

Documento teórico-metodológico para avaliação de risco climático no Setor Estratégico Biodiversidade - plataforma AdaptaBrasil MCTI - Versão 1.0¹

O texto a seguir documenta e descreve os principais conceitos que embasam o entendimento de risco climático e metodologias empregadas nas diversas etapas de construção de indicadores de risco relacionados às mudanças climáticas no Setor Estratégico Biodiversidade para o AdaptaBrasil construção período 2023-2024.

Neste documento estão descritas as etapas metodológicas adotadas para definição de risco climático associados à **Integridade do Bioma** no Brasil, conforme previsto no escopo do Projeto AdaptaBrasil.

1. Construindo um Índice de Risco Climático

O sistema de índices e indicadores desenvolvidos para a avaliação do risco climático levou em consideração uma estrutura hierárquica para a expressão representativa dos dados, como exemplifica a figura 1.

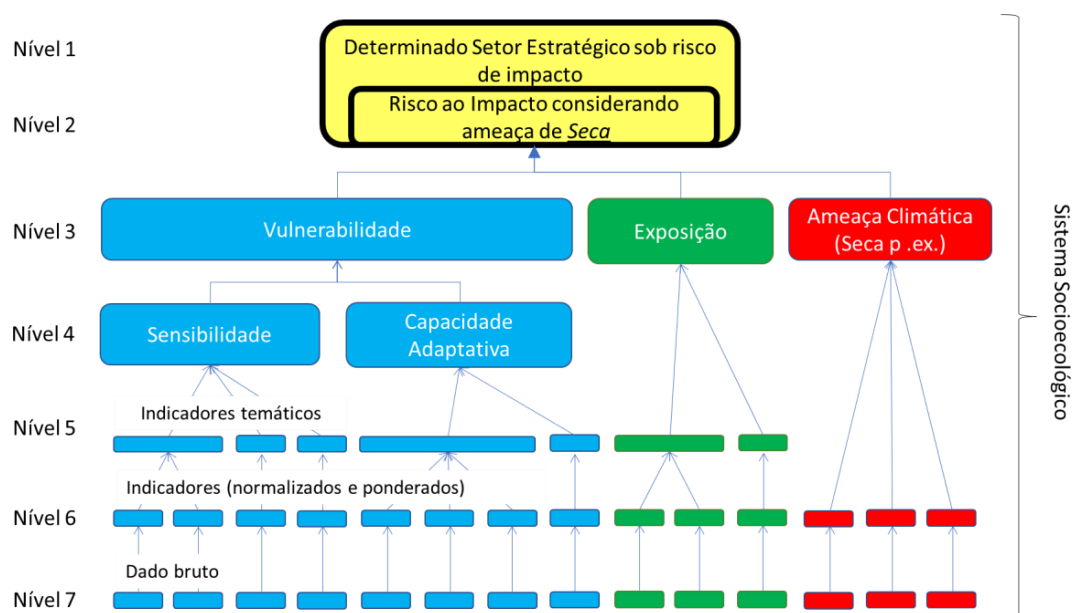


Figura 1. Estrutura hierárquica padrão da composição de indicadores e índices de risco climático da plataforma AdaptaBrasil.

A partir da estrutura hierárquica de indicadores apresentada, composta por indicadores simples e temáticos e índices, foram adotadas **seis** etapas metodológicas para o **Setor Estratégico Biodiversidade**, tendo como ponto de partida a proposição dos indicadores simples, que posteriormente irão compor os indicadores temáticos e respectivos índices.

As etapas de construção dos indicadores do Setor Estratégico de Biodiversidade foram:

¹ Data de revisão do documento: 13/12/2024

- 1.1. Etapa de levantamento dados brutos
 - 1.1.1. Revisão sistemática para a construção dos indicadores socioecológicos e climáticos;
 - 1.1.2. Oficinas com instituições para validação, refinamento dos indicadores e a identificação de fontes de dados brutos;
 - 1.1.3. Obtenção dos dados brutos referentes a indicadores socioecológicos simples;
- 1.2. Construção de indicadores socioecológicos simples através da normalização;
- 1.3. Estimativa dos indicadores temáticos socioecológicos e de índices de Sensibilidade, Capacidade Adaptativa, de Vulnerabilidade, e de Exposição;
- 1.4. Adequação da resiliência climática dos ecossistemas utilizados na Quarta Comunicação Nacional para a resolução municipal, com o objetivo de analisar a ameaça climática;
- 1.5. Composição do índice de risco climático;
- 1.6. Contribuições de indicadores simples..

1.1. Etapa de levantamento dados brutos

1.1.1. Revisão sistemática para a construção dos indicadores socioecológicos e climáticos

A pesquisa teve início com uma revisão sistemática de estudos, artigos e informações provenientes de diversas fontes, como, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IBPES), a Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES), o Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (MMA), e o World Wide Fund for Nature Inc. (WWF). Sendo que o BPBES e MMA, além de fornecerem referência de estudo, atuam como parceiras no desenvolvimento do Setor de Biodiversidade, contribuindo com seu conhecimento e experiência na área.

A revisão trouxe à tona dois conceitos relevantes: resiliência climática e integridade. A resiliência climática é amplamente utilizada na ecologia para compreender a capacidade dos ecossistemas, como florestas e outros habitats, de manterem sua estrutura e funcionalidade diante de diversas perturbações externas. Já a integridade refere-se ao estado de estar intacto e à qualidade desse estado. No entanto, a aplicação desses conceitos no contexto dos impactos e riscos das mudanças climáticas ainda é incipiente, particularmente quando analisada na escala dos biomas (CBD, 2011; Pinho et al., 2020; Roche & Campagne, 2017).

1.1.2. Oficinas com instituições para validação, refinamento dos indicadores simples e os dados da ameaça climática

Para a construção inicial dos indicadores realizou-se duas oficina com as instituições parceiras, todos especialistas na área de biodiversidade. Nessas oficinas, discutiu-se o desenvolvimento do índice de risco climático voltado para a biodiversidade, nas discussões foram abordados temas como a resiliência ecológica frente às mudanças

climáticas e a composição das pétalas de vulnerabilidade, exposição e ameaça relacionadas ao clima da Flor de Risco (IPCC, 2014; 2022).

A 1ª Oficina de Biodiversidade organizado pelo AdaptaBrasil, ocorreu no dia 12 de setembro de 2023 com a participação do BPBES, onde discutiu-se a resiliência climática dos biomas, que é definida como a capacidade de um ecossistema de recuperar seu estado original após distúrbios climáticos e/ou antrópicos, como por exemplo, mudanças na cobertura da terra. Durante a oficina, identificou que um dos principais argumentos para a inclusão do Setor Estratégico Biodiversidade na plataforma AdaptaBrasil MCTI é a relevância da proteção da biodiversidade e seu papel fundamental na promoção e regulação dos serviços ecossistêmicos. No período de 13 a 15 de setembro de 2023, ocorreu a 2ª Oficina de Biodiversidade com membros do MCTI, esta oficina focou na discussão sobre a elaboração de indicadores de sensibilidade, capacidade adaptativa e exposição. A partir dessas discussões, foi criado um banco de dados com informações relevantes à integridade dos biomas.

Posteriormente, foram realizadas as 3ª e 4ª oficinas de validação dos resultados junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) nos dias 05 de maio e 24 de junho de 2024. Por fim, os resultados obtidos foram apresentados na oficina do plano setorial de biodiversidade do Plano Clima Adaptação entre os dias 02 e 03 de julho de 2024, uma vez que foi identificado como uma potencial contribuição para a identificação de planos de ações para a adaptação da Biodiversidade às mudanças climática. Esta oficina Plano Clima Adaptação como nossa 5ª Oficina, uma vez que contava com a participação de diversas instituições referências em conservação da biodiversidade. Na Figura 2 podemos entender melhor o fluxo das oficinas.



Figura 2. Síntese das oficinas realizadas pelo setor para a construção do Índice ao Risco à Integridade do Bioma.

Após discussões e validação com a equipe de instituições, foram selecionados 17 indicadores socioecológicos simples, que representam tanto fatores que podem inferir um potencial dano à estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, quanto instrumentos que podem promover o uso sustentável dos recursos naturais (PÖRTNER et al., 2021) Esses indicadores servirão posteriormente para compor os indicadores temáticos: vulnerabilidade, exposição, ameaça climática, sensibilidade, e capacidade adaptativa. Abaixo na Tabela 1 estão os indicadores escolhidos:

Tabela 1. Apresentação dos indicadores simples utilizados na construção do Índice de Risco à Integridade do Bioma.

Indicadores simples	Descrição
Uso de agrotóxico	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que o uso inadequado do agrotóxico pode contaminar água e solo.
Estabelecimentos sem agricultura familiar	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas em função da ausência da agricultura familiar. Ao passo que a agricultura familiar no Brasil é caracterizada pela tendência a multiplicação de materiais genéticos locais e participação em circuitos curtos de comercialização, os estabelecimentos agropecuários sem agricultura familiar pode comprometer a estrutura e funcionamento dos ecossistemas ao adotarem práticas agrícolas com baixa multiplicação de materiais genéticos locais e pouca participação em circuitos curtos de comercialização.
Estabelecimentos sem práticas agrícolas sustentáveis	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas em função da ausência de adoção de prática agrícola sustentável. Enquanto a agricultura sustentável adota práticas que favorecem a conservação do solo, da água, e dos recursos genéticos animais e vegetais, o que contribui para a manutenção da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas, a ausência de tais práticas pode comprometê-los.
Focos de calor	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a incidência e recorrência de focos de calor (queimadas) pode reduzir organismos que são importantes para o equilíbrio dos ecossistemas.

Passivo ambiental	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que o passivo ambiental indica áreas com déficit de áreas de preservação permanente e de reserva legal no município, sendo estas importantes áreas para a conservação da biodiversidade.
Perda de cobertura vegetal	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a perda na cobertura vegetal natural pode provocar a perda de habitats de animais e plantas.
Agropecuária em áreas de pastagem	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que atividade agropecuária em áreas de pastagem degradada pode causar o surgimento de pragas que podem prejudicar os ecossistemas naturais vizinhos.
Mineração industrial e garimpos	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a atividade minerária, tanto industriais como garimpos, pode reduzir a cobertura vegetal, o que leva à perda de habitats de animais e espécies de plantas.
Densidade populacional	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a alta densidade populacional pode favorecer o aumento da pressão sobre os recursos naturais e os habitats das espécies.
Densidade de estabelecimentos agropecuários	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a alta densidade estabelecimentos agropecuários podem favorecer a fragmentação de habitats naturais e o uso intensivo de recurso.
Densidade municipal de rodovias	Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a alta densidade de rodovias federais e/ou estaduais pode favorecer a fragmentação de habitats naturais e interromper rotas de movimentação da fauna.

Proximidade à planta hidrelétrica	<p>Este indicador busca inferir um potencial sensibilidade de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas em</p> <p>função da proximidade às plantas hidrelétricas em operação, uma vez que as plantas hidrelétricas podem alterar o curso e nível dos rios, e assim, extinguir espécies.</p>
Orientação técnica	<p>Este indicador busca inferir um potencial capacidade adaptativa para favorecer a estrutura e do funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a orientação técnica fornece a adoção de diretrizes e de conhecimentos especializados para a conservação, gestão e uso sustentável dos recursos naturais.</p>
UCs com comitê gestor e plano de manejo	<p>Este indicador busca inferir um potencial capacidade adaptativa para favorecer a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que a gestão das Unidades de Conservação (UCs) participativa e com plano de manejo pode estabelecer diretrizes estratégicas para a proteção e uso sustentável dos recursos naturais.</p>
Cobertura florestal ou formação natural não florestal	<p>Este indicador busca inferir um potencial exposição de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que este baixo percentual pode favorecer a abertura de clareiras, e assim pode afetar a abundância e distribuição de espécies.</p>
Área protegida	<p>Este indicador busca inferir um potencial exposição de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que este baixo percentual pode deixar os ecossistemas e habitats naturais e a manutenção e recuperação de populações viáveis de espécies em seus meios naturais mais exposta para alterações devido à ausência da proteção das áreas.</p>
Área prioritária para conservação	<p>Este indicador busca inferir um potencial exposição de prejudicar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que este percentual pode indicar a exposição de áreas com ecossistemas relevantes para a conservação da biodiversidade.</p>
Precipitação acumulada anual	<p>Estes indicadores buscam prever a relação dos biomas terrestres com o clima dominante, disponibilizado pela Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima das Nações Unidas.</p>
Sazonalidade da precipitação	
Temperatura média anual	
Amplitude anual de temperatura	

1.1.3. Obtenção dos dados brutos referentes a indicadores simples

Após a definição dos indicadores socioecológicos a serem utilizados, deu-se início à etapa de obtenção de dados brutos. A Tabela 2 apresenta as principais fontes de dados utilizadas para obtenção dos dados brutos, segundo a categoria do indicador.

Tabela 2. Principais fontes de dados utilizadas para obtenção de dados brutos, segundo a categoria do indicadores simples proposto para Biodiversidade.

Categoria do Indicador	Fontes de dados utilizadas
Demográfico	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Socioeconômico	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria de Infraestrutura Rodoviária (DNIT), INPE.
Ambiental	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG), Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Plataforma MapBiomas, Plataforma oficial de dados do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.
Climático	Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Os valores brutos passaram por tratamento de *outliers* através da técnica de *Winsorization* (BECKER et al., 2019). E assim, os dados brutos tratados resultaram nos valores dos indicadores simples selecionados. Esta etapa é comum a todos os três desfechos vetoriais analisadas até aqui.

1.2. Construção de indicadores simples através da normalização por biomas

Para a normalização dos indicadores simples selecionados, quando o indicador tem relação direta com a dimensão a que pertence, utilizou-se a expressão matemática apresentada na Equação (1):

$$I_{ji} = \frac{I_{ai} - I_{jm}}{I_{jp} - I_{jm}} \quad (1)$$

Onde: I_{ji} é o valor normalizado do indicador j no i-ésimo município; I_{ai} é o valor do indicador no i-ésimo município; I_{jp} representa o valor do indicador j no município em pior situação; I_{jm} é o valor do indicador j no município em melhor situação.

Quando o indicador apresenta relação inversa com a dimensão a que pertence seu cálculo é feito de acordo com Equação (2):

$$I_{ji} = \frac{I_{ai} - I_{jp}}{I_{jm} - I_{jp}} \quad (2)$$

Onde: I_{ji} é o valor normalizado do indicador j no i -ésimo município; I_{ai} é o valor do indicador no i -ésimo município; I_{jm} representa o valor do indicador j no município em melhor situação; I_{jp} é o valor do indicador j no município em pior situação.

Cabe a ressalva que os cálculos de normalização de relações diretas e indiretas citadas acima se dão de forma contrária na dimensão de Capacidade Adaptativa, portanto, a equação (2) deve ser aplicada para os casos de indicadores com relação direta na dimensão de Capacidade Adaptativa, e a equação (1) para os casos de indicadores de relação inversa nessa dimensão. A normalização dos indicadores possibilita a sua comparação e agregação, além de permitir uma hierarquização para as classes estabelecidas para os municípios brasileiros, pois assumem valores entre zero e um, representando, respectivamente, a melhor e a pior situação (adaptado de LIMA et al., 2009).

1.3. Estimativa dos indicadores temáticos socioecológicos e de índices de Sensibilidade, Capacidade Adaptativa, de Vulnerabilidade, e de Exposição

Nesta etapa, foi aplicada a métrica mediana aos indicadores simples a fim de que pudessem ser obtidos os valores únicos dos indicadores temáticos. A escolha da mediana advém de aplicações semelhantes no âmbito do AdaptaBrasil para os Setores Estratégicos de Saúde. A métrica de mediana é expressa pelas equações (4).

$$ITmediana_{ji} = Mediana (IS_{ji}, ...IS_{ni}) \quad (4)$$

Onde: $ITmediana_{ji}$ é o indicador temático j do i -ésimo município; IS_{ji} é o indicador simples j no i -ésimo município; IS_{ni} é o indicador simples n no i -ésimo município.

A equação 5 ilustra a estimação do índice de vulnerabilidade que foi estimado em função do índice de sensibilidade e do índice de capacidade adaptativa, conforme a equação (5).

$$IV_i = \frac{(1 + (IS_{ji} - ICA_{ji}))}{2} \quad (5)$$

Onde: IV_i é o índice de vulnerabilidade do i -ésimo município; IS_i é o índice de sensibilidade do i -ésimo município; ICA_i é o índice de capacidade adaptativa do i -ésimo município.

Por fim, ao realizar este cálculo, as variâncias das dimensões (Índice de Vulnerabilidade e Índice de Exposição) tendem a decrescer tanto quanto o número de indicadores temáticos. Para evitar que se “perca” tais informações adotou-se equações de uniformização de médias e variâncias por meio de transformações lineares, conforme aplicações semelhantes para os outros Setores Estratégicos no âmbito do AdaptaBrasil. O valor final (VF) é igual valor de entrada (VE) multiplicado pelo ganho mais o offset, conforme Equação (6). Sendo que o ganho é igual à razão do desvio padrão de referência (σ_R) e o desvio padrão do indicador temático de entrada (σ_E). E o offset é igual à média de referência (μ_R) subtraído do produto da

média do indicador temático de entrada (μE) pelo ganho, conforme Equações (7) e (8). A fim de que as médias resultantes permaneçam originais, foram consideradas como médias de referência as mesmas médias de entrada. Em relação ao desvio padrão de referência, foi utilizado o desvio padrão médio do índice de ameaça climática do presente.

$$VF = VE * \text{ganho} + \text{offset} \quad (6)$$

$$\text{ganho} = \frac{\sigma R}{\sigma E} \quad (7)$$

$$\text{offset} = \mu R - \mu E * \left(\frac{\sigma R}{\sigma E} \right) \quad (8)$$

A figura 3 apresenta um exemplo de visualização de mapas com a aplicação da uniformização entre as dimensões. Sendo, um mapa de Vulnerabilidade sem qualquer aplicação de uniformização entre as dimensões anteriores, e o mapa ao lado com aplicação de uniformização.

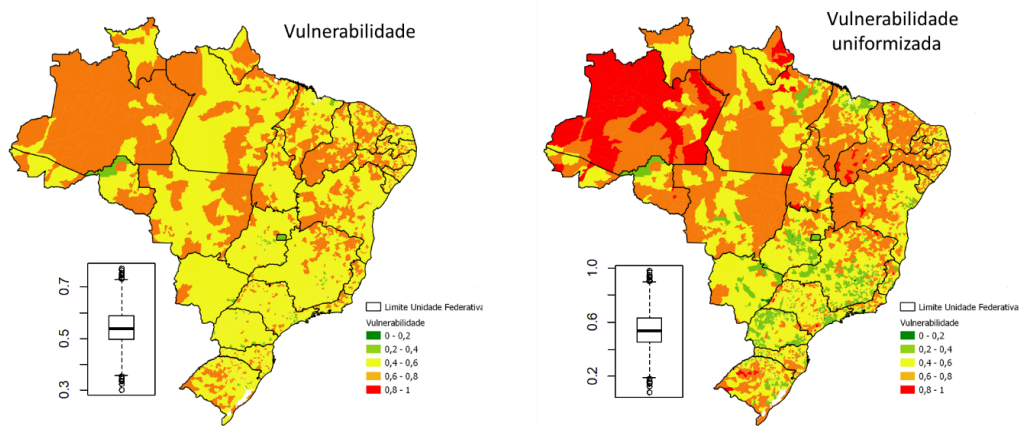


Figura 3. Comparação entre mapas de Vulnerabilidade sem aplicação de equação de uniformização (à esquerda) e com aplicação de equação de uniformização (à direita).

1.4. Adequação da resiliência climática dos ecossistemas utilizados na Quarta Comunicação para a resolução municipal, com o objetivo de analisar a ameaça climática

O dado de resiliência climática foi obtido em Pinho et al. (2020) disponibilizado pela Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima das Nações Unidas, onde os autores estimaram a resiliência climática dos biomas através da modelagem de nichos climáticos, sendo que os modelos de distribuição do nicho climático foram projetados a fim de verificar qual seria a provável resposta da vegetação dos biomas se estes estivessem submetidos a condições de temperatura e precipitação diferentes do período atual (1960-1990) para os cenários de mudanças climáticas futuros de diferentes níveis de aquecimento médio global (1,5°C e 2°C) para RCP 8.5 que são referentes os períodos de 2011-2040 e 2040-2070, respectivamente.

A resiliência climática de Pinho et al. (2020) foi especializada para a resolução municipal através da média dos valores. Para o ajuste dos valores entre 0 e 1, foi realizada a normalização de todo o conjunto de valores do. Da mesma forma como foi aplicado para os indicadores simples socioecológicos, também foram tratados os outliers pela técnica de *Winsorization*. A resiliência climática normalizada é considerada o indicador temático do índice de ameaça climática para o índice de risco à integridade do bioma no AdaptaBrasil. Por sua vez, o índice de ameaça climática foi obtido a partir do valor médio da resiliência climática no município, seguida da normalização invertida ($1 - \text{valor médio}$) para que o valor do índice de ameaça climática fique em relação direta à integridade do bioma.

A Figura 5 apresenta os mapas do índice de ameaça climática para a integridade do bioma para diferentes períodos: Presente (1960-1990), SWL1 (RCP 8.5 W/m² - SLW 1.5° - 2011-2040), SWL2 (RCP 8.5 W/m² - SLW 2.0° - 2041-2070).

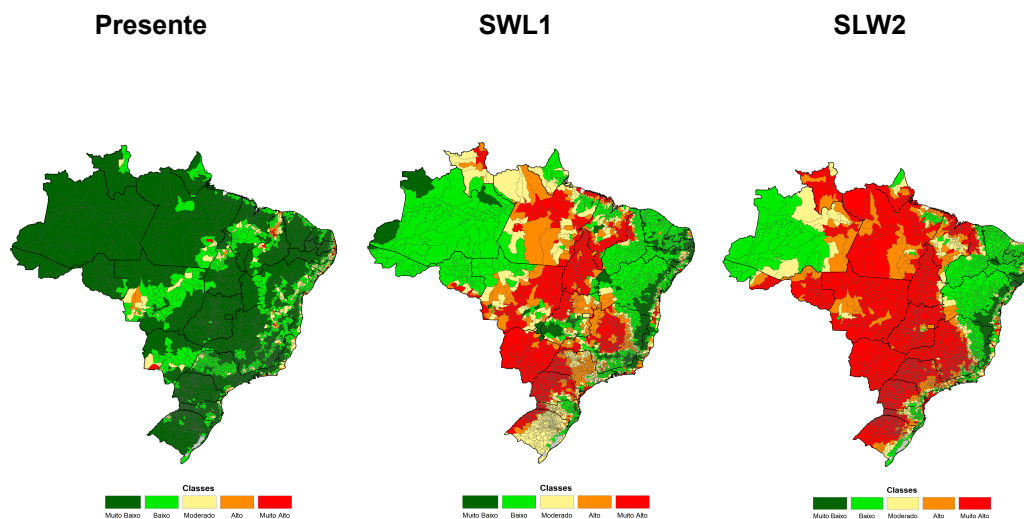


Figura 5. Resultado do Índice de Ameaça Climática elaborado para à Integridade do bioma.

1.5. Composição do Índice de Risco Climático à Integridade do Bioma

O cálculo do índice final de risco foi realizado pela multiplicação dos índices de Vulnerabilidade, Exposição e Ameaça Climática. Todavia, ao realizar esta operação, o padrão de distribuição dos valores segue uma exponencial, o que concentra grande parte da variância dos valores na extremidade superior do histograma, perfazendo um alto número de outliers, e prejudicando a visualização da distribuição de padrões de risco no mapa. Para otimizar a visualização dos valores sem perda da informação, aplicou-se o logaritmo neperiano nos valores resultantes da multiplicação entre os índices, assim como as aplicações semelhantes no âmbito do AdaptaBrasil..

A Figura 6 apresenta o comportamento do histograma para o risco do presente para o caso da multiplicação simples entre os índices de Vulnerabilidade, Exposição e Ameaça Climática (à esquerda) e com a posterior aplicação do logaritmo neperiano

(à direita) . Neste último caso observa-se um arranjo dos valores mais linear e com significativa queda de outliers.

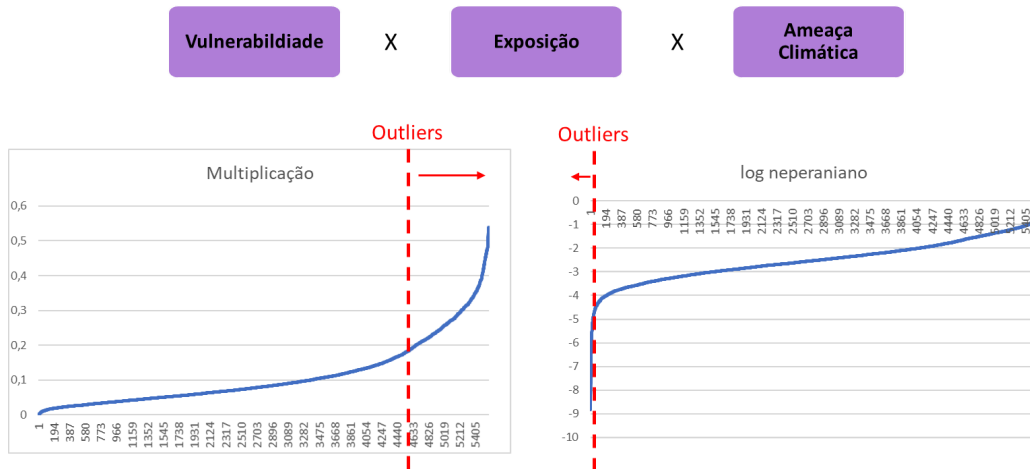


Figura 6. Histograma dos valores de risco para o presente com a simples multiplicação entre as dimensões de risco (à esquerda) e com a posterior aplicação do logaritmo neperiano nestes valores (à direita).

A aplicação do logaritmo neperiano foi realizada para a multiplicação resultante entre as dimensões de risco do presente e para a multiplicação resultante das projeções das ameaças climáticas. Para o ajuste dos valores entre 0 e 1, foi realizada a normalização de todo o conjunto de valores do presente e projeções de forma conjunta. Da mesma forma como foi aplicado para os indicadores, também foram tratados os outliers pela técnica de *Winsorization*.

1.6. Elaboração das contribuições de indicadores simples e temáticos

Uma vez realizados todos os cálculos dos níveis de composição de risco, foi realizado o cálculo de proporcionalidade de contribuição dos indicadores em relação a cada um dos níveis. O cálculo das contribuições foi realizado para cada município (i) a partir da proporcionalidade do valor do valor X de um indicador específico (j) em relação ao somatório dos valores dos demais indicadores que fazem parte de um determinado nível hierárquico (x), seguindo a equação (12):

$$Prop_{xj} = \left(\frac{X_{ji}}{\sum_{i=1}^n ji} \right) * 100 \quad (12)$$

O conhecimento do valor da contribuição de um indicador em relação a indicadores temáticos/índices de nível superior permite que o usuário possa entender a importância deste indicador/índice na composição do risco climático.

Referências

ANJOS, L. J. S.; TOLEDO, P. M. de. *Measuring resilience and assessing vulnerability of terrestrial ecosystems to climate change in South America*. PLoS ONE, v. 13, n. 3, p. e0194654, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194654>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ANJOS, Luciano J. S.; SOUZA, Everaldo Barreiros de; AMARAL, Calil Torres; IGAWA, Tassio Koiti; TOLEDO, Peter Mann de. Future projections for terrestrial biomes indicate widespread warming and moisture reduction in forests up to 2100 in South America. *Global Ecology and Conservation*, v. 25, e01441, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01441>. Acesso em: 13 dez. 2024.

BECKER, Thomas E.; ROBERTSON, Melissa M.; VANDENBERG, Robert J. Nonlinear transformations in organizational research: possible problems and potential solutions. *Organizational Research Methods*, v. 22, n. 4, p. 831–866, 2019. DOI: [10.1177/1094428118775205](https://doi.org/10.1177/1094428118775205).

BEZERRA, F. G. S.; TOLEDO, P. M.; RANDOW, C. V.; AGUIAR, A. P. D.; LIMA, P. V. P. S.; ANJOS, L. J. S.; BEZERRA, K. R. A. Spatio-temporal analysis of dynamics and future scenarios of anthropic pressure on biomes in Brazil. *Ecological Indicators*, v. 137, 2022, 108749. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108749>. Acesso em: 17 jan. 2025.

BRASIL. *Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br>. Acesso em: 13 dez. 2024.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. *Text and annexes*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011. Disponível em: <https://www.cbd.int>. Acesso em: 17 jan. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA,

3056 pp., 2022.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

PINHO, Patrícia F.; ANJOS, Luciano J. S.; RODRIGUES-FILHO, Saulo; SANTOS, Diogo V.; TOLEDO, Peter M. *Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change*. Sustainability in Debate, Brasília, v. 11, n. 3, p. 225-241, dez. 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918.

PÖRTNER, H.O. et al. *IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change*. Bonn: IPBES and IPCC, 2021. Disponível em: <https://www.ipbes.net/events/ipbes-ipcc-co-sponsored-workshop-report-biodiversity-and-climate-change>.

ROCHE, P. K.; CAMPAGNE, C. S. From ecosystem integrity to ecosystem condition: A continuity of concepts supporting different aspects of ecosystem sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 29, p. 63-68, 2017.