal Amazon. **Earth Interactions**, v. 15, n. 16, p. 1–29, 2011.
- LAURANCE, W. F.; WILLIAMSON, G. B. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1529–1535, 2001.
- LAURANCE, W. F. *et al.* The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 56–67, 2011.
- LAWLER, J. J. *et al.* Projected climate-driven faunal movement routes. **Ecology Letters**, v. 16, n. 8, p. 1014–1022, 2013.
- LEMOS, M. C.; ROBERTS, J. T. Environmental policy-making networks and the future of the Amazon. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1897–1902, 2008.
- LENOIR, J.; SVENNING, J. C. Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions. **Ecography**, v. 38, n. 1, p. 15–28, 2015.
- LITTLEFIELD, C. E. *et al.* Connecting today’s climates to future climate analogs to facilitate movement of species under climate change. **Conservation Biology**, v. 31, n. 6, p. 1397–1408, 2017.
- LOARIE, S. R. *et al.* The velocity of climate change. **Nature**, v. 462, n. 7276, p. 1052–1055, 2009.
- LoPRESTI, A. *et al.* Rate and velocity of climate change caused by cumulative carbon emissions. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 9, e 095001, 2015.

- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. 1–2, 2018.
- MALHI, Y. *et al.* Climate change and ecosystems : threats, opportunities and solutions. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 375, Jan. 2020.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>.
- MARENGO, J. A. *et al.* Changes in climate and land use over the amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 1–21, Dec. 2018.
- MATHYS, A. S.; COOPS, N. C.; WARING, R. H. An ecoregion assessment of projected tree species vulnerabilities in western North America through the 21st century. **Global Change Biology**, v. 23, n. 2, p. 920–932, 2016.
- MATRICARDI, E. A. T. *et al.* Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378–1382, 2020.
- McGUIRE, J. L. *et al.* Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. **PNAS**, v. 113, n. 26, p. 7195–7200, 2016.
- MICHALAK, J. L. *et al.* Distribution and protection of climatic refugia in North America. **Conservation Biology**, v. 32, n. 6, p. 1414–1425, 2018.
- MORELLI, T. L. *et al.* Managing climate change refugia for climate adaptation. **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, p. 1–17, Aug. 2016.
- MULLIGAN, M.; RUBIANO, J.; BURKE, S.; Van SOESBERGEN, A. **Water security in Amazonia: a report for the Amazonia security agenda project.** [S.l]: CIAT, 2013.
https://www.researchgate.net/profile/Arnout-Van-Soesbergen/publication/268391136_Water_Security_in_Amazonia/links/57a4c87408aefe6167afe65f/Water-Security-in-Amazonia.pdf.
- NEPSTAD, D. *et al.* Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65–73, 2006.
- NEPSTAD, D. C. *et al.* Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505–508, 8 Abr. 1999.
- NEPSTAD, D. C. *et al.* Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an amazon forest. **Ecology**, v. 88, n. 9, p. 2259–2269, 2007.
- NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **PNAS**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016.
- OHLEMÜLLER, R. *et al.* The coincidence of climatic and species rarity: high risk to small- range species from climate change. **Biology Letters**, v. 4, n. 5, p. 568–572, 2008.
- OLSON, D. M. *et al.* Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933–938, 2001.
- O’NEILL, B. C. *et al.* The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 3461–3482, 2016.
- ORDONEZ, A.; WILLIAMS, J. W. Projected climate reshuffling based on multivariate climate-availability, climate-analog, and climate-velocity analyses: implications for community disaggregation. **Climate Change**, p. 659–675, 2013.

- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, p. 637–669, 2006.
- PECL, G. *et al.* Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being Publication Details. **Science**, v. 355, n. 6332, p. 1–9, 2017.
- PEDLAR, J. H. *et al.* Placing forestry in the assisted migration debate. **BioScience**, v. 62, n. 9, p. 835–842, 2012.
- PEREZ, T. M.; STROUD, J. T.; FEELEY, K. J. Thermal trouble in the tropics. **Science**, v. 351, n. 6280, p. 1392–1393, 2016.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the Concepts Right. **Natureza a Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102–107, 2012.
- PAFF, A. *et al.* Protected areas? impacts on Brazilian Amazon deforestation: examining conservation - development interactions to inform planning. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, p. 1–17, 2015.
- PHILLIPS, O. L. *et al.* Habitat association among Amazonian tree species: a landscape-scale approach. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 757–775, 2003.
- PHILLIPS, O. L. *et al.* Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. **Carbon Balance and Management**, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2017.
- PINSKY, M. L. *et al.* Marine taxa track local climate velocities. **Science**, v. 341, n. 6151, p. 1239–1242, 2013.
- QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. **QGIS Development Team**. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- REDE AMAZÔNICA DE INFORMAÇÃO SOCIOAMBIENTAL GEOREFERENCIADA-RAISG. **Amazônia sob pressão**. São Paulo : ISA-Inst ed., 2020. <https://www.amazoniasocioambiental.org/pt-br/publicacao/amazonia-sob-pressao-2020/>.
- RANGEL, T. F.; LOYOLA, R. D. Labeling ecological niche models. **Natureza a Conservação**, v. 10, n. 2, p. 119–126, 2012.
- R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.
- RESIDE, A. E.; BUTT, N.; ADAMS, V. M. Adapting systematic conservation planning for climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 1, 2018.
- RIBEIRO, B. R.; SALES, L. P.; LOYOLA, R. Strategies for mammal conservation under climate change in the Amazon. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 8, p. 1943–1959, 2018.
- RICKETTS, T. H. *et al.* Indigenous lands, protected areas, and slowing climate change. **PLoS biology**, v. 8, n. 3, p. 6–9, 2010.
- ROBERTS, D. R.; HAMANN, A. Climate refugia and migration requirements in complex landscapes. **Ecography**, v. 39, n. 12, p. 1238–1246, 2016.
- RODRIGUES, A. *et al.* Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. **Nature**, p. 640–643, 2004.

- ROSSETTI, D. de F.; TOLEDO, P. M. Environmental changes in Amazonia as evidenced by geological and paleontological data. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 2, p. 2251-264, 2007.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, p. 2–7, 2007.
- SALTRÉ, F. *et al.* Climate change not to blame for late Quaternary megafauna extinctions in Australia. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2016.
- SANDEL, B. *et al.* The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism. **Science**, v. 334, p. 660–664, Nov. 2011.
- SCHIPPERS, P. *et al.* Metapopulation shift and survival of woodland birds under climate change: Will species be able to track? **Ecography**, v. 34, n. 6, p. 909–919, 2011.
- SCHUELER, S. *et al.* Vulnerability of dynamic genetic conservation units of forest trees in Europe to climate change. **Global Change Biology**, v. 20, n. 5, p. 1498–1511, 2014.
- SENIOR, R. A.; HILL, J. K.; EDWARDS, D. P. Global loss of climate connectivity in tropical forests. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 8, p. 623–626, 2019.
- SERRA-DIAZ, J. M. *et al.* Bioclimatic velocity: the pace of species exposure to climate change. **Diversity and Distributions**, v. 20, p. 169–180, 2013.
- SILVESTRINI, R. A. *et al.* Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1573–1590, 2011.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **PNAS**, v. 107, n. 11, p. 10821–10826, 2010.
- SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520–523, 2006.
- SÓBERON, J. Grinnellian and eltonian niches and geographic distributions of species **Ecology Letters**, v.10, n.12, p. 1115-1123, 2007.
- SOBERON, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 0–10, 2005. DOI <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>.
- STEEGE, H. ter. *et al.* Estimating the global conservation status of more than 15,000 Amazonian tree species. **Science Advances**, v. 1, n. 10, p. 9–11, 2015.
- STRALBERG, D. *et al.* Macrorefugia for North American trees and songbirds : climatic limiting factors and multi-scale topographic influences. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 6, p. 1–14, Apr. 2018.
- STRALBERG, D.; CARROLL, C.; NIELSEN, S. E. Toward a climate-informed North American protected areas network: incorporating climate-change refugia and corridors in conservation planning. **Conservation Letters**, v. 13, n. 4, p. 1–10, 2020.
- SWART, N. C. *et al.* The Canadian earth system model version 5 (CanESM5.0.3). **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 11, p. 4823–4873, 2019.

SWENSON, J. J. *et al.* Plant and animal endemism in the Eastern Andean slope: challenges to conservation. **BMC Ecology**, v. 12, n. 1, p. 1-19, Jan. 2012.

TATEBE, H. *et al.* Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. **Geoscientific Model Development Discussions**, v. 12, n. 7, p. 2727-2765, 2019.

TER STEEGE, H. *et al.* An analysis of the floristic composition and diversity of Amazonian forests including those of the Guiana Shield. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 6, p. 801–828, 2000.

TER STEEGE, H. *et al.* A spatial model of tree alpha-diversity and tree density for the Amazon. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, n. 11, p. 2255–2277, 2003.

TERBORGH, J. *et al.* **Tornado os parques eficientes - estratégias para a conservação da natureza nos trópicos**. Curitiba: Editora UFPR, 2002.

THOMAS, C. D. *et al.* Letter to nature: extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, n. 145–148, p. 145–148, 2004.

THOMAS, C. D. Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 5, p. 216–221, 2011.

THOMAS, C. D.; GILLINGHAM, P. K. The performance of protected areas for biodiversity under climate change. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 115, n. 3, p. 718–730, 2015.

TIGRE, M. A. Building a regional adaptation strategy for Amazon countries. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 19, n. 4–5, p. 411–427, 2019.

TINGLEY, M. W.; DARLING, E. S.; WILCOVE, D. S. Fine- and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1322, n. 1, p. 92–109, 2014.

TIWARI, R. *et al.* Photosynthetic quantum efficiency in south-eastern Amazonian trees may be already affected by climate change. **Plant Cell and Environment**, p. 1–12, Abr. 2020.
<https://doi.org/10.1111/pce.13770>.

TROIA, M. J. *et al.* Species traits and reduced habitat suitability limit efficacy of climate change refugia in streams. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, n. 9, p. 1321-1330, Sep. 2019.

URBAN, M. C.; TEWKSBURY, J. J.; SHELDON, K. S. On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1735, p. 2072–2080, 2012.

VIEIRA, I. C. G. *et al.* Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4 SUPPL., p. 949–956, 2008.

VOLDOIRE, A. *et al.* Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 11, n. 7, p. 2177–2213, 2019.

WALKER, R. *et al.* Protecting the Amazon with protected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 26, p. 10582–10586, 2009.

- WALKER, W. *et al.* Forest carbon in Amazonia : the unrecognized contribution of indigenous territories and protected natural areas Forest carbon in Amazonia : the unrecognized contribution of indigenous territories and protected natural areas. **Carbon Management**, v. 3004, p. 479–485, 2014.
- WALKER, W. S. *et al.* The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **PNAS**, v. 117, n. 6, p. 3015– 3025, 2020.
- WANG, T. *et al.* Projecting future distributions of ecosystem climate niches: uncertainties and management applications. **Forest Ecology and Management**, v. 279, p. 128–140, May. 2012.
- WANG, Y. *et al.* Upturn in secondary forest clearing buffers primary forest loss in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 290-295, 2020.
- WENG, W. *et al.* Aerial and surface rivers: downwind impacts on water availability from land use changes in Amazonia. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 1, p. 911–927, 2018.
- WERTH, D.; AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. LBA 55-1-LBA 55-8, 2002.
- WIENS, J. A. *et al.* Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. suppl. 2, p. 19729–19736, 2009.
- WILLIAMS, J. W.; JACKSON, S. T. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 9, p. 475–482, 2007.
- WILLIAMS, J. W.; JACKSON, S. T.; KUTZBACH, J. E. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 14, p. 5738–5742, 2007a.
- WILLIAMS, J. W.; JACKSON, S. T.; KUTZBACH, J. E. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. **PNAS**, v. 104, n. 14, p. 5738–5742, 2007b.
- WILLIAMS, S. E. *et al.* Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. **PLoS biology**, v. 6, n. 12, 2008.
- WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C.; SCHIPPER, J. The future of tropical species on a warmer planet. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1418–1426, 2009.
- WU, T. *et al.* The Beijing climate center climate system model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 4, p. 1573–1600, 2019.
- ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. **Science**, v. 329, n. 5994, p. 940–943, 2010.

APÊNDICE A

Figura S2.1 - Localização do limite biogeográfico da Amazônia (com base no RAISG) e das áreas protegidas (com base no WDPA) utilizadas na análise.

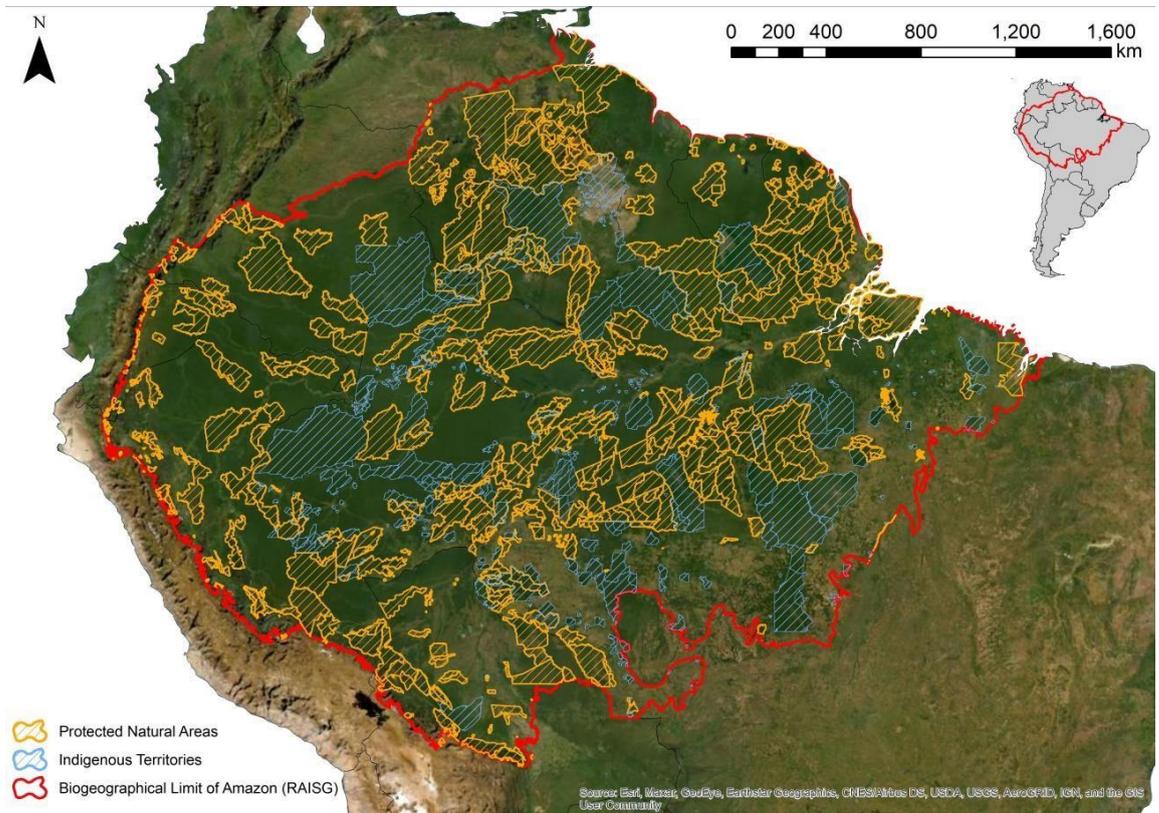


Figura S2.2 - Gráfico bivariável associando os valores das velocidades de avanço e de recuo. A classificação dos valores da exposição foi baseada no método quantile (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2021).

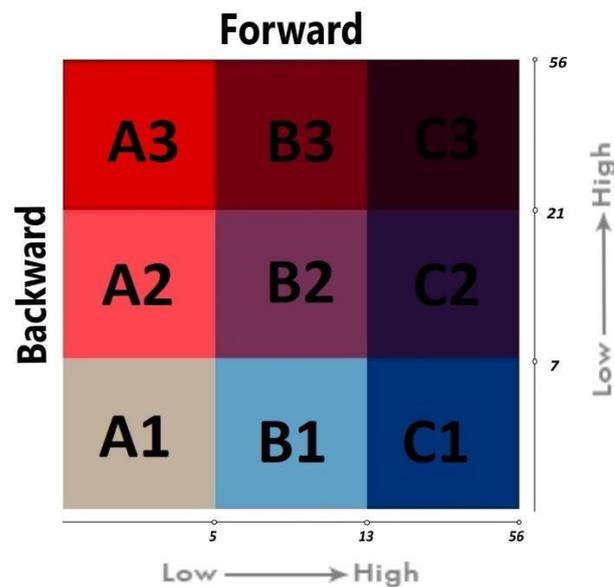


Figura S2.3 - Distribuição espacial dos deltas climáticos (2050-1990) de temperatura (a) e precipitação (b) comparada com a distribuição espacial das variabilidades históricas anuais de temperatura (c) e precipitação (d).

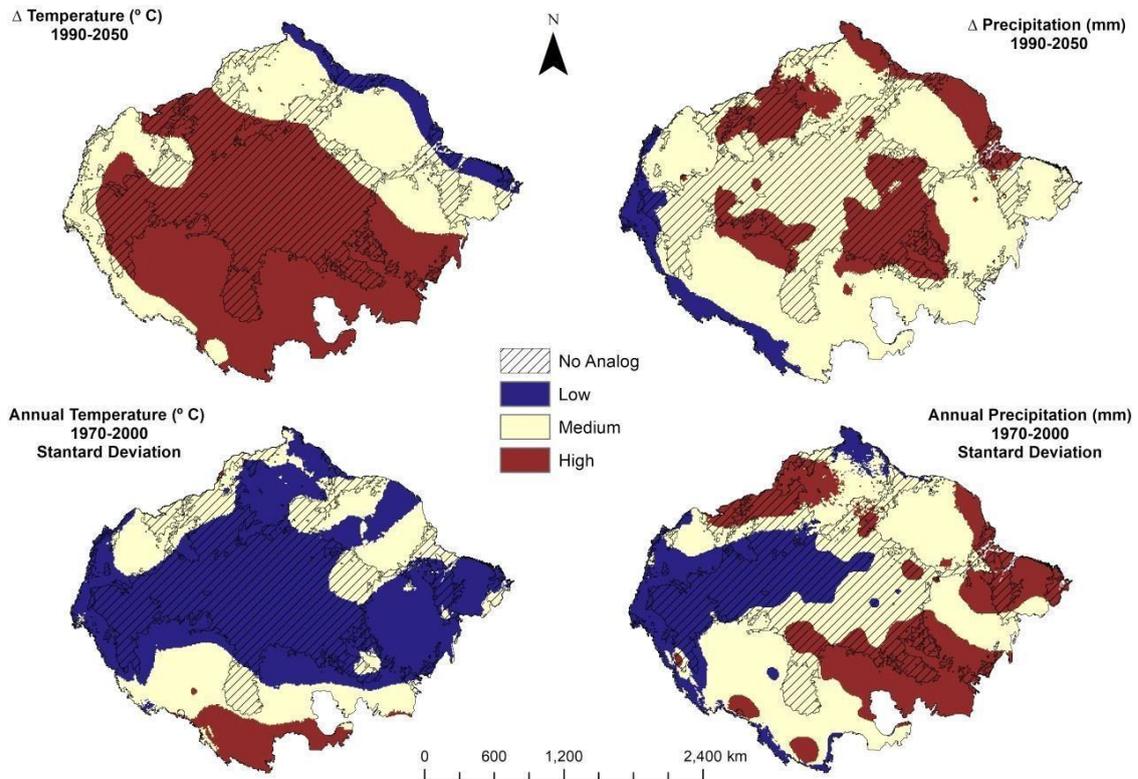


Tabela S2. 1 - 5 Modelos de circulação geral (GCM) do CMIP6 usados para avaliar a distribuição futura das condições climáticas. Um ensemble multi-model foi gerado com base em todos os GCMs.

GCM	Referência
BCC-CSM2-MR	Wu et al. (2019)
CanESM5	Swart et al. (2019)
CNRM-CM6-1	Voldoire et al. (2019)
IPSL-CM6A-LR	Boucher et al. (2020)
MIROC6	Tatebe et al. (2019)

Tabela S2.2 - A média, o desvio padrão e a classe de exposição das velocidades climáticas das 837 PAs utilizadas neste estudo.

Área Protegida	Area (km ²)	Velocidade de avanço Média (km/year)	SD de avanço	Velocidade de recuo Média (km/year)	SD de recuo	Exposição
Parque Nacional Do Pico Da Neblina	22526.22	4.1	3.30	4.7	5.39	A1
Sierra de la Macarena	6204.58	2.6	3.88	2.0	3.77	A1
Cueva de los Guacharos	22.52	2.3	0.00	0.9	0.70	A1
Kaiteleur National Park	610.20	1.3	1.57	0.7	0.11	A1
Tingo María	47.79	3.8	4.75	3.6	1.45	A1
de Machupicchu	91.65	1.1	0.68	1.1	0.61	A1
Canaima	30321.05	2.4	5.82	2.0	2.01	A1
Serranía de la Neblina	11425.63	3.5	4.77	2.5	2.20	A1
Tunari	494.48	0.2	0.06	0.2	0.07	A1
del Río Abiseo	1904.69	3.8	4.37	1.5	1.57	A1
Podocarpus	1043.76	4.9	6.93	4.3	6.69	A1
Amboró	4179.42	1.1	1.54	2.4	9.56	A1
Sur del Estado Bolívar	53882.67	2.6	3.50	4.3	2.26	A1
El Caura	51107.46	2.6	5.32	3.2	4.12	A1
Sipapo	15679.96	2.2	3.23	0.8	2.15	A1
La Paragua	7924.17	1.6	0.90	4.9	2.24	A1
Yanachaga - Chemillén	1134.44	3.4	3.21	2.5	2.80	A1
Serrania de Chiribiquete	42661.79	5.4	2.14	4.7	2.90	A1
Nukak	8755.79	5.5	1.88	4.1	2.57	A1
Pilón Lajas	3858.60	0.6	0.37	0.6	0.31	A1
Carrasco	6493.47	2.1	4.11	0.5	0.45	A1
San Pedro	25808.26	2.0	4.07	2.8	2.29	A1
Tabaconas - Namballe	317.02	0.8	0.15	1.5	1.74	A1
Cordillera de Colán	391.51	4.3	5.09	1.2	1.03	A1
Pui Pui	203.29	0.9	0.52	1.0	0.31	A1
de San Matías - San Carlos	1484.08	2.3	3.58	3.2	8.60	A1
Alto Mayo	1817.77	4.1	7.47	4.9	10.33	A1
Megantoni	2155.92	1.7	1.15	1.0	0.92	A1
Paríma-Tapirapecó	37809.57	2.2	4.20	2.4	2.99	A1
Formaciones de Tepuyes	51013.53	2.7	5.60	2.3	2.21	A1
Pampa Hermosa	110.55	6.6	5.64	1.3	0.62	A1
Yanesha	343.67	5.4	4.26	1.6	0.96	A1
Río Parguaza	394.87	0.5	0.15	0.6	0.32	A1
Sector Caño Blanco (Bombonera)	196.47	3.2	0.15	5.1	0.23	A1
Fundo Flamerich	123.37	3.2	0.48	4.7	0.71	A1
El Frío (C.V.G.)	230.04	3.3	0.72	4.4	0.65	A1
Floresta Nacional Do Amazonas	19442.35	1.7	2.69	5.2	5.81	A1
Parque Estadual Serra Do Aracá	18727.54	2.1	3.45	5.0	6.33	A1
Sararé	674.49	2.5	3.86	2.6	0.81	A1
Jacamim	1931.65	2.0	0.31	3.3	0.19	A1
Raposa Serra do Sol	17448.54	2.1	6.71	1.0	1.42	A1
WaiWai	4046.45	1.6	1.34	3.2	1.14	A1
Kanuku Mountains Protected Area	6098.91	1.7	1.16	1.3	1.22	A1
Kanashen Amerindian Protected Area	6205.25	3.2	2.73	3.5	1.48	A1
Cotapata	432.14	0.8	0.83	5.2	3.43	A1
Madidi	12479.54	0.6	0.43	4.5	7.25	A1
Cuenca Alta del Rio Mocoa	308.49	0.5	0.23	2.7	1.79	A1

Laguna La Cocha Cerro Patascoy	498.28	0.5	0.00	2.8	1.98	A1
Parque Nacional Serra Da Mocidade	3599.44	1.2	1.25	0.4	0.12	A1
Asháninka	1845.36	1.2	0.94	0.7	0.31	A1
El Sira	6168.53	1.8	1.54	3.5	10.09	A1
Machiguenga	2188.96	1.4	1.77	1.5	1.50	A1
Otishi	3060.48	5.5	7.26	1.1	0.47	A1
Alto Fragua Indi Wasi	756.21	5.4	2.70	4.3	4.13	A1
Amboró	1298.51	0.6	0.39	3.1	10.53	A1
Apolobamba	2669.13	0.4	0.46	2.8	4.21	A1
Madidi	6038.59	0.5	0.30	0.8	0.37	A1
Cotapata	432.14	0.8	0.83	5.2	3.43	A1
Pilón Lajas	4008.09	0.6	0.37	0.6	0.34	A1
Incacasani Altamachi	97.86	0.5	2.95	0.2	0.30	A1
Altamachi	4098.93	1.6	2.61	0.6	0.42	A1
Altamachi	676.60	0.5	0.63	0.9	0.64	A1
Área De Relevante Interesse Ecológica Seringal Nova Esperança	25.74	6.6	0.11	4.1	0.23	A1
Floresta Nacional De Mulata São Marcos - RR	2166.02	4.0	6.02	3.6	6.16	A1
Portal do Encantado	6510.64	0.9	0.56	1.0	0.84	A1
Complejo Volcanico Dona Juana Cascabel	430.20	0.3	0.11	0.4	0.17	A1
Chiquitano de Baia Grande Wawi	583.70	0.9	0.00	3.8	3.66	A1
Río Nieva	100.44	2.6	5.86	1.7	6.34	A1
Choquequirao	102.02	5.3	0.39	3.8	0.79	A1
Huiquilla	362.88	0.7	0.37	2.5	1.67	A1
Abra Patricia - Alto Nieva	137.49	3.9	3.68	1.4	2.62	A1
Tilacancha	11.39	4.8	0.00	1.3	0.23	A1
Hierba Buena - Allpayacu	14.13	1.1	0.40	0.9	0.40	A1
Copallín	67.90	3.9	0.52	0.9	0.13	A1
Japu - Bosque Ukumari Llaqta	22.79	3.0	1.05	1.3	0.63	A1
Bosque de Palmeras de la Comunidad Campesina Taulia Molinopampa	115.31	3.5	1.84	0.7	0.38	A1
Los Chilchos	135.94	5.9	5.66	2.9	5.17	A1
Corredor Biologico Guacharos Purace	109.08	3.8	0.54	3.1	2.15	A1
La Pampa del Burro	427.19	4.1	2.63	1.9	1.76	A1
Tequeje	21.69	0.3	0.00	0.4	2.67	A1
Serrania de Paramarani	27.72	2.6	0.00	4.1	0.00	A1
Incachaca	54.03	0.5	0.27	0.2	0.16	A1
Curichi La Madre	56.25	0.3	0.20	0.6	0.31	A1
Espejillos	12.03	0.1	0.00	2.6	1.66	A1
Lagunas Santa Barbara y Brava	83.41	0.8	0.24	2.8	0.16	A1
Colonso Chalupas	12.59	0.4	0.10	0.3	0.11	A1
Llamapampa - La Jalca Matoriato	16.61	1.2	0.12	1.2	0.10	A1
Rio Negro Sopladora	79.39	1.2	0.00	3.3	1.85	A1
Vista Alegre-Omia	174.78	4.3	0.90	1.0	0.25	A1
Monte Puyo (Bosque de Nubes)	17.12	0.4	0.16	1.8	0.08	A1
Copal Cuilungo	146.58	3.9	3.66	1.0	0.81	A1
Bosques de Shunté y Mishollo	489.02	3.0	4.35	2.3	1.91	A1
Miraflores Picachos	161.25	4.7	3.72	0.7	1.74	A1
Parque Nacional De Pacaás Novos	25.69	2.1	0.72	1.5	0.80	A1
	1600.26	4.3	3.59	1.8	0.88	A1
	1046.56	4.8	3.07	1.0	1.03	A1
	7086.68	4.9	5.65	6.1	7.44	A2

Cordillera de los Picachos del Manu	2694.71	3.5	7.57	7.2	9.77	A2
Sipaliwini	16875.86	1.6	1.61	8.0	4.35	A2
Estação Ecológica Rio Acre	1007.86	1.8	2.70	8.2	1.00	A2
Estação Ecológica Do Jari	793.95	5.9	0.72	7.6	1.28	A2
Estación Biológica del Beni	2310.80	6.6	9.04	10.9	14.27	A2
La Paya	1348.38	1.9	0.45	6.7	0.25	A2
Imataca	4399.35	4.0	0.79	13.3	4.05	A2
Parque do Tumucumaque	53180.38	4.1	9.71	5.6	3.94	A2
Floresta Nacional De Amapá	30718.29	6.6	3.20	5.8	1.57	A2
El Dorado - Tumeremo	4603.59	4.2	1.79	12.9	8.31	A2
Paisolandia	647.90	1.4	0.19	7.0	0.37	A2
Jaminawa do Igarapé Preto	210.61	1.2	0.00	6.7	0.38	A2
Jaminawa Arara do Rio Bagé	256.53	5.4	0.08	7.4	0.31	A2
Kaxinawá Ashaninka do Rio Breu	288.65	5.4	0.16	6.9	0.26	A2
Kaxinawá do Rio Jordão	312.35	5.3	0.08	8.9	0.08	A2
Alto Tarauacá	894.21	5.6	0.33	8.8	0.18	A2
Kampa e Isolados do Rio Envira	1423.71	5.4	0.46	9.1	0.20	A2
Kaxinawá do Rio Humaitá	2329.34	5.1	0.41	9.8	0.31	A2
Arara do Igarapé Humaitá	1288.09	5.9	0.35	8.6	0.26	A2
Kulina Igarapé do Pau	874.58	6.0	0.43	6.7	0.61	A2
Mamoadate	455.70	6.8	0.13	9.5	0.29	A2
Cabeceira do Rio Acre	3129.32	6.6	0.89	7.3	1.15	A2
Uru-Eu-Wau-Wau	790.87	7.2	0.29	5.5	0.18	A2
Santa Inez	18695.22	6.1	5.94	13.3	12.43	A2
Purus	301.54	0.4	0.07	9.1	4.24	A2
Sumaco Napo-Galeras	2019.10	5.6	0.54	9.8	1.16	A2
Campinas/Katukina	2055.77	3.8	2.09	7.8	11.43	A2
Pequizal	335.73	6.9	0.13	5.6	0.13	A2
Iwokrama International Centre	97.92	0.7	0.12	11.9	0.53	A2
Bahuaja - Sonene	3714.96	1.3	0.46	12.3	7.39	A2
Mariusua	10929.20	1.3	4.50	10.0	7.84	A2
Alto Purus	2939.10	5.9	0.58	11.8	0.59	A2
Amarakaeri	25076.96	3.7	1.16	9.4	0.90	A2
Yacuma	4022.09	2.6	6.79	9.9	6.38	A2
Reserva Extrativista Riozinho Da Liberdade	2212.45	2.0	0.52	8.9	4.16	A2
Floresta Nacional De Santa Rosa Do Purus	3249.05	6.6	0.49	6.2	0.29	A2
Reserva Extrativista Alto Tarauacá	2315.57	7.0	0.64	9.0	1.10	A2
Estação Ecológica Do Grão Pará	1541.33	5.9	0.30	7.2	0.67	A2
Kulina do Rio Envira	42035.74	6.8	4.69	7.2	6.57	A2
Jaminawa/Envira	818.96	5.9	0.23	9.4	0.37	A2
Riozinho do Alto Envira	805.84	6.5	0.15	9.8	0.28	A2
Kampa do Igarapé Primavera	2608.01	6.0	0.48	9.9	0.22	A2
Kaxinawá do Baixo Rio Jordão	219.55	6.6	0.12	6.7	0.43	A2
Plantas Medicinales Orito Ingi Ande	87.10	5.7	0.19	8.4	0.17	A2
Serrania de los Churumbelos Auka Wasi	104.01	2.8	0.00	7.6	10.34	A2
Rio Gregório	937.12	2.6	2.02	8.9	13.08	A2
Yanomami	1871.30	7.3	0.49	6.3	0.32	A2
Jaminawa Arara do Rio Bagé	95631.27	1.8	3.15	7.0	6.00	A2
Muratuba do Pará	102.97	5.1	0.08	6.9	0.35	A2
Güepi-Sekime	104.03	7.3	3.15	8.0	8.69	A2
Huimeki	2037.87	4.9	0.53	11.4	3.12	A2
Airo Pai	1413.45	6.2	1.47	9.8	0.41	A2
Cordillera Escalera	2480.89	6.6	1.36	10.9	0.66	A2
	1499.05	3.0	2.71	6.5	11.65	A2

Serrania del Tigre Alto Madidi	326.95	0.6	0.14	12.3	8.52	A2
Cerro Uchumachi	74.79	0.2	0.14	7.2	4.82	A2
Cabeceras del Maniqui	2477.85	0.3	0.17	9.0	5.63	A2
Chuchini	75.30	4.3	0.13	13.2	10.57	A2
Eva Eva Mosevenes	2248.76	0.5	0.16	11.2	3.76	A2
Isiboro Securé	13008.64	1.0	0.72	14.2	9.83	A3
Noel Kempff Mercado	16171.48	4.5	5.33	14.2	13.88	A3
Manuripi	7468.16	4.9	0.91	16.2	14.70	A3
Reserva Biológica Do Lago Piratuba	3905.43	3.2	0.38	40.7	3.36	A3
Parque Nacional Do Araguaia	19.44	3.6	0.17	42.5	0.00	A3
Cayambe Coca	1624.23	5.8	7.32	14.7	13.35	A3
Yasuní	10232.68	4.3	1.05	21.9	3.72	A3
Brinck-heuvel	60.89	1.9	0.13	24.0	0.20	A3
Brownsberg	144.14	5.2	3.01	13.7	0.38	A3
Estação Ecológica De Maracá	1035.36	1.1	0.26	15.3	0.28	A3
Estação Ecológica De Maracá Jipioca	585.59	3.2	0.23	40.3	3.33	A3
Cuyabeno	5904.81	4.0	1.61	17.5	4.85	A3
Tambopata	2778.42	1.7	0.73	17.3	1.12	A3
Reserva Biológica Do Guaporé	6157.73	6.2	2.76	26.9	11.46	A3
Floresta Nacional De Caxiuaná	3179.48	4.9	0.31	43.9	0.36	A3
Copi	282.32	1.7	0.07	24.4	0.07	A3
Wane Kreek	522.45	2.4	0.15	25.0	0.07	A3
Parque Nacional Da Serra Do Divisor	8375.59	5.0	1.53	33.5	10.04	A3
Boven-Coesewijne	273.92	2.9	0.12	23.0	0.13	A3
Tinigua	2143.61	0.9	0.49	15.8	4.93	A3
Limoncocha	36.73	2.4	0.40	16.8	1.87	A3
Floresta Nacional De Roraima	1696.28	1.7	0.19	15.8	0.32	A3
Reserva Extrativista Alto Juruá	5379.85	5.2	0.27	14.9	11.82	A3
Reserva Extrativista Rio Ouro Preto	2046.34	1.8	0.32	31.4	0.36	A3
Reserva Biológica Rio Ouro Preto	591.38	1.5	0.15	32.1	0.31	A3
Parque Estadual De Guajará-Mirim	2050.50	1.8	0.38	25.9	9.37	A3
Parque Estadual De Corumbiara	3802.44	2.2	0.73	28.9	8.09	A3
Parque Estadual Serra Dos Reis	364.39	3.3	0.12	35.3	0.12	A3
Reserva Extrativista Rio Pacaás Novoss	3462.46	2.7	2.44	32.1	0.80	A3
Nukini	319.96	5.7	0.08	35.2	0.08	A3
Poyanawa	244.94	6.6	0.13	19.9	9.94	A3
Kampa do Rio Amonea	862.57	4.5	0.23	36.0	10.93	A3
Nhamundá/Mapuera	10490.12	6.5	2.28	29.1	0.55	A3
Parakanã	3512.60	2.6	0.63	32.6	5.96	A3
Xambioá	33.39	3.3	0.08	38.7	0.69	A3
Reserva Extrativista Rio Cautário	1486.95	3.4	0.34	35.5	1.88	A3
Igarapé Lage	1073.78	2.6	0.19	31.9	0.00	A3
Karipuna	1530.07	5.3	2.76	30.1	0.39	A3
Rio Negro Ocaia	1050.28	1.7	0.14	32.4	0.21	A3
Shell Beach Protected Area	1111.99	5.2	0.35	15.5	1.75	A3
Massaco	4200.56	7.3	2.29	21.9	12.82	A3
L'Amara	134.23	5.4	1.72	25.8	1.18	A3
Santiago - Comaina	3979.72	2.9	3.41	17.1	13.31	A3
Central Suriname	11591.24	3.3	3.19	13.7	10.31	A3
Isiboro Securé	12346.13	1.0	0.72	14.7	9.66	A3

Pedro Ignacio Muiba	719.99	5.7	0.27	32.4	12.16	A3
Kenneth Lee	4408.29	7.2	1.23	38.5	1.46	A3
El Dorado	1717.16	2.9	0.71	36.3	6.65	A3
Estancias Elsner Espírir	1001.03	3.1	0.80	15.5	14.49	A3
Ríos Blanco y Negro	13611.86	6.8	1.14	39.7	2.62	A3
Estancias San Rafael	448.73	3.9	0.08	21.3	0.67	A3
Area 1 Madre de Dios	511.01	5.4	0.24	37.8	0.67	A3
Area 2 Madre de Dios	36.77	5.2	0.07	39.3	0.00	A3
Area 3 Madre de Dios	39.08	5.8	0.14	38.0	0.67	A3
Area 4 Madre de Dios	19.05	6.0	0.08	38.2	0.08	A3
Reserva Extrativista Do Rio Cautário	751.25	3.8	0.12	36.2	1.93	A3
Parque Nacional Da Serra Da Cutia	2835.02	3.8	1.79	34.4	1.89	A3
Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns	6744.46	5.0	1.19	23.2	7.09	A3
Reserva Extrativista Verde Para Sempre	12893.66	4.9	1.74	28.2	9.53	A3
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Itatupã-Baquiá	644.41	5.8	1.87	42.6	0.00	A3
Reserva Extrativista Gurupá-Melgaço	1454.22	5.4	0.73	43.6	0.21	A3
Área De Proteção Ambiental Ilha Do Bananal/Cantão	268.68	5.4	0.01	41.5	0.07	A3
Parque Estadual Cristalino	590.00	5.6	0.27	50.2	0.00	A3
Parque Estadual Do Cantão	206.81	3.9	0.28	42.0	0.22	A3
Reserva Extrativista Pedras Negras	1242.83	3.0	1.42	33.8	0.27	A3
Parque Estadual De Monte Alegre	36.15	3.4	0.68	21.0	0.00	A3
Área De Proteção Ambiental Paytuna	574.18	3.3	0.43	20.8	0.14	A3
Trombetas/Mapuera	39700.95	7.1	2.65	22.9	9.76	A3
Nauá	103.27	6.0	0.34	35.8	0.20	A3
Arara do Rio Amonia	207.53	5.0	0.00	40.7	0.08	A3
Aningalzinho	104.05	3.6	0.08	20.6	0.00	A3
Borari de Alter do Chão	104.06	2.7	0.38	22.2	10.17	A3
Baixo Tapajós	104.03	5.8	2.39	20.8	1.35	A3
Juruna do Km 17	104.02	1.9	0.13	45.3	0.08	A3
Las Casas	213.55	3.0	0.08	39.9	0.10	A3
Karajá Santana do Araguaia	14.55	4.9	0.00	41.2	0.00	A3
Maraiwatsede	1066.47	5.0	0.51	30.6	6.31	A3
Urubu Branco	945.37	4.8	2.18	31.2	14.82	A3
Utaria Wyhyna/Iròdu Iràna	19.32	3.6	0.16	42.5	0.00	A3
Kanawa	15.44	6.8	0.11	25.7	0.10	A3
Reserva Extrativista Renascer	2096.66	6.8	1.96	19.9	1.71	A3
Área De Proteção Ambiental Do Lago De Tucurui	5682.04	3.5	0.34	50.4	0.00	A3
Sororó - Gleba Tuapekuakau	103.61	5.3	0.14	38.1	0.08	A3
Nukini	103.30	5.6	0.39	35.4	0.15	A3
Brinco das Moças	104.04	4.1	0.08	37.7	12.00	A3
Baixo Tapajós/Arapiuns	104.01	7.0	2.99	20.4	1.86	A3
Lago Grande	102.61	3.4	0.12	42.3	0.07	A3
Karajá Santana do Araguaia	102.94	5.0	0.61	41.2	0.15	A3
Rio Negro Ocaia	2350.69	1.8	0.31	32.2	0.19	A3
Chayu Nain	235.62	0.2	0.08	18.1	16.69	A3
Imiria	1358.25	3.6	0.78	45.6	0.14	A3
Área De Relevante Interesse Ecológico Japiim Pentecoste	256.54	6.1	0.00	26.1	12.93	A3
San Ignacio	425.53	7.3	0.21	35.7	0.58	A3
Pampas del río Yacuma	5962.33	2.9	0.94	17.4	15.14	A3
Chapare	74.54	1.3	0.16	26.5	0.11	A3

Mamore Ibare	75.27	4.1	0.08	22.3	8.74	A3
Rio Grande Valles Crucenos	48.02	0.3	0.19	49.2	0.28	A3
Meandros del Ichilo	240.25	1.6	0.13	26.5	0.07	A3
Humedales del Norte	4914.58	2.5	0.26	15.3	4.44	A3
Laguna Yaguaru	11.91	2.3	0.00	43.6	0.00	A3
Itenez	13690.97	4.9	1.62	36.7	1.99	A3
Sierra del Divisor	13551.13	5.1	2.13	35.4	8.97	A3
Ebio Kiabamene	19.26	2.1	0.10	16.3	0.10	A3
Tambopata Eco Lodge	10.67	1.9	0.19	16.4	0.23	A3
Área De Proteção Ambiental De Alter Do Chão	161.21	2.6	0.07	28.8	10.26	A3
Pueblo Originario Kichwa de Sarayaku	1426.26	1.0	0.22	17.6	8.26	A3
Sangay	586.94	13.0	14.51	1.0	0.13	B1
de Cutervo	77.27	7.8	5.39	2.9	3.70	B1
Duida-Marahuaca	1951.41	12.8	10.45	0.7	0.68	B1
Jaua Sarisariñama	2611.70	11.5	12.87	1.1	0.93	B1
Parque Nacional Do Monte Roraima	1167.48	18.3	18.07	0.5	0.41	B1
de Pagaibamba	20.78	11.5	0.00	0.9	0.00	B1
Alto Orinoco-Casiquiare	31020.96	8.3	9.02	2.0	3.75	B1
Reserva Extrativista Chico Mendes	9314.61	8.1	0.55	5.0	0.55	B1
Waiãpi	6045.26	14.2	6.81	4.3	2.22	B1
Nambikwara	1125.93	16.1	0.24	1.0	0.17	B1
Pirineus de Souza	17.06	16.9	0.11	5.1	0.11	B1
Umutina	29.59	12.1	8.35	3.4	0.13	B1
Rio Paru D'Este	11944.07	9.2	6.20	4.8	1.14	B1
Parque Estadual Serra Santa Bárbara	1204.30	8.6	7.24	0.4	0.45	B1
Parque Estadual Serra Ricardo Franco	1578.28	7.8	5.71	3.0	3.79	B1
Estação Ecológica Do Rio Ronuro	1026.74	20.4	0.19	5.2	0.18	B1
Paukalirajausu	100.81	12.1	6.67	0.6	5.48	B1
Wawi	1500.35	11.2	3.74	3.9	0.67	B1
Batovi	50.42	21.4	0.11	4.3	0.16	B1
Pirineus de Souza	29.07	17.1	0.13	4.8	0.25	B1
Ichigkat Muja - Cordillera del Cóndor	883.26	16.6	15.28	2.8	5.84	B1
Huaylla Belén - Colcamar	63.27	20.7	13.77	1.5	0.37	B1
Área De Proteção Ambiental Igarapé São Francisco	300.19	8.2	0.26	4.7	0.12	B1
Parque Ecologico Urbano de Cobija	76.39	7.5	0.13	4.8	0.17	B1
Yacuri	368.28	10.1	12.78	0.8	0.49	B1
El Quimi	90.15	18.9	16.41	1.2	2.13	B1
El Zarza	36.92	13.8	10.26	4.8	2.46	B1
El Cóndor	78.92	12.4	8.03	0.9	0.48	B1
Siete Iglesias	150.54	20.8	17.77	3.9	3.30	B1
Bosques Montanos y Páramos de Huaricancha	26.67	15.8	11.13	2.8	1.86	B1
Bosques Montanos y Páramos Chicuate - Chinguelas	214.25	13.9	12.62	0.5	0.15	B1
Páramos y Bosques Montanos de la Comunidad Campesina San Juan de Sallique	34.64	11.0	4.44	2.4	1.48	B1
Páramos y Bosques Montanos San Miguel de Tabaconas	169.11	13.2	8.06	3.8	1.14	B1

Páramos y Bosques Montanos, Paraíso de la Comunidad Campesina San Felipe	19.57	9.5	0.32	0.5	0.11	B1
Knoya - Supru	25.52	7.7	0.21	5.1	0.27	B1
Reserva Biológica Do Jaru	3468.62	19.1	0.51	8.8	3.02	B2
Kararaô	3307.57	19.3	8.97	10.8	3.15	B2
Puinawai	10952.98	16.6	2.49	7.5	0.64	B2
Kaxinawá da Praia do Carapanã	606.46	8.1	0.11	6.8	0.44	B2
Rio Gregório	928.96	7.3	0.48	6.3	0.37	B2
Igarapé do Caucho	121.02	9.2	0.12	8.0	0.11	B2
Kaxinawá Nova Olinda	258.08	7.5	0.20	9.6	0.40	B2
Alto Rio Purus	2621.61	8.6	0.42	9.0	0.60	B2
Floresta Nacional De Macauã	1763.47	8.6	0.44	6.7	0.32	B2
Katukina/Kaxinawá	232.41	10.3	0.41	9.0	0.39	B2
Serra Morena	1477.33	21.1	0.24	8.3	1.95	B2
Vale do Guaporé	2278.79	9.3	6.21	10.4	1.87	B2
Zoró	3555.52	19.3	0.40	9.9	0.78	B2
Paquiçamba	41.37	7.7	0.24	10.3	1.02	B2
Igarapé Lourdes	1962.86	18.1	0.32	7.9	0.38	B2
Rio Mequens	1077.73	11.0	3.88	6.3	1.66	B2
Roosevelt	2297.64	18.8	0.39	9.3	1.45	B2
Sete de Setembro	2477.86	18.0	0.36	9.6	0.41	B2
Tubarão Latunde	1167.39	11.1	3.68	7.4	2.69	B2
Arara	2748.78	20.1	7.72	10.4	4.62	B2
Cachoeira Seca	7339.64	19.3	7.57	12.0	6.68	B2
Parque do Aripuanã	11976.89	19.2	1.06	6.8	1.42	B2
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Rio Iratapuru	8735.58	10.8	8.29	10.1	12.10	B2
Igarapé Capana	1293.05	10.0	0.32	12.5	0.76	B2
Cordillera Azul	13538.99	7.5	6.80	8.9	15.56	B2
Floresta Nacional De São Francisco	211.48	9.2	0.13	6.4	0.12	B2
Reserva Extrativista Do Cazumbá-Iracema	7549.86	8.9	0.45	8.5	1.72	B2
Parque Nacional Montanhas Do Tumucumaque	38651.40	9.6	6.76	7.1	4.25	B2
Parque Estadual Chandless	6939.76	7.5	0.60	8.5	1.22	B2
Reserva Extrativista Maracatiara	95.12	19.7	0.28	10.7	8.02	B2
Reserva Extrativista Angelim	89.28	19.2	0.16	7.7	0.18	B2
Reserva Extrativista Aquariquara	179.23	18.6	0.11	7.7	0.24	B2
Reserva Extrativista Piquiá	14.50	18.8	0.07	8.0	0.08	B2
Reserva Extrativista Castanheira	99.24	19.0	0.16	7.7	4.81	B2
Reserva Extrativista Do Itaúba	18.15	18.3	0.08	8.4	0.08	B2
Floresta Estadual De Rendimento Sustentado Mutum	112.21	18.6	0.20	11.1	10.04	B2
Reserva Extrativista Jatobá	12.53	18.4	0.19	8.4	0.07	B2
Floresta Estadual Do Paru	36101.49	9.7	8.57	6.6	8.89	B2
Reserva Biológica De Maicuru	11732.78	8.4	6.26	5.9	2.88	B2
Alto Rio Negro	80024.58	16.5	2.44	11.3	1.52	B2
Médio Rio Negro I	17767.88	14.0	7.00	13.4	2.77	B2
Zo'e	6688.19	12.1	4.68	7.2	10.54	B2
Kaxinawá Seringal Currálinho	103.06	9.4	0.32	8.2	0.17	B2
Jaminawa do Rio Caeté	102.80	9.5	0.13	10.0	0.21	B2
Jaminawá da Colocação São Paulino	102.92	9.0	0.08	11.1	0.08	B2

Jaminawa do Guajará	102.54	8.4	0.08	6.1	0.11	B2
Aripuanã	7488.43	20.8	0.89	10.3	3.25	B2
Kwazá do Rio São Pedro	168.05	14.5	0.07	5.5	0.23	B2
Rio Omerê	261.70	12.7	3.33	6.2	0.14	B2
Lagoa dos Brincos	17.79	15.4	0.12	11.6	1.06	B2
Parque do Xingu	26437.08	16.1	5.81	10.4	12.04	B2
Manchineri do Seringal Guanabara	102.50	8.4	0.15	6.2	0.00	B2
Guyane (Parc Amazonien)	20218.33	14.3	7.37	9.4	3.99	B2
Guyane (Parc Amazonien) [Aire D'Adhésion]	13595.00	10.6	8.19	11.8	4.05	B2
Zoró	102.54	20.1	0.15	13.2	3.54	B2
Igarapé Lourdes	102.48	17.7	0.14	7.6	0.23	B2
Ikpeng	101.78	18.5	0.79	5.7	0.23	B2
Rio Formoso	80.64	18.5	0.38	13.3	0.87	B2
Arara da Volta Grande do Xingu	255.14	8.7	0.19	7.6	2.82	B2
Paquiçamba	103.97	7.5	0.33	10.2	0.85	B2
Tanaru (Interdição)	80.71	12.8	4.61	5.5	1.30	B2
Piripkura (Interdição)	2423.92	20.6	0.34	13.5	6.35	B2
Tuntanain	947.93	10.2	12.46	5.7	11.41	B2
Comunal Tamshiyacu Tahuayo	4198.76	12.5	0.56	12.9	0.00	B2
Estação Ecológica Rio Flor Do Prado	85.35	19.9	0.15	11.4	0.66	B2
Área De Proteção Ambiental Lago Do Amapá	51.77	8.8	0.09	8.7	15.30	B2
Machia	74.49	13.4	6.49	9.2	11.78	B2
Cerro Plateado	307.39	15.8	14.97	7.7	9.96	B2
Cofán Bermejo	548.41	11.3	15.83	11.5	8.36	B2
La Bonita	145.13	14.4	0.00	10.4	1.93	B2
Reserva Biológica Do Rio Trombetas	4077.56	14.7	0.71	35.6	0.15	B3
Reserva Biológica Do Tapirapé	992.72	12.7	15.43	19.1	9.73	B3
Floresta Nacional De Tapajós	5306.22	8.0	2.33	22.3	7.28	B3
Floresta Nacional Do Jamari	2221.55	18.3	0.30	23.2	6.45	B3
Floresta Nacional De Purus	2561.24	11.8	0.30	19.2	4.06	B3
Área De Proteção Ambiental Do Igarapé Gelado	232.85	7.7	14.45	21.1	9.48	B3
Floresta Nacional De Bom Futuro	1000.75	14.5	2.04	33.0	4.07	B3
Floresta Nacional De Mapiá-Inauini	3689.50	10.9	0.25	13.8	1.58	B3
Reserva Extrativista Rio Cajari	5324.06	7.7	3.06	38.9	10.78	B3
Estação Ecológica Samuel	689.93	18.4	0.21	25.5	6.02	B3
Reserva Extrativista Rio Preto-Jacundá	1013.54	19.8	0.21	33.2	6.74	B3
Boca do Acre	265.86	10.7	0.28	29.1	0.18	B3
Camicua	583.95	11.2	0.11	17.8	1.99	B3
Deni	15282.29	14.9	0.87	25.3	0.73	B3
Kaxarari	1462.92	11.3	0.33	31.3	0.28	B3
Kulina do Medio Jurua	7271.36	11.3	0.63	16.7	7.42	B3
Seruini/Mariene	1448.85	13.1	0.37	27.4	0.30	B3
Rio Biá	11856.35	13.4	1.34	22.9	0.21	B3
Tenharim Marmelos	4983.68	19.4	0.69	36.6	0.50	B3
Vui-Uata-In	1215.79	13.1	1.24	19.1	0.19	B3
Vale do Javari	85341.76	12.6	2.36	18.5	3.17	B3
Waimiri-Atroari	25897.18	9.0	1.49	26.0	0.00	B3
Alto Turiaçu	5293.34	15.1	1.46	38.9	8.84	B3
Awa	1169.86	11.9	0.30	19.8	16.01	B3
Apiaka/Kayabi	1096.24	15.8	7.95	20.3	6.83	B3

Capoto/Jarina	6345.08	17.7	0.56	55.7	2.35	B3
Escondido	1688.38	14.8	6.02	24.9	2.74	B3
Japuíra	1544.86	21.8	4.54	16.0	4.40	B3
Alto Rio Guamá	2821.44	14.8	0.54	40.9	12.65	B3
Baú	15384.83	12.3	0.58	46.5	6.35	B3
Munduruku	23860.27	17.2	3.24	37.3	13.68	B3
Tembé	10.67	9.6	0.00	51.5	0.00	B3
Karitiana	897.22	15.3	1.10	34.7	0.12	B3
Rio Branco	2363.26	10.3	2.77	17.5	13.24	B3
Menkragnotí	49304.07	10.7	7.22	42.1	13.09	B3
Floresta Estadual De Rendimento Sustentado Do Rio Madeira "B"	473.45	18.0	0.11	33.4	0.11	B3
Pucacuro	6384.33	10.1	5.60	26.8	1.83	B3
Tenharim do Igarapé Preto	855.91	21.3	0.19	38.9	1.08	B3
Acimã	406.21	15.2	0.44	27.9	0.08	B3
Alto Sepatini	260.62	14.3	0.17	27.9	0.13	B3
Apurinã Km 124 BR-317	422.87	10.2	0.13	28.6	0.63	B3
Cacau do Tarauaca	286.51	12.2	0.11	18.2	5.03	B3
Catipari/Mamoria	1149.63	15.2	0.21	26.2	0.27	B3
Guajahã	50.30	14.0	0.13	26.5	0.09	B3
Kanamari do Rio Juruá	6017.57	13.3	0.43	25.8	1.26	B3
Peneri/Tacaquiri	1898.11	12.7	0.36	27.0	0.41	B3
Tumiã	1240.91	14.0	0.37	27.4	0.24	B3
La Trinité	771.18	20.3	0.68	13.7	4.88	B3
Sables Blancs De Mana	255.91	8.3	6.57	23.4	2.09	B3
Floresta Nacional De Humaitá	4731.57	17.8	0.74	35.1	0.68	B3
Floresta Nacional Altamira	7249.76	16.2	7.03	39.6	12.49	B3
Estação Ecológica Da Terra Do Meio	33731.40	17.6	9.97	17.8	8.04	B3
Reserva Extrativista Lago Do Cuniã	758.76	17.3	0.31	33.7	0.12	B3
Estação Ecológica De Cuniã	1853.14	17.0	0.41	33.6	0.33	B3
Reserva Extrativista São João Da Ponta	34.10	21.8	0.16	54.5	3.71	B3
Reserva Extrativista Riozinho Do Anfrísio	7370.82	11.6	5.22	31.2	12.76	B3
Floresta Nacional De Jacundá	2212.19	17.6	0.50	34.6	0.44	B3
Reserva Biológica Nascentes Serra Do Cachimbo	3421.93	14.4	3.41	20.4	16.36	B3
Reserva Extrativista Mapuá	937.47	12.0	2.52	48.6	0.19	B3
Reserva Extrativista Arióca Pruaná	838.16	16.1	0.58	50.7	0.08	B3
Área De Proteção Ambiental Do Tapajós	20403.14	14.6	2.55	44.2	0.88	B3
Floresta Nacional Do Jamanxim	13016.87	13.5	1.63	46.2	1.07	B3
Floresta Nacional Do Crepori	7403.98	14.2	1.57	42.5	0.18	B3
Floresta Nacional Do Trairão	2575.30	12.6	5.27	30.3	15.59	B3
Parque Nacional Do Rio Novo	5381.53	16.1	1.22	43.0	8.55	B3
Reserva Extrativista Chocoaré-Mato Grosso	27.83	21.6	0.16	49.0	0.43	B3
Reserva Extrativista Rio Iriri	3989.94	11.1	5.71	19.8	4.17	B3
Reserva Extrativista Terra Grande Pracuuba	1948.68	14.4	1.56	48.0	2.53	B3
Parque Nacional Dos Campos Amazônicos	9613.23	21.5	0.89	38.3	0.93	B3
Reserva Extrativista Arapixi	1337.11	10.1	0.59	15.4	1.19	B3
Parque Nacional Do Juruena	19580.05	14.2	4.65	39.8	8.38	B3
Parque Estadual Do Xingu	953.27	9.8	6.86	56.7	0.10	B3
Parque Estadual Tucumã	809.98	21.7	0.22	38.6	0.20	B3
Área De Proteção Ambiental Da Baixada Maranhense	17117.88	11.2	4.96	45.5	18.73	B3

Reserva De Desenvolvimento Sustentável Uacari	6202.99	15.0	0.88	23.6	0.17	B3
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Cujubim	24219.32	15.3	0.73	22.1	0.65	B3
Floresta Estadual Manicoré	831.44	21.8	0.20	39.1	0.30	B3
Floresta Estadual Apuí	1826.93	17.2	3.83	42.3	0.00	B3
Parque Estadual Sucunduri	7957.73	12.6	4.33	42.6	0.88	B3
Floresta Estadual Sucunduri	4810.01	13.1	5.87	37.5	8.62	B3
Reserva Extrativista Jaci-Paraná	1970.93	9.3	2.24	35.5	0.18	B3
Reserva Extrativista Massaranduba	55.69	19.5	0.17	17.7	5.43	B3
Reserva Extrativista Sucupira	30.58	19.3	0.13	20.2	8.71	B3
Floresta Estadual De Rendimento Sustentado Cedro	25.68	19.5	0.10	20.1	0.10	B3
Reserva Extrativista Mogno	24.52	19.6	0.08	17.8	3.76	B3
Floresta Estadual De Rendimento Sustentado Periquito	11.53	18.7	0.11	33.9	8.35	B3
Floresta Estadual De Rendimento Sustentado Araras	10.86	18.6	0.09	14.5	14.29	B3
Parque Estadual Igarapés Do Juruena	2238.92	10.1	4.33	41.5	5.90	B3
Floresta Estadual De Faro	6140.09	12.1	4.55	30.9	2.83	B3
Floresta Estadual Do Trombetas	31435.64	8.4	4.79	25.5	10.58	B3
Floresta Estadual De Iriri	4392.40	10.7	0.48	43.2	8.09	B3
Arara do Rio Branco	1146.64	9.9	6.61	27.2	7.07	B3
Água Preta/Inari	1397.40	14.2	0.32	25.3	0.32	B3
Camadeni	1508.85	15.1	0.27	25.0	0.32	B3
Nova Esperança do Rio Jandiatuba	199.09	13.1	0.00	18.5	0.16	B3
Porto Redenção	103.97	14.5	1.30	18.4	0.08	B3
São Francisco do Canimari	33.33	12.0	0.76	19.0	0.09	B3
Mawetek	1155.18	13.0	0.42	21.0	0.31	B3
Inauini/Teuini	4683.35	11.6	0.42	15.3	3.88	B3
Garaperi/Lago da Vitoria	103.11	12.1	0.11	26.9	0.11	B3
Valparaiso	103.01	11.4	0.16	27.9	0.60	B3
Jamamadi do Lourdes	102.98	11.0	0.21	16.1	2.06	B3
Caiapucá	102.90	9.5	0.33	13.9	1.20	B3
Sãokoã/Santa Vitória	103.21	13.5	0.21	26.5	0.11	B3
Iquirema	102.97	11.3	0.11	27.9	0.11	B3
Monte/Primavera/Goiaba	102.97	11.5	0.15	28.1	0.16	B3
Diahui	473.89	18.7	1.43	35.5	0.07	B3
Panará	4989.60	13.7	3.85	52.7	0.59	B3
Bragança-Marituba	135.09	10.5	0.00	20.0	0.46	B3
Munduruku-Taquara	253.14	9.6	1.09	20.3	0.67	B3
Pacajá	104.01	10.5	0.65	48.8	0.17	B3
Kuruáya	1666.22	10.1	2.61	29.8	9.11	B3
Xipaya	1785.44	9.4	0.35	21.9	7.73	B3
Badjonkore	2220.95	18.4	13.84	37.1	15.26	B3
Rio Arraias/BR 080	102.34	18.1	0.13	20.7	0.15	B3
Estação Parecis	101.09	21.5	0.07	16.2	0.00	B3
Kapotnhinore	102.64	18.0	0.11	56.6	0.07	B3
Lucifer Dekou Dekou	643.07	16.1	0.32	18.3	3.89	B3
Reserva Extrativista Quilombo Do Frechal	93.38	20.4	0.09	20.6	16.43	B3
Floresta Nacional Do Iquiri	14726.02	13.2	1.51	29.1	0.71	B3
Reserva Extrativista Do Médio Purús	6042.33	15.4	0.67	27.1	0.49	B3
Parque Nacional Mapinguari	17769.23	13.9	4.12	30.2	0.37	B3

Área De Proteção Ambiental Do Arquipélago Do Marajó	45163.89	11.5	3.71	48.1	2.02	B3
Parque Estadual Do Utinga	13.98	20.8	0.53	54.0	0.00	B3
Yaigoje Apaporis	10557.42	14.7	2.12	14.6	1.30	B3
Kayabi	10539.29	11.1	4.75	36.2	14.22	B3
Jacareúba/Katauxi	4534.67	16.5	1.12	33.0	0.10	B3
Puruborá	101.94	8.1	0.08	32.3	0.08	B3
Karitiana	102.84	16.6	0.11	35.0	0.11	B3
Terena Gleba Iriri	305.43	15.9	0.07	53.9	0.12	B3
Maracaxi	104.07	11.4	0.98	51.4	0.19	B3
Kawahiva do Rio Pardo	4100.18	21.0	5.28	39.7	5.77	B3
Alto Nanay-Pintuyacu-Chambira	9552.94	12.5	4.66	26.9	0.88	B3
Refúgio De Vida Silvestre Metrôpole Da Amazônia	63.69	19.9	0.83	54.3	0.19	B3
Floresta Estadual Do Amapá	23703.15	12.3	12.35	20.3	12.00	B3
Área De Proteção Ambiental Do Rio Madeira	56.38	17.1	0.27	33.5	0.08	B3
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Peugeot-Onf-Brasil	17.60	8.1	0.07	27.7	0.23	B3
Cobaipo	1902.63	8.7	0.17	39.4	1.05	B3
Área De Proteção Ambiental Da Região Metropolitana De Belém	56.47	20.4	0.60	54.0	0.00	B3
Comunal San Pablo - Catarata Gocta	25.99	12.2	5.65	15.3	21.50	B3
Koatinemo	3878.34	27.4	6.11	4.4	1.47	C1
Floresta Nacional De Tapirapé-Aquiri	1965.03	32.1	9.23	5.1	3.58	C1
Floresta Nacional De Carajás	3912.55	35.1	8.94	3.1	3.68	C1
Floresta Nacional De Itacaiunas	1367.00	33.1	8.41	4.3	2.60	C1
Pequiza do Naruvôtu	279.29	22.2	0.40	4.2	0.15	C1
Parque Nacional Dos Campos Ferruginosos	790.85	38.2	0.65	1.8	0.96	C1
Reserva Biológica Do Gurupi Caru	2711.99	25.8	11.82	6.6	9.79	C2
Irantxe	1708.90	22.3	9.43	10.7	13.89	C2
Apyterewa	253.12	26.3	0.08	5.7	0.00	C2
Araweté Igarapé Ipixuna	7738.14	32.2	1.17	6.8	2.31	C2
Xikrin do Rio Catete	9409.04	30.3	2.38	6.9	2.30	C2
Sororó	4360.65	36.1	0.55	8.8	3.87	C2
Trincheira Bacaja	260.94	23.2	0.38	10.0	0.13	C2
Parque Nacional Da Serra Do Pardo	16546.58	26.9	10.07	7.1	3.34	C2
Parque Estadual Da Serra Dos Martírios/Andorinhas	4453.96	30.1	4.83	9.7	1.55	C2
Área De Proteção Ambiental Triunfo Do Xingu	250.32	30.4	7.06	9.5	0.46	C2
Área De Proteção Ambiental De São Geraldo Do Araguaia	16796.39	31.2	3.03	11.0	3.00	C2
Ponte de Pedra	267.03	32.6	6.45	9.6	0.32	C2
Reserva Extrativista Rio Xingu	116.78	28.3	0.16	7.1	0.00	C2
Manoki	3030.02	27.4	6.46	12.1	2.48	C2
Menku	2291.28	26.2	0.30	6.0	0.29	C2
Uaçã	20.42	23.7	0.00	7.2	0.00	C2
Estação Ecológica Do Rio Roosevelt	103.97	52.3	0.12	12.9	0.22	C2
Galibi	979.66	22.3	0.22	39.5	0.31	C3
Jumina	62.90	53.0	0.09	16.1	6.65	C3
Uaçã	417.50	52.8	1.50	22.5	6.25	C3
Uaçã	4700.89	40.3	17.23	20.4	7.65	C3

Arariboia	4000.44	54.8	0.44	54.6	0.47	C3
Geralda Toco Preto	136.15	56.2	0.07	56.7	0.46	C3
Erikbaktsa	811.00	22.6	0.11	13.9	1.99	C3
Kayapó	32834.03	33.9	7.08	14.9	8.69	C3
Nouragues	1065.75	32.9	12.34	15.5	0.18	C3
Grand Matoury	22.64	26.4	15.76	17.1	0.19	C3
Guyane	6202.78	39.0	20.14	18.3	3.99	C3
Mont Grand Matoury	21.00	26.3	15.78	17.1	0.19	C3
Parque Nacional Do Jamanxim	8628.88	24.6	3.91	41.9	5.83	C3
Área De Proteção Ambiental Lago De Santa Isabel	185.85	23.3	4.86	19.7	15.24	C3
Floresta Estadual Aripuanã	3287.46	22.2	2.31	40.6	0.28	C3
Reserva Extrativista Do Guariba	1480.70	22.7	0.30	40.2	0.24	C3
Parque Estadual Guariba	711.00	22.3	0.18	39.6	0.20	C3
Rio Pardo	1656.17	21.9	3.84	40.3	5.20	C3
Batelão	1171.43	23.7	2.61	14.0	2.20	C3
Reserva Extrativista Do Ciriáco	80.47	25.1	0.35	48.4	10.15	C3
Trésor	24.66	53.4	0.09	16.1	0.24	C3
Montagne De Kaw - Reserve Tresor	24.66	53.4	0.09	16.1	0.24	C3
Montagne De Kaw	171.38	52.2	1.71	15.7	0.32	C3
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Campo Das Mangabas	70.54	21.9	0.16	49.2	0.36	C3
Bosques Tropicales Estacionalmente Secos del Maraón	18.09	22.6	13.15	21.4	21.93	C3
Petites Montagnes Tortue (Des)	23.65	52.9	0.07	15.8	0.22	C3
Purace	30.16	-	-	2.6	0.00	DISAPPEARING
Antisana	52.20	-	-	23.1	19.21	DISAPPEARING
Llanganates	28.18	-	-	1.7	0.00	DISAPPEARING
Las Areas Naturales la Siberia y Parte de la Cuenca Alta del Rio las Ceibas	17.43	-	-	0.5	0.00	DISAPPEARING
Paramo de las Ovejas-Tauso	22.04	-	-	5.4	0.00	DISAPPEARING
Rio Formoso	12.99	-	-	-	-	NA
San Pedro de Chuquibamba	33.49	-	-	-	-	NA
Parque Nacional Do Jaú	23673.46	10.2	0.76	-	-	NOVEL
Parque Nacional Da Amazônia	10662.02	9.2	1.25	-	-	NOVEL
Amacayacu	2624.10	16.4	1.17	-	-	NOVEL
Pacaya - Samiria	21718.01	6.7	1.65	-	-	NOVEL
Yapacana	2798.86	5.4	3.40	-	-	NOVEL
Parque Nacional De Anavilhanas	3502.40	11.9	0.47	-	-	NOVEL
Cerro Autana	44.96	0.8	0.11	-	-	NOVEL
Reserva Biológica Do Abufari	2238.66	12.6	0.37	-	-	NOVEL
Estação Ecológica De Niquiá	3063.92	1.2	0.34	-	-	NOVEL
Estação Ecológica Juami-Japurá	8315.27	18.4	1.43	-	-	NOVEL
Estação Ecológica De Jutai-Solimões	2895.15	11.0	2.25	-	-	NOVEL
Peruvia	330.00	5.3	0.08	-	-	NOVEL
Mac Clemen	57.90	2.9	0.45	-	-	NOVEL
Snake Creek	43.57	1.8	0.24	-	-	NOVEL

Kaboeri Kreek	745.52	1.9	0.15	-	-	NOVEL
Nani	426.42	2.9	1.07	-	-	NOVEL
Cinaruco-Capanaparo	81.63	0.8	0.00	-	-	NOVEL
Parque Estadual Do Bacanga	31.65	15.9	0.07	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Tefé	8651.24	9.8	1.78	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Mamirauá	13199.43	20.0	6.39	-	-	NOVEL
Cahuinari	5586.74	14.1	0.85	-	-	NOVEL
La Tortuga Arrau	150.04	0.7	0.20	-	-	NOVEL
De la Tortuga Arrau	14.38	0.6	0.16	-	-	NOVEL
Reserva Biológica Do Uatumã	9387.23	8.9	0.84	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Saracá-Taquera	4412.85	10.3	5.18	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental De Presidente Figueiredo - Caverna Do Moroaga	4085.58	12.4	1.50	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Nhamundá	2015.97	4.2	0.40	-	-	NOVEL
Estação Ecológica Serra Dos Três Irmãos	889.61	9.7	1.76	-	-	NOVEL
Reserva Biológica Traçadal	241.50	2.7	0.08	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Do Rio Curiaú	218.73	2.1	0.07	-	-	NOVEL
Reserva Biológica Morro Dos Seis Lagos	382.88	5.6	3.11	-	-	NOVEL
Área De Relevante Interesse Ecológica Javari Buriti	131.77	10.4	0.30	-	-	NOVEL
Coata-Laranjal	11529.13	13.0	0.75	-	-	NOVEL
Estrela da Paz	125.79	24.1	5.23	-	-	NOVEL
Gavião	83.95	11.7	0.11	-	-	NOVEL
Guapenu	103.96	11.1	0.22	-	-	NOVEL
Igarapé Grande	11.90	9.7	0.00	-	-	NOVEL
Ipixuna	2153.33	16.2	0.38	-	-	NOVEL
Jaquiri	19.18	17.0	5.73	-	-	NOVEL
Jatuarana	50.94	12.6	0.07	-	-	NOVEL
Lago Aiapua	239.36	14.6	0.34	-	-	NOVEL
Lago do Beruri	42.75	14.5	0.11	-	-	NOVEL
Lameirão	103.86	16.1	0.12	-	-	NOVEL
Lauro Sodré	94.85	16.5	0.91	-	-	NOVEL
Macarrão	434.59	23.5	0.15	-	-	NOVEL
Miratu	139.20	24.1	0.15	-	-	NOVEL
Murutinga	103.98	10.9	0.08	-	-	NOVEL
Nove de Janeiro	2294.25	16.5	0.31	-	-	NOVEL
Paumari do Lago Marahã	1186.86	15.2	0.38	-	-	NOVEL
Pirahã	3469.81	17.3	0.83	-	-	NOVEL
São Leopoldo	724.06	16.6	0.46	-	-	NOVEL
Terra Vermelha	68.13	14.2	0.09	-	-	NOVEL
Betania	1225.89	15.0	4.66	-	-	NOVEL
Tikúna de Feijoal	414.97	16.1	0.29	-	-	NOVEL
Évare II	1726.96	15.9	0.71	-	-	NOVEL
Évare I	5486.46	15.3	0.65	-	-	NOVEL
Tukuna Porto Espiritual	29.65	16.5	0.70	-	-	NOVEL
Tikuna de Santo Antonio	10.66	14.7	0.46	-	-	NOVEL
Trincheira	17.41	11.8	0.19	-	-	NOVEL
Uati-Paraná	1291.82	23.0	0.21	-	-	NOVEL
Tukuna Umariáçu	48.56	15.1	0.62	-	-	NOVEL
Uneiuxi	4026.88	7.1	5.05	-	-	NOVEL
Zuruahã	2381.22	14.8	0.48	-	-	NOVEL
Rio Pindaré	150.07	10.7	0.07	-	-	NOVEL
Amanayé	103.92	6.4	0.12	-	-	NOVEL
Anambé	85.95	12.0	2.71	-	-	NOVEL
Andirá-Marau	7905.76	7.7	0.78	-	-	NOVEL
Cayabi	1108.35	8.9	0.48	-	-	NOVEL

Mãe Maria	628.90	3.9	0.19	-	-	NOVEL
Sai-Cinza	1249.51	13.2	1.07	-	-	NOVEL
Trocará	216.29	4.5	0.00	-	-	NOVEL
Igarapé Ribeirão	478.51	3.3	0.15	-	-	NOVEL
Pacaas Novas	2812.98	3.0	0.28	-	-	NOVEL
Rio Guaporé	1159.75	3.3	0.49	-	-	NOVEL
Sagarana	181.85	2.9	0.00	-	-	NOVEL
Ananás	26.12	0.7	0.13	-	-	NOVEL
Aningal	76.66	1.4	0.31	-	-	NOVEL
Anta	32.64	1.8	0.14	-	-	NOVEL
Araça	509.37	1.3	0.11	-	-	NOVEL
Barata Livramento	128.79	1.8	0.08	-	-	NOVEL
Boqueirão	164.33	1.8	0.08	-	-	NOVEL
Cajueiro	44.68	1.2	0.08	-	-	NOVEL
Canauanim	114.52	1.0	0.08	-	-	NOVEL
Jabuti	142.23	1.5	0.07	-	-	NOVEL
Malacacheta	285.50	1.2	0.80	-	-	NOVEL
Mangueira	46.34	1.6	0.12	-	-	NOVEL
Manoa/Pium	450.68	1.3	0.11	-	-	NOVEL
Muriru	55.47	0.4	0.13	-	-	NOVEL
Ouro	138.01	1.5	0.11	-	-	NOVEL
Pium	45.62	1.7	0.07	-	-	NOVEL
Ponta da Serra	155.51	1.5	0.08	-	-	NOVEL
Raimundão	42.55	2.0	0.81	-	-	NOVEL
Serra da Moça	113.59	1.9	0.08	-	-	NOVEL
Sucuba	59.77	1.5	0.30	-	-	NOVEL
Tabalascada	130.02	0.9	0.13	-	-	NOVEL
Truaru	60.04	2.1	0.18	-	-	NOVEL
Área De Relevante Interesse Ecológica Projeto Dinâmica Biológica De Fragmentos Florestais	31.80	13.1	0.29	-	-	NOVEL
Apurinã do Igarapé São João	182.47	13.1	0.00	-	-	NOVEL
Apurinã Igarapé Tauamirim	1004.66	13.1	0.24	-	-	NOVEL
Banawá	1926.03	15.3	0.61	-	-	NOVEL
Barreira da Missão	19.01	8.9	0.16	-	-	NOVEL
Caititu	3097.07	16.9	0.82	-	-	NOVEL
Capivara	103.95	11.8	0.14	-	-	NOVEL
Cunhã-Sapucaia	4708.77	15.0	1.02	-	-	NOVEL
Cuia	13.43	11.2	0.10	-	-	NOVEL
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	3889.60	14.3	0.34	-	-	NOVEL
Juma	384.81	16.3	0.11	-	-	NOVEL
Paumari do Lago Manissuã	229.69	13.0	0.23	-	-	NOVEL
Maraã Urubaxi	943.16	4.4	0.85	-	-	NOVEL
Parana do Boa Boa	2445.12	17.5	6.62	-	-	NOVEL
Paumari do Lago Paricá	157.93	14.8	0.08	-	-	NOVEL
Paumari do Rio Ituxi	75.64	15.0	0.12	-	-	NOVEL
Paumari do Cunhua	428.13	15.3	0.46	-	-	NOVEL
Rio Manicoré	193.34	17.0	0.58	-	-	NOVEL
São Pedro do Sepatini	276.01	16.0	0.40	-	-	NOVEL
Sepoti	2513.77	19.1	1.01	-	-	NOVEL
Allpahuayo Mishana	580.82	13.1	0.47	-	-	NOVEL
Parque Nacional Viruá	2149.49	1.7	0.36	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Itaituba I	2131.03	13.6	3.79	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Itaituba II	3977.61	10.3	0.80	-	-	NOVEL
Rio Pure	9875.56	14.9	0.70	-	-	NOVEL
Bruno Racua	737.28	4.5	0.23	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Anauá	2594.01	3.6	0.62	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Barreiro Das Antas	1061.13	2.9	0.68	-	-	NOVEL

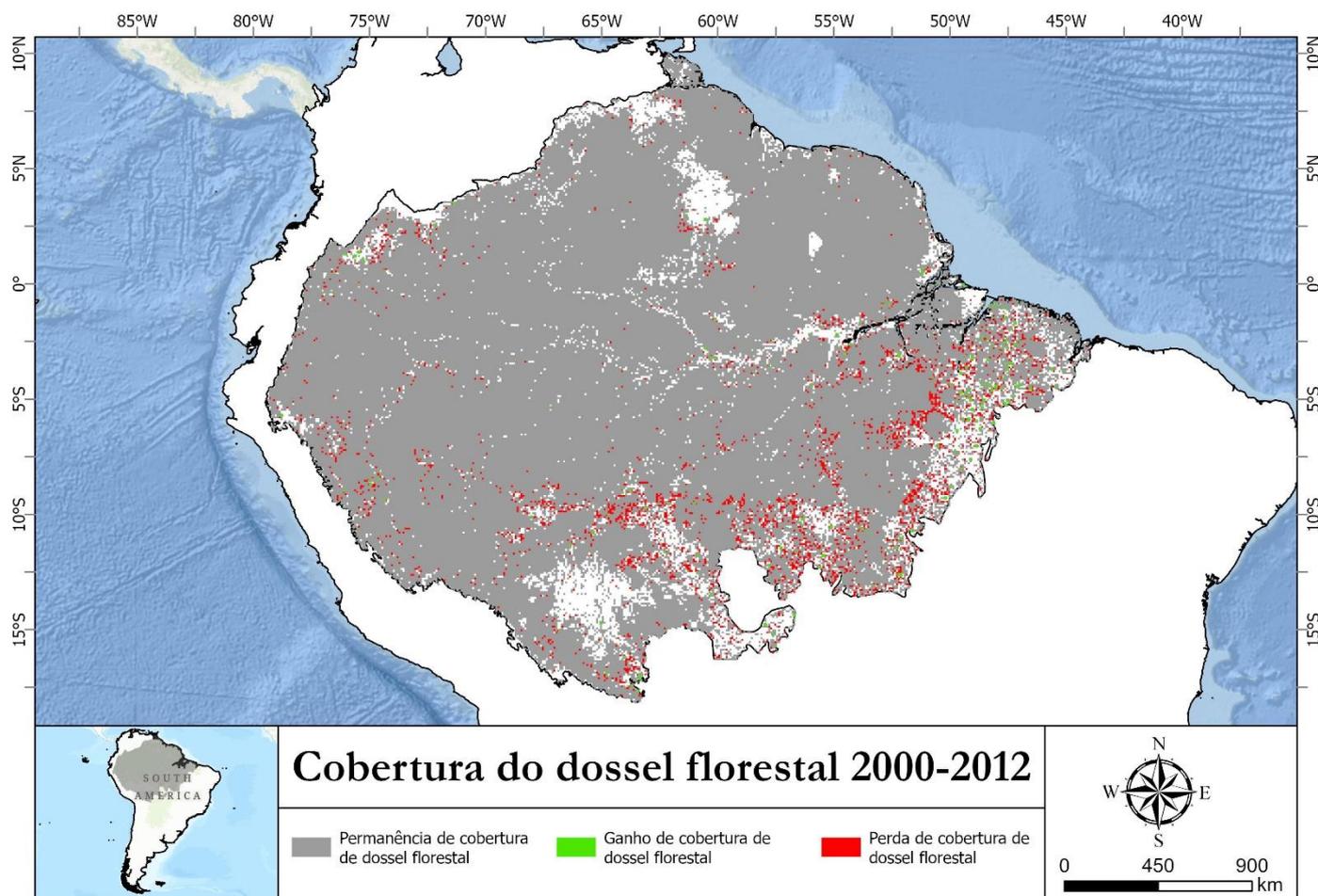
Floresta Nacional De Jatuarana	5694.26	11.4	4.02	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Do Lago Do Capanã Grande	3043.12	13.0	3.21	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Médio Juruá	2869.53	13.7	0.56	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Baixo Juruá	1780.39	8.7	1.64	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Do Rio Jutai	2755.13	10.3	0.36	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Auatí-Paraná	1469.48	19.6	5.76	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Ipaú-Anilzinho	558.34	4.9	0.20	-	-	NOVEL
Floresta Nacional Do Amaná	6825.56	12.6	0.96	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Balata-Tufari	10796.74	15.5	0.54	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Do Rio Unini	8496.87	9.9	5.29	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Pau-Rosa	9881.81	11.5	1.26	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Da Região Do Maracanã	21.90	15.9	0.00	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Amanã	23035.87	16.4	8.14	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Catuá-Ipixuna	2123.23	12.6	2.53	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Piagaçu Purus	8008.74	13.6	1.08	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Rio Amapá	2143.17	14.9	0.39	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Uatumã	4234.64	8.7	0.69	-	-	NOVEL
Floresta Estadual Maúes	4501.34	9.6	0.81	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Canumã	227.58	11.5	0.23	-	-	NOVEL
Floresta Estadual Rio Urubu	270.53	13.0	0.08	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Margem Esquerda Do Rio Negro-Setor Aturiá-Apuauzinho	5683.11	12.4	0.59	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Margem Esquerda Do Rio Negro-Setor Tarumã Açutatumã Mirima	559.36	12.9	0.35	-	-	NOVEL
Parque Estadual Rio Negro Setor Sul	779.51	12.3	0.18	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Margem Direita Do Rio Negro- Setor Paduari-Solimões	4617.42	12.5	0.45	-	-	NOVEL
Parque Estadual Rio Negro Setor Norte	1481.17	12.0	0.25	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Bararati	1108.00	19.1	0.38	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Aripuanã	2180.94	16.6	6.56	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Currallinho	17.57	3.8	0.10	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Pucuruí - Ararão	291.68	3.3	0.07	-	-	NOVEL
Médio Rio Negro II	3156.94	7.0	3.26	-	-	NOVEL
Balaio	2570.40	5.4	5.06	-	-	NOVEL

Cué Cué/ Marabitanas	104.15	16.4	4.72	-	-	NOVEL
Anaro	304.61	0.9	0.13	-	-	NOVEL
Moskow	141.91	0.9	0.00	-	-	NOVEL
São Domingos do Jacapari e Estação	1347.88	19.4	5.75	-	-	NOVEL
Rio Apaporis	1070.25	17.1	0.39	-	-	NOVEL
Bom Intento	15.09	14.5	0.37	-	-	NOVEL
Matintin	217.76	18.0	0.19	-	-	NOVEL
Guanabara	103.83	17.0	0.08	-	-	NOVEL
Porto Limoeiro	49.96	18.5	2.03	-	-	NOVEL
São Sebastião	601.53	20.7	4.64	-	-	NOVEL
Prosperidade	55.71	23.2	0.06	-	-	NOVEL
Santa Cruz de Nova Aliança	59.69	15.3	5.69	-	-	NOVEL
Barro Alto	19.36	15.4	4.90	-	-	NOVEL
Maraitá	530.76	17.0	4.73	-	-	NOVEL
São Gabriel/São Salvador	104.00	10.4	0.08	-	-	NOVEL
Sapotal	12.65	16.1	0.16	-	-	NOVEL
Sururuá	361.51	16.2	0.09	-	-	NOVEL
Cuiu-Cuiu	364.35	23.3	0.15	-	-	NOVEL
Rio Téa	4110.56	6.8	1.98	-	-	NOVEL
Mapari	1574.07	22.5	1.22	-	-	NOVEL
Parana do Paricá	80.05	5.4	0.36	-	-	NOVEL
Baixo Rio Negro	104.15	3.3	0.25	-	-	NOVEL
Espírito Santo	338.40	23.8	0.07	-	-	NOVEL
Acapuri de Cima	198.74	24.4	0.06	-	-	NOVEL
Riozinho	103.96	9.8	0.42	-	-	NOVEL
Kumarú do Lago Ualá	799.14	19.5	6.84	-	-	NOVEL
Porto Praia	47.67	27.0	1.80	-	-	NOVEL
Tupã-Supé	85.86	22.0	5.21	-	-	NOVEL
Cajuhiri Atravessado	125.28	10.1	0.90	-	-	NOVEL
Rio Cuieras	104.10	12.6	0.65	-	-	NOVEL
São Francisco	104.00	12.3	0.26	-	-	NOVEL
Fortaleza do Castanho	27.53	13.7	0.40	-	-	NOVEL
Lago do Barrigudo	103.88	14.9	0.46	-	-	NOVEL
Vista Alegre	103.95	13.3	0.16	-	-	NOVEL
Igarapé Paiol	103.93	14.2	0.39	-	-	NOVEL
Rio Urubu	275.61	10.1	0.15	-	-	NOVEL
Lago do Marinheiro	35.80	13.9	0.49	-	-	NOVEL
Ponciano	103.96	11.9	0.23	-	-	NOVEL
Jauary	103.98	9.5	1.02	-	-	NOVEL
Paraná do Arauató	59.01	8.7	0.08	-	-	NOVEL
Rio Jumas	94.77	14.2	0.13	-	-	NOVEL
Muratuba	103.93	13.4	0.54	-	-	NOVEL
Lago do Limão	103.88	14.3	0.13	-	-	NOVEL
Miguel/Josefa	16.28	11.6	0.09	-	-	NOVEL
Igarapé-Açu	103.79	16.9	0.12	-	-	NOVEL
Arary	407.28	13.1	0.45	-	-	NOVEL
Hi Merimã	6768.30	14.4	0.68	-	-	NOVEL
Kulina do Rio Uerê - Matatibem	103.73	12.8	0.12	-	-	NOVEL
Apurinã do Igarapé Mucuí	732.08	15.9	0.41	-	-	NOVEL
Mamoriá	103.33	15.7	0.08	-	-	NOVEL
Tenharim Marmelos (Gleba B)	4749.48	18.0	0.51	-	-	NOVEL
Pinatuba	296.49	19.1	0.07	-	-	NOVEL
Setemã	492.54	15.9	0.34	-	-	NOVEL
Ariramba	103.63	9.4	5.16	-	-	NOVEL
Lago Jauari	120.30	7.9	0.21	-	-	NOVEL
Lago Capanã	63.26	8.6	0.42	-	-	NOVEL
Torá	506.22	17.0	1.36	-	-	NOVEL
Sarauá	186.01	9.2	0.19	-	-	NOVEL
Cobra Grande	104.07	2.6	0.00	-	-	NOVEL
São João	104.06	3.4	0.14	-	-	NOVEL

Nova Vista	104.05	3.6	0.11	-	-	NOVEL
Rio Maró	104.04	4.4	0.20	-	-	NOVEL
Baixo Tapajós II	103.99	4.2	1.39	-	-	NOVEL
Km 43	103.86	7.2	0.09	-	-	NOVEL
São Luiz do Tapajós	103.85	7.1	0.45	-	-	NOVEL
Pimental	103.83	7.0	0.50	-	-	NOVEL
Mirixipi	104.06	3.1	0.44	-	-	NOVEL
Aminã	104.06	4.7	1.96	-	-	NOVEL
Barreirinha	23.68	7.8	0.32	-	-	NOVEL
Parque Nacional Nascentes Do Lago Jari	8127.49	14.3	0.91	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Ituxí	7763.25	14.8	2.08	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Alcobaça	224.61	3.6	0.15	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Juma	5807.89	18.8	1.01	-	-	NOVEL
Itixi Mitari	1822.74	13.1	0.81	-	-	NOVEL
Pantaleao	103.95	11.2	0.15	-	-	NOVEL
Baixo Grande	103.57	7.5	4.65	-	-	NOVEL
Apurina Igarapé Tauamirim	103.70	13.2	0.15	-	-	NOVEL
Sao Sebastiao Meneroazinho	104.02	6.9	0.12	-	-	NOVEL
Igarapé Preto/Pauana	103.70	13.6	0.15	-	-	NOVEL
Zuruaha	103.37	15.4	0.08	-	-	NOVEL
Baixo Rio Negro II	104.15	5.8	0.23	-	-	NOVEL
Kaxuyana	104.15	13.8	0.17	-	-	NOVEL
Escrivao	103.96	3.4	1.49	-	-	NOVEL
Pontal dos Apiaká	103.22	19.0	0.15	-	-	NOVEL
Sissaíma	103.97	11.4	0.18	-	-	NOVEL
Tunayana	104.16	9.4	1.36	-	-	NOVEL
Lago do Correio	132.18	17.2	1.99	-	-	NOVEL
Uneixi	5514.82	6.7	4.36	-	-	NOVEL
Matsés	4206.93	9.8	1.22	-	-	NOVEL
Sierra del Divisor	622.83	1.8	0.20	-	-	NOVEL
Ampiyacu Apayacu	4335.39	13.2	2.35	-	-	NOVEL
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Cristalino Iii	16.17	4.8	1.15	-	-	NOVEL
Floresta Estadual De Tapauá	8817.06	13.8	0.49	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Rio Negro	1029.79	12.3	0.25	-	-	NOVEL
Parque Estadual Charapucu	653.49	6.2	1.32	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Igapó-Açu	3946.24	15.5	0.82	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Canutama	1979.87	14.6	0.25	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental - Baixo Rio Branco	15647.34	5.7	2.21	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Rio Madeira	2796.34	17.1	1.51	-	-	NOVEL
Floresta Estadual Canutama	1505.89	14.1	0.29	-	-	NOVEL
Parque Estadual Do Matupiri	5095.93	16.8	0.81	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Matupiri	1770.16	16.6	1.05	-	-	NOVEL
Lago San jose	76.40	3.6	0.15	-	-	NOVEL
Lago Tumichucua	76.35	4.2	0.13	-	-	NOVEL
Estação Ecológica Alto Maués	6656.68	14.2	0.82	-	-	NOVEL
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Cristalino I	24.51	5.5	0.12	-	-	NOVEL
Maijuna Kichwa	3908.47	9.8	1.89	-	-	NOVEL
Yaguas	8682.77	16.1	1.37	-	-	NOVEL
Reserva Biológica Do Manicoré	3591.35	21.0	0.62	-	-	NOVEL

Refúgio De Vida Silvestre Tabuleiro Do Embaubal	40.36	2.6	0.13	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Dos Campos De Manicoré	1524.09	20.9	0.62	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentável Vitória De Souzel	229.69	2.4	0.08	-	-	NOVEL
Floresta Nacional De Urupadi	5380.77	14.7	0.61	-	-	NOVEL
Floresta Nacional Do Aripuanã	7512.97	20.8	1.40	-	-	NOVEL
Área De Proteção Ambiental Tapuruquara	30424.73	4.7	3.43	-	-	NOVEL
Parque Nacional Do Acari	8964.05	14.5	2.62	-	-	NOVEL
Reserva De Desenvolvimento Sustentavel Puranga Conquista	860.28	12.9	0.23	-	-	NOVEL
Reserva Extrativista Baixo Rio Branco Jauaperi	5806.26	8.7	1.13	-	-	NOVEL
Serrania La Lindosa - Angosturas II	282.09	2.5	0.53	-	-	NOVEL

Figura S3. 1 - Cobertura de dossel florestal sob o limite biogeográfico da Amazônia.



Fonte: Com base em dados de Hansen et al. (2013).

Figura S3. 2 - Variáveis bioclimáticas selecionadas, média de temperatura anual (Bio1) e precipitação anual (Bio12).

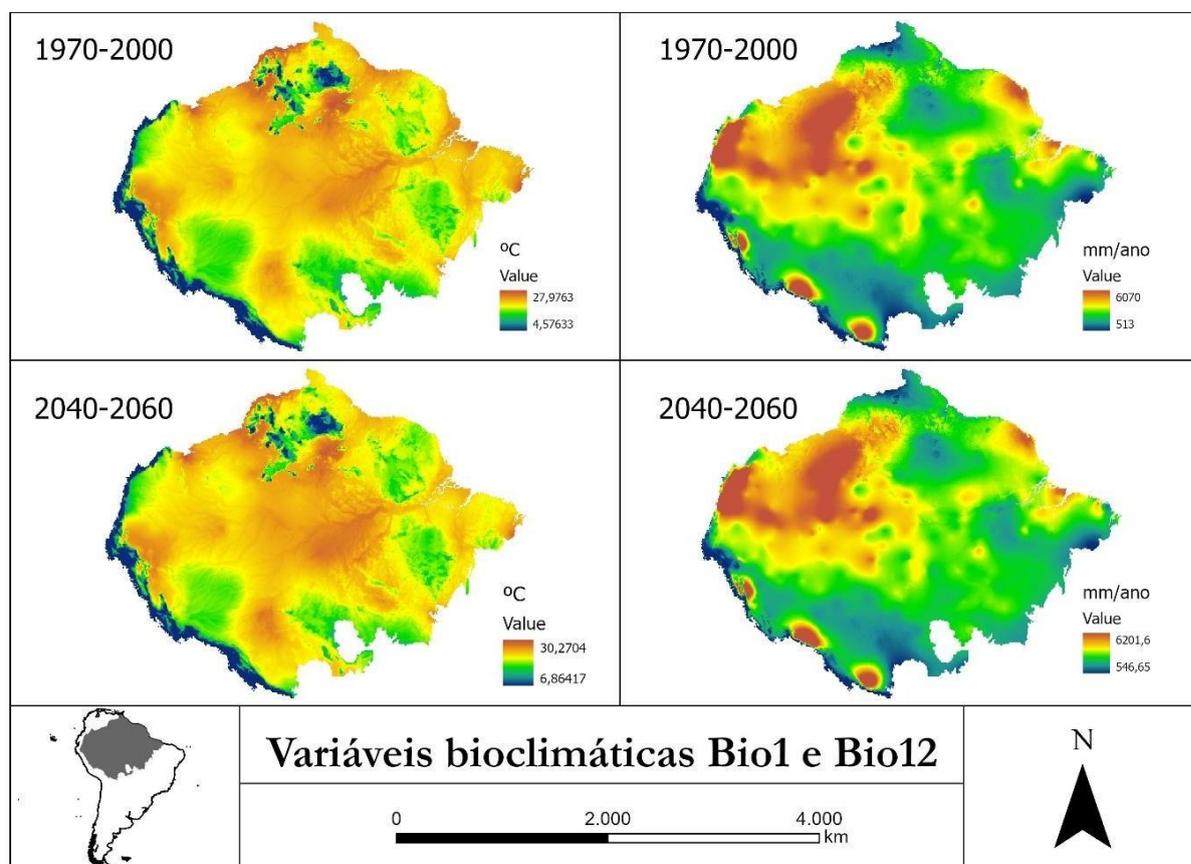


Tabela S3.1 - Comparação das extensões espaciais (km²) e da porcentagem correspondente das classes de refúgios climáticos dentro de Áreas Protegidas entre 2000 e 2012.

Tipo de Área	2000	2012	Δ 2000-2012
<i>Cobertura de dossel florestal total (km²)</i>	6.101.067,43	5.859.680,59	- 241.386,84
<i>Áreas Protegidas (km²)</i>	313.475	321.041	7.5
<i>% Áreas Protegidas</i>	5,1	5,4	0,3
<i>Refúgios In Situ em AP (km²)</i>	204.848,50	205.832,90	984,40
<i>% In Situ em AP</i>	63,3	64,1	-1,2
<i>Refúgios Ex Situ em AP (km²)</i>	130.088,80	134.583,30	4.494,50
<i>% Ex Situ em AP</i>	41,4	41,9	0,4

Tabela S3.2 - Comparação das extensões espaciais (km²) e da porcentagem correspondente das classes de refúgios climáticos por ecorregião entre 2000 e 2012. Valores negativo e positivos representam perdas e ganhos de cobertura de dossel florestal, respectivamente.

Ecoregion	In Situ 2000 (Km²)	In Situ 2012 (Km²)	Δ 2000 - 2012 (Km²)	Δ 2000 -2012 (%)	Ex Situ 2000 (Km²)	Ex Situ 2012 (Km²)	Δ 2000 - 2012 (Km²)	Δ 2000 - 2012 (%)
<i>Apure- Villavicencio Dry Forests</i>	1.010	869	-142	-	185	142	-43	-
<i>Beni Savanna</i>	1.181	1075	-106	-	0	0	0	0
<i>Bolivian Montane Dry Forests</i>	1.596	1585	-10	-	1003	1109	106	10,6026
<i>Bolivian Yungas</i>	54.125	56444	2.319	4,2836	46074	49863	3789	8,22289
<i>Caqueta Moist Forests</i>	3.336	3112	-224	-	22	110	88	404,556
<i>Central Andean Dry Puna</i>	0	0	0	0	6	6	0	0
<i>Central Andean Puna</i>	116	116	0	0	146	77	-69	-
<i>Central Andean Wet Puna</i>	309	791	482	156,18	861	962	101	11,7427
<i>Cerrado</i>	1.871	1451	-420	-	1403	1623	220	15,6840
<i>Chiquitano Dry Forests</i>	5.864	6403	539	9,1882	1291	1040	-250	-
<i>Cordillera Central Páramo</i>	40	16	-24	-	147	197	51	34,4630
<i>Cordillera Oriental Montane Forests</i>	5.053	4462	-591	-	4510	4076	-434	-
<i>Dry Chaco</i>	731	618	-113	-	186	183	-2	-
<i>Eastern Cordillera Real Montane Forests</i>	9.398	9109	-289	-	10875	10550	-325	-
<i>Guianan Highlands Moist Forests</i>	55.054	42536	-12.517	-	39870	40578	708	1,77663
<i>Guianan Lowland Moist Forests</i>	32.588	24449	-8.140	-	6678	7610	933	13,9686
<i>Guianan Piedmont Moist Forests</i>	57.362	52406	-4.956	-	8466	9973	1507	17,8000

(continua)

<i>Guianan Savanna</i>	5.302	6411	1.109	20,916 27952	2381	2729	347	14,5931 6159
<i>Iquitos Várzea</i>	363	436	73	20,073 38222	21	19	-1	- 6,70230 2258
<i>Llanos</i>	4.049	3488	-561	- 13,847 93899	394	297	-97	- 24,5579 3842
<i>Madeira-Tapajós Moist Forests</i>	3.039	3087	47	1,5525 19446	331	331	0	0
<i>Magdalena Valley Montane Forests</i>	53	51	-1	- 2,7105 40863	167	158	-9	- 5,57153 9367
<i>Maranhão Dry Forests</i>	488	450	-39	- 7,9189 18489	70	418	348	493,094 7878
<i>Marajó Várzea</i>	275	239	-37	- 13,296 983	0	0	0	0
<i>Mato Grosso Tropical Dry Forests</i>	435	181	-255	- 58,523 30189	0	0	0	0
<i>Napo Moist Forests</i>	7.424	7458	34	0,4618 44876	1417	1604	187	13,1908 3701
<i>Negro-Branco Moist Forests</i>	5.197	8693	3.496	67,278 6112	181	237	57	31,3944 9157
<i>Northern Andean Páramo</i>	1	12	11	935,41 4829	51	75	24	48,4082 2645
<i>Northwest Andean Montane Forests</i>	0	0	0	0	32	0	-32	-100
<i>Orinoco Delta Swamp Forests</i>	204	98	-106	- 52,106 48824	0	0	0	0
<i>Pantanal</i>	486	328	-158	- 32,488 4311	16	16	0	0
<i>Pantepui Forests & Shrublands</i>	18.680	10795	-7.885	- 42,208 66784	30889	22004	-8885	- 28,7642 2967
<i>Peruvian Yungas</i>	17.166	20073	2.906	16,930 18702	19852	23057	3205	16,1439 975
<i>Purus Várzea</i>	0	16	16	100	0	0	0	0
<i>Rio Negro Campinarana</i>	1.548	1427	-121	- 7,7924 5111	0	0	0	0
<i>Southwest Amazon Moist Forests</i>	31.070	27719	-3.351	- 10,785 29969	8021	8473	452	5,62989 7742
<i>Uatumã- Trombetas Moist Forests</i>	10.416	11564	1.148	11,026 03108	3300	3728	428	12,9615 4609
<i>Ucayali Moist Forests</i>	14.031	15085	1.054	7,5084 29909	8901	8911	9	0,10556 5292
<i>Xingu-Tocantins- Araguaia Moist Forests</i>	755	755	0	0	680	680	0	0

(conclusão)

Figura S3. 3 - Teste de refúgios climáticos considerando o percentil 50 (3 km/ano). Utilizando este critério para definição de refúgios climáticos a área de refúgios corresponde a 51,8 % do limite biogeográfico da Amazônia.

