

IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NA **MATA ATLÂNTICA**



República Federativa do Brasil

Presidente
MICHEL TEMER

Ministério do Meio Ambiente

Ministro
JOSÉ SARNEY FILHO

Secretaria Executiva

Secretário Interino
ROMEU MENDES DO CARMO

Secretaria de Biodiversidade (SBio)

Secretário
JOSÉ PEDRO DE OLIVEIRA COSTA

Departamento de Conservação de Ecossistemas (DECO)

Diretora
ANA PAULA LEITE PRATES

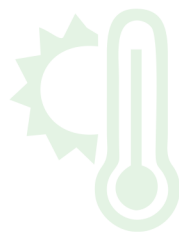
Secretaria de Mudança do Clima e Florestas (SMCF)

Secretário
EVERTON FRASK LUCERO

Departamento de Políticas em Mudança do Clima (DPMC)

Diretor
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria da Biodiversidade
Departamento de Conservação de Ecossistemas
SEPN 505, Bloco B, Ed. Marie Prendiz Cruz, Sala 416
Brasília – DF
CEP: 70730-542



IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NA **MATA ATLÂNTICA**



Equipe técnica

Adriana Brito da Silva	DPMC/SMCF/MMA
Ana Carolina Câmara	GIZ
André Rocha	WayCarbon
Armin Deitenbach	GFA/GIZ
Ciro Vaz	WayCarbon
Eduardo Figueiredo	WayCarbon
Fernanda Rennó	Also Cabra
Jennifer Viezzer	DECO/SBio/MMA
Lea Dünnow	GIZ
Leonardo Santiago	WayCarbon
Marco Follador	Also Cabra
Mariana Egler	DPMC/SMCF/MMA
Martin Becher	GIZ
Melina Amoni	WayCarbon
Priscila Lopes Soares da Costa	CGTI/SECEX/MMA
Ruibran dos Reis	WayCarbon
Samantha Hartzell	WayCarbon
Thiago Vieira	WayCarbon
Virgílio Pereira	WayCarbon

Organização e revisão

Fernanda Rennó	Also Cabra
Marco Follador	Also Cabra

Projeto gráfico e editoração eletrônica

Renata Fontenelle

Supervisão

Jennifer Viezzer	DECO/SBio/MMA
Mariana Egler	DPMC/SMCF/MMA

Coordenação

Celina Xavier de Mendonça	DPMC/SMCF/MMA
Maria Olatz Cases	GIZ
Rodrigo Martins Vieira	DECO/SBio/MMA

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica. O projeto é uma realização do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), no contexto da Cooperação para o Desenvolvimento Sustentável Brasil-Alemanha, no âmbito da Iniciativa Internacional de Proteção do Clima (IKI) do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Construção e Segurança Nuclear (BMUB) da Alemanha. O projeto conta com apoio técnico da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e apoio financeiro do KfW Banco de Fomento Alemão.

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria de Biodiversidade
Departamento de Conservação de Ecossistemas

IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NA **MATA ATLÂNTICA**

Brasília, 2018

1	Apresentação	12
2	Modelagem dos impactos potenciais da mudança do clima	13
2.1	Abordagem metodológica	13
2.2	Modelos de impacto potencial	15
2.2.1	Modelo de inundação	15
2.2.2	Modelo de erosão hídrica	17
2.2.3	Modelo de deslizamento	19
2.2.4	Modelo de umidade do solo	20
2.2.5	Modelo de zoneamento agroclimático	21
2.2.6	Modelo de distribuição das fitofisionomias	23
2.2.7	Modelo de distribuição da dengue	24
2.3	Dados de entrada dos modelos	27
2.3.1	Dados climáticos: Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5	27
2.3.2	Dados biofísicos	37
2.3.3	Base de dados para calibração e validação dos resultados	44
3	Resultados das simulações de impactos biofísicos	45
3.1	Impactos biofísicos modelados	46
3.1.1	Inundação	46
3.1.2	Erosão hídrica	50
3.1.3	Deslizamento	58
3.1.4	Umidade do solo	66
3.1.4	Zoneamento agroclimático	74
3.1.6	Fitofisionomias	82
3.1.7	Dengue	87

4	Síntese comparativa dos resultados	95
5	Considerações finais	98
6	Referências	99
7	Anexo 1: Detalhamento dos dados de entrada dos modelos	101
7.1	Variáveis climáticas	101
7.2	Inundação	101
7.3	Erosão hídrica	102
7.4	Deslizamento	102
7.5	Umidade do solo	103
7.6	Zoneamento agroclimático	104
7.7	Fitofisionomia	105
7.8	Dengue	106

Figuras

- Figura 1.** Modelagem dos impactos da mudança do clima. As entradas dos submodelos de impacto foram compostas por componentes físicas constantes ao longo do período de análise, e por uma componente climática variável. Foram realizadas duas simulações dos impactos a partir dos resultados dos modelos climáticos Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5. 14
- Figura 2.** Esquema do índice de inundação. 16
- Figura 3.** Esquema do índice de erosividade. As variáveis explicativas do índice de Exposição alimentam as equações de erosividade para as regiões da Mata Atlântica (Silva 2004). 18
- Figura 4.** Esquema do índice de deslizamento. Os valores médios de chuva são utilizados para o cálculo do índice intermediário de erosividade. 19
- Figura 5.** Esquema do índice de umidade no solo. Os valores de temperatura são utilizados para o cálculo do índice intermediário de evapotranspiração (Allen, 1998). A partir desses dados de entrada, o índice de umidade do solo é calculado através do algoritmo sugerido por Porporato et al., (2004). 21
- Figura 6.** Esquema do índice de satisfação de necessidade de água (ISNA). Os valores de temperatura e precipitações são utilizados para o cálculo dos índices intermediários de evapotranspiração e umidade do solo. A partir desses dados de entrada, o ISNA é calculado através da metodologia sugerida por Allen (1998). 22
- Figura 7.** Esquema da distribuição espacial das classes vegetais. O índice intermediário de umidade do solo é descrito no capítulo 2.2.4. A partir desses dados de entrada o algoritmo MAXENT (PHILLIPS et al., 2004) descreve a probabilidade de ocorrências futuras da fitofisionomia em função das restrições ambientais e climáticas. 24
- Figura 8.** Esquema da distribuição espacial da dengue e seu vetor. 26
- Figura 9.** Anomalias de temperatura média diária. RCP 8.5 DJF. 28
- Figura 10.** Anomalias de temperatura média diária. RCP 8.5 JJA. 29
- Figura 11.** Anomalias de temperatura média diária. RCP 4.5 DJF. 30
- Figura 12.** Anomalias de temperatura média diária. RCP 4.5 JJA. 31
- Figura 13.** Anomalias de precipitação média diária. RCP 8.5 DJF. 33
- Figura 14.** Anomalias de precipitação média diária. RCP 4.5 DJF. 34
- Figura 15.** Anomalias de precipitação média diária. RCP 8.5 JJA. 35
- Figura 16.** Anomalias de precipitação média diária. RCP 4.5 JJA. 36
- Figura 17.** Solos da Mata Atlântica. Fonte: EMBRAPA 37
- Figura 18.** Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica 2012-2013. Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e INPE. 38
- Figura 19.** Fitofisionomias da Mata Atlântica de acordo com aplicação da Lei nº 11.428, de 2006. Fonte: IBGE e MMA 39

Figura 20. Regiões Hidrográficas da Mata Atlântica. Fonte: ANA	40
Figura 21. Cobertura e Uso da Terra da Mata Atlântica. Fonte: IBGE	41
Figura 22. Articulação das cenas TOPODATA para a Mata Atlântica. Fonte: TOPODATA/INPE	42
Figura 23. Potencial para ocorrência de dengue nos municípios da Mata Atlântica. Fonte: SINAN; DATASUS	43
Figura 24. Exemplo de mapas com valores do ISNA absolutos – i.e., resultados do modelo em cada período – e valores relativos (%) – i.e., variação entre o índice no cenário simulado (RCP 8.5 DJF) e no cenário histórico (1960-2005).	45
Figura 25. RCP 8.5 anual. A) variação (%) do índice de inundação em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de inundação na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	47
Figura 26. RCP 4.5 anual. A) variação (%) do índice de inundação em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de inundação na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	48
Figura 27. Variação do índice de inundação nos <i>hotspots</i> (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 anual.	49
Figura 28. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	51
Figura 29. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	52
Figura 30. Variação do índice de erosividade nos <i>hotspots</i> (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre DJF.	53
Figura 31. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	55
Figura 32. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	56
Figura 33. Variação do índice de erosividade nos <i>hotspots</i> (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre JJA.	57
Figura 34. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	59
Figura 35. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base	

1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 60

Figura 36. Variação do índice de deslizamento nos **hotspots** (valores absolutos >80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre DJF. 61

Figura 37. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 63

Figura 38. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 64

Figura 39. Índice de deslizamento em JJA. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil) 65

Figura 40. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 67

Figura 41. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 68

Figura 42. Índice de umidade do solo em DJF. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil). 69

Figura 43. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 71

Figura 44. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 72

Figura 45. Índice de umidade do solo em JJF. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil). 73

Figura 46. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 75

Figura 47. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 76

Figura 48. Evolução da aptidão agroclimática (principais culturas) classificada em função do ISNA em DJF. 77

Figura 49. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 79

Figura 50. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. 80

Figura 51. Evolução da aptidão agroclimática (principais culturas) classificada em função do ISNA em JJA.	81
Figura 52. Probabilidade de ocorrência da fitofisionomia entre 2071-2100 no RCP 8.5.	83
Figura 53. Evolução da aptidão climática da floresta decidual de 1965 a 2100 no RCP 8.5.	85
Figura 54. Evolução da aptidão climática da floresta semidecidual de 1965 a 2100 no RCP 8.5.	86
Figura 55. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	88
Figura 56. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	89
Figura 57. Índice de distribuição da dengue em DJF. Variação do índice nos hotspots (áreas com valores absolutos >80º percentil).	90
Figura 58. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	92
Figura 59. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.	93
Figura 60. Índice de distribuição da dengue em JJA. Variação do índice nos hotspots (áreas com valores absolutos >80º percentil).	94
Figura 61. Síntese dos resultados de cada modelo de impacto no cenário RCP 8.5.	96
Figura 62. Síntese dos resultados de cada modelo de impacto no cenário RCP 4.5.	97

Quadro

Quadro 1. lista de equações utilizadas para calcular a erosividade em diferentes regiões do Brasil. R_x : Erosividade no mês X; M: média mensal de chuva; P: média anual de chuva. Fonte: Silva (2004). 17

Tabela

Tabela 1. Variação percentual de área climaticamente apta às fitofisionomias da Mata Atlântica para o cenário RCP 8.5 no período 2071-2100. Os valores percentuais se referem à perda de área com aptidão climática em referência ao limite atual do domínio da fitofisionomia em questão, já o ganho reflete o valor percentual em área de aptidão climática fora do domínio atual da fitofisionomia. Para a definição de perda ou ganho potencial de área, foi adotada a probabilidade de ocorrência acima de 60%. 82

1 Apresentação

A falta de informações robustas e atualizadas sobre os impactos da mudança do clima nos diferentes recortes geográficos e setoriais do Brasil representa um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de planos de adaptação em nível regional e municipal (Follador, 2015). Portanto é fundamental promover estudos, em diferentes escalas, que preencham essa lacuna informativa e auxiliem tomadores de decisão em nível federal, estadual e municipal na definição do “onde?” “por que?” “quando” e “como?” investir em medidas de adaptação que minimizem potenciais perdas e danos futuros associados aos impactos da mudança do clima. Essa necessidade é particularmente evidente na região da Mata Atlântica, por ser uma área estratégica do ponto de vista demográfico, abriga mais de 120 milhões de brasileiros; do ponto de vista econômico, é responsável por mais de 70% do PIB do país; e do ponto de vista ambiental, é um dos 5 *hotspots* de biodiversidade mais importantes do planeta.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica. O Projeto é uma realização do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), no contexto da Cooperação para o Desenvolvimento Sustentável Brasil-Alemanha, no âmbito da Iniciativa Internacional de Proteção do Clima (IKI) do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Construção e Segurança Nuclear (BMUB) da Alemanha. O projeto conta com apoio técnico da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH e apoio financeiro do KfW Banco de Fomento Alemão.

Este documento apresenta o relatório completo referente ao estudo: “Elaboração de análises de impactos biofísicos potenciais da mudança do clima para a Mata Atlântica”, com o objetivo de realizar modelagens de impactos biofísicos potenciais da mudança do clima a partir de variáveis climáticas obtidas por dois modelos climáticos regionais disponíveis para o Brasil, são eles: Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5.

Assim, a partir das variáveis climáticas e de extremos climáticos simulados por cada um dos modelos regionais, para dois diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa (RCP4.5 e RCP8.5) e 4 diferentes períodos de análise (1961-2005 / 2011-2040 / 2041-2070 / 2071 -2100), foram analisados os impactos potenciais à inundações, evolução da erosão hídrica, deslizamento, disponibilidade de água no solo, zoneamento agroclimático, ocorrência de fitofisionomias e distribuição da dengue, para toda área de aplicação da Lei da Mata Atlântica. A base de dados completa com todos os mapas de impacto gerados será disponibilizada na plataforma web i3Geo¹ do Ministério do Meio Ambiente.

1 mapas.mma.gov.br/i3geo/

2 Modelagem dos impactos potenciais da mudança do clima

2.1 Abordagem metodológica

Os impactos da mudança do clima são resultado de uma sinergia entre variações nos atributos climáticos e fragilidades socioambientais e infraestruturais existentes no território. Extremos climáticos como pancadas de chuva ou estiagens prologadas podem ter efeitos diretos – i.e., impactos físicos tais como alagamentos, perda de área produtiva, etc.; ou secundários – i.e., impactos socioeconômicos tais como redução ou perda de PIB e de empregos, formação de fenômenos migratórios, etc.

É importante identificar claramente quando, e se, existem relações causa-efeito entre mudanças do clima e ocorrência de impactos. Esse estudo avalia cada impacto separadamente, devido à grande dificuldade de quantificar e modelar relações infra setoriais e de múltiplos riscos (e.g., eventos de alagamento e distribuição da dengue). A grande extensão territorial da região da Mata Atlântica e a dificuldade de se obter informações e dados completos ou atualizados, impossibilitaram a inclusão na análise de todos os fatores explicativos de impacto encontrados na revisão bibliográfica. Tentou-se otimizar o conteúdo informativo publicamente disponível e acessível, visando oferecer um resultado preliminar que estimule a discussão sobre os efeitos da mudança do clima em uma das áreas mais importantes do Brasil, podendo assim auxiliar a definição de estratégias de adaptação em nível regional e municipal.

Foram analisados 7 impactos potenciais para toda área de aplicação da Lei da Mata Atlântica: inundação, evolução da erosão hídrica, deslizamento, disponibilidade de água no solo, zoneamento agroclimático, ocorrência de fitofisionomias e distribuição da dengue. Para a modelagem de cada um desses impactos, foram consideradas variáveis de exposição à fatores climáticos, somadas às variáveis que indicam sensibilidade biofísica. Os dados de entrada dos modelos de impactos para sensibilidade foram representados por um componente biofísico constante, isso é, sem variação no decorrer dos anos. Isso ocorreu por falta de projeções confiáveis, como no caso do uso e ocupação do solo, ou por não ter componente dinâmica, e.g., topografia. Já os dados de entrada dos modelos de impactos para exposição climática são variáveis no tempo, por serem resultado de modelos climáticos.

Todos os fatores explicativos do impacto foram georreferenciados (formato raster) e normalizados garantindo a comparabilidade espacial (pixel a pixel) e a possibilidade de agrega-los em um índice composto ponderado. A normalização foi realizada utilizando a metodologia Max-Min², subtraindo o valor mínimo e dividindo para o intervalo de cada variável (Nauman et al., 2014). Essa metodologia garante que todos os fatores utilizados sejam normalizados entre 0 e 1, eliminando as unidades de medidas. Foram rodadas duas simulações distintas (Figura 1) alimentadas pelos dados de temperatura e chuva (valores médios e extremos – Anexo 1) do Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5, para os períodos

$$2 \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})}$$

1961-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, calculados para dois cenários *Representative Concentration Pathways* (RCPs)³, considerando como cenário pessimista o RCP 8.5 (altas emissões) e otimista o RCP4.5 (emissões intermediárias-baixas). Divergências entre os resultados dos modelos de impacto são, portanto, devido as diferentes projeções climáticas do Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5.

Foram gerados mapas em dados absolutos e relativos à linha de base (1961-2005).

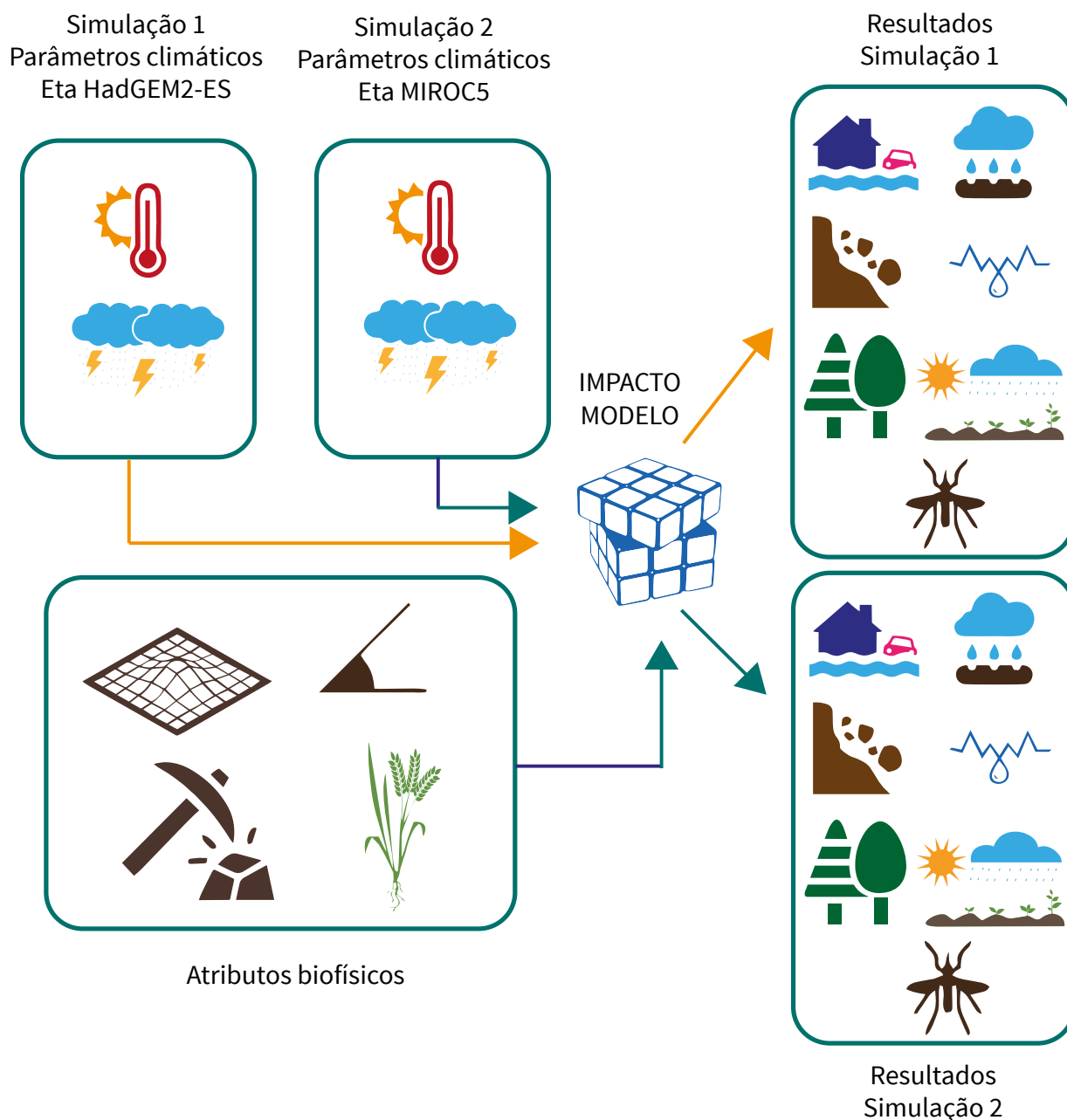


Figura 1. Modelagem dos impactos da mudança do clima. As entradas dos submodelos de impacto foram compostas por componentes físicas constantes ao longo do período de análise, e por uma componente climática variável. Foram realizadas duas simulações dos impactos a partir dos resultados dos modelos climáticos Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5.

³ Os RCPs definem o valor cumulativo dos gases de efeito estufa emitidos por todas fontes antrópicas até 2100 (expresso em Watts/m²). A definição dos RCPs foi embasada em projeções de fatores econômicos, tecnológicos, demográficos, institucionais, entre outros. http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html

2.2 Modelos de impacto potencial

Esta sessão apresenta a estrutura de componentes e interações ambientais subjacentes aos modelos de projeção futura de cada um dos impactos abordados neste estudo, a saber: inundação, evolução da erosão hídrica, deslizamento, disponibilidade de água no solo, zoneamento agroclimático, ocorrência de fitofisionomias e distribuição da dengue.

Os modelos espacialmente explícitos foram realizados a partir de uma atenta revisão bibliográfica que buscou encontrar referências atualizadas sobre equações, fatores explicativos e parâmetros úteis à compreensão e mapeamento dos impactos estudados. Cada subseção apresenta sucintamente a base teórica, e a listagem de dados ambientais utilizados no cálculo da sensibilidade, representando, portanto, os atributos biofísicos dos sistemas e processos ambientais em análise

2.1.1 Modelo de inundação

As características de drenagem das bacias hidrográficas foram quantificadas através de indicadores morfométricos extraídos de um modelo de elevação digital (MED)⁴. Essa abordagem aplica-se em contextos com limitada e heterogênea distribuição de dados ou em áreas muito extensas – como no caso da Mata Atlântica – garantindo uma aproximação satisfatória dos atributos físicos que afetam as ocorrências de inundação.

Os indicadores morfométricos utilizados para representar a sensibilidade biofísica no modelo de inundação foram (Figura 2):

- **ORDEM DOS CURSOS D'ÁGUA:** relaciona a posição que cada curso d'água assume dentro da bacia hidrográfica, em relação à ordem de afluência de um curso d'água em direção aos demais, das nascentes até o ponto de saída das águas da bacia hidrográfica. Sendo assim, cursos que não possuem contribuintes recebem valor 1; dois cursos de mesma ordem formam um de ordem superior; dois rios com ordens diferentes formam um de ordem igual a maior ordem entre os rios formadores. Esse indicador de ordem expressa a propensão à uma maior ocorrência de inundações na bacia hidrográfica, em função do aumento de vazão concomitante ao aumento da ordem dos cursos d'água.
- **DECLIVIDADE:** relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre eles. A declividade influencia a intensidade de atuação da dinâmica do escoamento das águas nas planícies de inundação.
- **DISTANCIA HORIZONTAL** em relação aos cursos d'água: propensão à ocorrência de inundação em áreas contíguas aos cursos d'água, de acordo com a distância dessas áreas aos seus respectivos cursos d'água.
- **DISTANCIA VERTICAL** em relação aos cursos d'água: caminho preferencial da água no terreno até a drenagem mais próxima. Sendo assim, forma-se um mapa, com a indicação da altura de cada área (pixel) em relação ao curso d'água mais próximo, indicando, a partir da variação das alturas, regiões mais ou menos suscetíveis à ocorrência de inundações.

Cabe ressaltar que o cruzamento dos mapas morfométricos foi realizado – com pesos iguais – dentro da faixa correspondente à planície de inundação de todos os cursos d'água, previamente delimitada⁵.

⁴ A elaboração dos mapas morfométricos foi realizada na plataforma GRASS GIS a partir das extensões *r.stream*; *r.basin*; *r.slope.aspect*; *r.wf*; *r.ipso*. Site: <https://grass.osgeo.org/>

⁵ Foi definido um buffer médio de 100 m para delimitar a planície de inundação de todos os cursos de água nas regiões da Mata Atlântica.

Os valores dos extremos de chuva foram utilizados para descrever as relações causa-efeito entre fatores climáticos e ocorrências de alagamento. A exposição foi calculada agregando:

- R10: número de dias com precipitação maior ou igual a 10mm;
- R95p: precipitação anual total dos dias em que a precipitação foi maior ou igual ao percentil 95 de todos os dias úmidos do ano, com chuvas maiores ou iguais à 1mm;
- Rx5day: máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos;
- CWD: número máximo de dias úmidos consecutivos no ano,

de acordo com a seguinte fórmula (Camarinha, 2016):

$$EX = ((0.10 * CWD) + (0.10 * R10) + (0.70 * R95P) + (0.10 * Rx5day)) \text{ (Eq.1)}$$

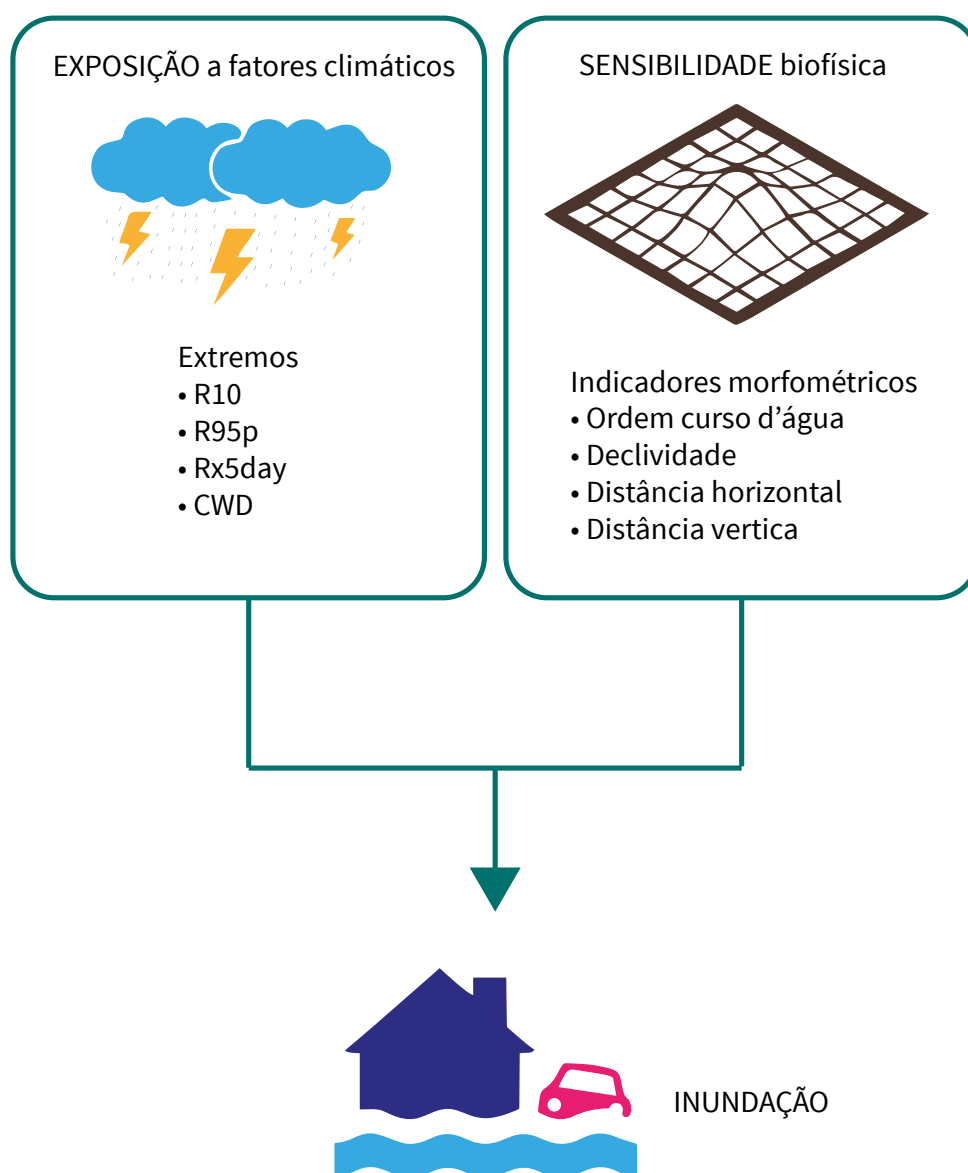


Figura 2. Esquema do índice de inundação.

O índice de inundação foi calculado através uma agregação linear dos componentes de Exposição e Sensibilidade, segundo a fórmula:

$$I = 0,5 * EX + 0,5 * SE \quad (\text{Eq.2})$$

2.2.2 Modelo de erosão hídrica

O impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial são os agentes ativos da erosão hídrica. O *splash* ou salpicamento é a etapa inicial do processo erosivo e é provocado pelo impacto das gotas de chuva no solo. Afim de se compreender e avaliar o potencial da chuva em promover a erosão, WISCHMEIER (1959) propôs um índice de erosividade para estimar a capacidade erosiva da precipitação ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1} \text{y}^{-1}$)⁶. SILVA (2004) organizou um conjunto de equações para determinar a variação espacial da erosividade no Brasil, com base em dados médios de precipitação mensal e anual (Quadro 1). Foram utilizadas as equações que descrevem o comportamento do indicador nos limites da Mata Atlântica (Figura 3).

Quadro 1. lista de equações utilizadas para calcular a erosividade em diferentes regiões do Brasil. R_x : Erosividade no mês X; M: média mensal de chuva; P: média anual de chuva. Fonte: Silva (2004).

		
Número	Equação	Autores
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 42.77$	Oliveira Jr. e Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{1,0852}$	Morais et al (1991)
3	$R_x = (0.66 * M_x) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right) + 69.763$	Silva (2004)
5	$R_x = 0.13 * (M_x^{1,24})$	Leprun (1981)

6 A unidade de medida é $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1} \text{y}^{-1}$: Mega Joule ha^{-1} (Energia cinética da chuva) * mm h^{-1} (intensidade da chuva) por ano.

Quadro 1. lista de equações utilizadas para calcular a erosividade em diferentes regiões do Brasil. R_x : Erosividade no mês X; M: média mensal de chuva; P: média anual de chuva. Fonte: Silva (2004). (continuação)

		
Número	Equação	Autores
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0,6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{M_x^2}{P}\right)^{0,841}$	Lombardi Neto e Mondenhauer (1999)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

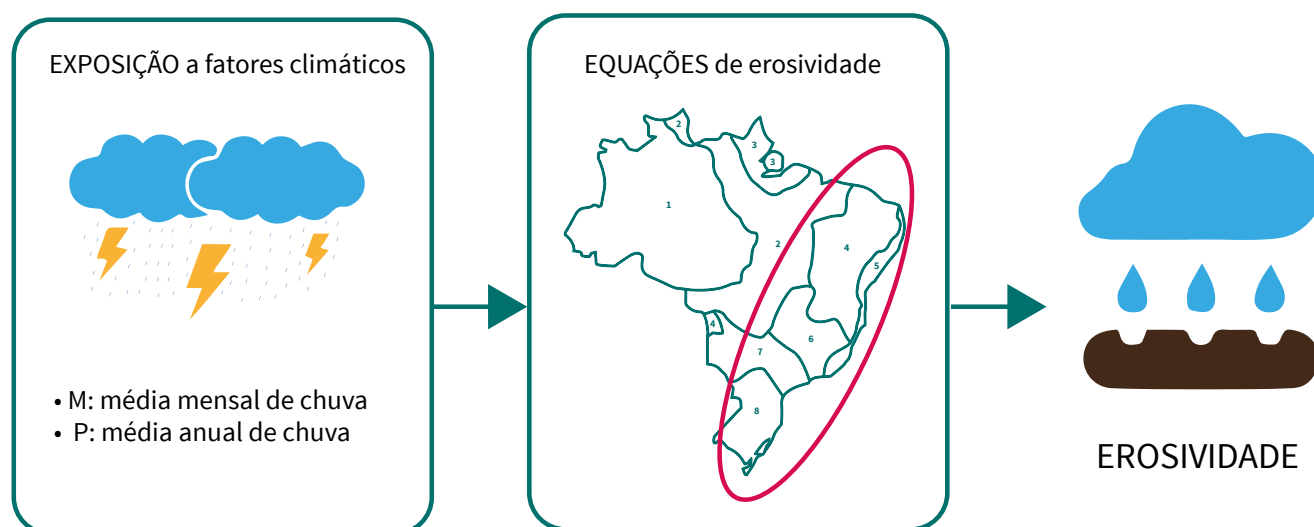


Figura 3. Esquema do índice de erosividade. As variáveis explicativas do índice de Exposição alimentam as equações de erosividade para as regiões da Mata Atlântica (Silva 2004).

2.2.3 Modelo de deslizamento

Declividade e erodibilidade do solo foram as variáveis utilizadas para caracterizar a sensibilidade física das áreas onde foram registradas ocorrências de deslizamento (Figura 4). Outros fatores que podem ajudar a explicar o fenômeno – tais como falta de planejamento territorial, aspectos estruturais e geofísicos – não foram considerados devido à dificuldade de obter essas informações para toda a região de Mata Atlântica. A declividade foi obtida a partir do processamento dos dados (Modelo de Elevação Digital, MED) do projeto Topodata⁷ (INPE). A erodibilidade⁸ foi calculada classificando o mapa digital de solos da Embrapa (2011)⁹, em escala de 1:5.000.000, através dos valores de erodibilidade para cada ordem de solos brasileiros (Lino 2010; Silva e Alvares, 2005).

A chuva é um fator explicativo importante do deslizamento (Figura 4). As precipitações entram no cálculo tanto com valores médios mensais e anuais – que descrevem a capacidade de causar erosão (capítulo 2.2.2) e o nível de saturação do solo – quanto com extremos de precipitação intensa (R10), segundo a fórmula:

$$D = 0,3 * Erosividade + 0,3 * Declividade + 0,2 * Erodibilidade + 0,2 * R10^{10} \quad (\text{Eq.3})$$

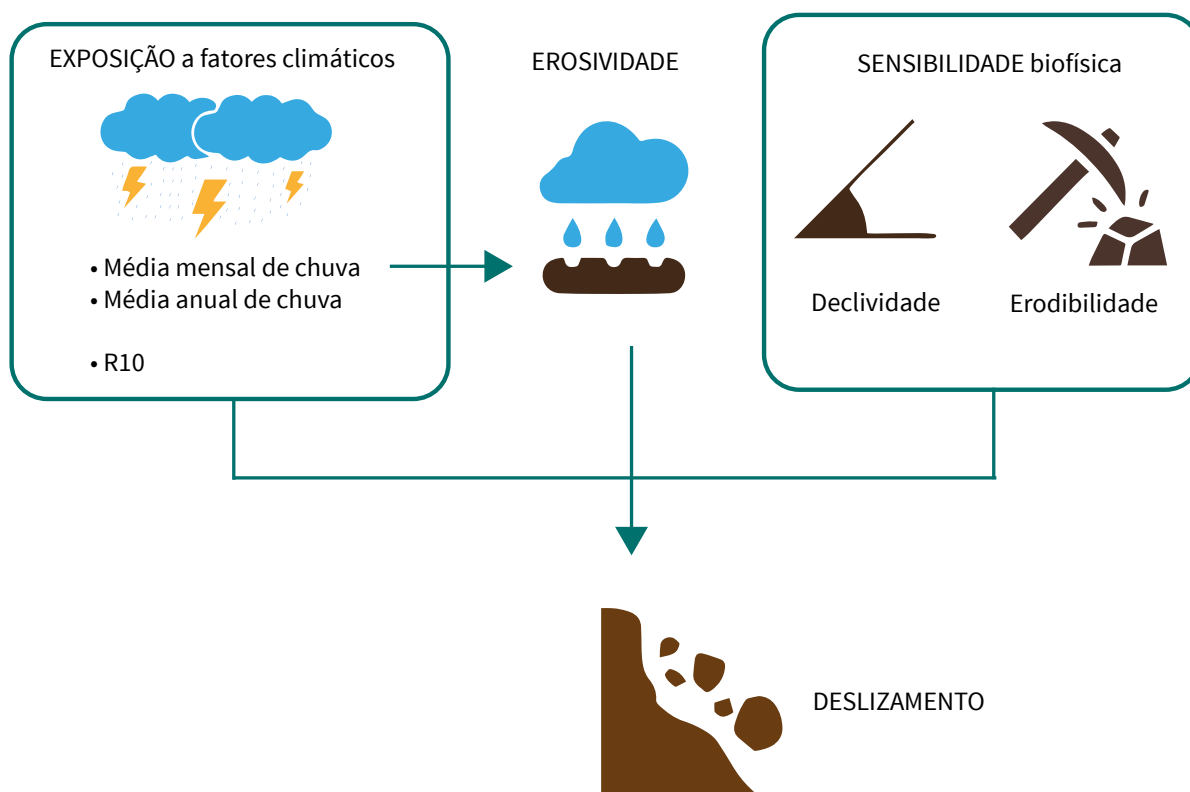


Figura 4. Esquema do índice de deslizamento. Os valores médios de chuva são utilizados para o cálculo do índice intermediário de erosividade.

7 <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

8 Fator relativo às propriedades inerentes ao solo, tais como textura, estrutura, matéria orgânica e permeabilidade, refletindo sua maior ou menor susceptibilidade à erosão. Unidade de medida: Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹

9 <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>

10 Os pesos foram definidos durante o processo de calibração do submodelo com dados de treinamento (ocorrências de deslizamento observadas)

2.2.4 Modelo de umidade do solo

A mudança do clima, principalmente em termos de frequência e quantidade de precipitações, é responsável por modificar a dinâmica da disponibilidade de água no solo. Mesmo com a precipitação total inalterada, o aumento da intensidade de eventos chuvosos, concomitante com uma redução da sua frequência – i.e estiagens mais prolongadas - irá afetar a umidade do solo e, consequentemente, a dinâmica e as condições das plantas (PORPORATO et al., 2004). Vale ressaltar a importância do aumento da temperatura no balanço final da umidade do solo, devido a perdas por evapotranspiração¹¹, na qual decréscimos pertinentes ocorrem mesmo com a manutenção das precipitações.

A ideia principal para o cálculo do impacto da disponibilidade de água no solo frente à mudança do clima é a aplicação de uma equação diferencial (PORPORATO et al., 2004), através de um modelo numérico implementado para estimativa operacional da umidade do solo. Essa estimativa é obtida somente considerando tendências nas variáveis precipitação e evapotranspiração, além de considerar dados atuais de uso e textura do solo para descrever as propriedades biofisiológicas e edáficas dos ecossistemas.

A evapotranspiração potencial¹² (soma da evaporação da água à superfície com a transpiração das plantas), uma das variáveis de entrada, foi obtida a partir de um algoritmo descrito pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) (Allen, 1998) que utiliza dados de temperatura mínima ($T_{\min}$), média ($T_{\text{média}}$) e máxima ($T_{\max}$) relacionados ao valor da radiação solar extraterrestre por latitude (R_a), conforme a equação:

$$Et_0 = 0,0023 * (T_{\text{média}} + 17,8) * (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} * R_a \quad (\text{Eq.4})$$

Além da evapotranspiração, os valores médios de precipitação compõem o conjunto de variáveis de exposição climática, utilizados como entrada para o modelo. A partir dos valores, históricos e projetados dos cenários futuros, estima-se a frequência de dias chuvosos no trimestre, avaliado por uma contagem do número de dias chuvosos em 90 dias, transformados em percentual de dias chuvosos.

As variáveis de entrada que constituem a sensibilidade do ambiente são geradas a partir dos dados de:

- Tipo de solo: as características do solo são obtidas pela reclassificação dos mapas de tipos de solos que permitem inferir sobre três condições: a) porosidade; b) capacidade de campo, que se refere ao máximo volume de água que o solo é capaz de reter após o excesso ter sido drenado; e c) ponto de murcha permanente, que é o limite mínimo de água armazenada no solo que pode ser utilizada pelas plantas. No processo de evapotranspiração existe um intervalo hídrico ótimo para o desenvolvimento da vegetação. Este valor se encontra entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo;
- Fitofisionomia: a reclassificação do mapa de fitofisionomias indica a profundidade do sistema radicular;
- Uso da terra: a permeabilidade é definida pela reclassificação dos tipos de uso do solo em um índice normalizado de permeabilidade variando de 0 a 1.

¹¹ Unidade de medida: mm(água) dia⁻¹.

¹² Evapotranspiração potencial ou de referência.

Todas essas informações alimentam o algoritmo sugerido por PORPORATO et al., (2004). O produto final consiste de campos de umidade volumétrica (valores médios em mm^3 de $\text{H}_2\text{O}/\text{mm}^3$ de solo) (Figura 5).

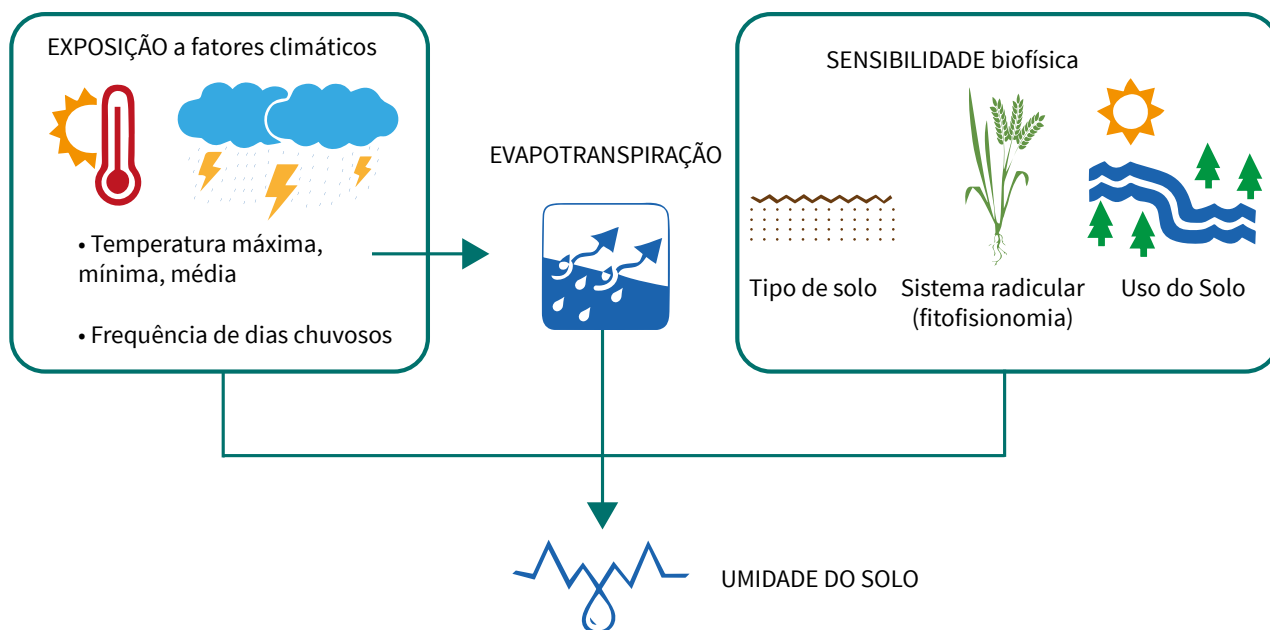


Figura 5. Esquema do índice de umidade no solo. Os valores de temperatura são utilizados para o cálculo do índice intermediário de evapotranspiração (Allen, 1998). A partir desses dados de entrada, o índice de umidade do solo é calculado através do algoritmo sugerido por Porporato et al., (2004).

2.2.5 Modelo de zoneamento agroclimático

Esse impacto foi modelado a partir da variação das características climáticas que influenciam principalmente as fases de germinação e enchimento de grãos, cruciais para a boa produtividade da cultura. A forma e o grau que a mudança do clima, relacionados aos aspectos físicos do ambiente, afetam as condições ótimas de produtividade agrícola de uma região, podem ser analisados a partir desses produtos. Esse resultado será representado pela maior ou menor suscetibilidade climática da agricultura dentro do domínio do bioma. Os critérios utilizados para simular os impactos da mudança do clima no zoneamento agroclimático foram baseados na metodologia do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) (ASSAD et al, 2004). O ZARC é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, cujo principal objetivo é determinar as menores suscetibilidades climáticas para as culturas por sua respectiva demanda fisiológica de água em relação aos ambientes estudados. Após a análise de todos os dados define-se onde deve ser plantada cada cultura com maior chance de sucesso na safra. Para a determinação do ZARC o estresse hídrico da cultura é o fator que indica o zoneamento agroclimático por unidade de área.

Para a inferência acerca do estresse hídrico da cultura foi utilizado o Índice de Satisfação de Necessidade de Água – ISNA, obtido pela proporção entre o nível real e o nível máximo de evapotranspiração por cultura. A modelagem (Figura 6) se deu a partir dos dados de umidade do solo que irão

compor a equação de EAGLEMAN (1971)¹³ para definição do coeficiente real da cultura (Kc_r), além dos dados tabelados de coeficiente máximo da cultura (Kc_m), e valores de evapotranspiração (Et_0)¹⁴. Essas informações são os componentes de entrada na metodologia da FAO caderno 56 (ALLEN, 1998) para definição:

- da evapotranspiração real (Et_r):

$$Et_r = Et_0 * Kc_r \quad (\text{Eq.5})$$

- da evapotranspiração máxima (Et_m):

$$Et_m = Et_0 * Kc_m \quad (\text{Eq.6})$$

O ISNA foi calculado a partir desses indicadores, conforme a equação:

$$ISNA = Et_r / Et_m \quad (\text{Eq.7})$$

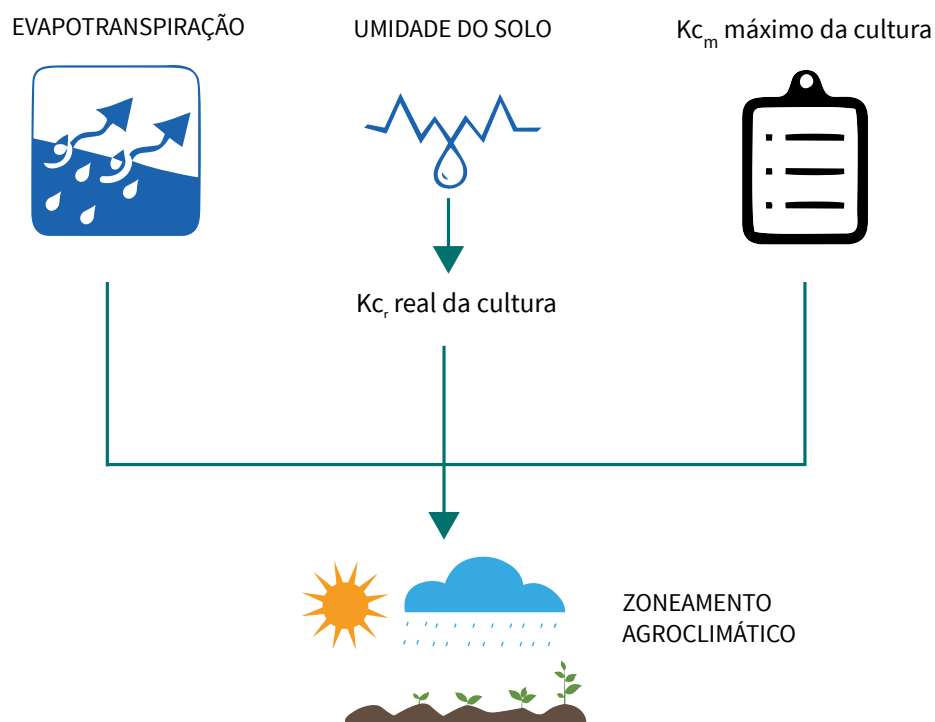


Figura 6. Esquema do índice de satisfação de necessidade de água (ISNA). Os valores de temperatura e precipitações são utilizados para o cálculo dos índices intermediários de evapotranspiração e umidade do solo. A partir desses dados de entrada, o ISNA é calculado através da metodologia sugerida por Allen (1998).

¹³ $Kc_{real} = (a + b) \times (Us + c) \times (Us^2 + d) \times Us^3$, onde $Us = \text{umidade solo}$; $a = \frac{-0.05 + 0.732}{Et_0}$; $b = 4.97 - 0.661 \times Et_0$; $c = -8.57 + 1.56 \times Et_0$; $d = 4.35 - 0.88 \times Et_0$

¹⁴ Os fatores climáticos entram no cálculo do ISNA através das formulas de evapotranspiração e umidade do solo, descritas no capítulo 2.2.4.

Para uma abordagem conservadora, as características fisiológicas consideradas nessa análise correspondem aos limites das culturas climaticamente mais sensíveis dentre aquelas tratadas como estratégicas para a economia e a segurança alimentar do Brasil, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. São elas: cana-de-açúcar, soja, trigo, algodão, arroz sequeiro, feijão e milho. Neste caso, serão apresentados mapas classificados pelo ISNA de acordo com os valores a seguir:

- $ISNA \geq 0,55$ – a cultura está exposta a um baixo impacto climático (favorável).
- $0,45 < ISNA < 0,55$ – a cultura está exposta a um impacto climático médio (intermediário).
- $ISNA \leq 0,45$ – a cultura está exposta a um alto impacto climático (desfavorável).

2.2.6 Modelo de distribuição das fitofisionomias

SALIS et al., (1995); ROLIM et al., (2005); COLOMBO (2007) determinaram que a distribuição espacial de espécies arbóreas da Mata Atlântica encontra-se intrinsecamente ligada às características climáticas, principalmente à precipitação e à temperatura. Uma alteração da distribuição das classes vegetais poderá acontecer no médio e longo prazo, dada a alta versatilidade e plasticidade vegetal (KNAPP et al., 2002). Portanto, especialmente para o modelo de distribuição das fitofisionomias da Mata Atlântica, a análise considerou o período de 2071 a 2100 no cenário RCP 8.5. Adotou-se uma análise conservadora, considerando o cenário mais drástico e o prazo mais longo, visto que, de uma forma geral, o componente vegetal apresenta grande resiliência climática. Foram avaliadas as seguintes classes vegetais: i) floresta estacional decidual; ii) floresta estacional semidecidual; iii) floresta ombrófila aberta; iv) floresta ombrófila densa; v) floresta ombrófila mista; vi) formações pioneiras; vii) ecótonos.

As projeções foram feitas utilizando o modelo de Máxima Entropia ou MAXENT (PHILLIPS et al., 2004). A entropia de um sistema é uma medida de sua ‘desordem’. No caso deste estudo o conceito de entropia utilizado (SHANNON, 1949) refere-se à incerteza de uma distribuição de probabilidade. O MAXENT é um algoritmo que busca calcular e minimizar essa incerteza, encontrando a distribuição futura mais próxima da distribuição uniforme real, baseado nas restrições das variáveis ambientais disponíveis. Informações sobre fitofisionomias atuais, bem como variáveis ambientais históricas, alimentam o modelo para calibrar e definir o conjunto de restrições. Posteriormente, essas restrições são utilizadas para definir a probabilidade das ocorrências potenciais da fitofisionomia em relação às restrições identificadas nas distribuições espaciais das variáveis climáticas futuras.¹⁵

Portanto, os dados de entrada para o modelo foram (Figura 6):

- Ocorrência atual das fitofisionomias;
- Umidade do solo;
- Informações de topografia;
- Variáveis climáticas históricas (para calibração do modelo) e futuras (para a geração das projeções das potenciais distribuições): precipitação ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, média e máxima ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa do ar (%);
- Índices de extremos climáticos, históricos e futuros: sequência de dias secos (CDD); precipitação intensa (R10mm); noites quentes (TN90p); ondas de calor (WSDI).

¹⁵ Devido à falta de projeções sobre uso e ocupação do solo na Mata Atlântica no período de estudo, esses dados não foram incluídos na análise.

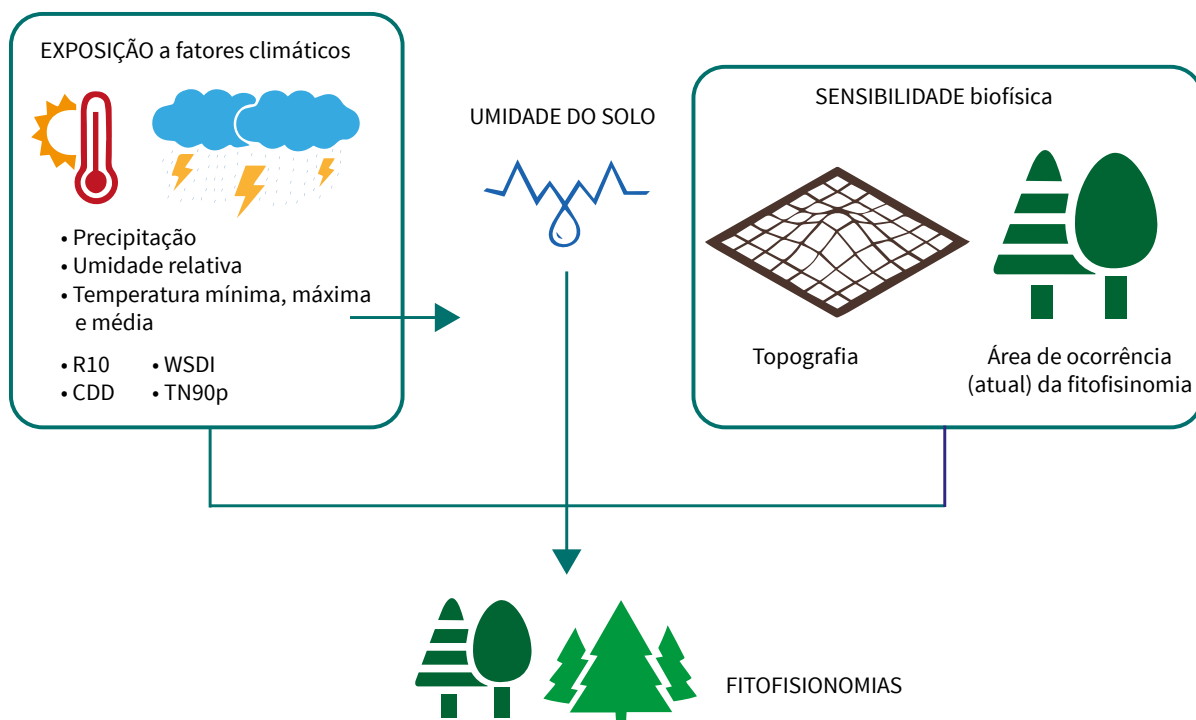


Figura 7. Esquema da distribuição espacial das classes vegetais. O índice intermediário de umidade do solo é descrito no capítulo 2.2.4. A partir desses dados de entrada o algoritmo MAXENT (PHILLIPS et al., 2004) descreve a probabilidade de ocorrências futuras da fitofisionomia em função das restrições ambientais e climáticas.

2.2.7 Modelo de distribuição da dengue

Neste estudo o impacto potencial sobre a distribuição da dengue na área de aplicação da Lei da Mata Atlântica foi estimado através de relações geoestatísticas e da combinação da distribuição de parâmetros de exposição climática com a presença da doença e do vetor (*Aedes aegypti*) ao longo do território. O índice de suscetibilidade climática de uma região à dengue e seu vetor foi gerado a partir da combinação de 3 indicadores (Figura 8):

- Número provável de gerações do vetor: o modelo (FERNANDES, 2006) utiliza os dados de média de temperatura do ar mensal (T_{med}), da temperatura base (T_{base}) - que é o limite térmico inferior necessário para o desenvolvimento do vetor - e da constante térmica (K) - que relaciona a duração do desenvolvimento de qualquer fase em função da temperatura acumulada em graus dia - de acordo com a equação abaixo:

$$N^{\circ} \text{ de gerações} = N^{\circ} \text{ de dias} \frac{(T_{med} - T_{base})}{K} \quad (\text{Eq.8})$$

- Positividade para eclosão de ovos: o modelo utiliza uma equação de regressão linear múltipla (VIANELLO et al., 2006), onde parâmetros meteorológicos foram tratados como variável independente, sendo o percentual de ovitrampas positivas (armadilhas de ovos para monitorar a população de mosquitos) a variável dependente. Portanto, a variável Y_i representa o percentual

previsto de ovitrapas positivas, em função da umidade relativa do ar ($X1_i$), temperatura média ($X2_i$) e chuvas acumuladas ($X3_i$) como demonstra a equação abaixo:

$$Y_i = -162,3230 + 1,3089X1_i + 4,8921X2_i + 0,0436X3_i \quad (\text{Eq.9})$$

- Potencial de infecção (P_i): baseado no modelo sugerido por Lambrechts et al. (2011), representa o tempo necessário para incubação do vírus da dengue no vetor *Aedes aegypti*, e é sensível a temperatura. A probabilidade de infecção aumenta linearmente com a temperatura e permanece igual a 1 em temperaturas maiores do que 26,10 °C. Os coeficientes da regressão foram derivados da parte linear do modelo, de acordo com a Equação:

$$P_i = (0,0729 * T_{med}) - 0,9037 \quad (\text{Eq.10})$$

Um dos principais fatores determinantes na sobrevivência e reprodução do mosquito é a temperatura, particularmente a temperatura mínima. A quantidade e frequência de chuva também se apresenta como um fator relacionado a distribuição do vetor, mas com menor correlação, por aumentar a umidade do ar. Pancadas de chuva podem definir novos criadouros, assim como favorecer seu extravasamento dificultando o estabelecimento e eclosão dos ovos.

Os resultados intermediários do sub-modelos e os parâmetros climáticos foram agregados de acordo com as equações abaixo no índice de Exposição:

$$\text{Índice de Susceptibilidade Geral (ISG)} = (0,4 * Y_i) + (0,3 * N^{\circ} \text{ gerações}) + (0,3 * P_i) \quad (\text{Eq.11})$$

$$\text{Clima} = (0,2 * UR) + (0,3 * TN90p) + (0,1 * R10) + (0,4 * T_{min})^{18} \quad (\text{Eq.12})$$

$$\text{Exposição} = 0,4 * ISG + 0,6 * \text{Clima} \quad (\text{Eq.13})$$

Fullerton et al., (2014) apontam fatores relacionados a baixa qualidade do saneamento básico, acesso água potável e coleta de lixo, densidade populacional como relevantes para distribuição de doenças como cólera e dengue. Essas variáveis socioambientais são apresentadas no Water Associate Disease Index (WASI) utilizado para mapear a vulnerabilidade à dengue em escala global. A partir dos dados do Censo (IBGE) e DATASUS, foi definido o índice de sensibilidade socioambiental para Mata Atlântica, de acordo com as equações abaixo:

$$\text{Qualidade Ambiente} = 0,3 * \text{saneamento} + 0,6 * \text{água} + 0,1 * \text{lixo} \quad (\text{Eq.14})$$

17 No índice de exposição foram integrados também os resultados das equações de eclosão dos ovos, potencial de infecção e número de gerações do vetor por serem diretamente afetadas pelos atributos climáticos.

18 UR: Umidade relativa; TN90p: % anual de dias com temperatura mínima > percentil 90; R10: dias no ano com precipitação > 10mm

$$\text{Casos} = 0,8 * \text{ocorrências} + 0,2 * \text{densidade pop} \quad (\text{Eq.15})$$

$$\text{SENSIBILIDADE socioambiental} = 0,2 * \text{qualidade} + 0,8 * \text{casos} \quad (\text{Eq.16})$$

$$\text{DENGUE} = 0,6 * \text{Exposição} + 0,4 * \text{Sensibilidade} \quad (\text{Eq.17})$$

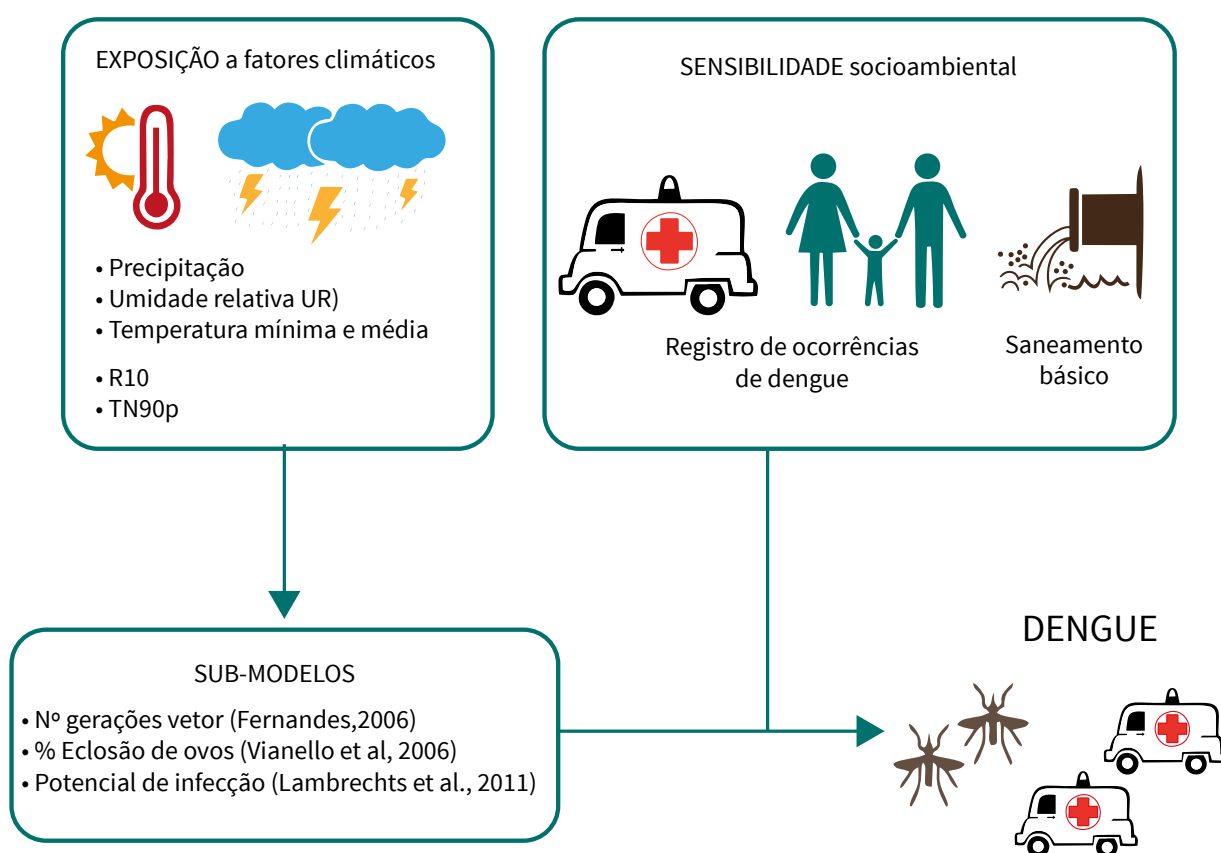


Figura 8. Esquema da distribuição espacial da dengue e seu vetor.

2.3 Dados de entrada dos modelos

Como ressaltado anteriormente (Figura 1) os modelos de impacto são alimentados por dados de entrada constantes (atributos biofísicos) e variáveis (parâmetros climáticos dos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5). Portanto, as variações e tendências observadas nos impactos estudados são o resultado da variação dos parâmetros climáticos ao longo do período 2011-2100.

2.3.1 Dados climáticos: Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5

Os cenários climáticos foram produzidos a partir da regionalização dos resultados dos modelos climáticos globais HadGEM2-ES (*Met Office Hadley Centre*¹⁹) e MIROC5 (*Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute*²⁰) realizada pelo CPTEC/INPE sobre o Sul América para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5²¹. A descrição detalhada dos modelos globais e regionais (Eta) pode ser encontrada em Chou et al., (2014a; 2014b).

O Eta-HadGEM2-ES e o Eta-MIROC5 simularam o comportamento dos parâmetros climáticos em 3 janelas temporais de 30 anos: 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100. O período 1961-2005 foi considerado como linha de base para comparação. Em cada período foram avaliados considerando a dinâmica estacional do hemisfério sul os valores de chuva e temperatura na estação seca (Junho-Julho-Agosto, JJA) e úmida (Dezembro-Janeiro-Fevereiro, DJF).

A título exemplificativo apresentamos aqui os resultados da comparação entre os valores médios de temperatura e chuva simulados pelos modelos ao longo do período de estudo e os valores da linha de base.

Anomalias de temperatura

Ambos os modelos simulam um aumento das temperaturas médias em grande parte da Mata Atlântica. Esse aumento é mais visível no Eta-HadGEM2-ES, com anomalias de temperatura nas regiões Centro-Oeste do país superiores a 6 °C para RCP 8.5 DJF e a 4,5 °C no RCP 4.5 DJF (Figura 9 e 11). A temperatura vai aumentando até o final do século, começando no Centro e Sudeste do Brasil e difundindo-se progressivamente no Nordeste (Chou et al., 2014b). No Eta-MIROC5 essas mesmas tendências apresentam variações menores entre 2 °C e 6 °C no RCP 8.5; entre 2 °C e 4 °C no RCP 4.5.

Os modelos apresentam anomalias de temperatura menos acentuadas no trimestre JJA. O Eta-MIROC5 prevê no RCP 4.5 JJA e na primeira janela temporal do RCP 8.5 JJA uma leve diminuição das temperaturas no Sul do país (Figura 10 e 12).

19 <https://www.metoffice.gov.uk/>

20 <http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/english/>

21 RCP: Representative Concentration Pathway. http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html

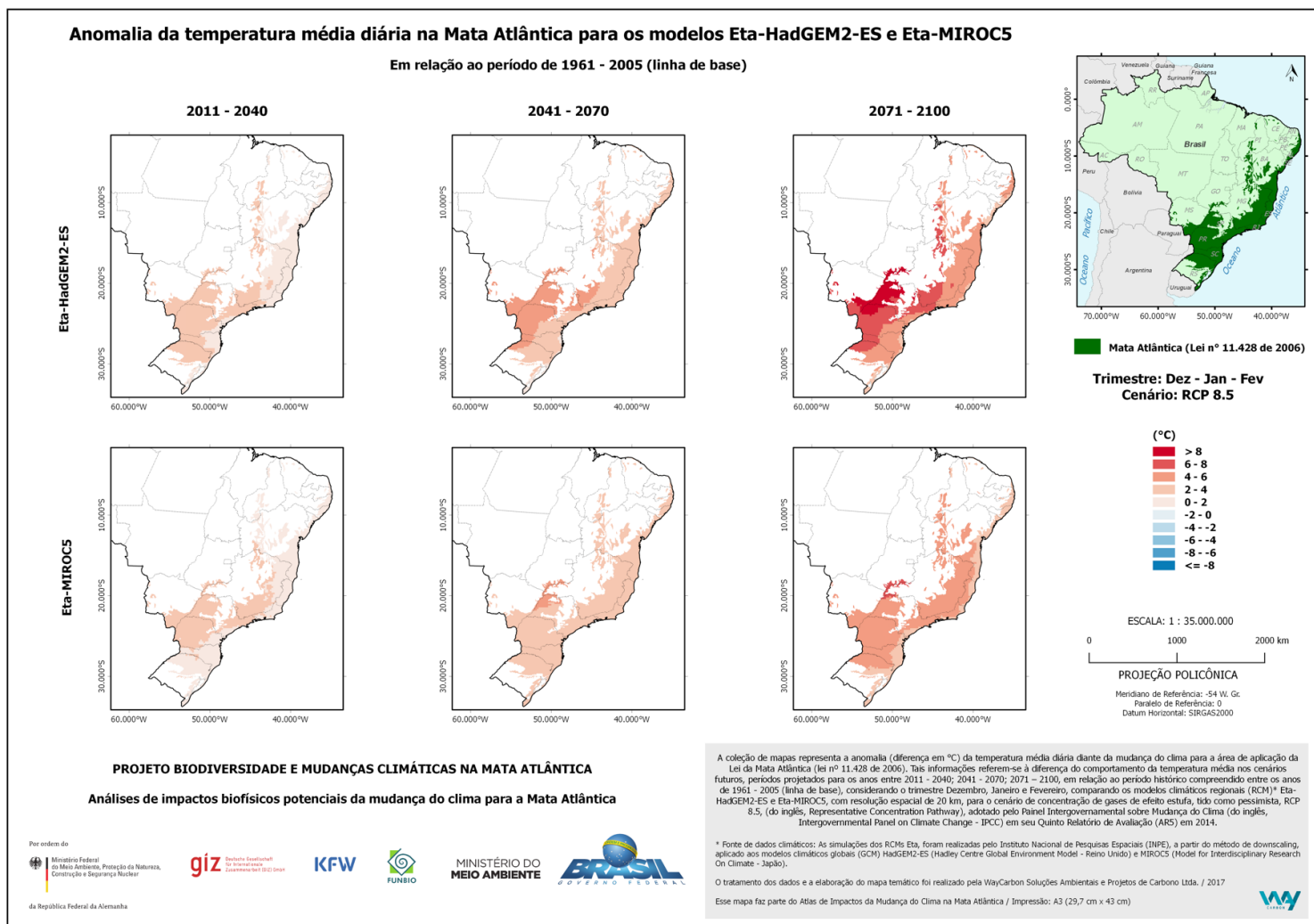


Figura 9. Anomalias de temperatura média diária. RCP 8.5 DJF.

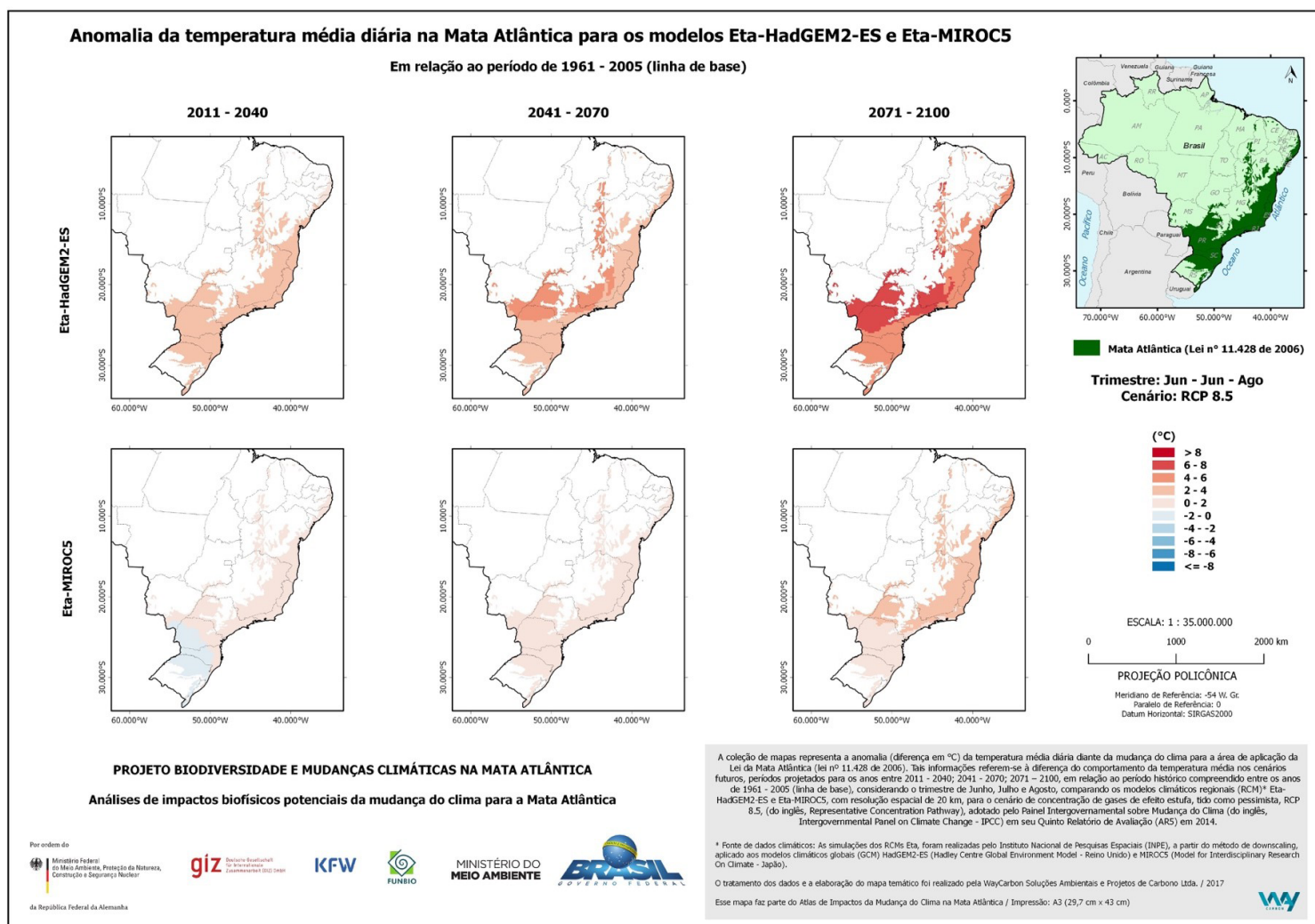


Figura 10. Anomalias de temperatura média diária. RCP 8.5 JJA.

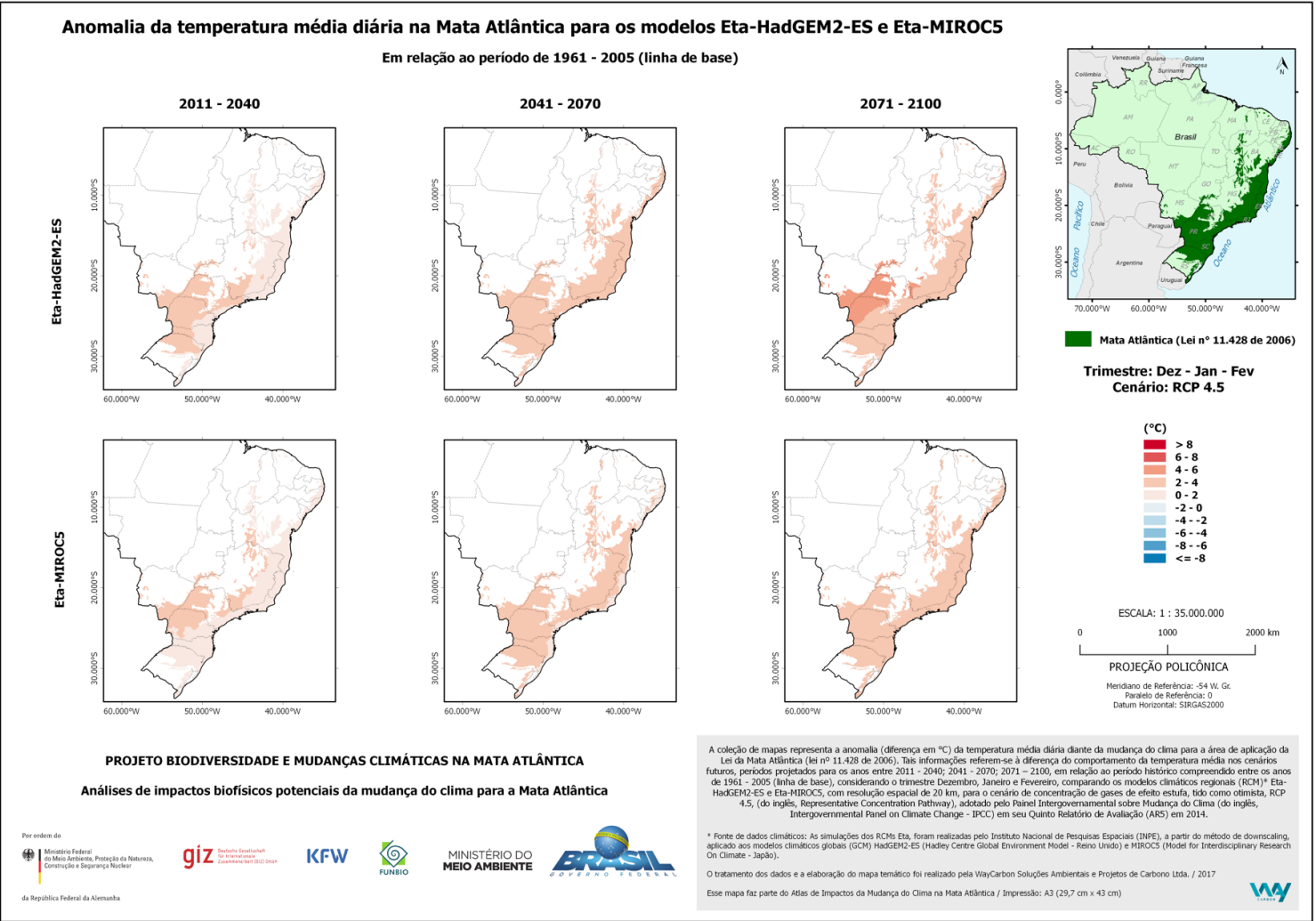


Figura 11. Anomalias de temperatura média diária. RCP 4.5 DJF.

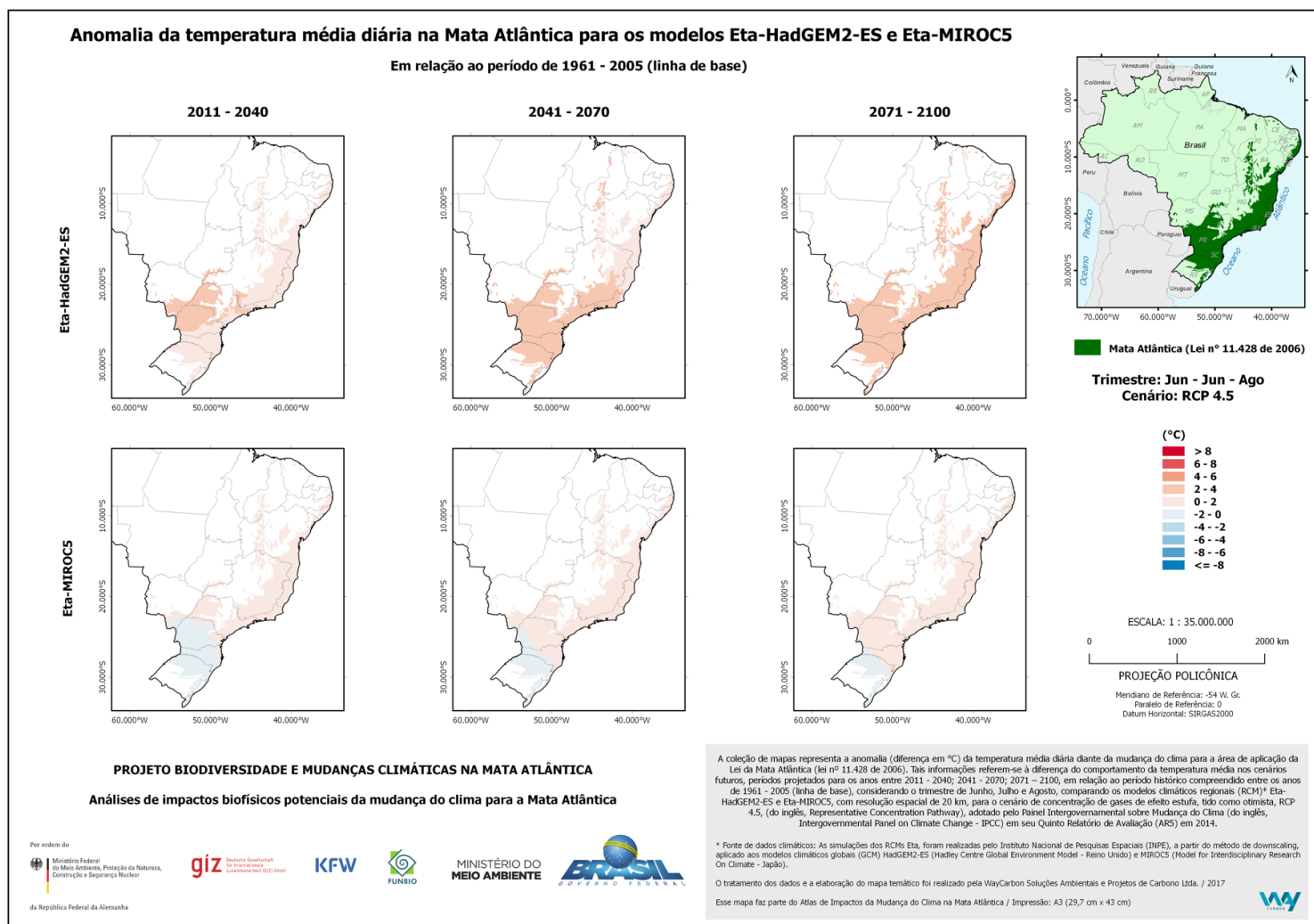


Figura 12. Anomalias de temperatura média diária. RCP 4.5 JJA.

Anomalias de precipitação

Comparando os dois cenários de emissões, no cenário RCP 8.5, o Eta-HadGEM2-ES, mostra uma tendência à diminuição de precipitações mais evidente, particularmente em DJF no período 2071-2100, nas regiões Sudeste, Nordeste e no litoral, com variações entre -40% e -80% em comparação ao cenário histórico. No mesmo período, as regiões no Sul e Sudeste registram um aumento da chuva no Eta-MIROC5, enquanto anomalias negativas são evidenciadas ao longo do litoral do Nordeste (Figura 13).

No RCP 4.5 DJF, o Eta-HadGEM2-ES mantém as mesmas tendências de redução de precipitação média em grande parte da Mata Atlântica, com valores mais moderados entre -20% e -40% no Sudeste e Nordeste (Figura 14). No período 2041-2070 observam-se anomalias positivas em algumas áreas litorâneas do Nordeste. O Eta-MIROC5 prevê uma intensificação progressiva até o final do século das precipitações nas regiões do Sul do país e parte do Sudeste (com picos de +80%); as regiões litorâneas do Nordeste e parte do Sudeste conhecem uma gradual diminuição da chuva.

Em relação à época seca, o RCP 8.5 mostra que no período JJA, o comportamento dos modelos se inverte e o Eta-MIROC5 estima uma redução generalizada de precipitações em toda a Mata Atlântica (com valores de até -60% em algumas áreas do Sudeste), com exceção do extremo sul do país (Figura 15). O Eta-HadGEM2-ES prevê um aumento da chuva nas regiões litorâneas do Nordeste e no Sul do país nas três janelas temporais.

Em relação ao cenário RCP 4.5 JJA observa-se um comportamento dos modelos parecido (Figura 16). O Eta-MIROC5 estima uma perda das precipitações médias em grande parte da Mata Atlântica, principalmente nas regiões do Sudeste; pequenas áreas com anomalias positivas (20%-40%) são evidenciadas ao longo do litoral nordestino nas primeira e terceira janelas temporais. Por volta do final do século, o Eta-HadGEM2-ES prevê uma redução (entre -20% e -60%) nas regiões do Sudeste e parte do Nordeste e um aumento das precipitações no Sul do país.

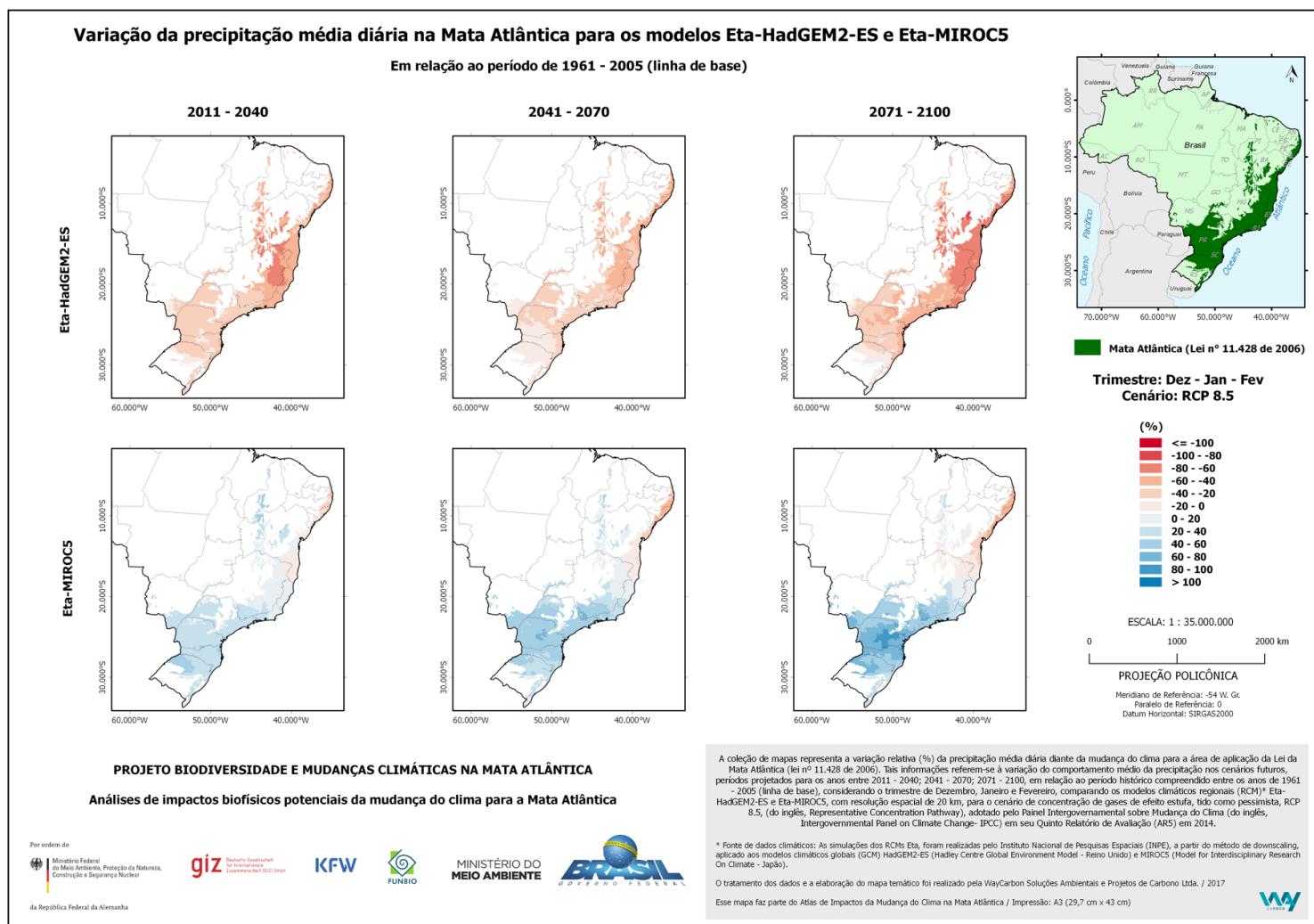


Figura 13. Anomalias de precipitação média diária. RCP 8.5 DJF.

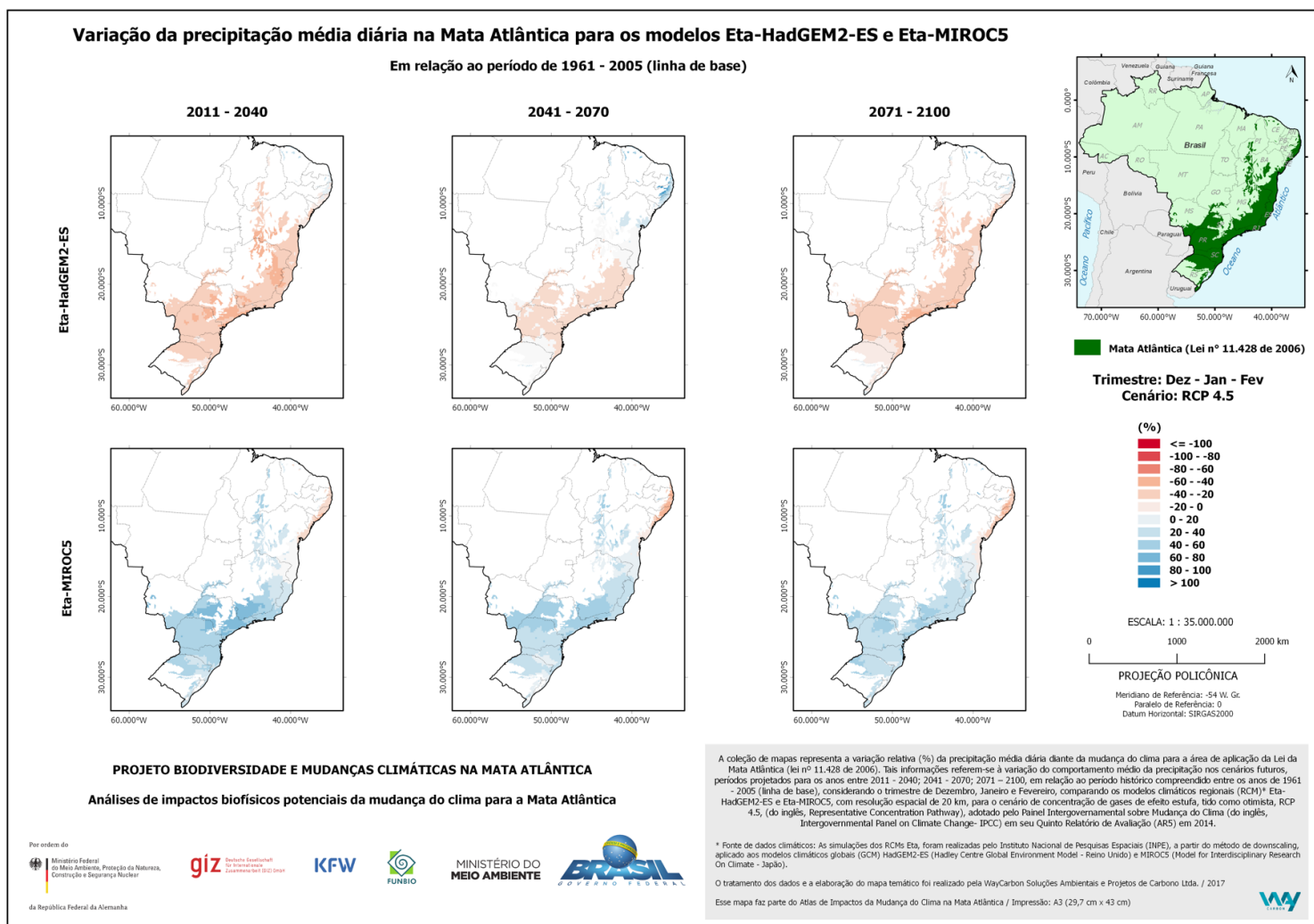


Figura 14. Anomalias de precipitação média diária. RCP 4.5 DJF.

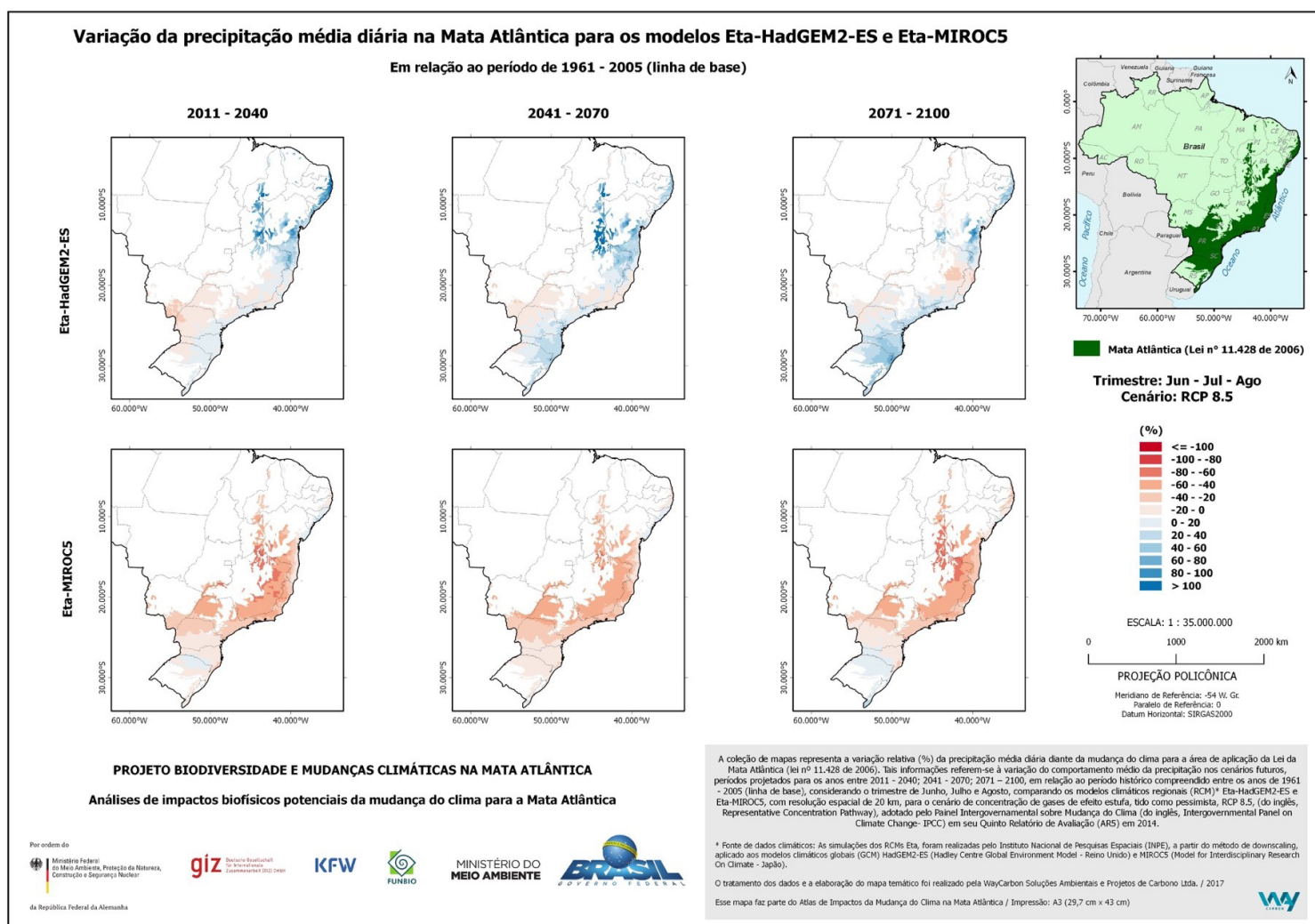


Figura 15. Anomalias de precipitação média diária. RCP 8.5 JJA.

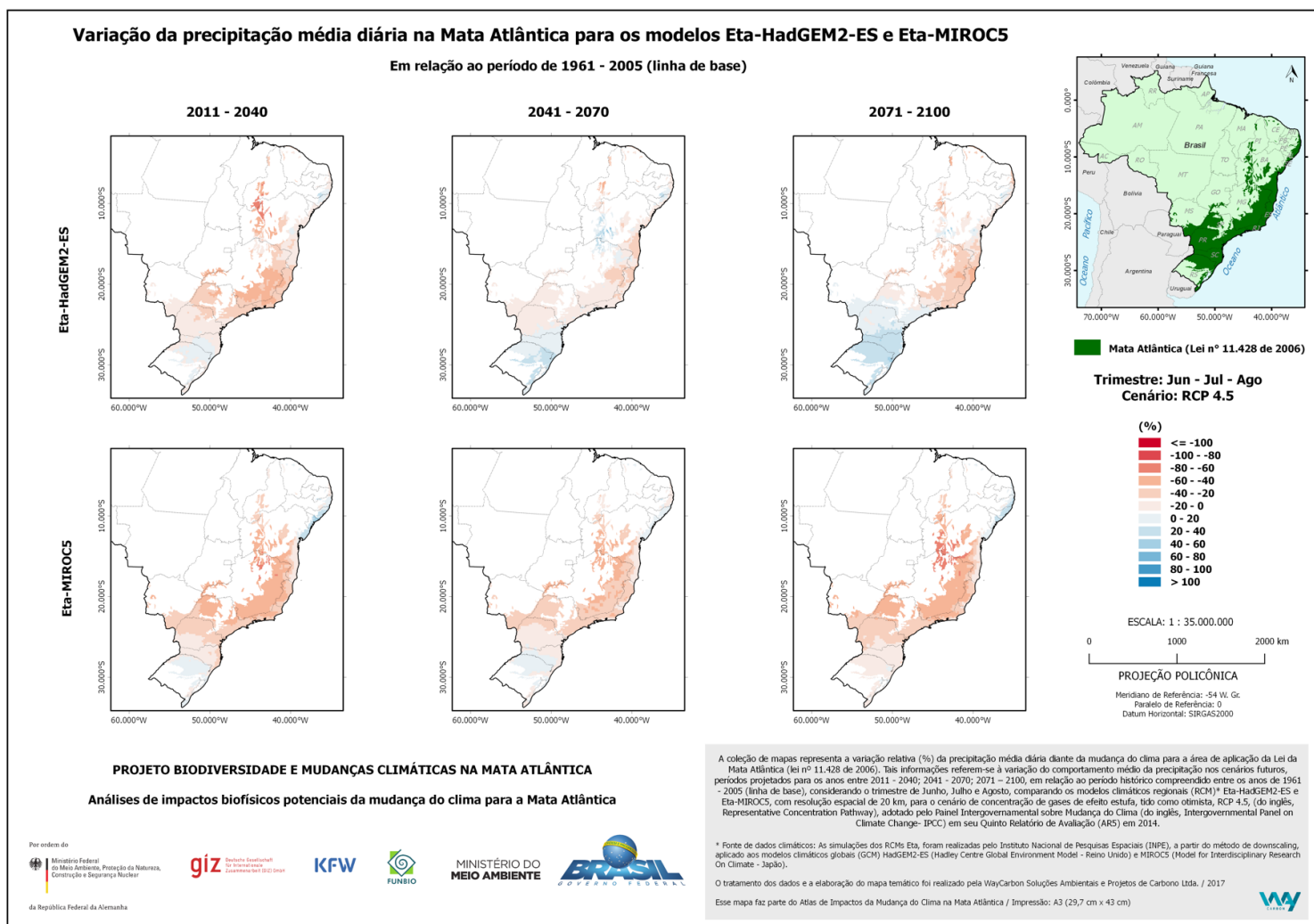


Figura 16. Anomalias de precipitação média diária. RCP 4.5 JJA.

2.3.2 Dados biofísicos

Este capítulo apresenta um sumário dos dados biofísicos para a área de aplicação da Lei da Mata Atlântica²². Essas informações se mantêm constantes ao longo do período simulado por não terem componente dinâmico – e.g., topografia – ou por falta de projeções confiáveis sobre evolução das variáveis – e.g., uso e cobertura do solo – até 2100.

Por apresentarem recortes em escalas distintas, foi estabelecido que a seleção das informações seria orientada segundo a disponibilidade e a melhor resolução dos dados públicos. Assim, os dados instituídos para a área de aplicação de Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006) possuem pequena escala (menor detalhamento, acima de 1:250.000)

2.3.2.1 Solos

O mapa de solos representa a distribuição geográfica dos tipos de solos de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos atualizado em 2006 (SiBCS, 2006) e publicado pela EMBRAPA em 2011. Para aplicação no projeto foram selecionados apenas os dados dentro dos limites do bioma Mata Atlântica, com resolução espacial de 1:5.000.000, como apresentado na Figura 17.

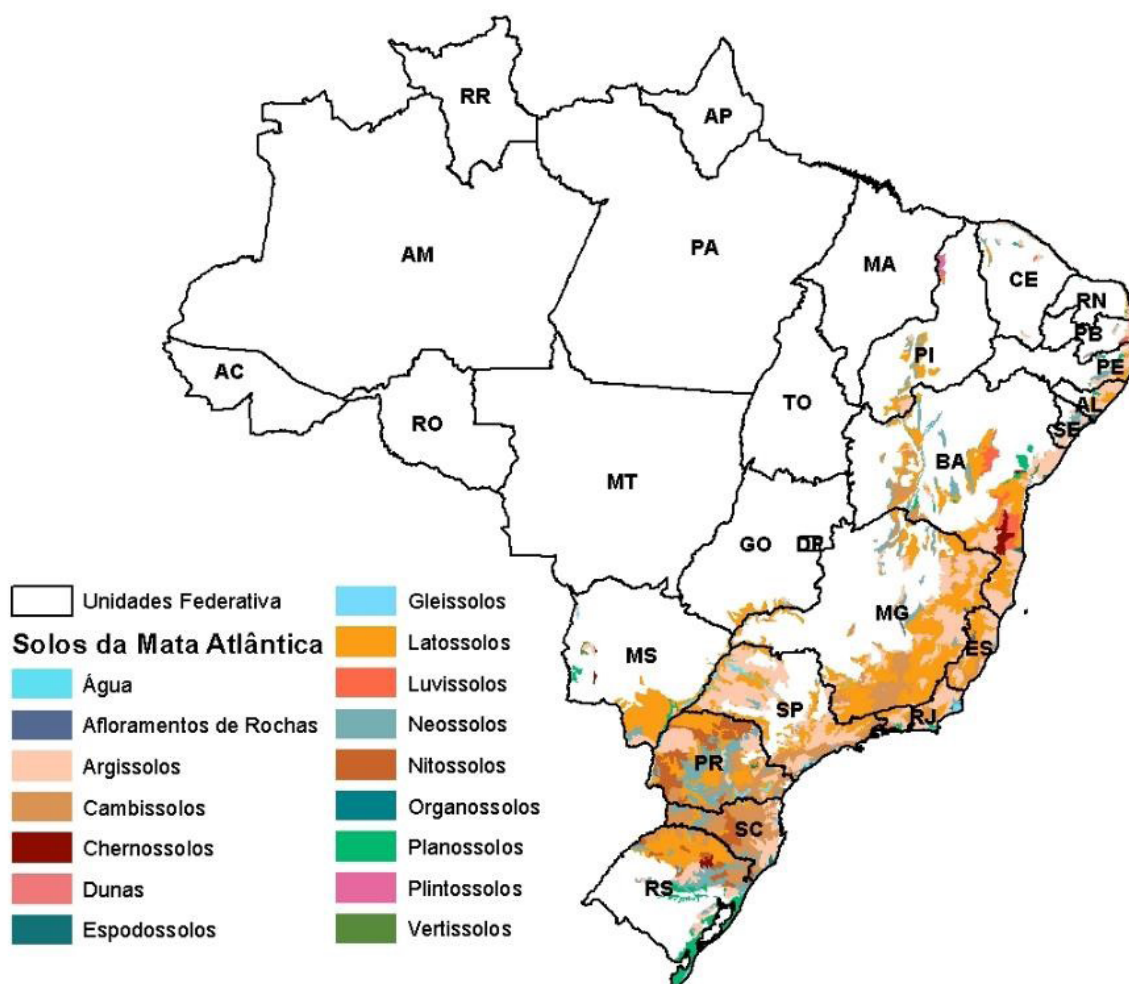


Figura 17. Solos da Mata Atlântica. Fonte: EMBRAPA²³

²² O primeiro estudo sobre os impactos potenciais da mudança do clima nas regiões da Mata Atlântica (Follador et al, 2016) apresenta também uma descrição dos dados disponíveis – com resolução mais detalhada – nos mosaicos das unidades de conservação do Lagamar, Central Fluminense e Extremo sul da Bahia.

²³ <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>

2.3.2.2 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal está representada pela distribuição geográfica dos remanescentes de Mata Atlântica mapeados em relação aos anos de 2012 e 2013, conforme Figura 18, publicado pela Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), na resolução espacial de 1:50.000.

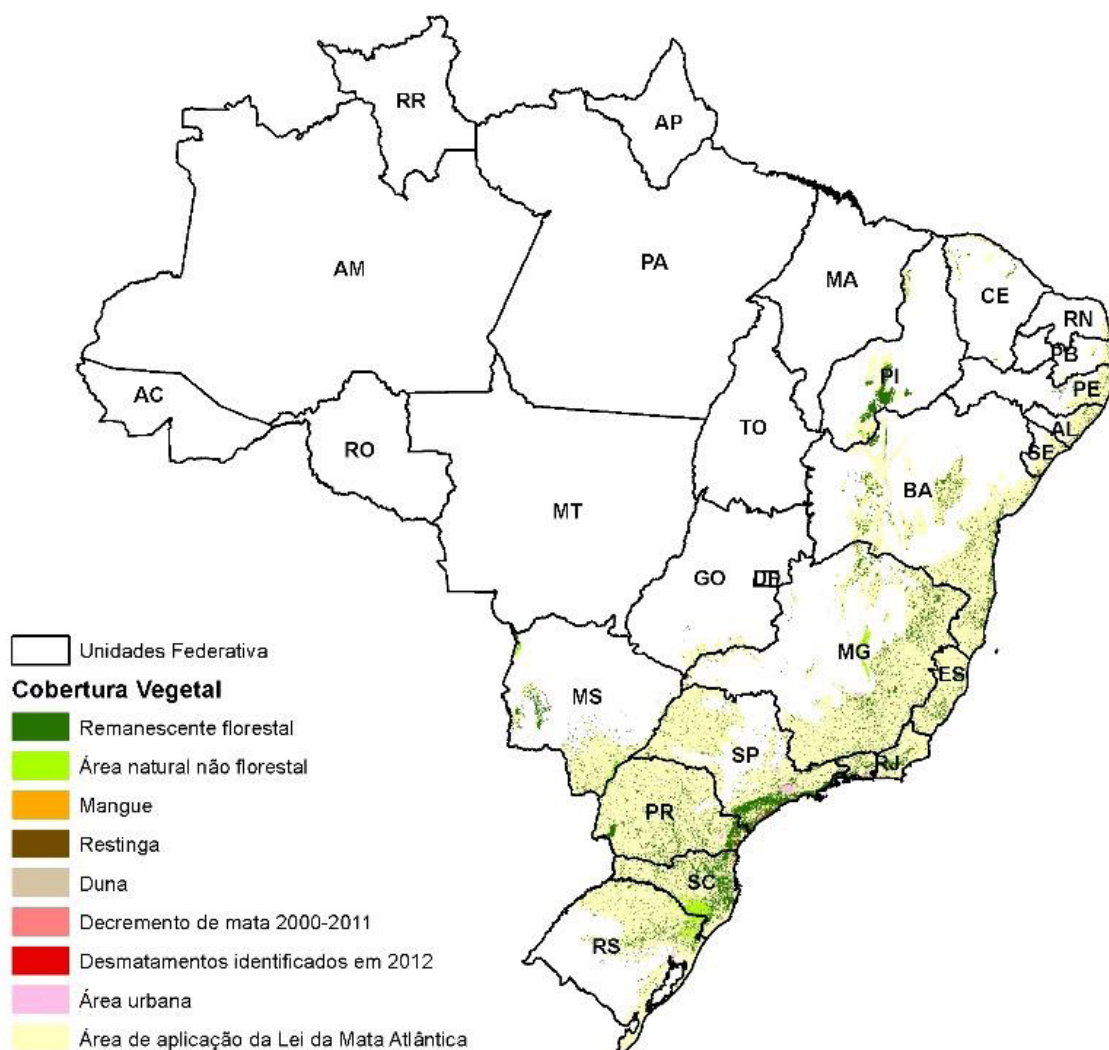


Figura 18. Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica 2012-2013. Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e INPE.²⁴

2.3.2.3 Fitofisionomias

O mapa de fitofisionomias (Figura 19) está representado pelas formações florestais e ecossistemas associados que integram a Mata Atlântica, definidas na Lei nº 11.428, de 2006, que define a área de aplicação da Lei da Mata Atlântica, na resolução espacial de 1:5.000.000.

²⁴ <http://mapas.sosma.org.br/dados/>

As formações florestais e ecossistemas associados são definidos como:

- Floresta Ombrófila Densa;
- Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucárias);
- Floresta Ombrófila Aberta;
- Floresta Estacional Semidecidual;
- Floresta Estacional Decidual;
- Campos de altitude;
- Áreas das formações pioneiras, conhecidas como:
 - o Manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais;
- Refúgios vegetacionais;
- Áreas de tensão ecológica;
- Brejos de altitude interioranos;
- Encraves florestais, representados por:
 - o Disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual;
- Áreas de estepe, savana e savana-estépica;
- Vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas.

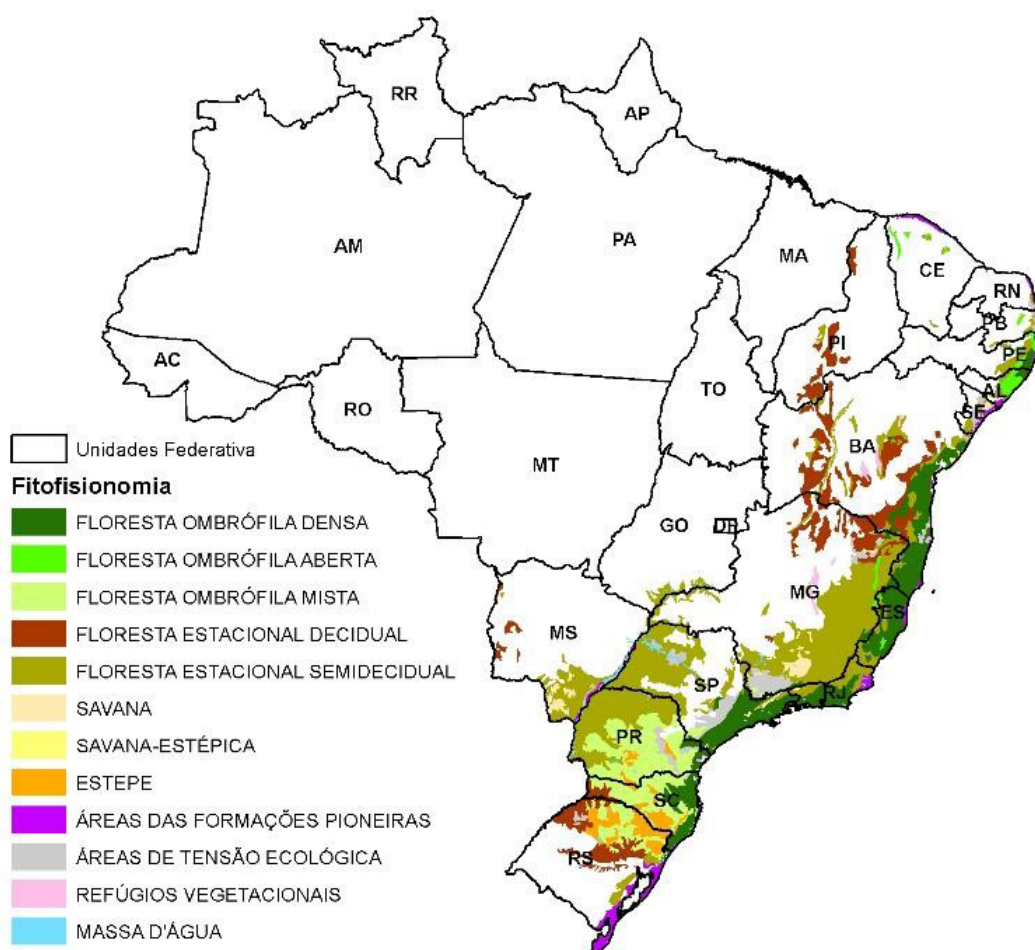


Figura 19. Fitofisionomias da Mata Atlântica de acordo com aplicação da Lei nº 11.428, de 2006.
Fonte: IBGE e MMA²⁵

25 <http://www.mma.gov.br/biomass/mata-atlantica/mapa-da-area-de-aplicacao/>

Para utilização nesse projeto foi realizada uma classificação mais agregada que permitiu uma redistribuição relacionada aos parâmetros climáticos, uma vez que as fitofisionomias são dependentes de uma rede complexa de fatores, muitas vezes específicos, que vão muito além dos fatores de mudança do clima disponíveis. A atualização desse mapa foi realizada em 2011.

Adotou-se então a seguinte classificação:

- Campos de altitude;
- Savanas;
- Ecótonos;
- Floresta Estacional Decidual;
- Floresta Estacional Semidecidual;
- Floresta Ombrófila Aberta;
- Floresta Ombrófila Densa;
- Floresta Ombrófila Mista;
- Formações Pioneiras;
- Refúgios Vegetacionais.

2.3.2.4 Aspectos Hídricos

Os aspectos hídricos são representados pelas grandes bacias hidrográficas e pela rede hidrográfica que compõem o Brasil, disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas, atualizada no ano 2000. As bacias hidrográficas apresentam resolução espacial de 1:1.000.000 e a rede hidrográfica a resolução espacial é de 1:2.500.000. Foram selecionadas as bacias que abrangem os limites da aplicação da Lei da Mata Atlântica: Bacia do Atlântico Nordeste (3), Bacia do Rio São Francisco (4), Bacia do Atlântico Leste (5), Bacia do Rio Paraná (6), Bacia do Rio Uruguai (7) e Bacia do Atlântico Sudeste (8), conforme Figura 20.

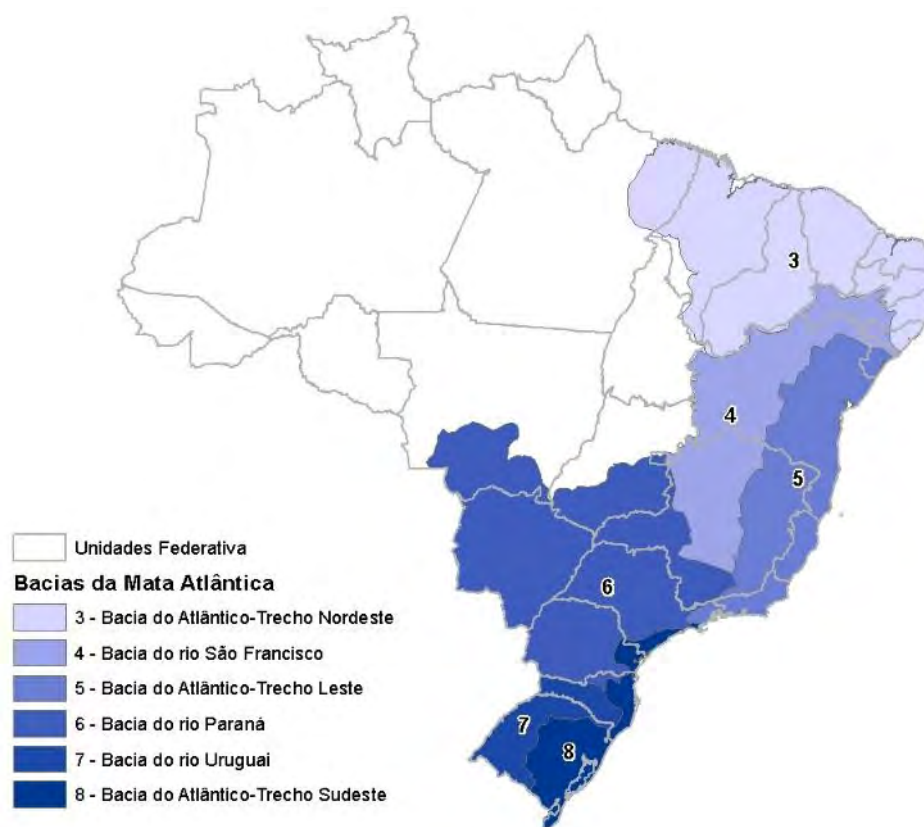


Figura 20. Regiões Hidrográficas da Mata Atlântica. Fonte: ANA²⁷

²⁷ <http://mapas.sosma.org.br/dados/>

2.3.2.5 Uso da terra

O uso da terra representa a cobertura, ocupação e uso sobre o conjunto das terras brasileiras segundo a distribuição geográfica dos recursos da terra, da sua apropriação social e das transformações ambientais. Foi desenvolvido pelo IBGE através do Sistema de Classificação de Uso da Terra, disponibilizado em 2012, na resolução espacial de 1:5.000.000, como apresentado na Figura 21.

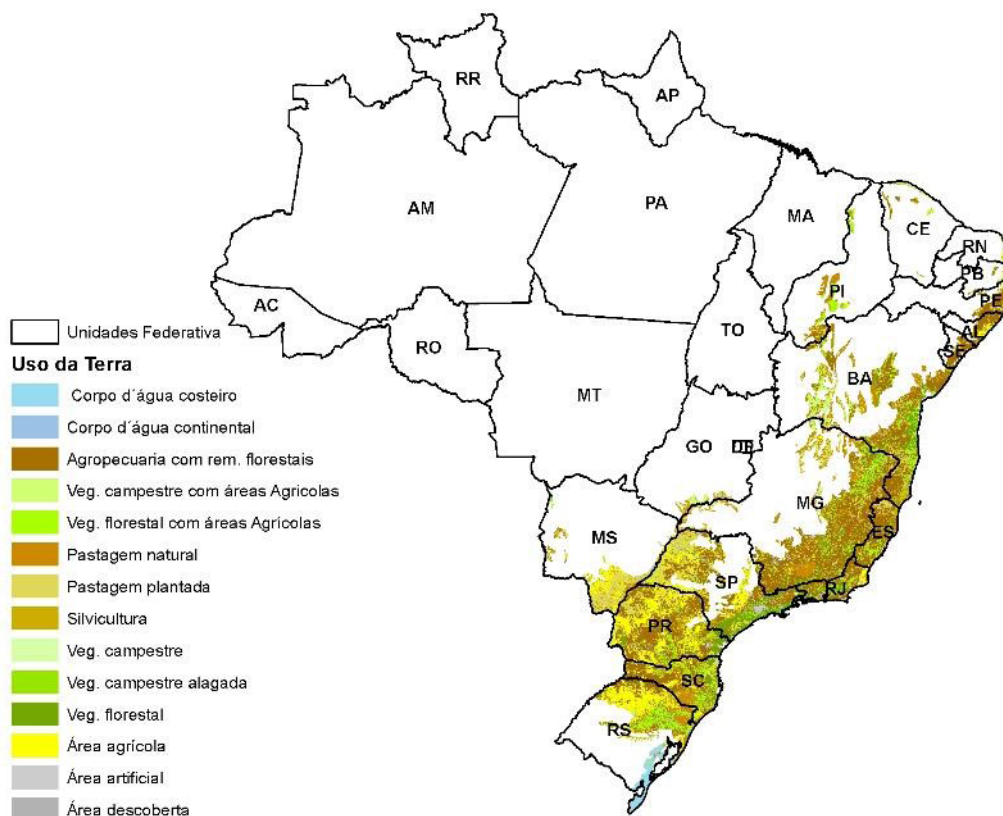


Figura 21. Cobertura e Uso da Terra da Mata Atlântica. Fonte: IBGE²⁸

28 ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/cobertura_e_uso_da_terra/

2.3.2.6 Topografia

A topografia é apresentada através da altimetria positiva, ou seja, pelos valores acima do nível do mar e com as depressões preenchidas. Para a região de aplicação da Lei da Mata Atlântica, foram selecionadas as folhas correspondentes dentro do projeto do TOPODATA de 2011, na resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m²⁹, como apresentado na Figura 22.

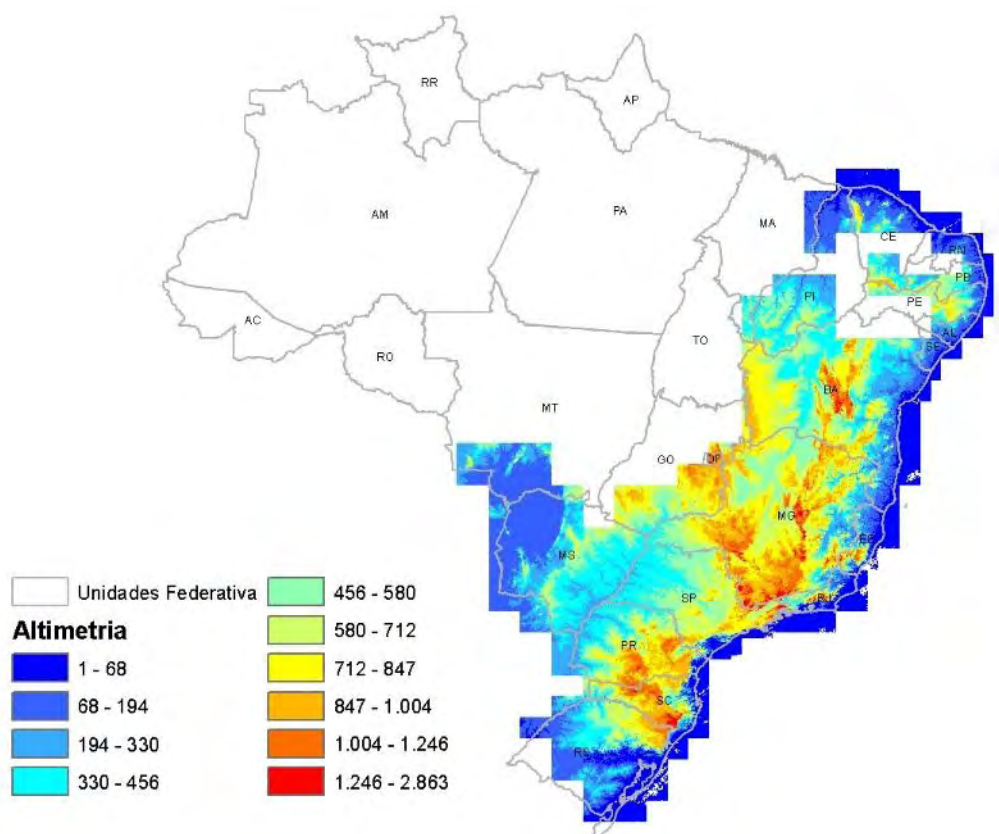


Figura 22. Articulação das cenas TOPODATA para a Mata Atlântica. Fonte: TOPODATA/INPE³⁰

2.3.2.7 Ocorrência de dengue

Os dados referentes à dengue (Figura 23), indicam a espacialização do valor normalizado da média de ocorrências anual de dengue (2000 a 2014), em relação à população residente dentro dos limites da Mata Atlântica. Os dados foram disponibilizados pelo SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação); Tabnet do DATASUS (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde), Portal da Saúde do SUS (Sistema Único de Saúde), para os anos de 2000 a 2014.

²⁹ A resolução vertical dos dados corresponde ao registro de variações (1m) que ocorrem dentro de um mesmo intervalo de equidistância vertical.

³⁰ <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>

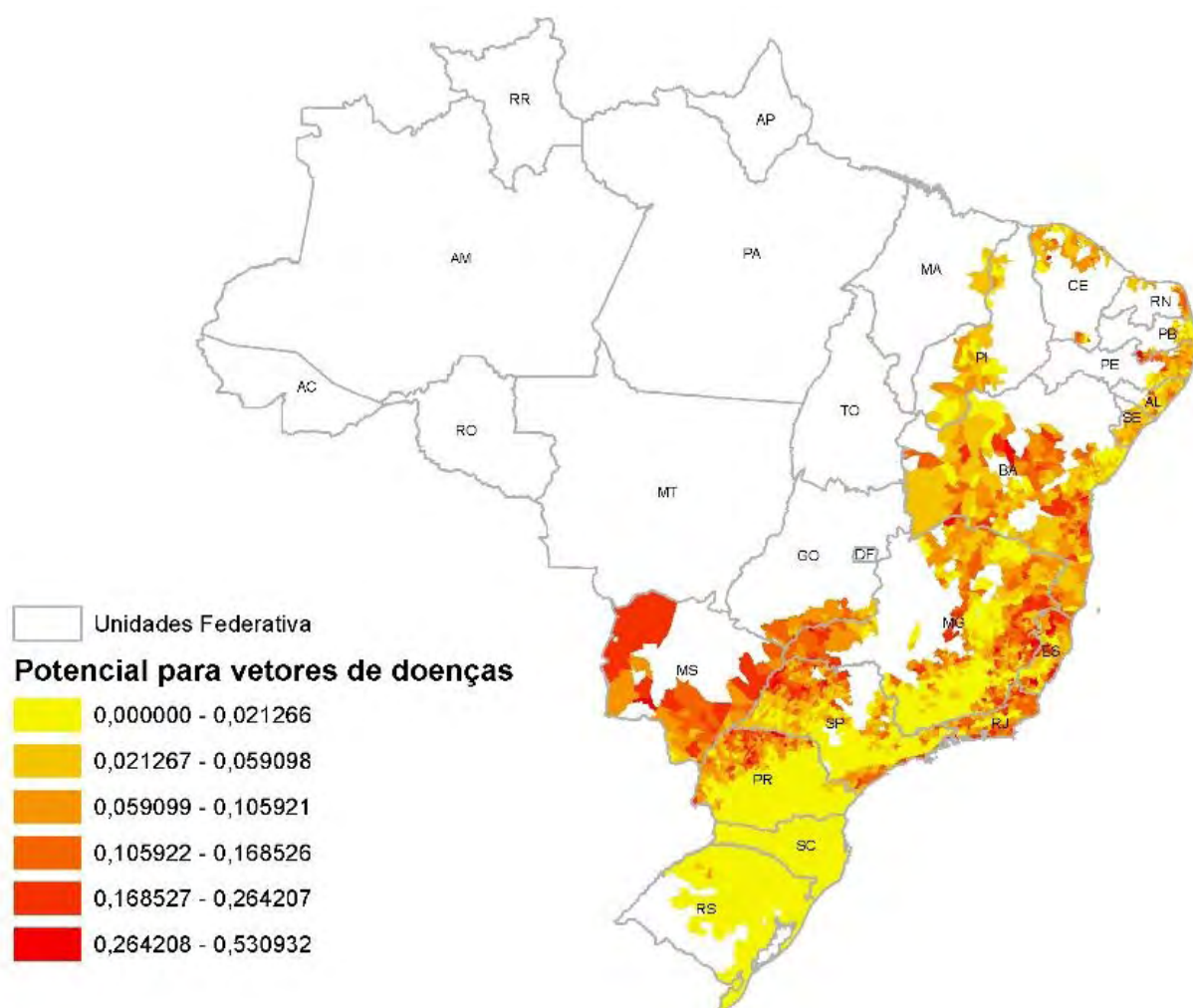


Figura 23. Potencial para ocorrência de dengue nos municípios da Mata Atlântica. Fonte: SINAN³¹; DATASUS³²

31 <http://dtr2004.saude.gov.br/sinanweb>

32 <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203>
<http://portalms.saude.gov.br/index.php/situacao-epidemiologica-dados-dengue>

2.3.3 Base de dados para calibração e validação dos resultados

Não existe ainda uma coleta sistematizada de dados espacializados sobre os impactos das mudanças climáticas no território Brasileiro (Follador, 2016).

Visando preencher essa lacuna, foi criada - ao longo do estudo dos impactos biofísicos das mudanças do clima na Mata Atlântica - uma base de dados georreferenciados a partir das ocorrências de alagamentos e deslizamentos relacionados a precipitações intensas registradas pela Defesa Civil, Cemadem, Cenad, entre outros. Estes registros – muitas vezes em formato PDF contendo reportagens de periódico ou fotocópias de anotações da Defesa Civil- foram georreferenciados (quando foi possível identificar a localização) e caracterizados, fornecendo assim uma informação aproximativa para validação dos resultados da modelagem.

Os resultados do modelo de umidade do solo foram validados através de uma análise comparativa com os estudos realizados pelo INPE (GEVAERD & FREITAS, 2006) e com resultados do projeto MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*).

Os resultados do zoneamento agroclimático foram validados com resultados de Assad *et al.*, (2013), mapas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e com resultados do projeto MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*).

Os mapas de fitofisionomia foram avaliados por especialistas e comparados com os resultados apresentados por (MARENGO, 2007).

Os resultados do modelo de dengue foram validados com dados do repositório internacional DRYLAND e com os resultados apresentados por KRAEMER, (2015).

3 Resultados das simulações de impactos biofísicos

Em seguida são apresentados os principais resultados das simulações obtidos alimentando os modelos de impactos biofísicos com dados climáticos, conforme explicado em Figura 1. Para simplificar a leitura indicaremos doravante com M(Eta HadGEM2-ES) e M(Eta MIROC5) os resultados obtidos pelos modelos de impacto utilizando como entrada as informações do Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5, respectivamente.

Os mapas finais apresentam tanto os valores absolutos dos índices de impacto – i.e., resultados do modelo de impacto, com sua unidade de medida, em cada pixel – quanto os valores relativos – i.e., as variações (%) do índice ao longo do período de estudo em comparação ao cenário histórico (linha de base 1960-2005) em cada pixel (Figura 24).

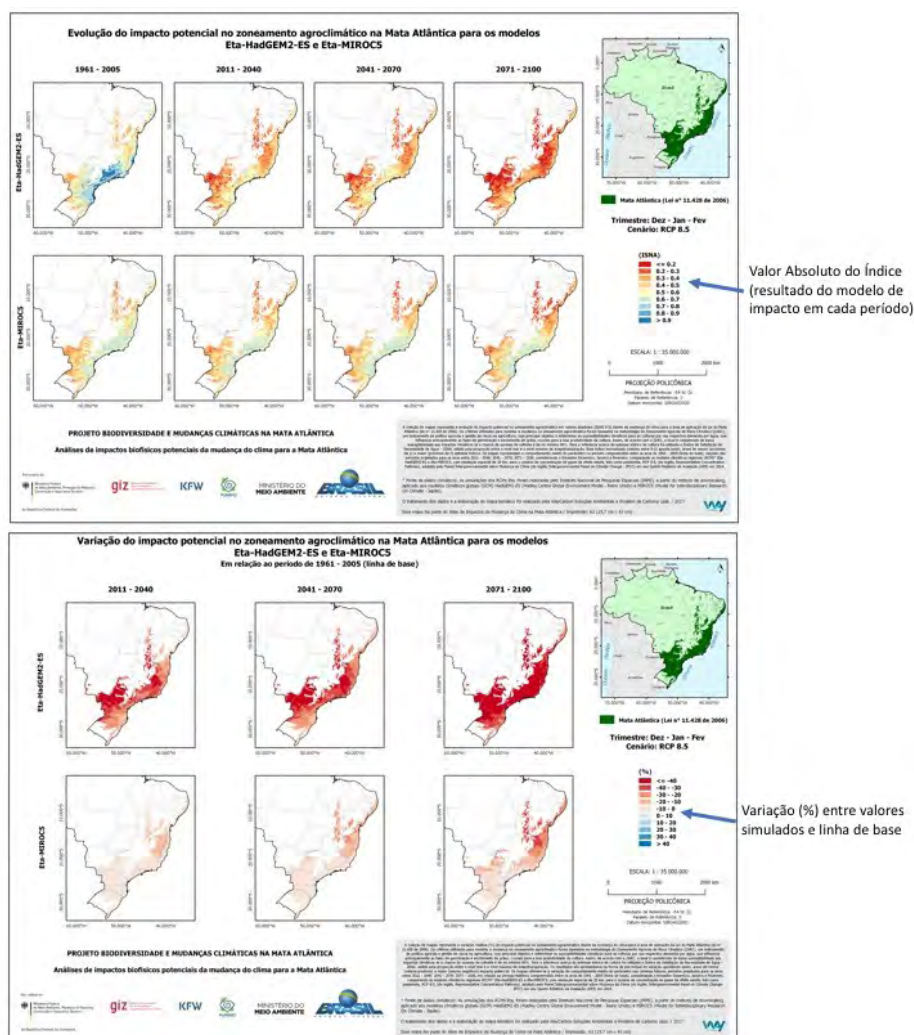


Figura 24. Exemplo de mapas com valores do ISNA absolutos – i.e., resultados do modelo em cada período – e valores relativos (%) – i.e., variação entre o índice no cenário simulado (RCP 8.5 DJF) e no cenário histórico (1960-2005).

O relatório é composto também por figuras que representam as variações do índice nas áreas com os maiores valores absolutos do impacto potencial (denominadas doravante *hotspots* - áreas selecionadas a partir de valores absolutos > percentil 80³³) entre o período base (1961-2005) em relação aos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nos RCP 4.5 e RCP 8.5. Dessa forma somente as áreas que terão maior risco de impacto no período simulado serão consideradas.

A base de dados completa - com todos os mapas de impacto gerados - está disponível na plataforma web i3Geo³⁴ do Ministério do Meio Ambiente.

3.1 Impactos biofísicos modelados

3.1.1 Inundação

O modelo de inundação utiliza como entrada os extremos de precipitação – i.e., R10, Rx5Day, R95p-Tot, CWD - calculados em base anual.

A diminuição das inundações é mais evidente no M(Eta HadGEM2-ES), com valores médios entre -5% e -20% em comparação a linha de base no RCP 8.5 DJF. Áreas no Sul do país apresentam um aumento do impacto (entre + 5% e 15%) na segunda e terceira janela temporal em ambos os cenários RCP – com maior intensidade no RCP 8.5 - acompanhando o aumento dos extremos de chuva previsto no mesmo período (Figura 25 e 26).

No M(Eta MIROC5) observa-se um aumento das inundações no RCP 4.5 ao longo do litoral nordestino com valores entre +5% e +20% médiamente, e uma intensidade e abrangência maior por volta do fim do século. Importante ressaltar que nessa faixa litorânea se registram os maiores valores absolutos do índice (Figura 25B e 26B). As inundações tornam-se mais frequentes nas regiões no Sul (principalmente), Sudeste e Centro-Oeste, com maior intensidade no período 2071-2100, com valores entre +5% e +20%.

A Figura 27 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. O M(Eta HadGEM2-ES) prevê uma tendência a diminuição entre -5% e -10% em grande parte da Mata Atlântica. Somente a região Sul apresenta uma variação positiva com pontos máximos de até +28 % a partir do período de 2071-2100, tanto no cenário RCP 4.5 quanto no RCP 8.5, em relação ao período de base. O aumento nessa região é explicado pela intensificação dos extremos de precipitações. O M(Eta MIROC5) prevê no RCP 4.5 um aumento do impacto numa faixa litorânea do Nordeste (com picos de +50%). Já no RCP 8.5 o modelo estima um progressivo aumento do índice no Sul e parte do Sudeste com valores superiores a +10%.

33 Percentis: valores que dividem um conjunto de dados em 100 partes iguais. O 80ºpercentil permite considerar os 20 % dos valores superiores a esse limite.

34 mapas.mma.gov.br/i3geo/

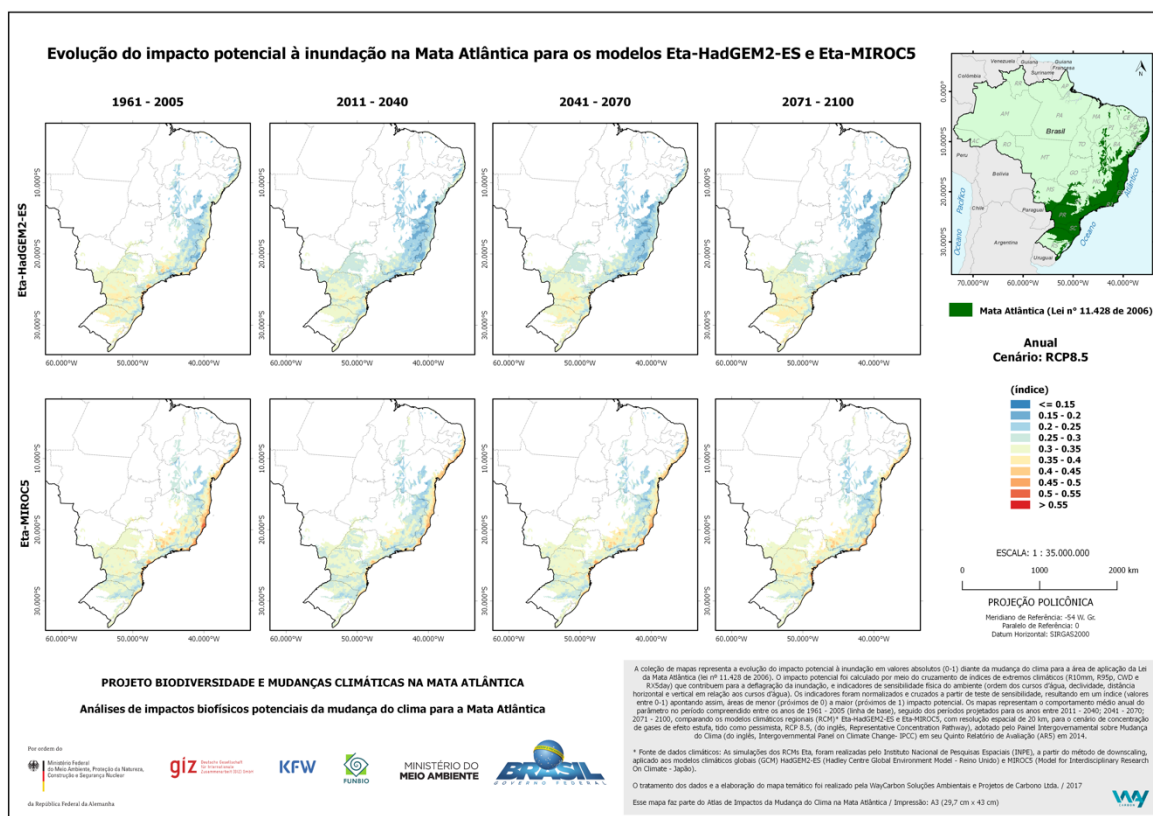
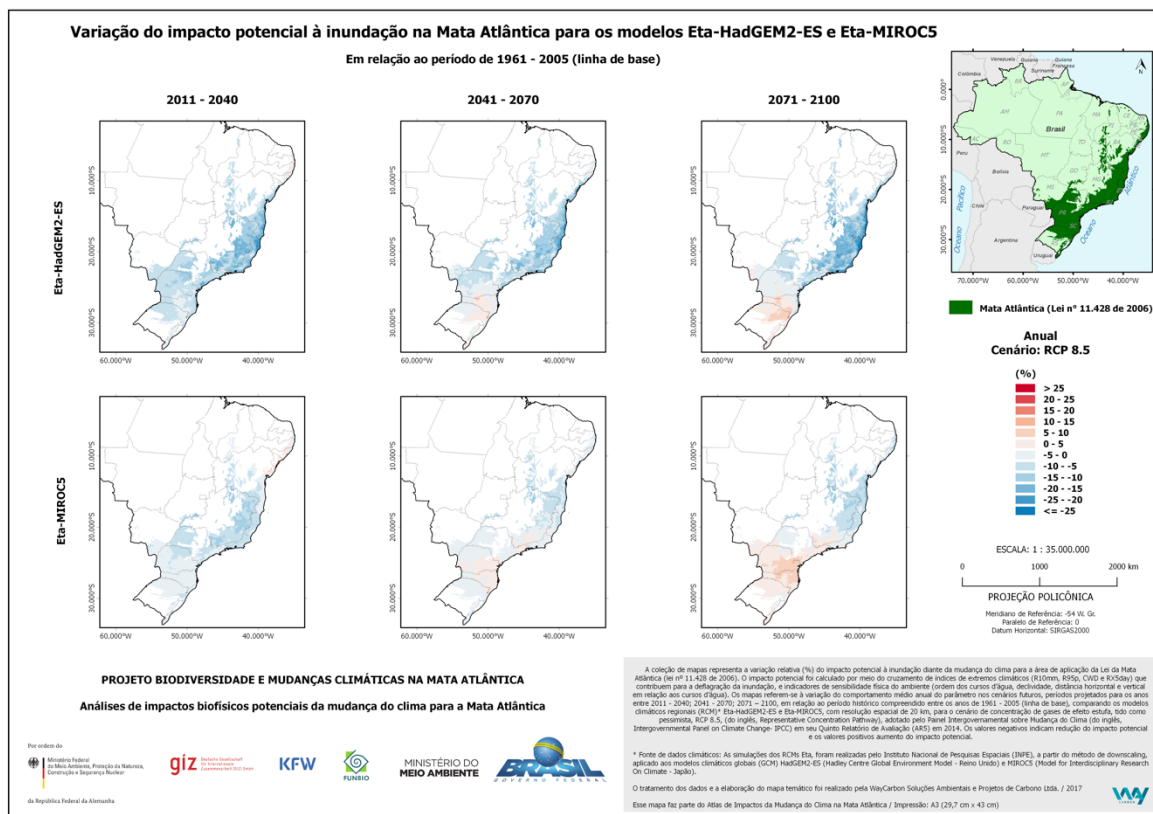


Figura 25. RCP 8.5 anual. A) variação (%) do índice de inundação em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de inundação na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

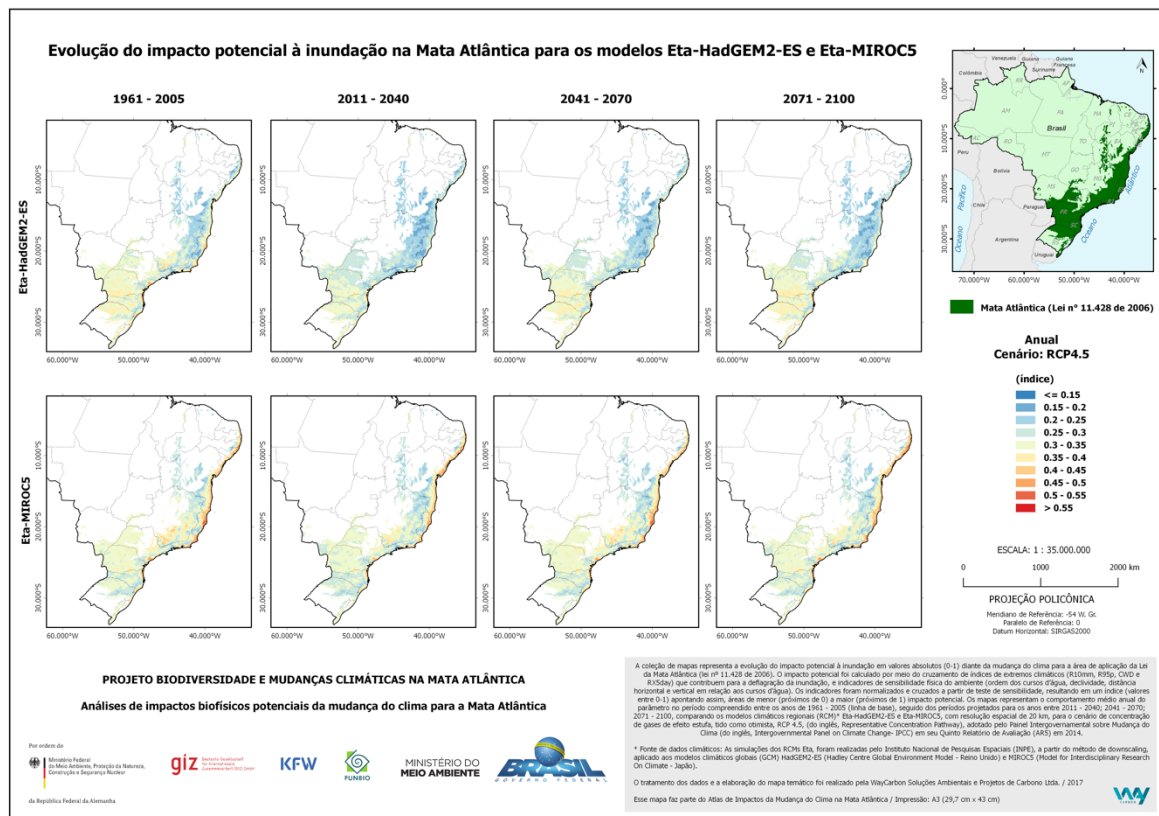
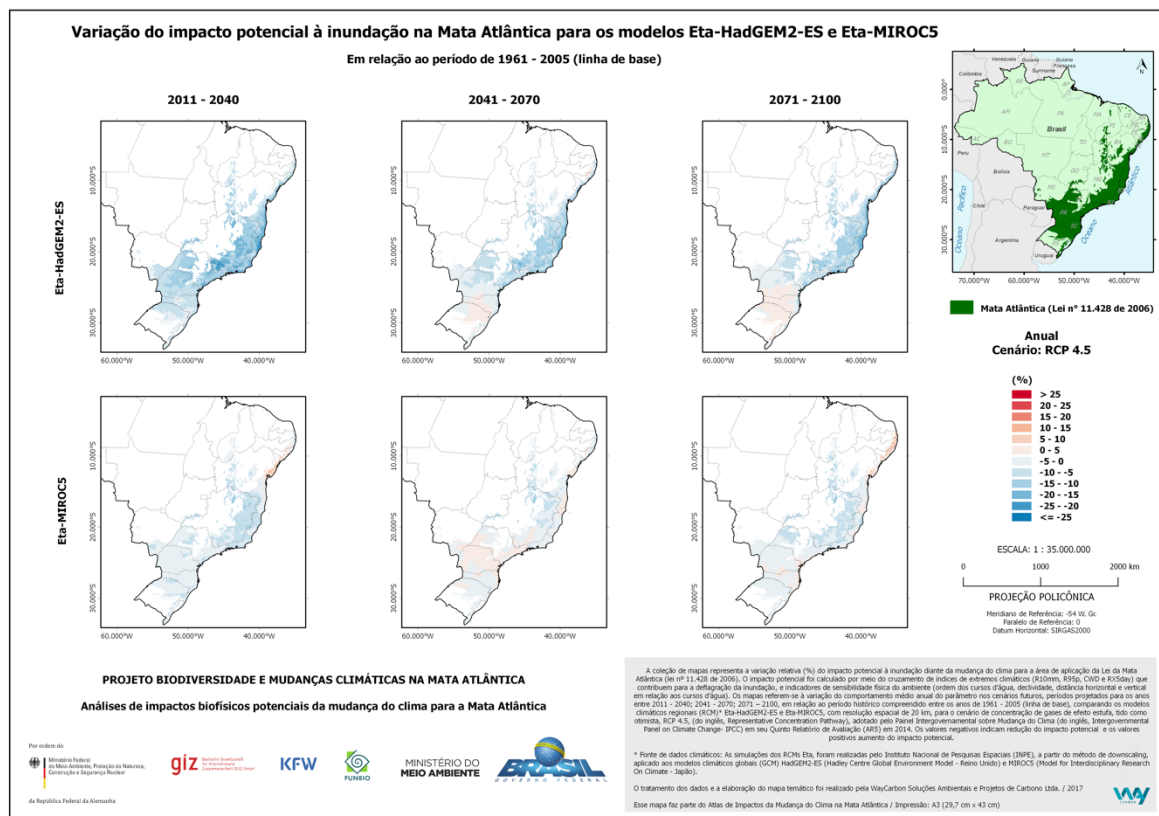


Figura 26. RCP 4.5 anual. A) variação (%) do índice de inundação em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de inundação na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

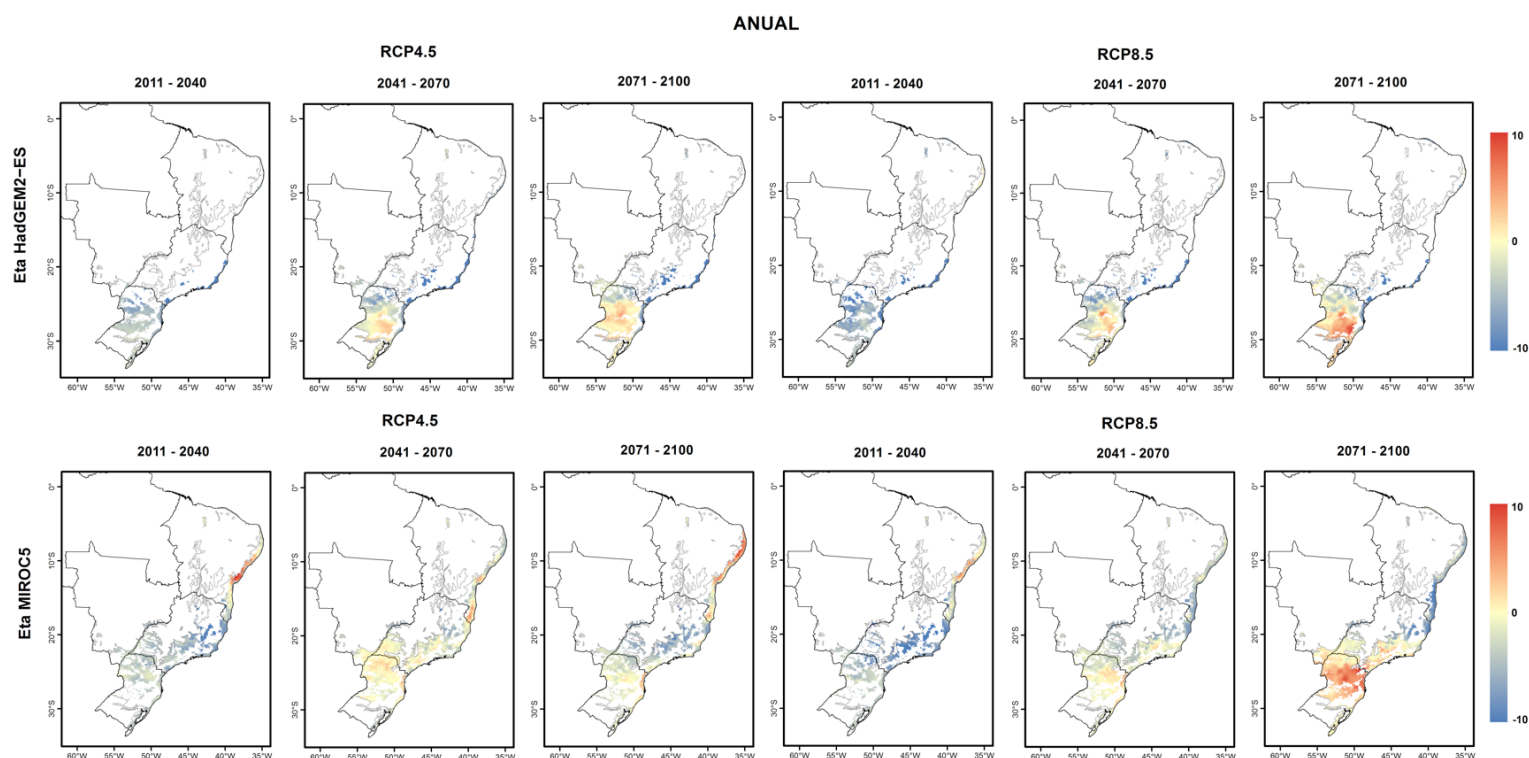


Figura 27. Variação do índice de inundação nos *hotspots* (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 anual.

3.1.2 Erosão hídrica

A distribuição regional das áreas de impacto potencial à evolução da erosão hídrica apresenta o mesmo comportamento espacial e sazonal das médias de precipitação em toda área de aplicação da lei da Mata Atlântica.

Verão – Dezembro Janeiro Fevereiro (DJF)

O M(Eta HadGEM2-ES) prevê no RCP 8.5 DJF (Figura 28 e 29) uma forte redução da erosividade com variações entre -20% e -80% ao longo de todo o litoral, e de forma mais intensa nas regiões do Sudeste e Nordeste. No RCP 4.5 a redução é menos evidente; algumas áreas do Nordeste apresentam um aumento do impacto, com valores entre +20% e +60% no litoral. O M(Eta MIROC5) apresenta, em ambos cenários RCP, um comportamento diametralmente oposto ao M(Eta HadGEM2-ES) – com exceção de uma faixa litorânea nordestina no RCP 8.5 – com aumentos entre +20 e +80% no Sul e Sudeste, acompanhando a variação incremental de precipitação até 2100.

A Figura 30 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. O M(Eta HadGEM2-ES) simula uma tendência média de diminuição (-23%), explicada pela diminuição da precipitação média em -30%, até 2100, tanto para o cenário RCP 4.5 como para o cenário RCP 8.5. O M(Eta MIROC5) se comporta de maneira oposta acompanhando a variação incremental de precipitação prevista pelo Eta MIROC5 (+18% no RCP 4.5 e +34% no RCP 8.5) até 2100. As regiões Sudeste e Centro-Oeste são as que mais registram valores elevados com aumentos de +70% no RCP 4.5 e picos superiores a +100% por volta do fim do século no RCP 8.5

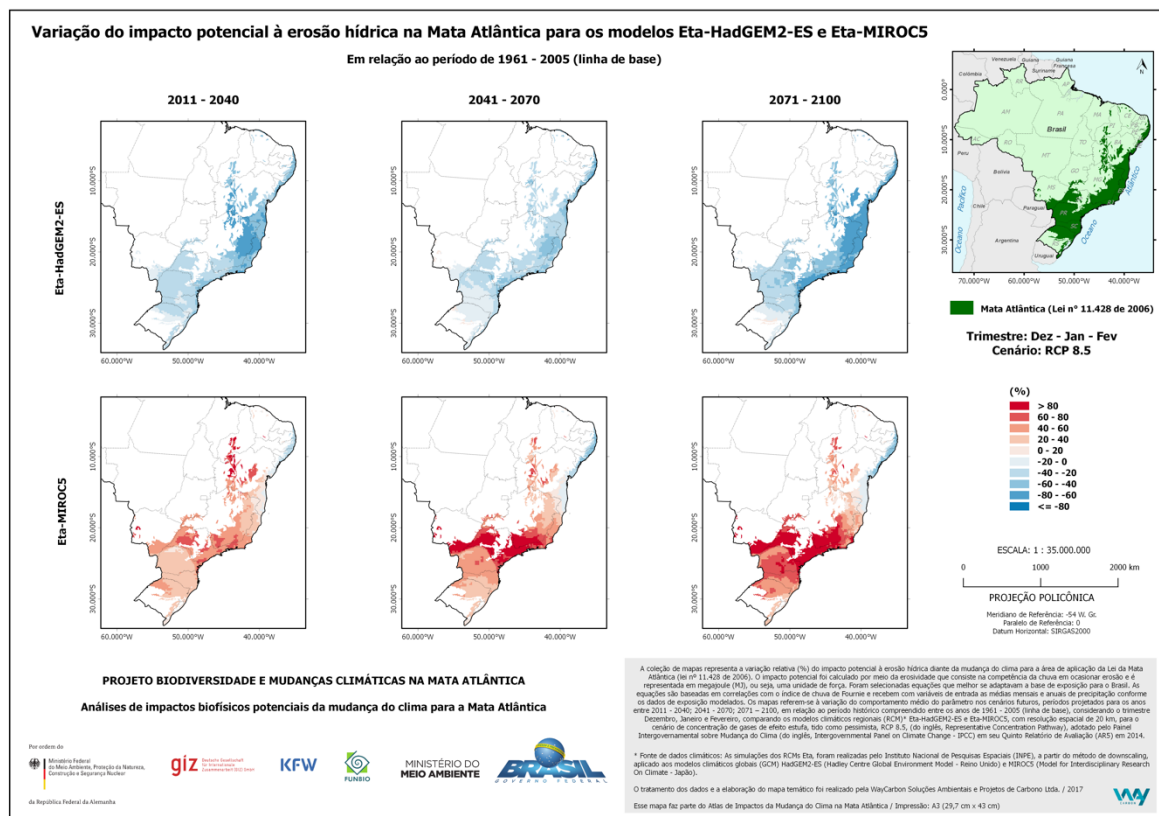
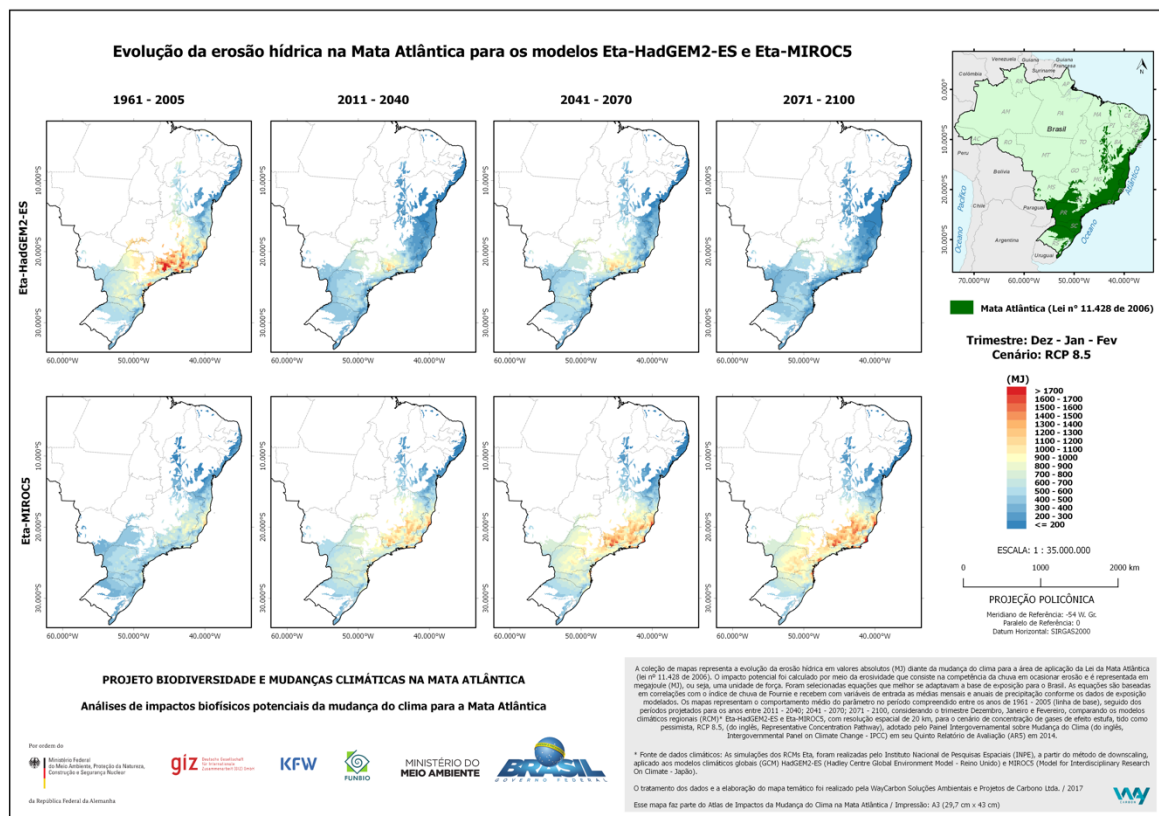


Figura 28. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

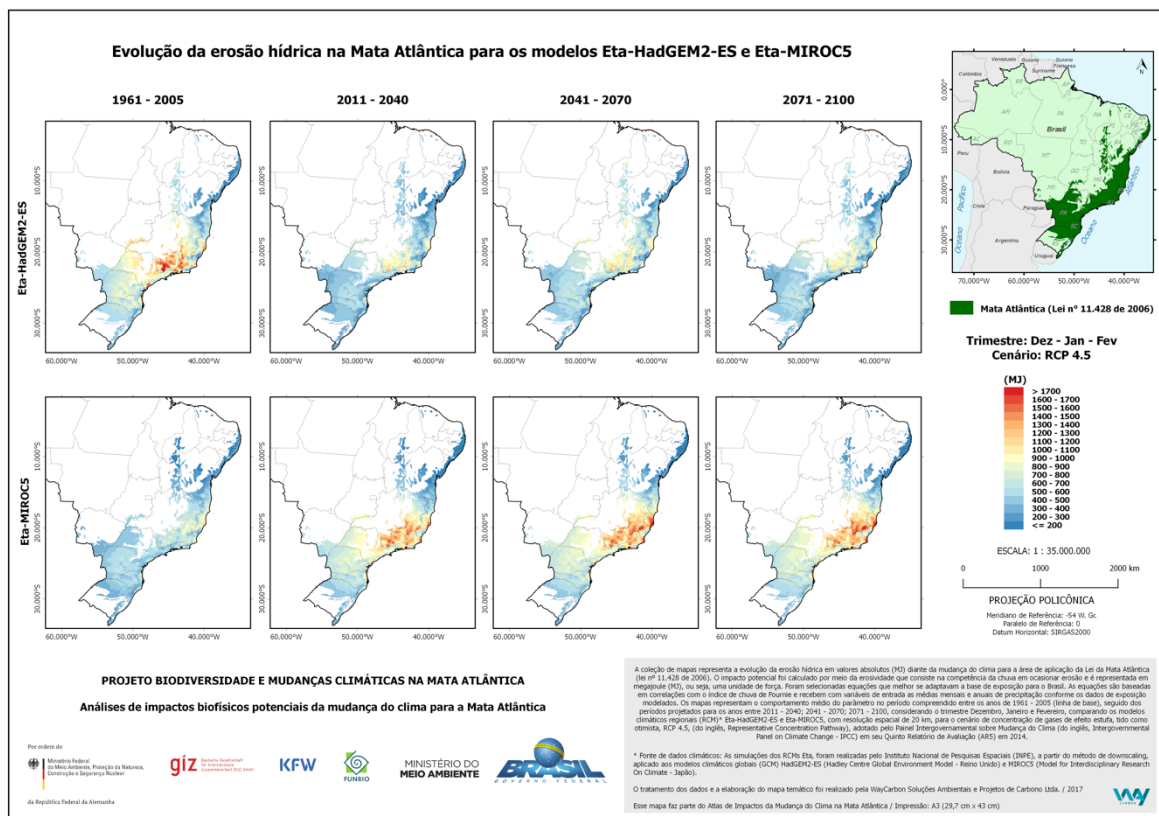
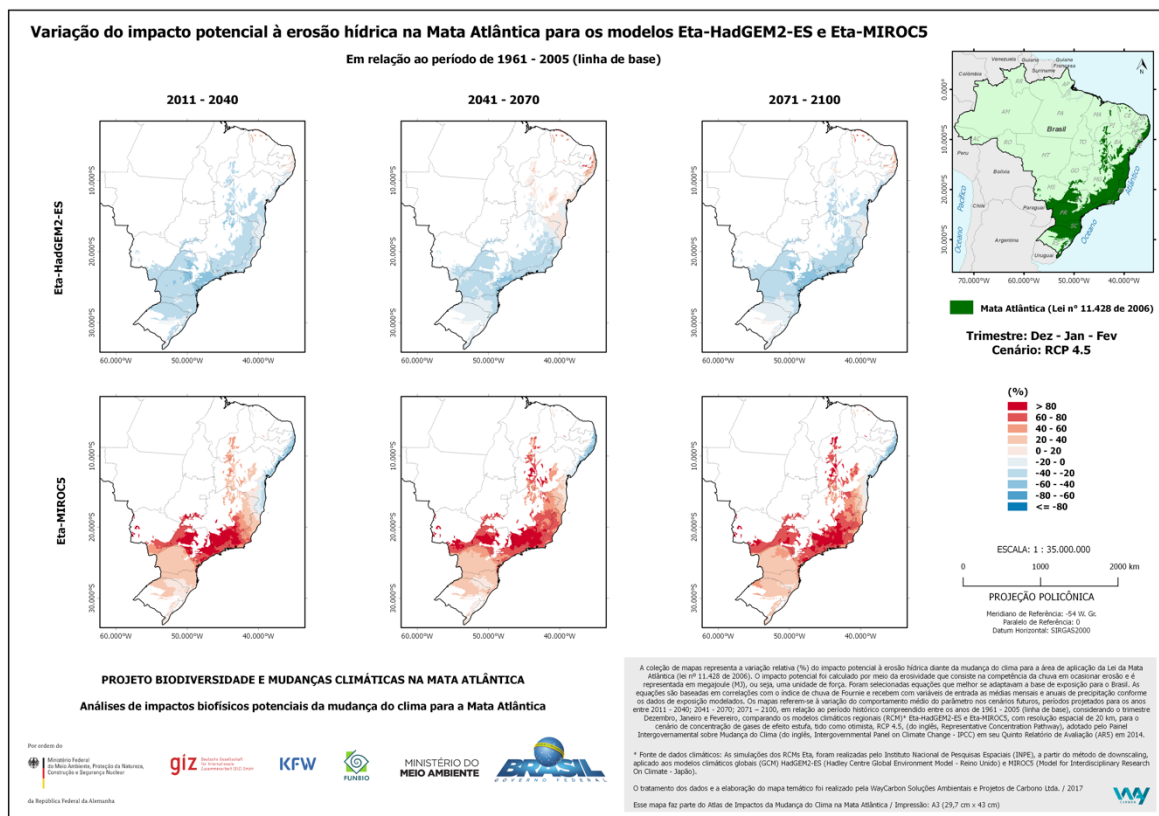


Figura 29. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

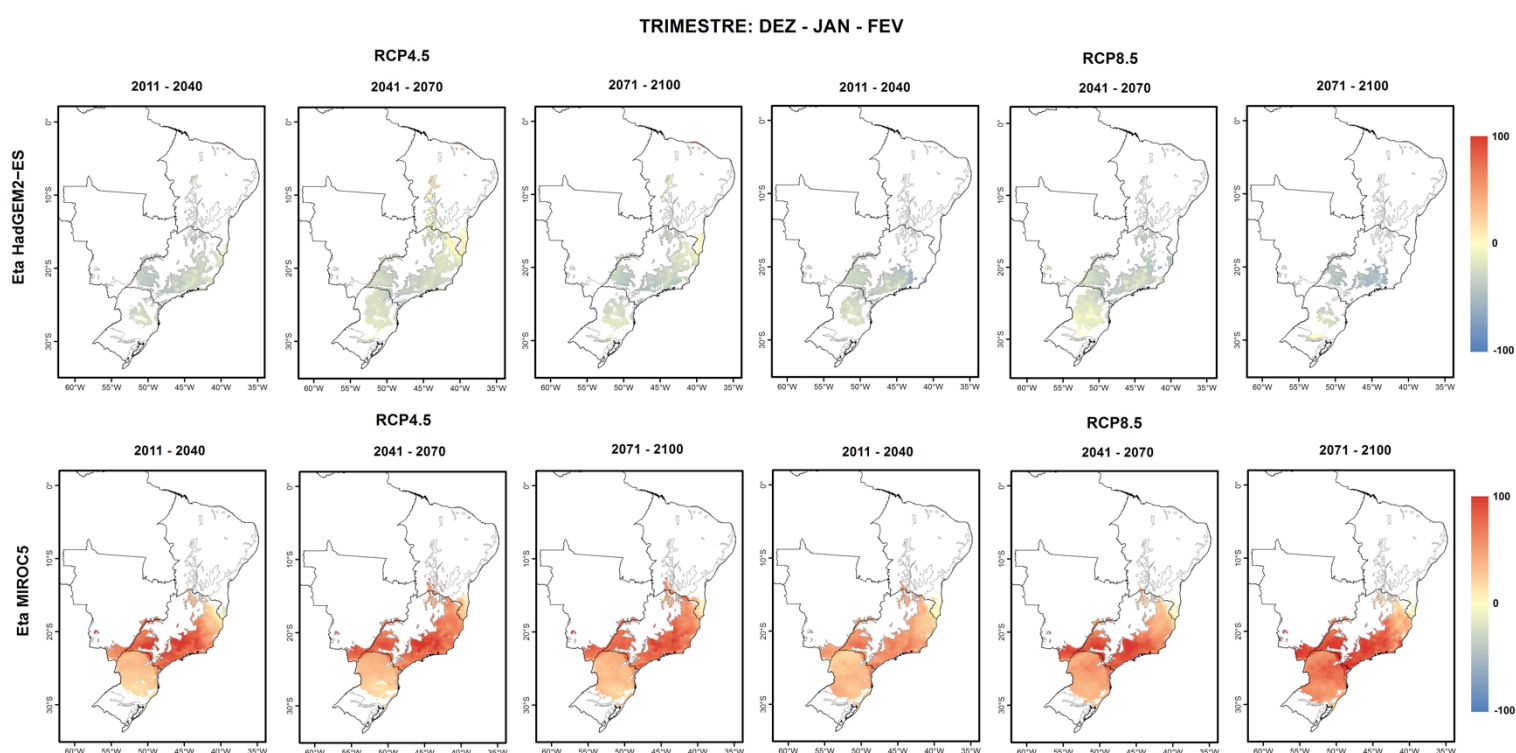


Figura 30. Variação do índice de erosividade nos *hotspots* (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre DJF.

Inverno – Junho Julho Agosto (JJA)

No RCP 8.5, o M(Eta HadGEM2-ES) prevê um aumento do impacto entre +20% e +40% em grande parte das regiões do Sul, e - de forma mais intensa - no Sudeste e no litoral nordestino, com picos entre +60% e +80% em comparação ao cenário de base (Figura 31). No RCP 4.5 JJA observa-se um aumento progressivo da erosividade (entre +20% e +40%) até 2100 principalmente no Sul e em parte do Centro-Oeste e Sudeste (Figura 32)

De forma geral, o M(Eta MIROC5) estima no RCP 8.5 uma diminuição da erosividade em todo o território da Mata Atlântica (-20% a -80%), com exceção de algumas áreas limitadas no litoral nordestino (+20% a +40%) e no Sul do país. Esse resultado é mais evidente no RCP 4.5 JJA, com um aumento do impacto limitado às regiões litorâneas do Nordeste (entre +40% e +60%) na primeira e terceira janela temporal.

A Figura 33 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. O M(Eta HadGEM2-ES) prevê um aumento de +21% no cenário RCP 4.5 e +26% no cenário RCP 8.5 até 2100, na região Sul. Uma pequena faixa litorânea da região Nordeste, somente no cenário RCP 8.5, indica uma tendência de variação positiva (+50%) até 2040 e depois diminui progressivamente até 2100. O aumento do impacto no litoral do Nordeste é mais evidente no M(Eta MIROC5) no RCP 4.5 com valores médios de variação +15% (2011-2040) e 13% (2071-2100). Ao contrário, a região Sul indica uma tendência de diminuição em torno de -10%. Esses valores acompanham as tendências nas variações de precipitação para cada modelo.

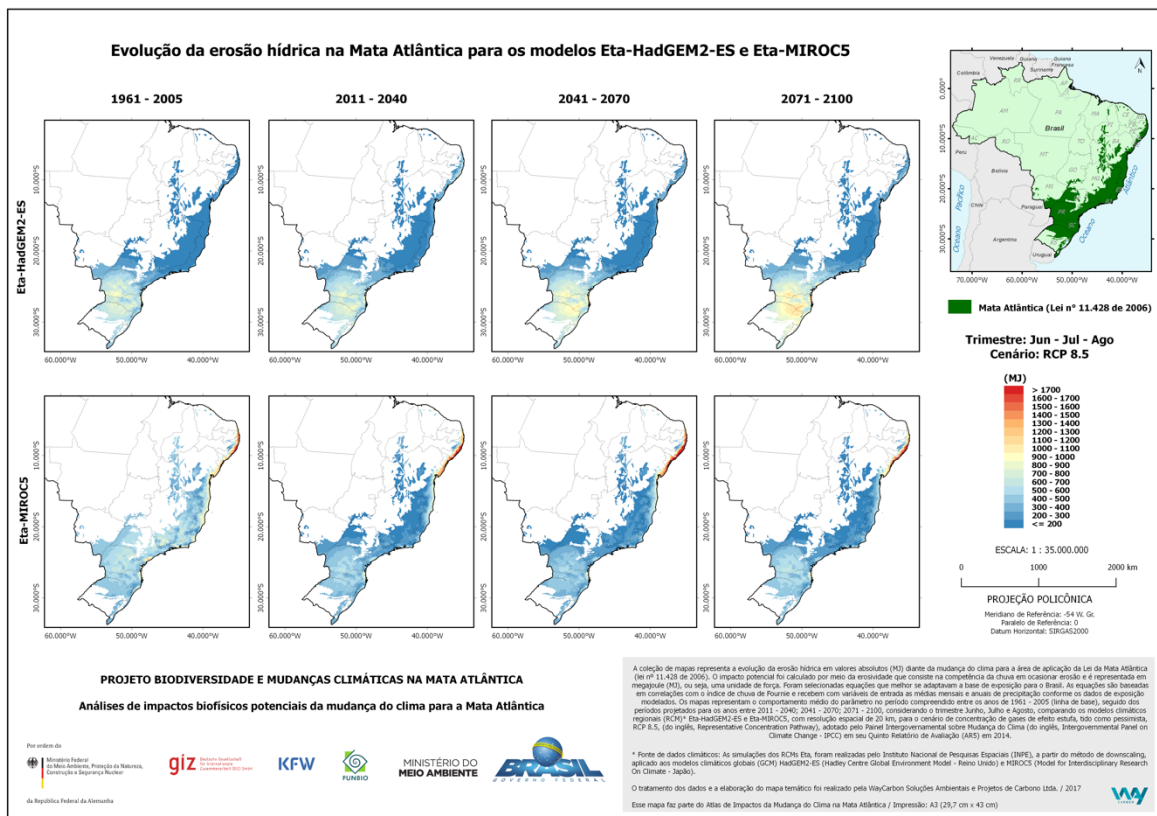
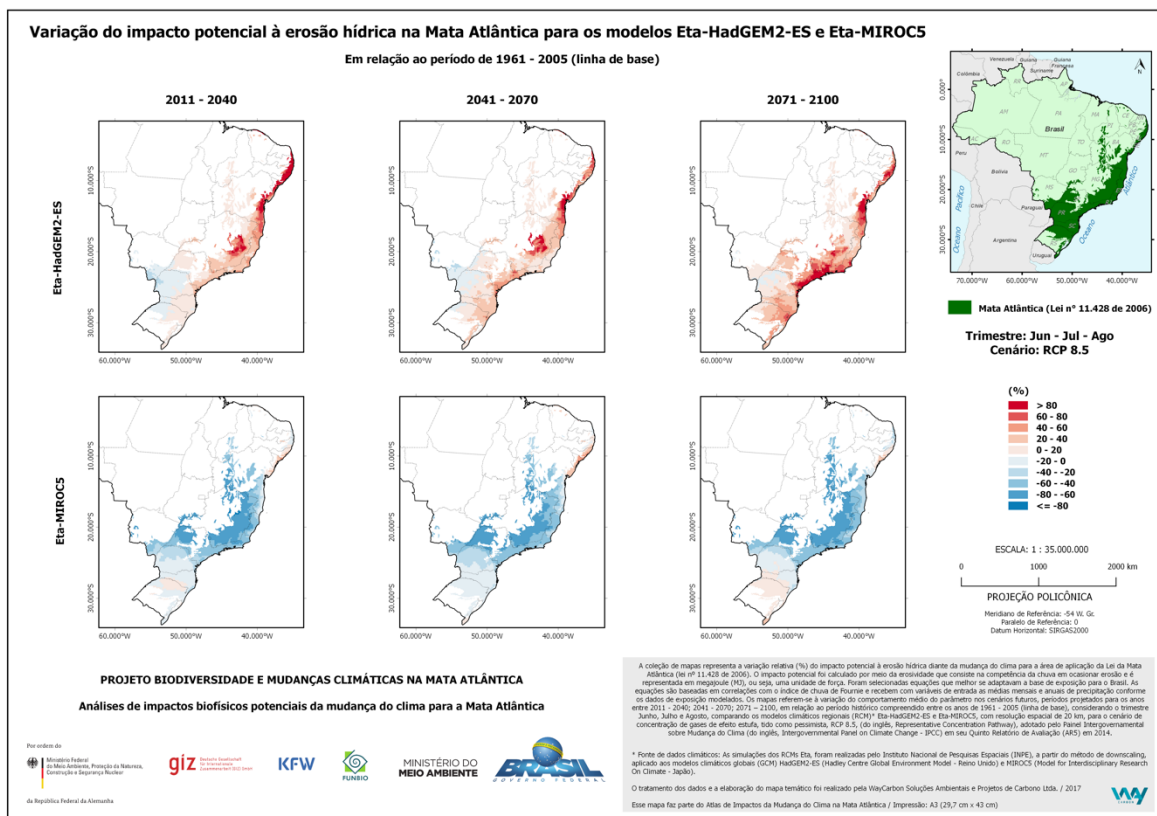


Figura 31. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

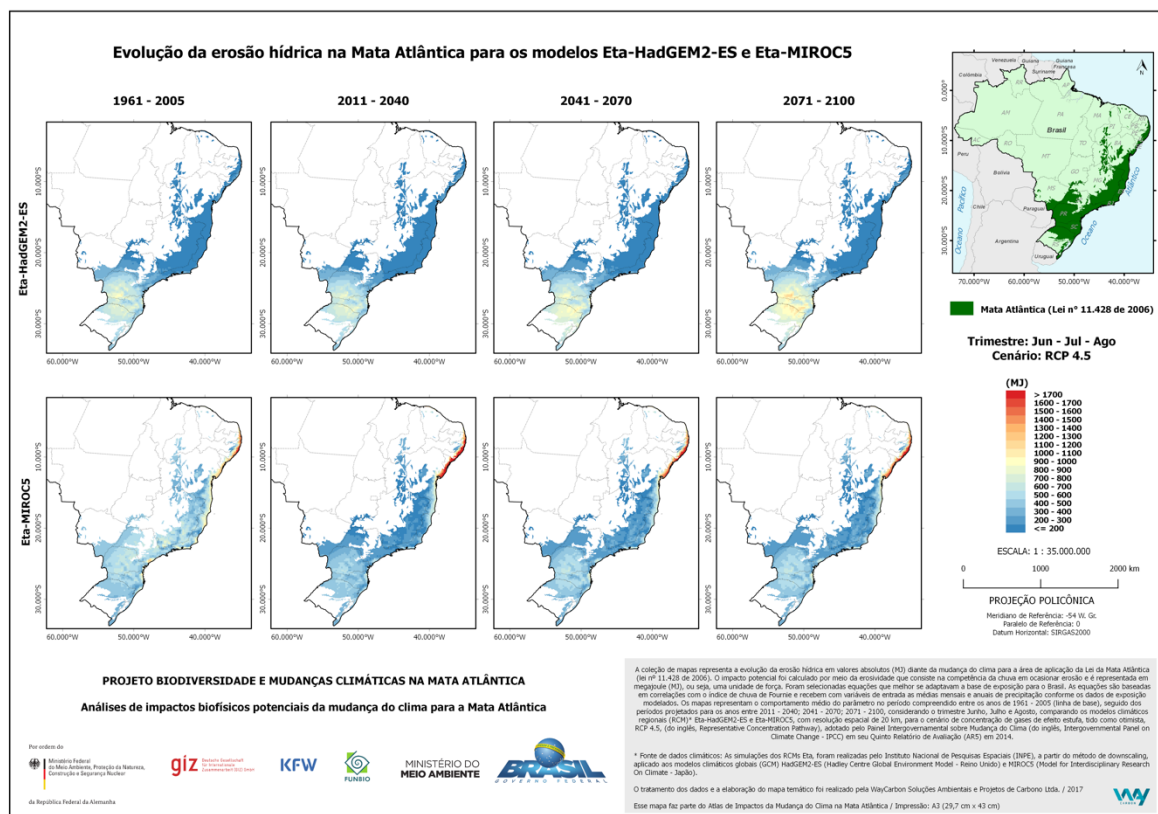
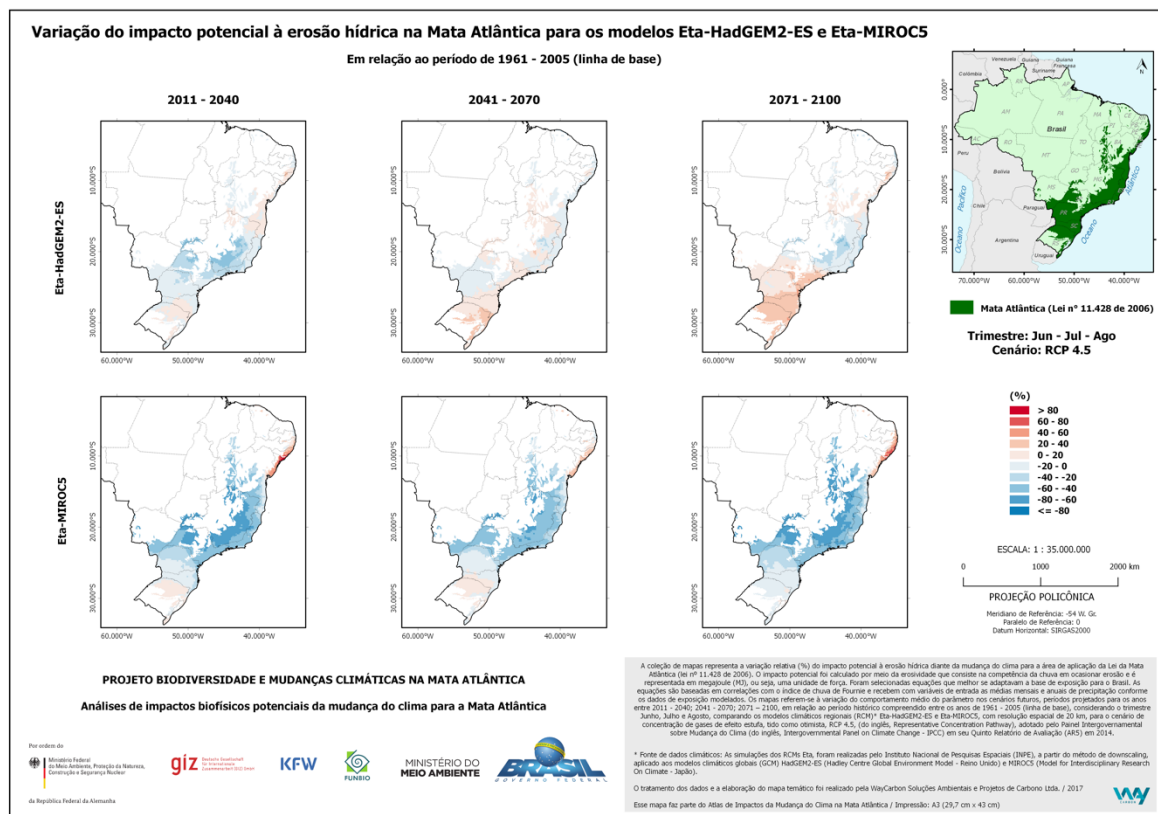


Figura 32. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de erosividade em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de erosividade na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

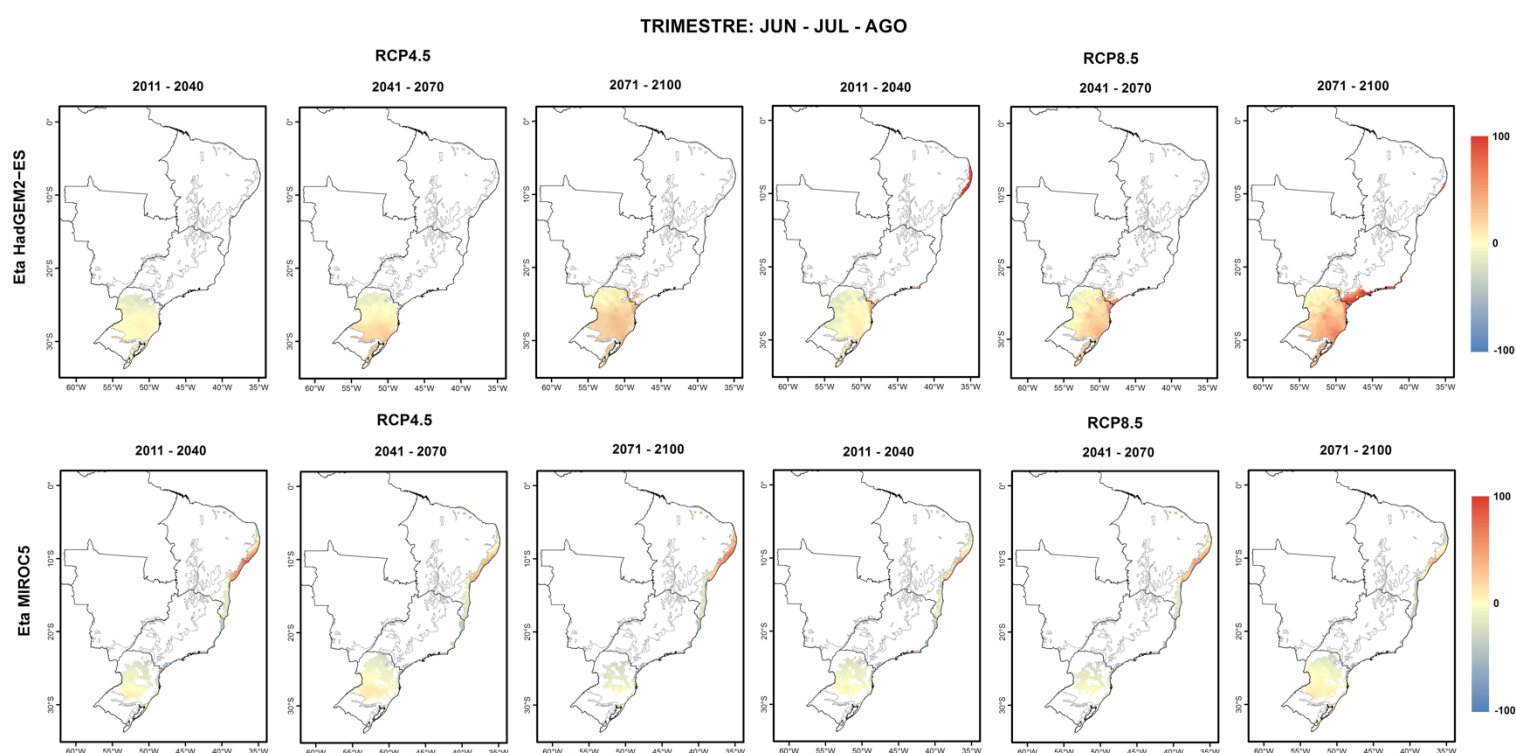


Figura 33. Variação do índice de erosividade nos *hotspots* (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre JJA.

3.1.3 Deslizamento

Verão – Dezembro Janeiro Fevereiro (DJF)

De forma geral, o M(Eta HadGEM2-ES) apresenta no RCP 8.5 uma tendência de diminuição dos eventos de deslizamento (entre -10% e -30%) em comparação a linha de base, acompanhando a diminuição de precipitações estimada em grande parte do país nesse trimestre (Figura 34). No RCP 4.5 observa-se um moderado aumento dos deslizamentos em algumas regiões do Nordeste no período 2041-2070 (Figura 35).

O M(Eta MIROC5) comporta-se de maneira oposta, acompanhando o aumento de extremos de chuva estimado pelo modelo climático até 2100. A região Sudeste apresenta os valores mais significativos, com aumentos entre +10% e +30%, aproximadamente.

Em ambos os cenários RCP, os valores absolutos mais elevados se referem principalmente às regiões serranas no Sudeste e Sul (Figura 34B e 35B).

A Figura 36 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. Os resultados do M(Eta MIROC5) evidenciam nas regiões serranas do Sudeste os valores mais elevados de variação (+20%) ao longo de todo o período de estudo em ambos os cenários, acompanhando o aumento de precipitações (+18% no RCP 4.5 e até +30% no RCP 8.5). As regiões no Sul apresentam um progressivo aumento por volta do final do século. Trata-se de áreas com uma elevada sensibilidade física determinada pelas declividades acentuadas e por cambisolos fortemente erodíveis. O M(Eta MIROC5) prevê cenário menos severo com um leve aumento no Sul.

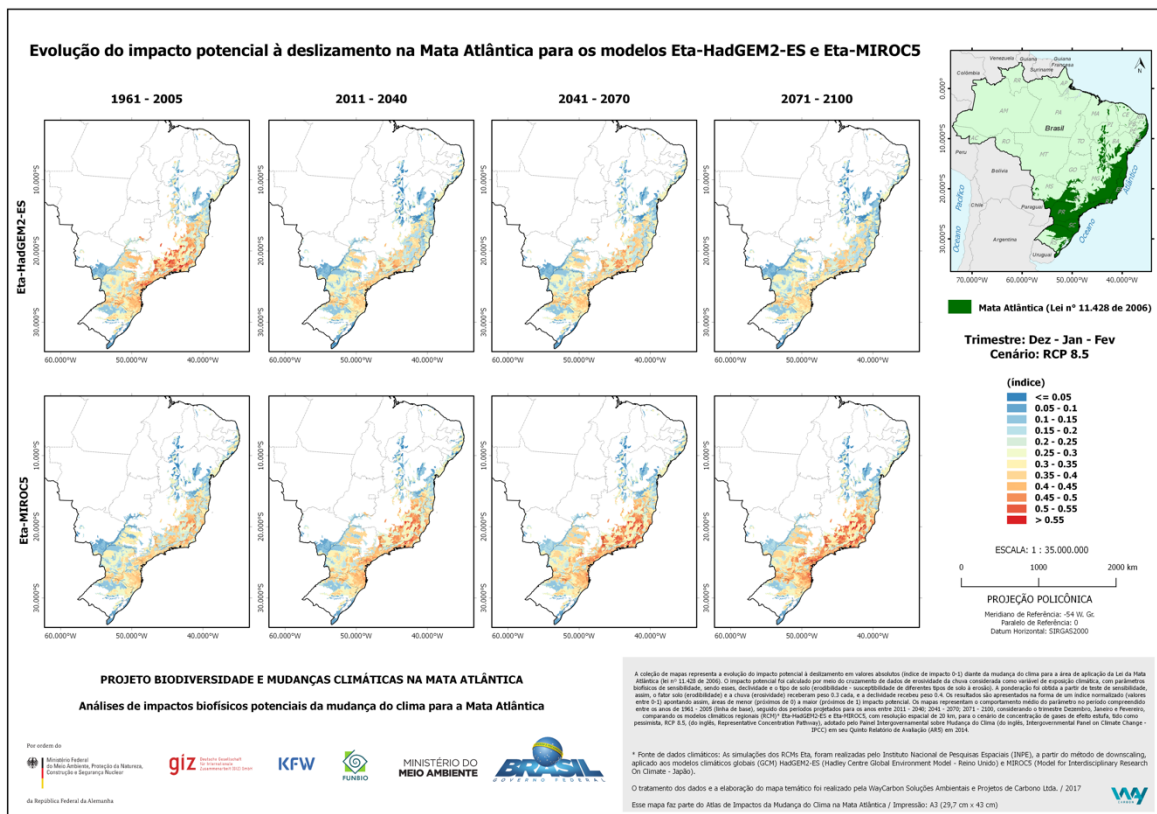
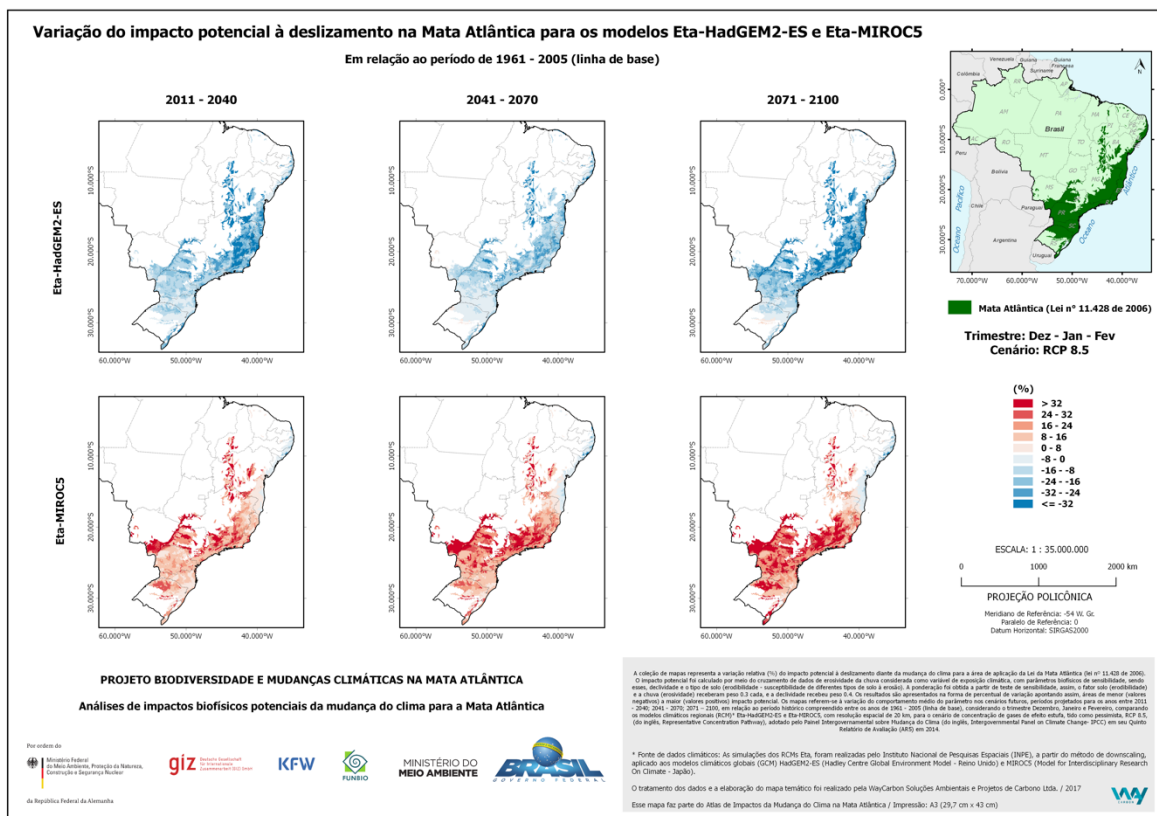


Figura 34. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

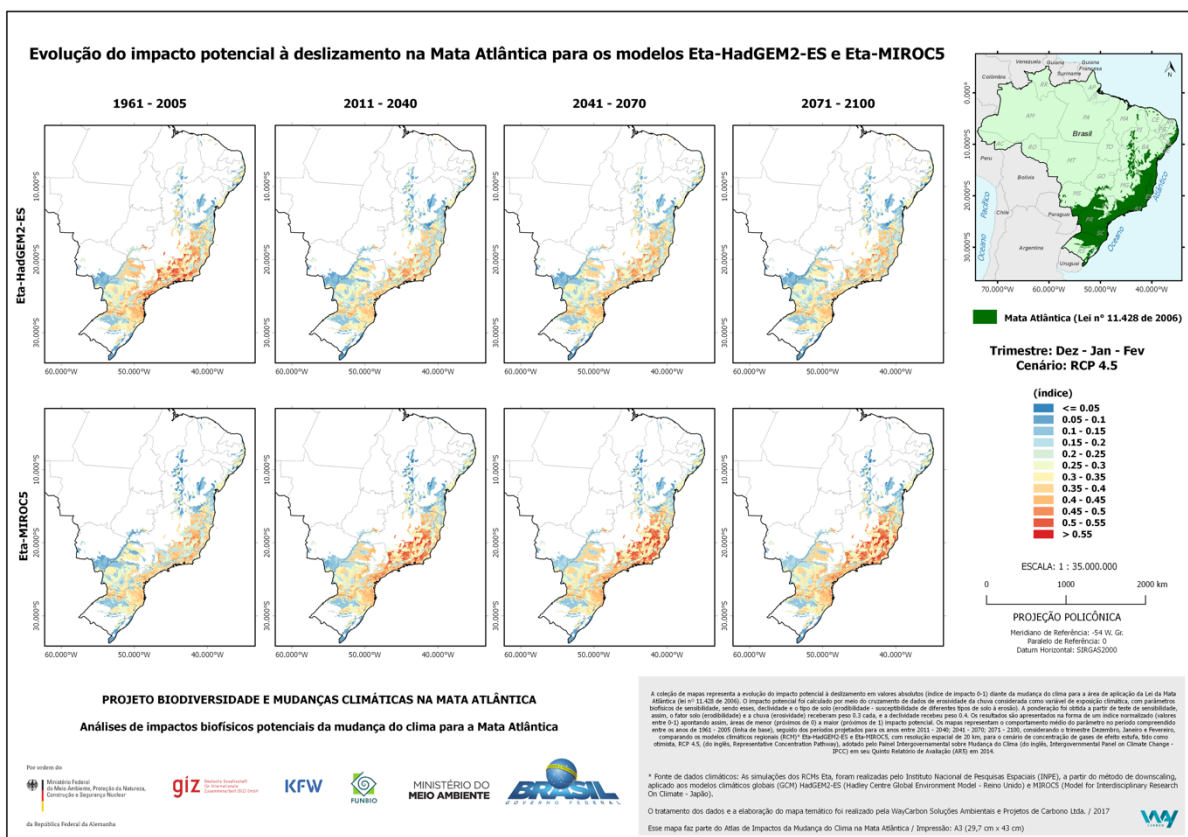
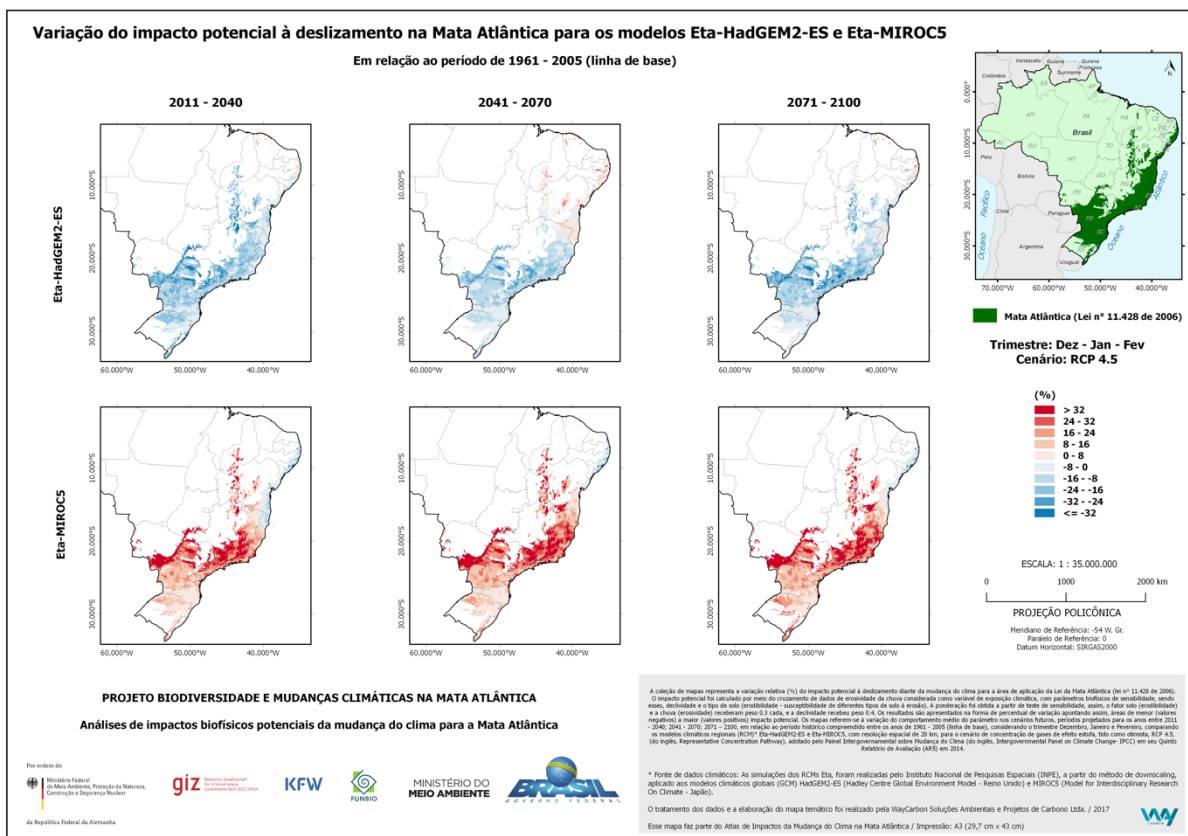


Figura 35. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

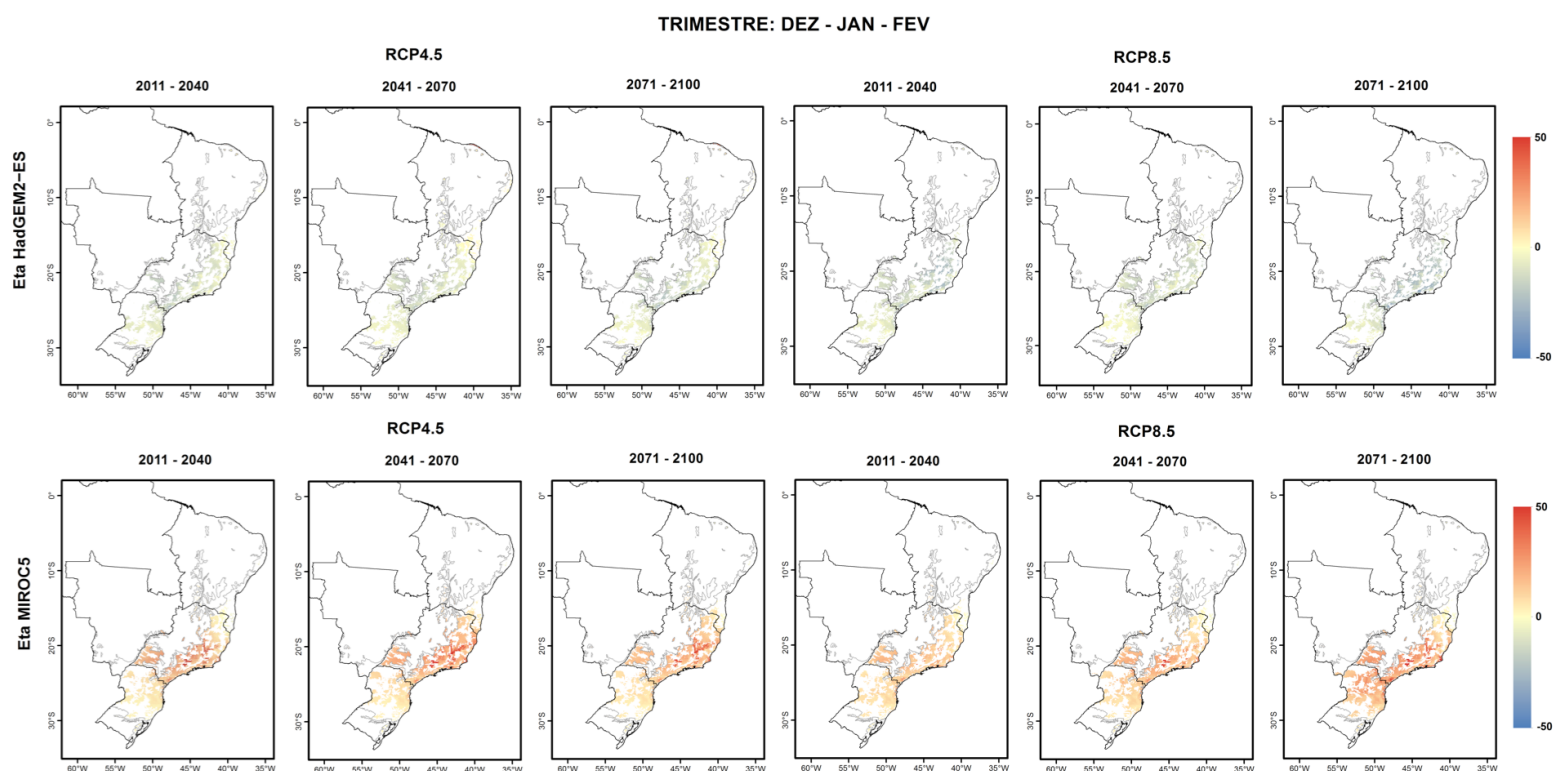


Figura 36. Variação do índice de deslizamento nos *hotspots* (valores absolutos > 80º percentil). RCP 8.5 e 4.5 no trimestre DJF.

Inverno – Junho Julho Agosto (JJA)

No trimestre JJA o comportamento dos modelos muda diametralmente.

O M(Eta HadGEM2-ES) apresenta em grande parte da Mata Atlântica valores incrementais positivos, com uma evidente intensificação dos impactos por volta do final do século. No RCP 8.5, algumas áreas litorâneas do Nordeste e as áreas serranas do Sudeste e do Sul apresentam valores entre +15% e +30% médiamente, que vão aumentando durante todo o período simulado até 2100 (Figura 37). Já no RCP 4.5 os aumentos maiores são registrados nas regiões do Sul, e - de forma mais fragmentada e menos intensa - ao longo do litoral nordestino (Figura 38).

O M(Eta MIROC5) prevê em ambos os cenários um aumento dos impactos numa faixa do litoral nordestino (entre +15% e 30%); no RCP 8.5 principalmente no período 2041-2070, e no RCP 4.5 na primeira e última janela temporal. No restante da Mata Atlântica observa-se uma diminuição do índice em comparação a linha de base.

A Figura 39 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. No M(Eta HadGEM2-ES) as variações maiores nos *hotspots* acontecem por volta do fim do século nas regiões Sul e Sudeste no RCP 8.5 JJA, com aumentos de +10% (e picos máximos de +40%). O M(Eta MIROC5) prevê uma intensificação dos impactos numa faixa litorânea do Nordeste, com maior evidência na primeira e última janelas temporais do RCP 4.5 JJA (+15% médiamente).

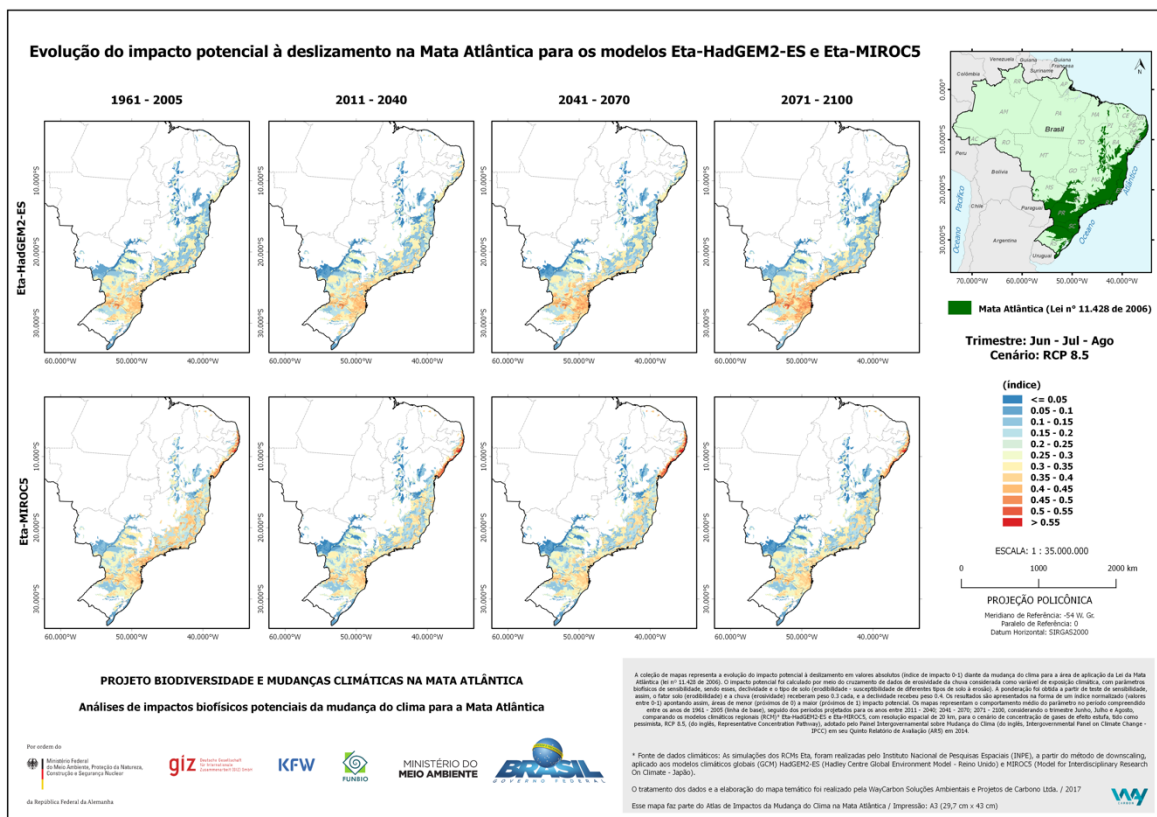
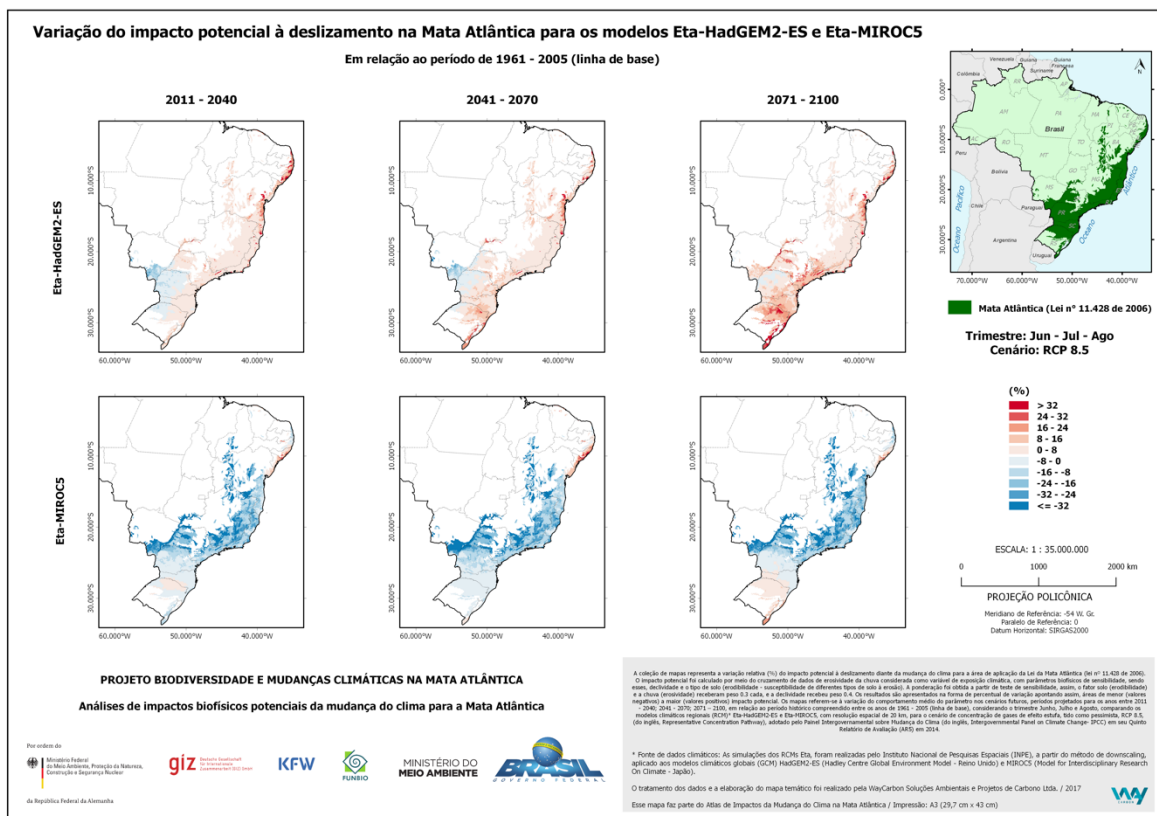


Figura 37. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de deslizamento em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de deslizamento na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

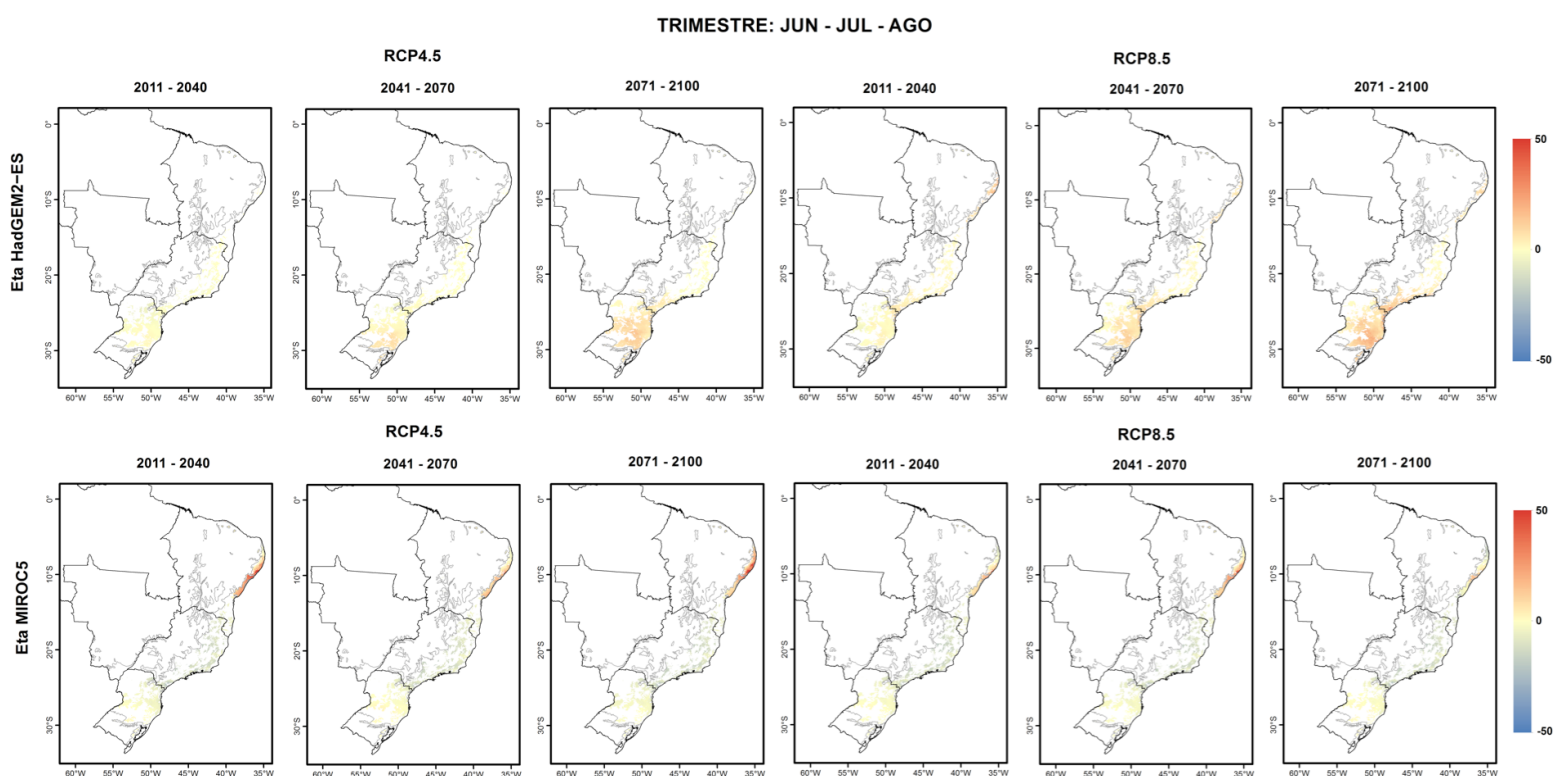


Figura 39. Índice de deslizamento em JJA. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil)

3.1.4 Umidade do solo

Verão – Dezembro Janeiro Fevereiro (DJF)

Os modelos apresentam comportamentos diferentes em ambos os cenários (Figura 40 e 41). O M(Eta HadGEM2-ES) prevê, em toda a área de estudo, uma diminuição da umidade do solo, com valores mais elevados em áreas do Sudeste entre -10% e -25% em comparação a linha de base, principalmente na primeira e na última janela temporal. No RCP 8.5, a tendência é mais evidente por volta do fim do século em praticamente todo Sudeste, numa faixa litorânea do Nordeste, e no Sul (Figura 40). O M(Eta MIROC5) prevê uma redução da umidade nos três períodos ao longo de todo litoral nordestino com valores entre -5% e -20%. No RCP 8.5 DJF essa tendência vai aumentando progressivamente de 2011 até 2100.

A Figura 42 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. As rodadas no RCP 8.5 do M(Eta HadGEM2-ES) apresentaram decréscimos na região Sul (-12%) e Sudeste (-18%), principalmente nos Estados do Paraná e de São Paulo, até 2100. O norte de Minas Gerais como o Nordeste, também apresentam queda na disponibilidade de água no solo na ordem de -8% no último período.

A disponibilidade de água no solo modelada pelo M(Eta MIROC5) no RCP 8.5 aumentou ao longo do tempo até 2100 no Sudeste (+5%), Sul (+9%) e Centro-Oeste (+12%) relacionando-se diretamente com o aumento da precipitação nessas regiões a saber: +6% no Sudeste, +3% no Sul, e +22% no Centro-Oeste, para os mesmos cenários e períodos. Uma faixa no litoral do Nordeste apresenta uma diminuição progressiva da umidade no solo até 2100, mais evidente no RCP 8.5.

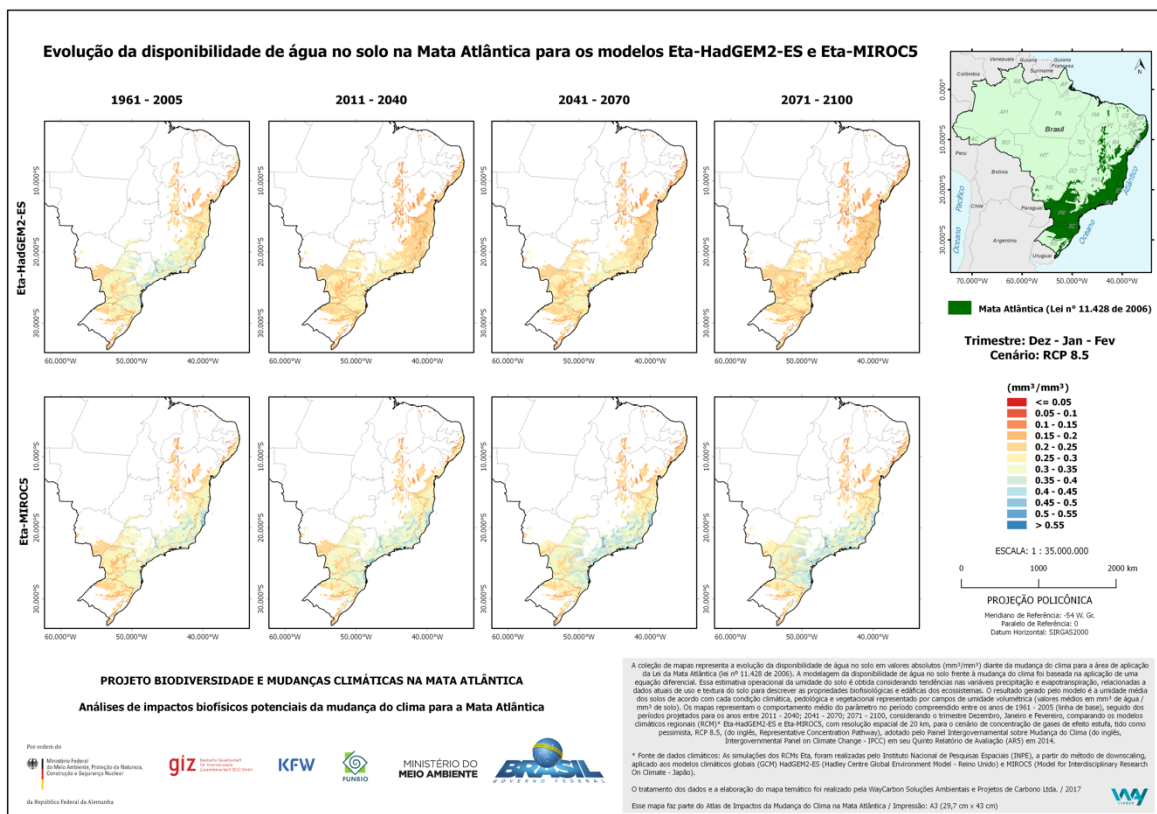
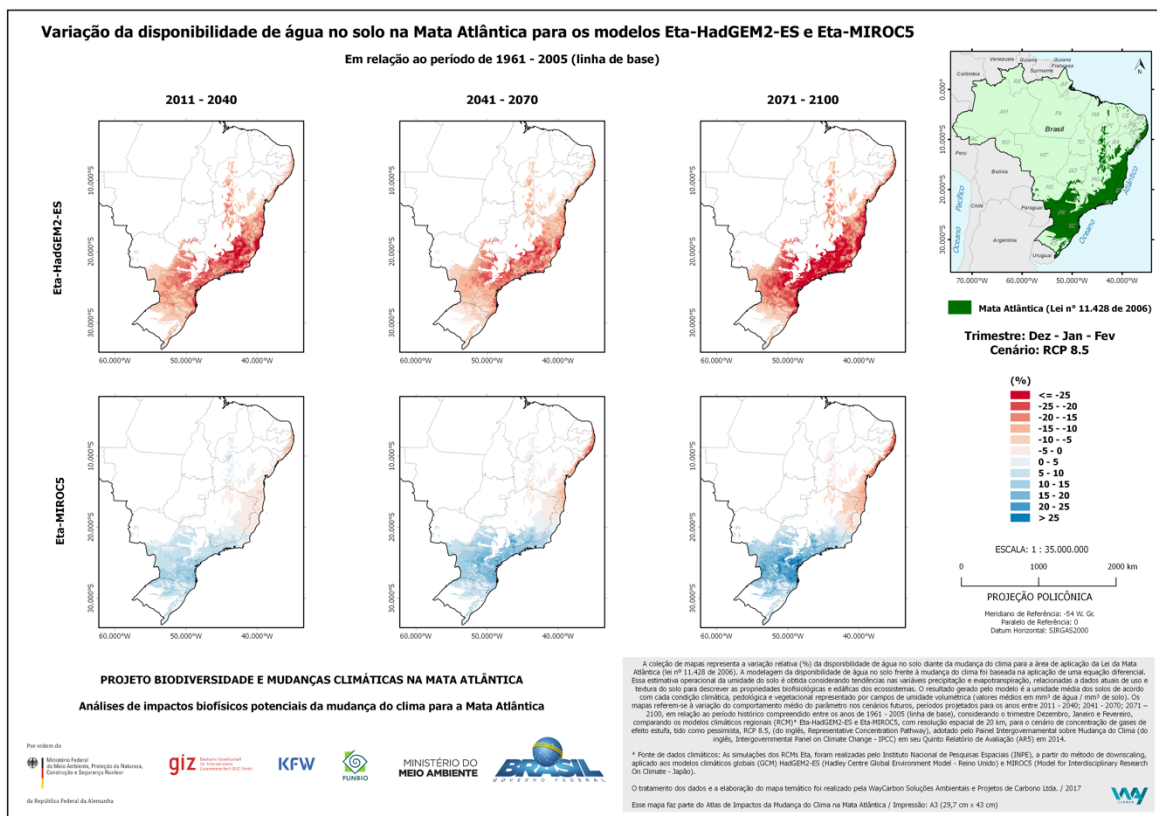


Figura 40. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

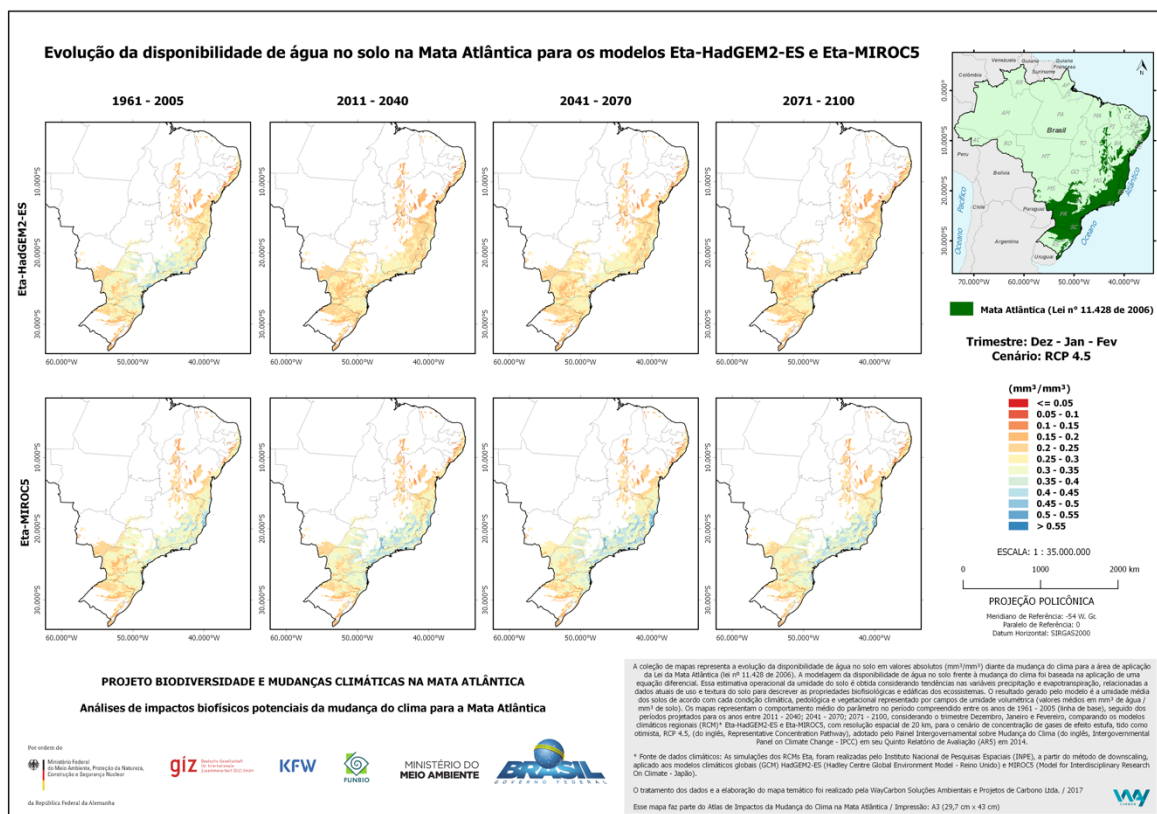
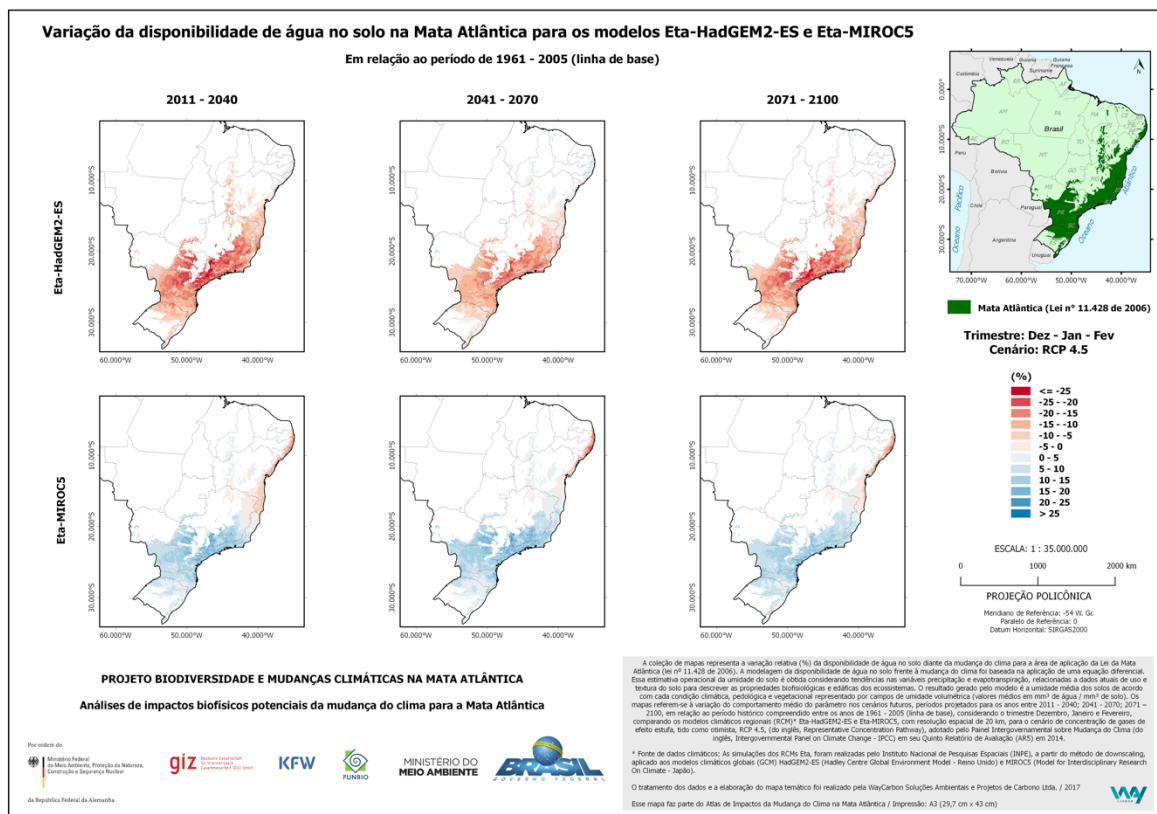


Figura 41. RCP 4.5 DJF. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

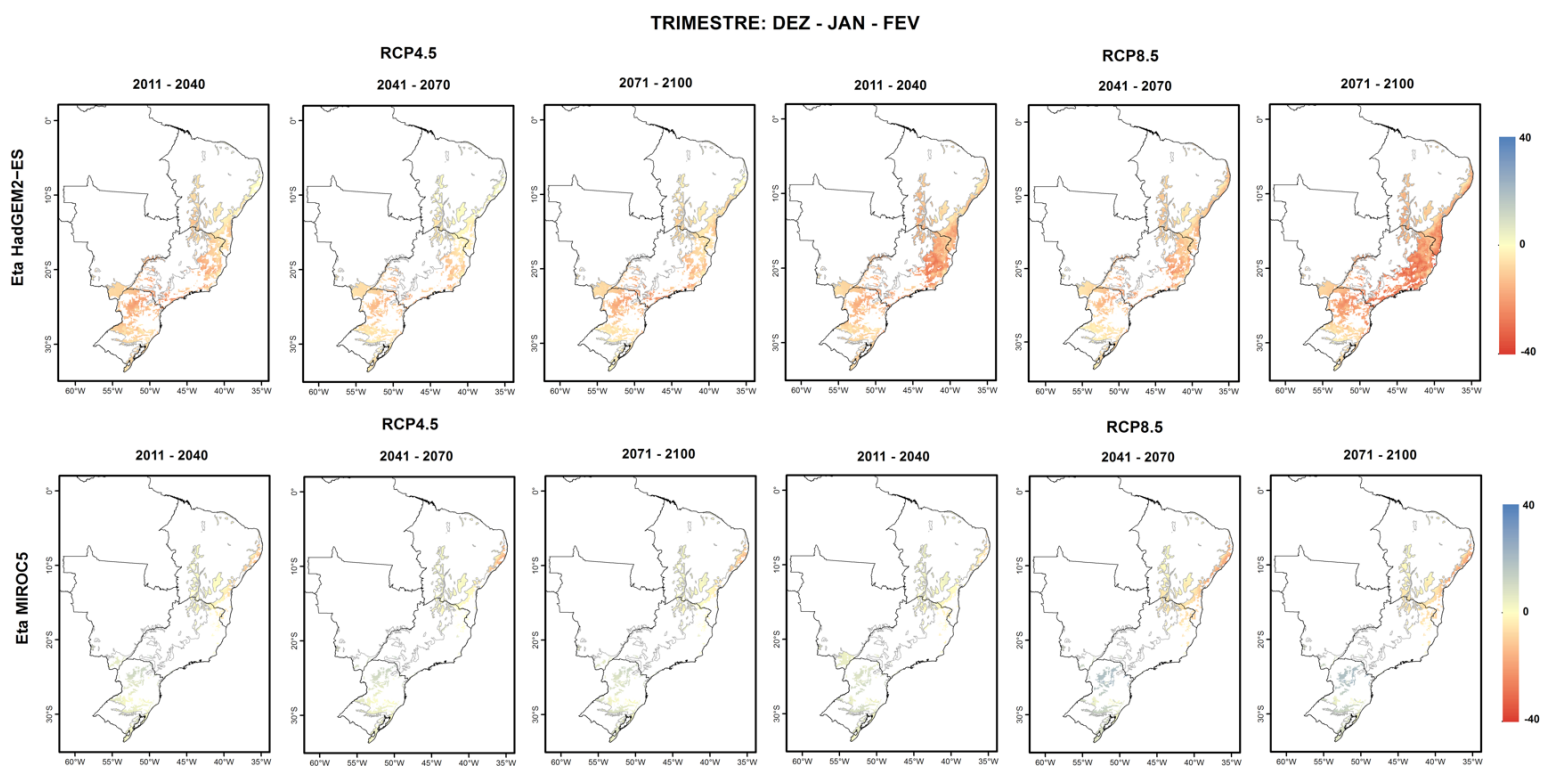


Figura 42. Índice de umidade do solo em DJF. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil).

De forma geral, foi observada uma queda na disponibilidade de água no solo em ambos os modelos e cenários, mais severa no M(Eta MIROC5).

Os resultados do M(Eta HadGEM2-ES) apresentam no RCP 8.5 um leve ganho em áreas do Sul e norte de Minas na segunda e terceira janela temporal, e ao longo do litoral nordestino (+10%) na primeira janela temporal (Figura 43). Já o Sudeste e Centro-Oeste continuam apresentando perdas de até 20% no RCP 4.5 principalmente no período 2011-2040 (Figura 44).

O M(Eta MIROC5) prevê uma redução mais evidente do índice em comparação ao cenário histórico em quase toda a Mata Atlântica – a exceção do extremo Sul e uma faixa litorânea do Nordeste. Os valores mais relevantes (até -25%) da perda de umidade são observados no Sudeste e em grande parte do Nordeste.

A Figura 45 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. Nos resultados do M(Eta HadGEM2-ES), o Sudeste continua apresentando perdas de até 20% (primeira janela temporal, cenário RCP 4.5). O Centro-Oeste registra perdas menos severas ao longo de todo o período de estudo e nos dois cenários RCP. Tal resultado reflete a tendência de escassez de chuvas bem distribuídas. Em contrapartida, teremos um aumento de temperatura, sendo assim, o excesso de calor resulta em maiores taxas de evapotranspiração, direcionando a um déficit no balanço hídrico futuro quando comparado aos valores do período histórico.

Já para o M(Eta MIROC5) a região litorânea apresenta um aumento na disponibilidade de água no solo de cerca +5% (período até 2100, cenário RCP8.5), incluindo a região Sul que apresenta um aumento de +3%, um resultado menos expressivo quando comparado à variação para o trimestre DJF. A região Nordeste apresenta uma diminuição do índice de -11% (período até 2100, cenário RCP 8.5) o que reflete redução média de precipitação que atingiu até 26% (período até 2100, cenário RCP8.5). As perdas mais evidentes (maiores de -20%) são registradas no Sudeste ao longo de todo o período de estudo e nos dois cenários RCP.

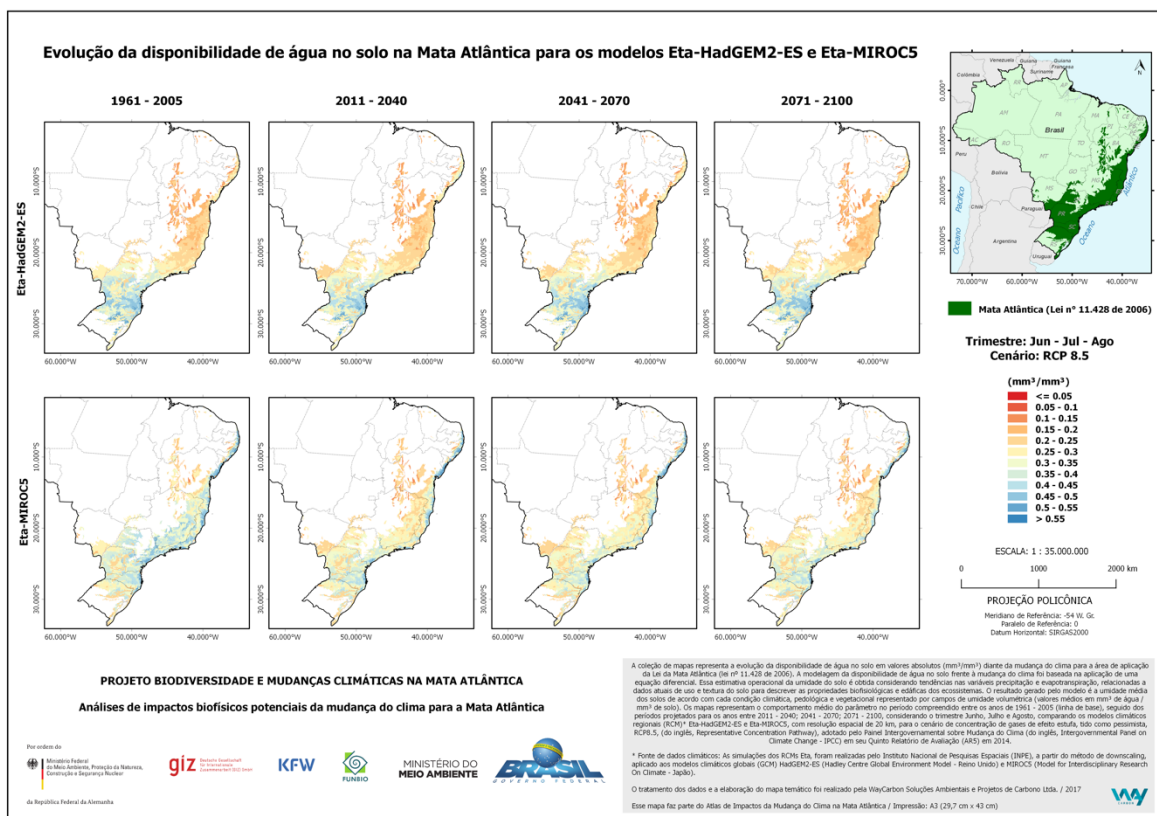
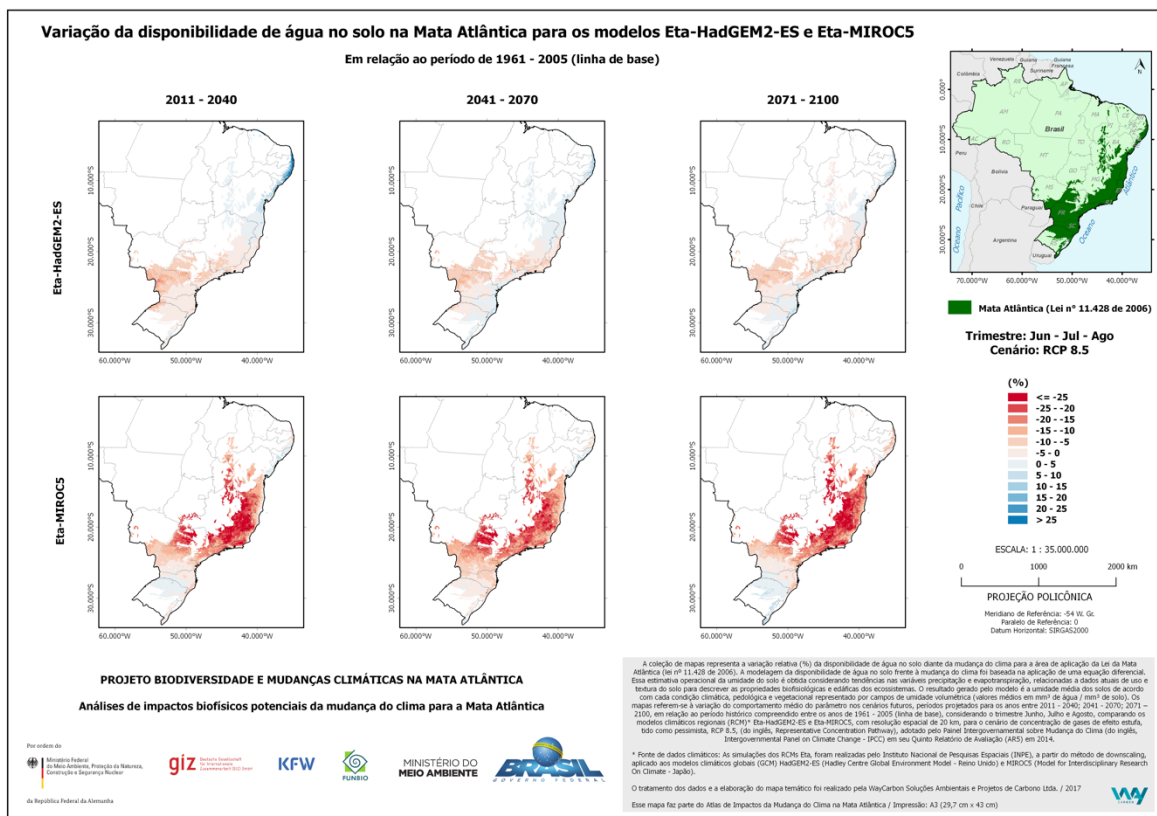


Figura 43. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

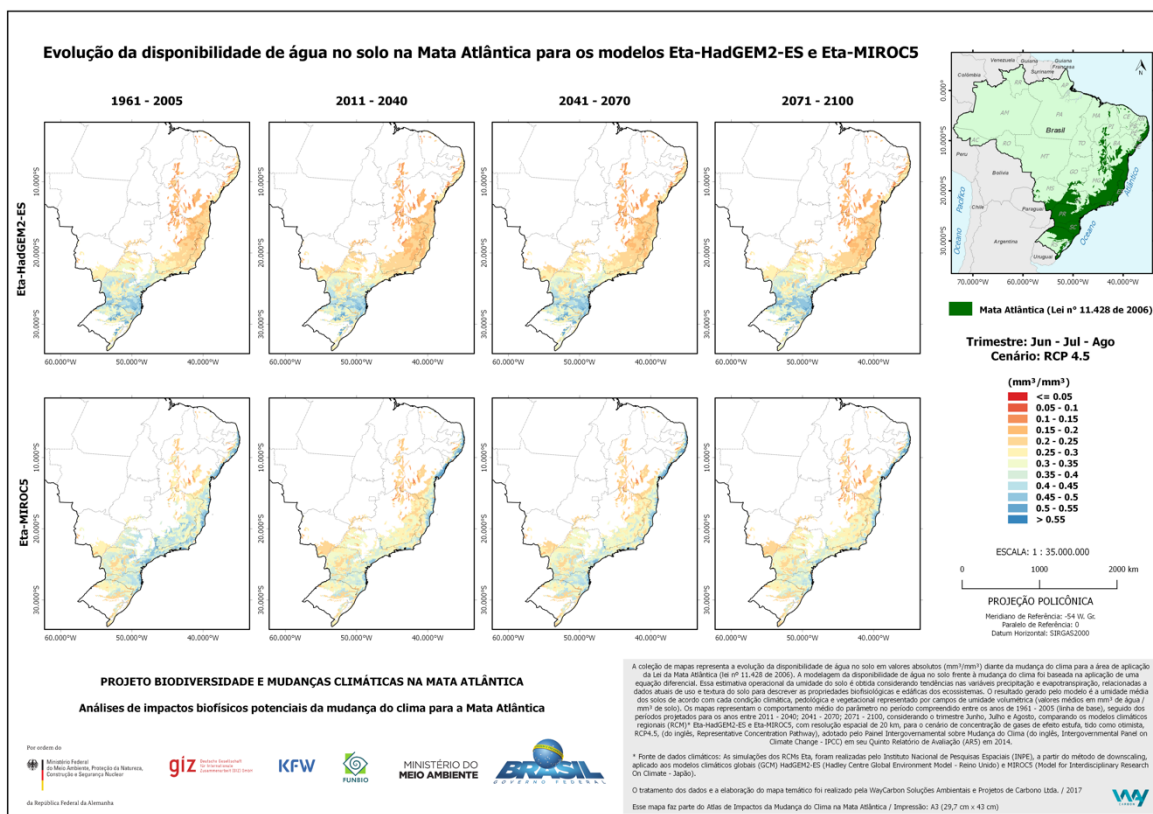
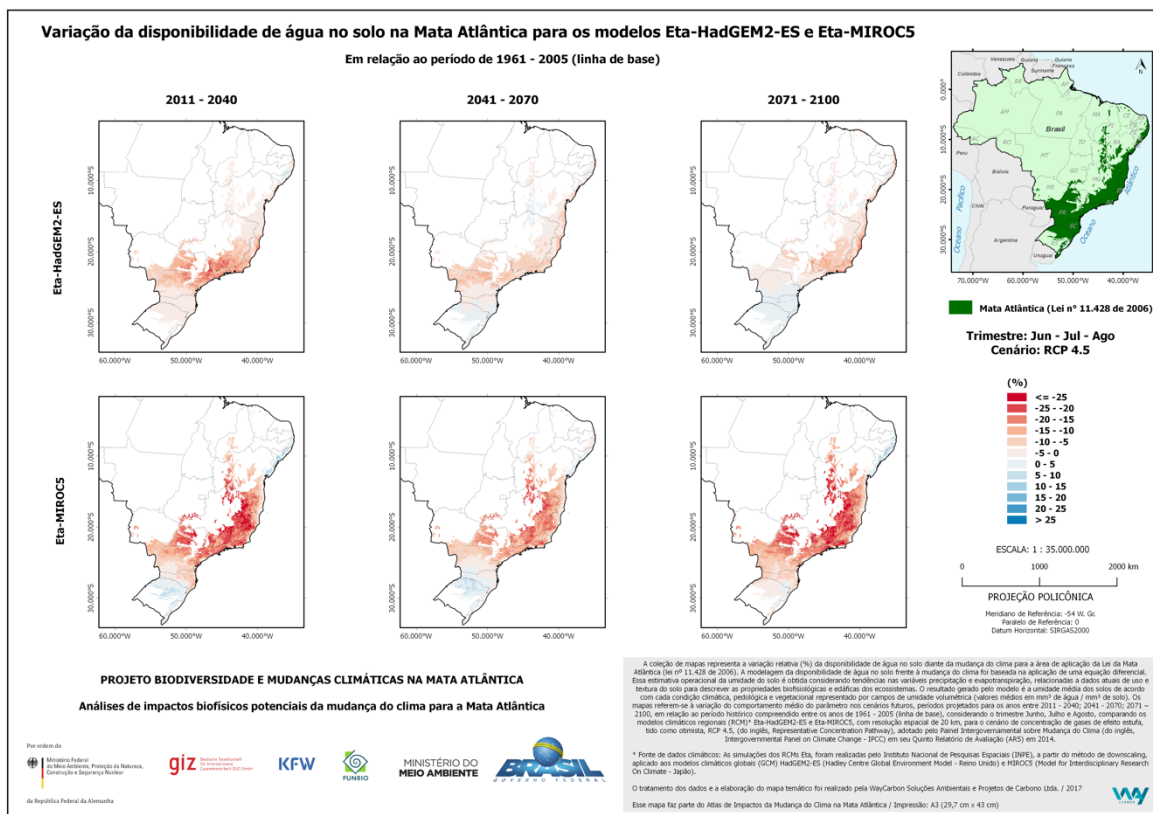


Figura 44. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de umidade do solo em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice de umidade do solo na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

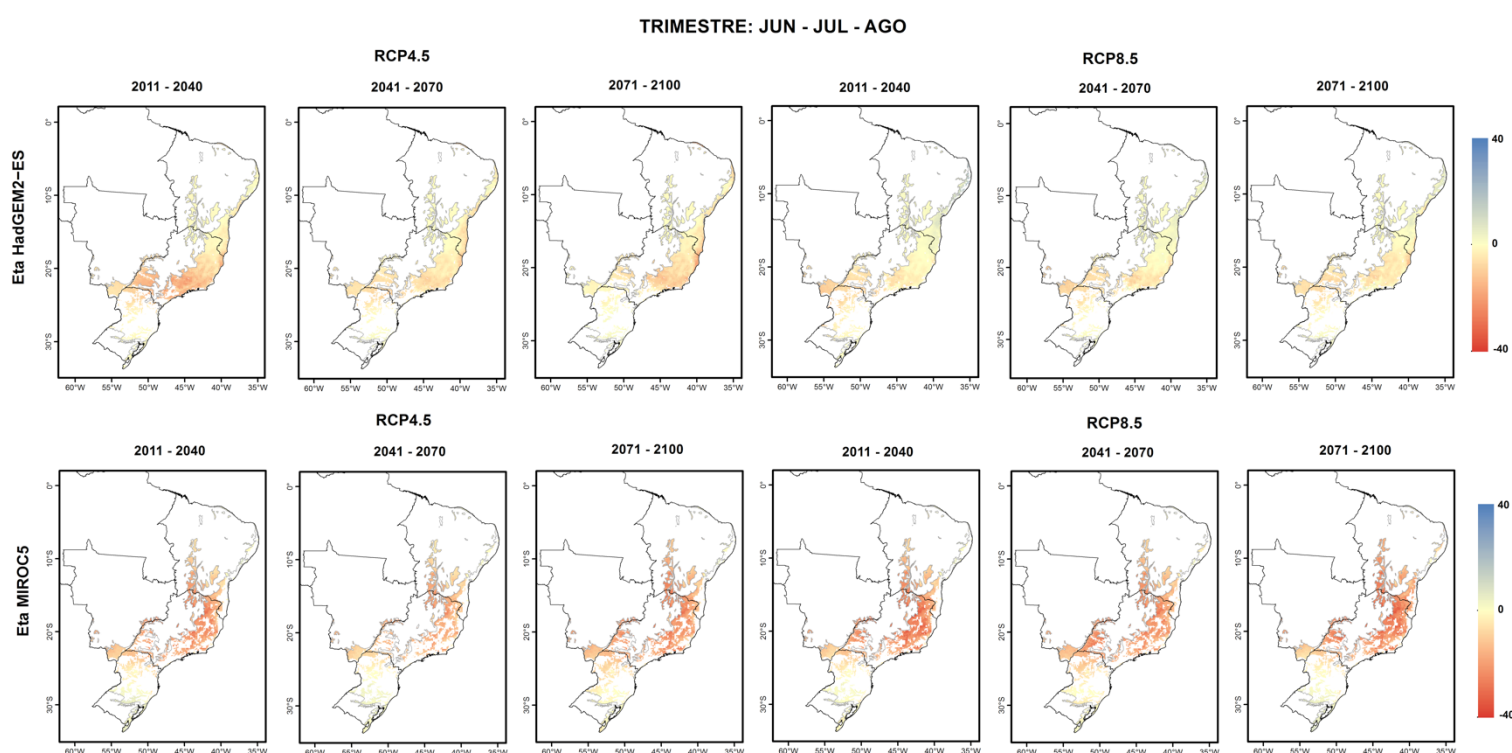


Figura 45. Índice de umidade do solo em JJF. Variação do índice nos **hotspots** (áreas com valores absolutos >80º percentil).

3.1.4 Zoneamento agroclimático

Para uma abordagem conservadora, as características fisiológicas consideradas nessa análise correspondem aos limites das culturas climaticamente mais sensíveis dentre aquelas tratadas como estratégicas para a economia e a segurança alimentar do Brasil (cana-de-açúcar, soja, trigo, algodão, arroz sequeiro, feijão e milho) segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O Zoneamento é aproximado através do Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA); portanto sua evolução tende a apresentar uma resposta congruente as tendências observadas no índice de umidade do solo.

Verão – Dezembro Janeiro Fevereiro (DJF)

O M(Eta HadGEM2-ES) prevê um cenário mais severo, com perdas relevantes de aptidão agroclimática nas regiões do Centro-Oeste e Sudeste ao longo de todo período de estudo. O RCP 8.5 apresenta um aumento elevado do impacto em toda a Mata Atlântica, com perdas superiores a -40% do ISNA em comparação a linha de base (Figura 46). No RCP 4.5 as perdas são menos evidentes em toda a Mata Atlântica, com valores mais elevados no Centro-Oeste e no Sudeste (Figura 47). Esse cenário está alinhado com a diminuição da precipitação de -45% no Centro-Oeste e Sudeste (período até 2100, cenário RCP8.5) e de -38% no Nordeste.

Os resultados do M(Eta MIROC5) são mais amenos, com um aumento do impacto mais evidente na última janela temporal do RCP 8.5 (-20%) no Sudeste e Nordeste.

A Figura 48 apresenta os valores absolutos do índice, reclassificados pelo ISNA de acordo com os limites a seguir:

- $ISNA \geq 0,55$ – a cultura está exposta a um baixo impacto climático (favorável).
- $0,45 < ISNA < 0,55$ – a cultura está exposta a um impacto climático médio (intermediário).
- $ISNA \leq 0,45$ – a cultura está exposta a um alto impacto climático (desfavorável).

O mapa permite visualizar facilmente a progressiva perda das áreas com maior aptidão agroclimática – i.e., menos impactadas pelas mudanças do clima (cor verde) - nos resultados do M(Eta HadGEM2-ES) por volta da fim do século no RCP 8.5 DJF (Follador et al., 2017b).

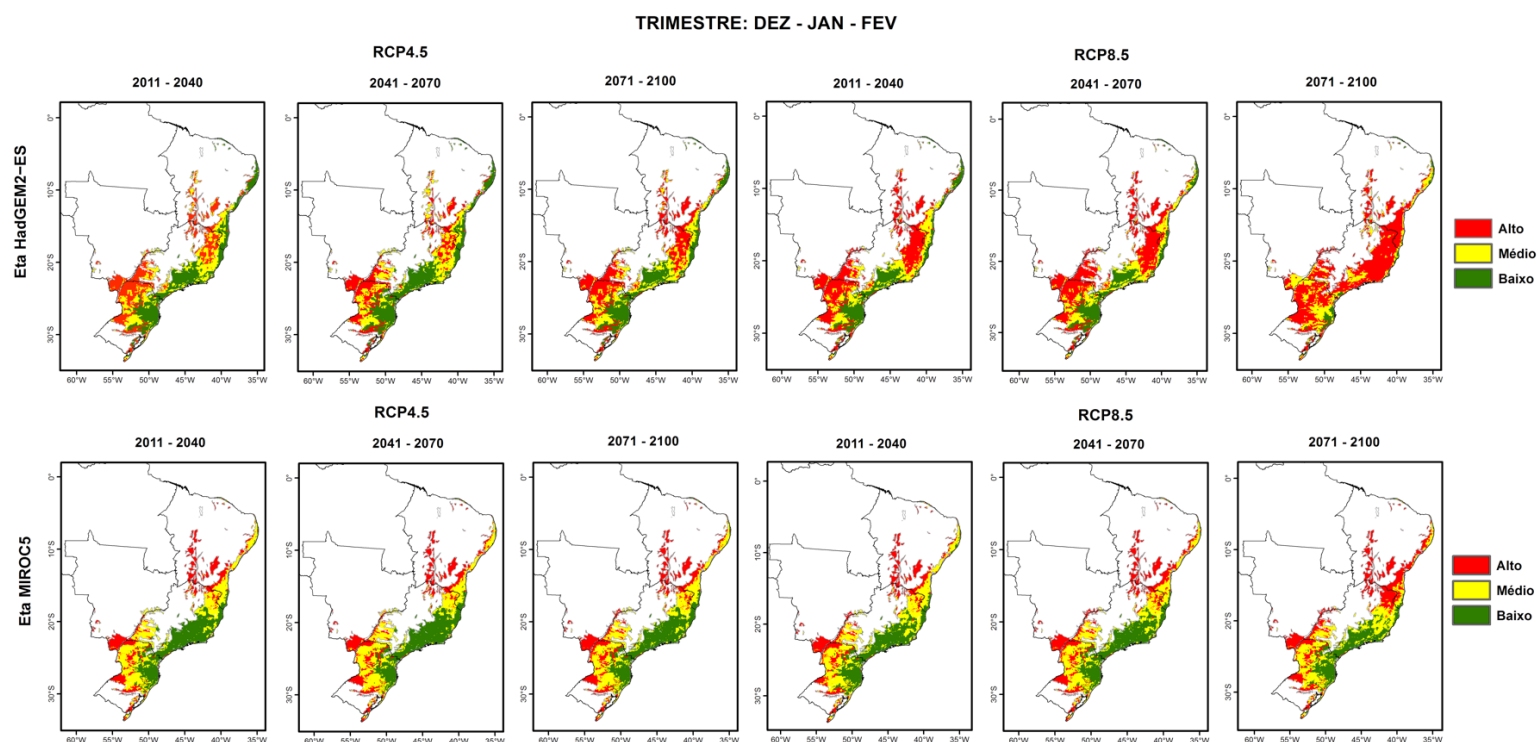


Figura 48. Evolução da aptidão agroclimática (principais culturas) classificada em função do ISNA em DJF.

No RCP 8.5 observa-se uma progressiva perda de aptidão agroclimática ao longo do período de estudo em ambos os modelos e cenários (Figura 49 e 50). Os resultados no RCP 8.5 são mais severos que os resultados do RCP 4.5. Essa tendência é mais evidente no M(Eta HadGEM2-ES), com valores negativos em toda a Mata Atlântica – com exceção de um leve aumento numa pequena faixa litorânea nordestina no primeiro período, associado ao aumento de precipitações. As outras áreas do Nordeste registram uma redução do ISNA de até -26% (RCP 8.5, 2071-2100), além da porção norte do Sudeste e litoral (-15%).

Os resultados do M(Eta MIROC5) mostram um leve aumento do índice nas regiões no Sul no período 2011-2040, em comparação a linha de base, que desaparece nos períodos sucessivos. O Centro-Oeste, o norte de Minas e uma parte do Nordeste registram as perdas mais significativas por volta do fim do século (superiores a -25%).

A Figura 51 apresenta os valores absolutos do índice, reclassificados pelo ISNA de acordo com os limites a seguir:

- $ISNA \geq 0,55$ – a cultura está exposta a um baixo impacto climático (favorável).
- $0,45 < ISNA < 0,55$ – a cultura está exposta a um impacto climático médio (intermediário).
- $ISNA \leq 0,45$ – a cultura está exposta a um alto impacto climático (desfavorável).

O mapa permite visualizar facilmente a progressiva perda das áreas com maior aptidão agroclimática no Sul – i.e., menos impactadas pelas mudanças do clima (cor verde) – nos resultados de ambos os modelos, por volta do fim do século no RCP 8.5.

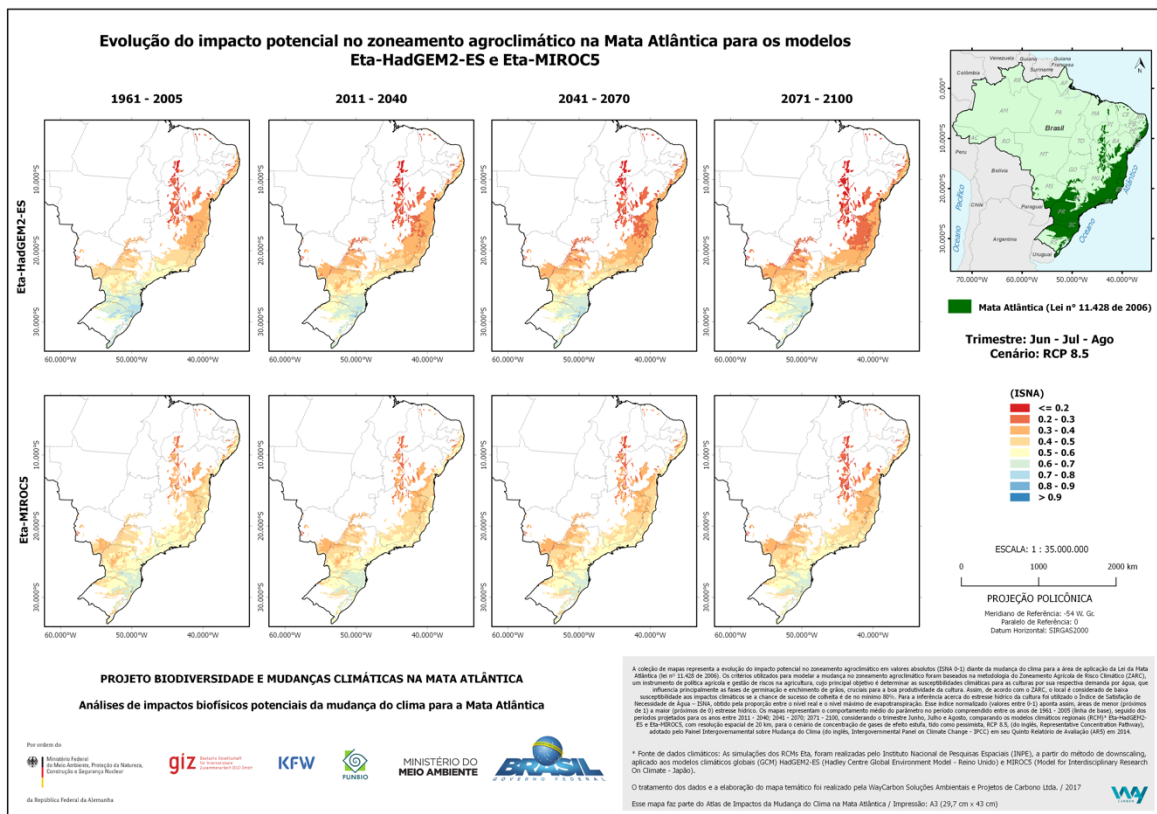
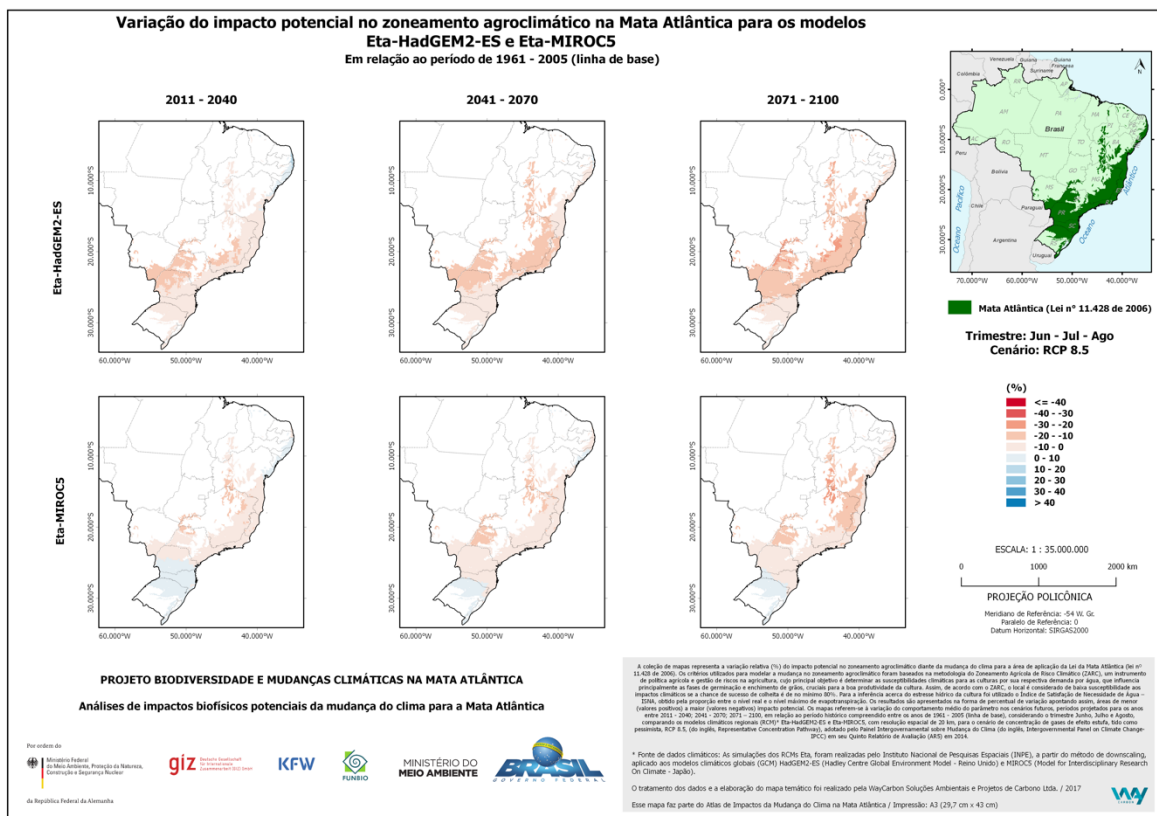


Figura 49. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

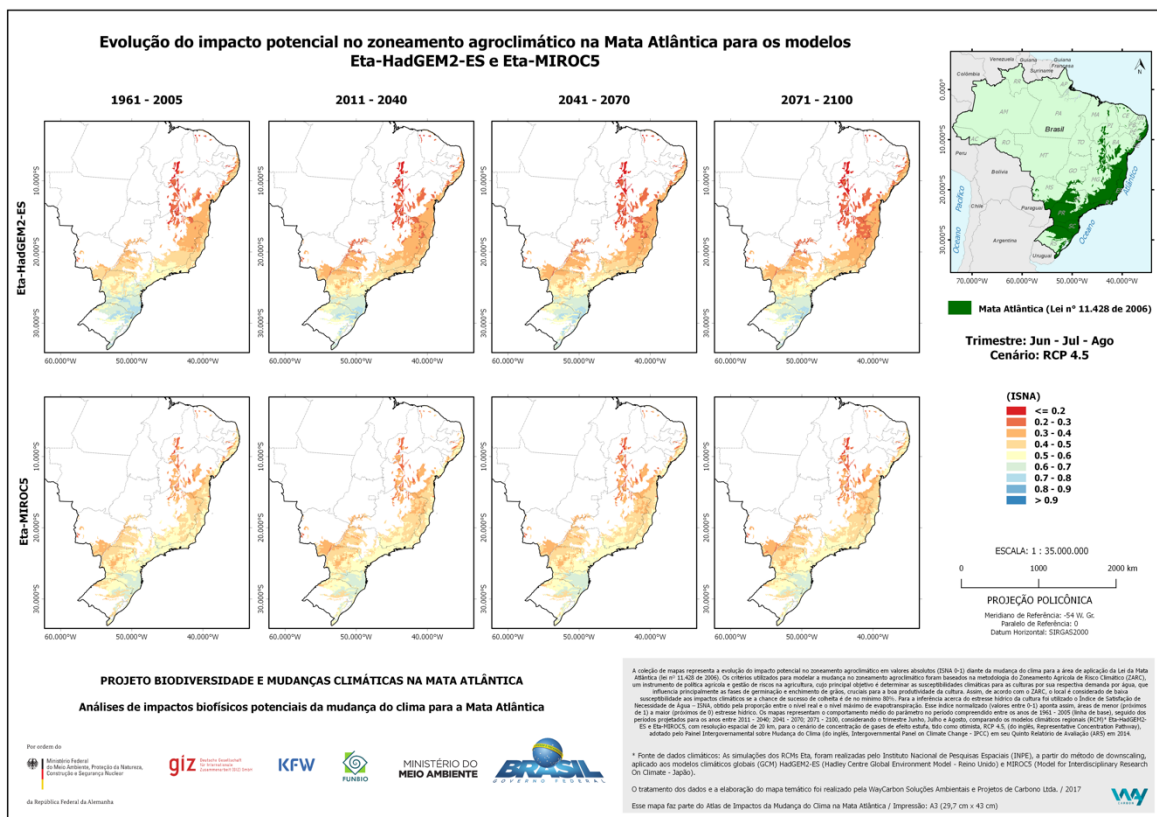
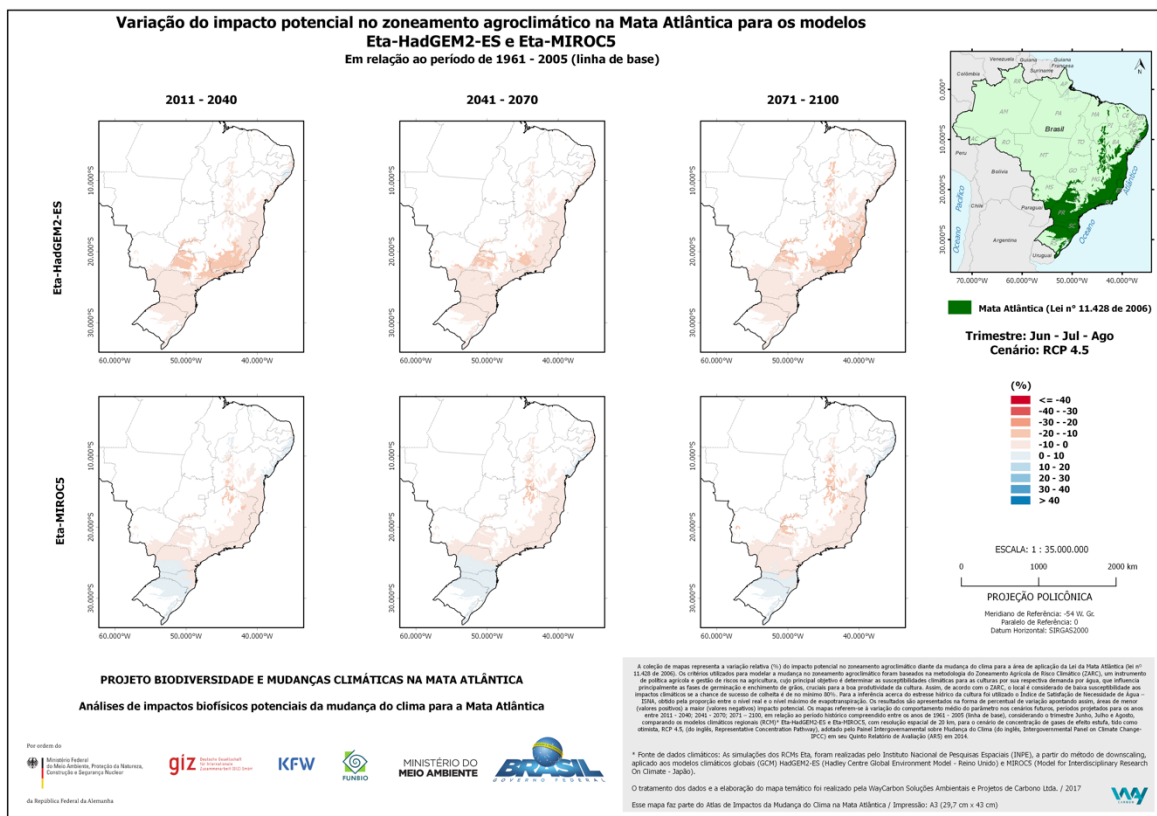


Figura 50. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do ISNA em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do ISNA na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

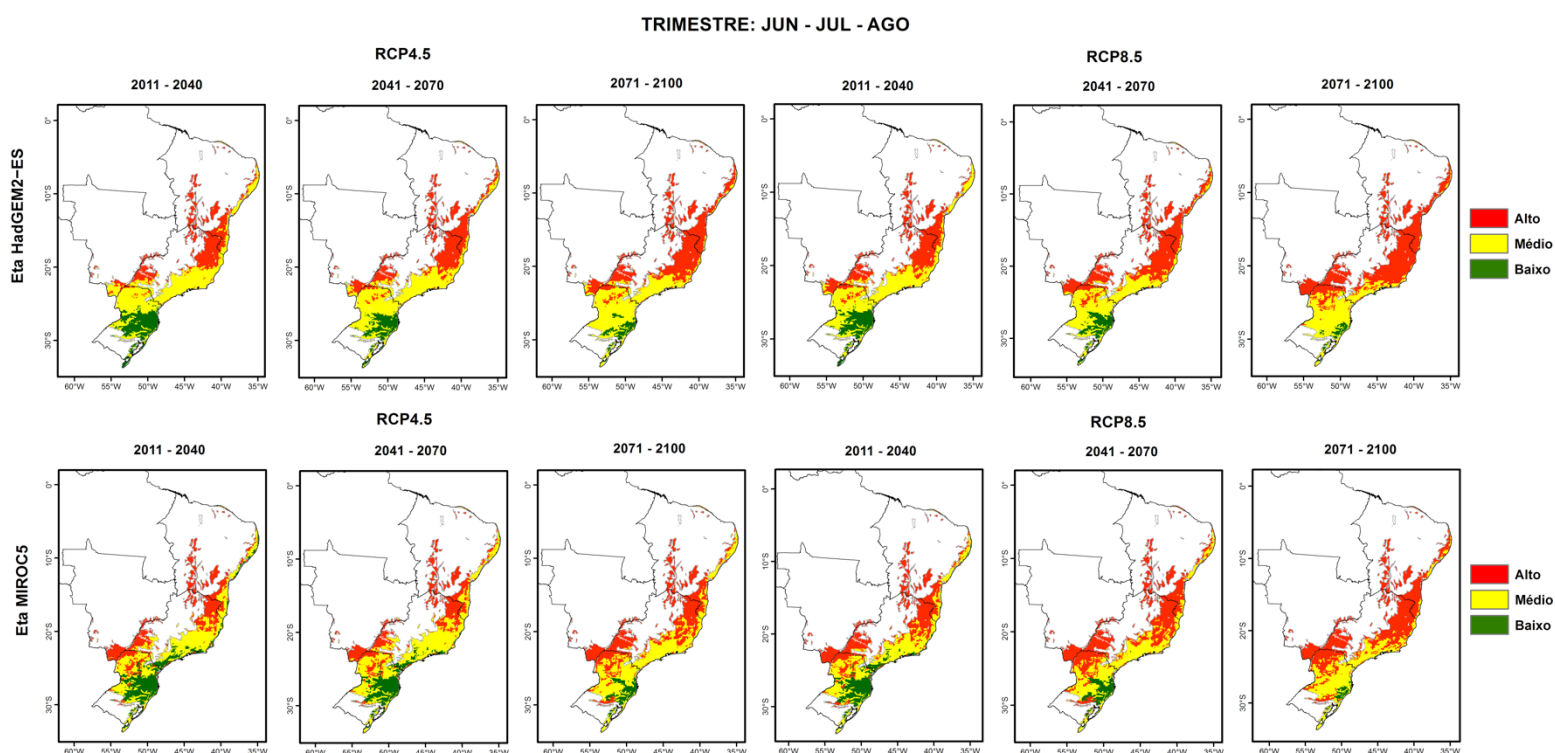


Figura 51. Evolução da aptidão agroclimática (principais culturas) classificada em função do ISNA em JJA.

3.1.6 Fitofisionomias

Os impactos biofísicos associados à mudança na distribuição espacial de fitofisionomias foram elaborados através da identificação de relações geoestatísticas que expressam os fatores climáticos que condicionam a ocorrência das determinadas fisionomias vegetais, sem considerar tendências de mudanças no uso do solo. Foram avaliados resultados absolutos por cada classe vegetal nos cenários RCP 4.5 e 8.5 (base anual) nas três janelas temporais. A principal análise a ser apresentada considera a variação percentual de área climaticamente apta à fitofisionomias para o cenário RCP 8.5 (base anual) no período de 2071 a 2100 (Tabela 1 e Figura 52). Adotou-se uma análise conservadora, considerando o cenário mais drástico e o prazo mais longo, visto que, de uma forma geral, o componente vegetal apresenta grande resiliência climática.

Tabela 1. Variação percentual de área climaticamente apta às fitofisionomias da Mata Atlântica para o cenário RCP 8.5 no período 2071-2100. Os valores percentuais se referem à perda de área com aptidão climática em referência ao limite atual do domínio da fitofisionomia em questão, já o ganho reflete o valor percentual em área de aptidão climática fora do domínio atual da fitofisionomia. Para a definição de perda ou ganho potencial de área, foi adotada a probabilidade de ocorrência acima de 60%.

Fitofisionomia	Perda de aptidão climática		Ganho de aptidão climática	
	Eta HaGEM2-ES	Eta MIROC5	Eta Had GEM2-ES	Eta MIROC5
Ecótonos	5%	9%	80%	12%
Floresta estacional decidual	71%	26%	2%	12%
Floresta estacional semidecidual	55%	35%	27%	14%
Floresta ombrófila aberta	12%	2%	23%	63%
Floresta ombrófila densa	18%	18%	8%	4%
Floresta ombrófila mista	47%	9%	3%	45%
Formações pioneiras	6%	1%	17%	16%

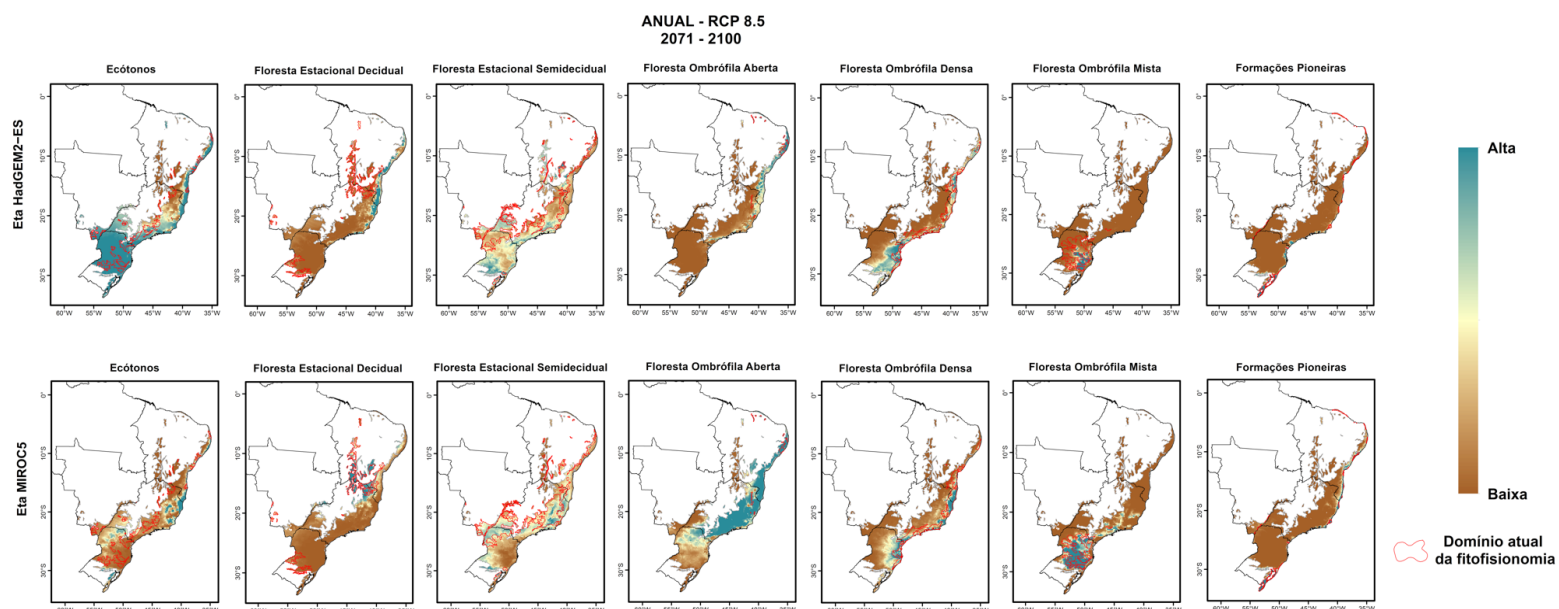


Figura 52. Probabilidade de ocorrência da fitofisionomia entre 2071-2100 no RCP 8.5.

Baseado nas variáveis climáticas resultantes de ambos os modelos Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5, as florestas estacionais decidual (Figura 53) e semidecidual (Figura 54) apresentam os cenários mais críticos com perdas consideráveis da área atualmente apta climaticamente (Tabela 1). Essa grande perda potencial, possivelmente, está ligada à grande extensão territorial desse domínio que permeia o território brasileiro em praticamente toda sua extensão longitudinal. Portanto, estarão sujeitas à impactos da mudança do clima ao longo de todo o ano e com grande variabilidade espacial. O modelo M(Eta HadGEM2-ES) apresentou variações mais evidentes para essas classes vegetacionais, o que pode estar ligado a quedas nos índices de precipitação e aumentos na temperatura, desarmonizando as relações sazonais as quais essas florestas são associadas.

As formações pioneiras não apresentaram variações significativas de área climaticamente apta, demonstrando que seu estabelecimento pode ser condicionado por outros fatores biofísicos mais relevantes do que a exposição climática. O M(Eta MIROC5) indicou as maiores modificações de aptidão o que parece estar alinhado com a alteração mais relevante na dinâmica de chuva, ao se tratar de uma fitofisionomia que pode ser beneficiada por ganhos climáticos mais expressivos.

O impacto potencial sobre o domínio da floresta ombrófila densa, parece estar ligado à escassez de chuvas bem distribuídas e à presença mais constante de extremos de precipitação, fatores presentes nos resultados do M(Eta HadGEM2-ES). A relação direta desse tipo vegetacional com a alta umidade limita a atual distribuição nas regiões projetadas, pela diminuição desse fator. Essas florestas são mais exigentes em relação à disponibilidade hídrica. Como conhecidas pela sua alta demanda de água e consequentemente altas taxas de evapotranspiração, o seu domínio futuro potencial passa a estar mais limitado com diminuição das chuvas bem distribuídas nos resultados do M(Eta HadGEM2-ES2-ES), ao contrário do resultado do M(Eta MIROC5), que pode ser observado pelo ganho de aptidão mais representativo, alinhados com uma projeção de aumento na precipitação e uma nova distribuição geográfica.

Já as florestas ombrófilas abertas, mais tolerantes a estresses de precipitação, apresentam-se mais adaptadas, podendo ganhar grandes áreas aptas fora do seu atual domínio. Por sua plasticidade fenotípica, podem colonizar áreas de solos mais rasos com diferentes ruídos climáticos e apresenta um cenário mais positivo com menor perda e grandes ganhos na modelagem com as variáveis climáticas do M(Eta MIROC5). O cenário um pouco pior gerado pelo M(Eta HadGEM2-ES) está ligado à soma de queda na precipitação e aumento da temperatura, uma restrição ainda amena, comparada a outras fitofisionomias, o que corrobora a plasticidade desse tipo de vegetação.

No caso específico da floresta ombrófila mista, os modelos apresentam resultados opostos. Além de ser altamente condicionada pelo regime de chuvas, essa fitofisionomia também se beneficia por altas taxas de umidade do ar, resultados observados no M(Eta MIROC5) que apresenta menor restrição climática a essa floresta no futuro. A manutenção da área apta existente, observada nas respostas do M(Eta HadGEM2-ES), podem estar condicionadas ao aumento da umidade relativa, um fator relevante e presente nas altitudes preferenciais dessa fitofisionomia.

Para as regiões de ecótonos, o ganho potencial de aptidão climática se apresenta mais alto no M(Eta HadGEM2-ES). Esse alto índice sugere que o modelo simula, de forma geral, uma nova situação climática, mais distinta e severa que o momento presente, por esse tipo de vegetação estar presente nas zonas de transição entre domínios fitofisionômicos. Como na projeção pelo M(Eta HadGEM2-ES) haverá maior quantidade de nichos nos cenários futuros diferentes dos presentes, maiores serão as possibilidades dessa vegetação se estabelecer.

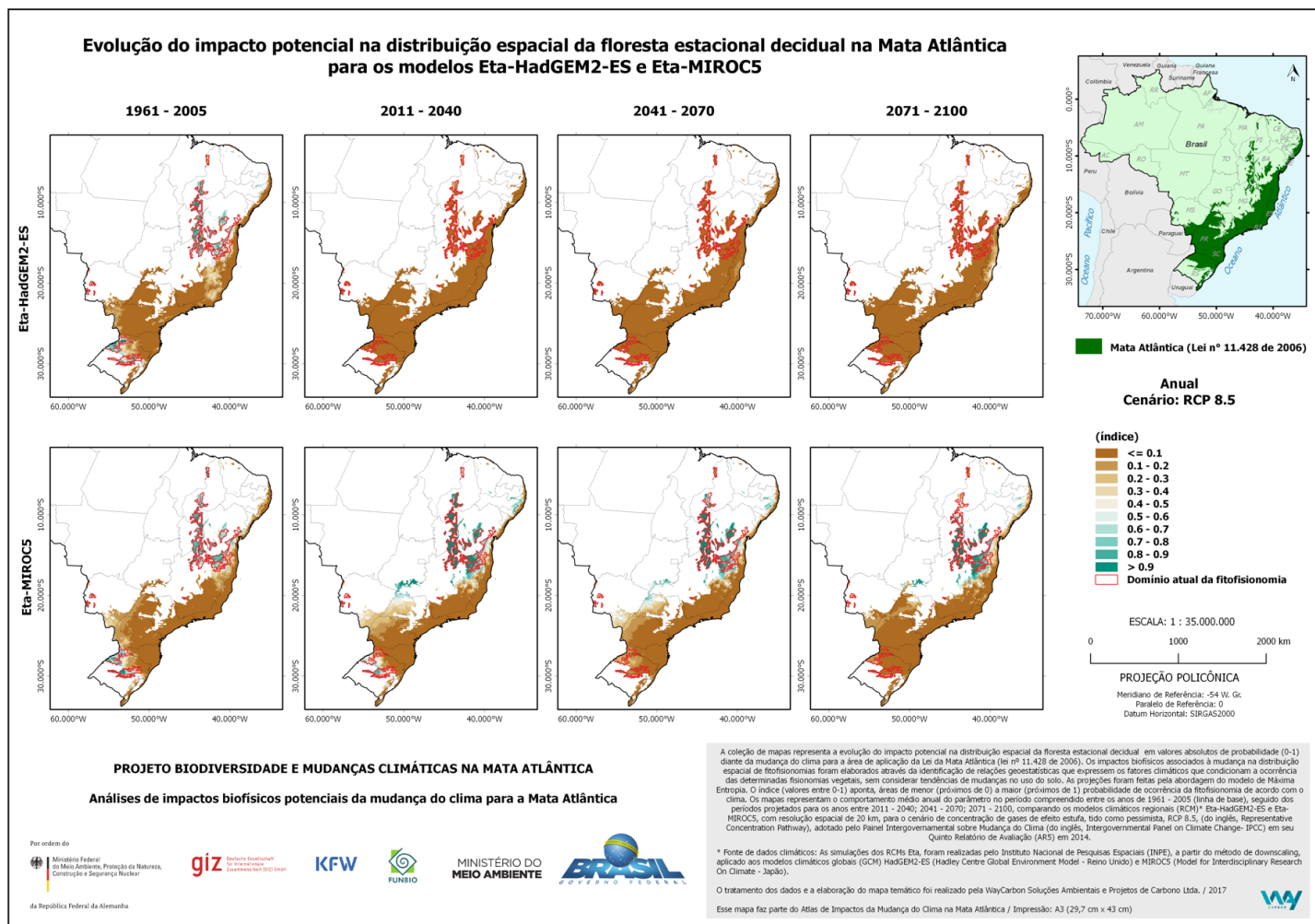


Figura 53. Evolução da aptidão climática da floresta decidual de 1965 a 2100 no RCP 8.5.

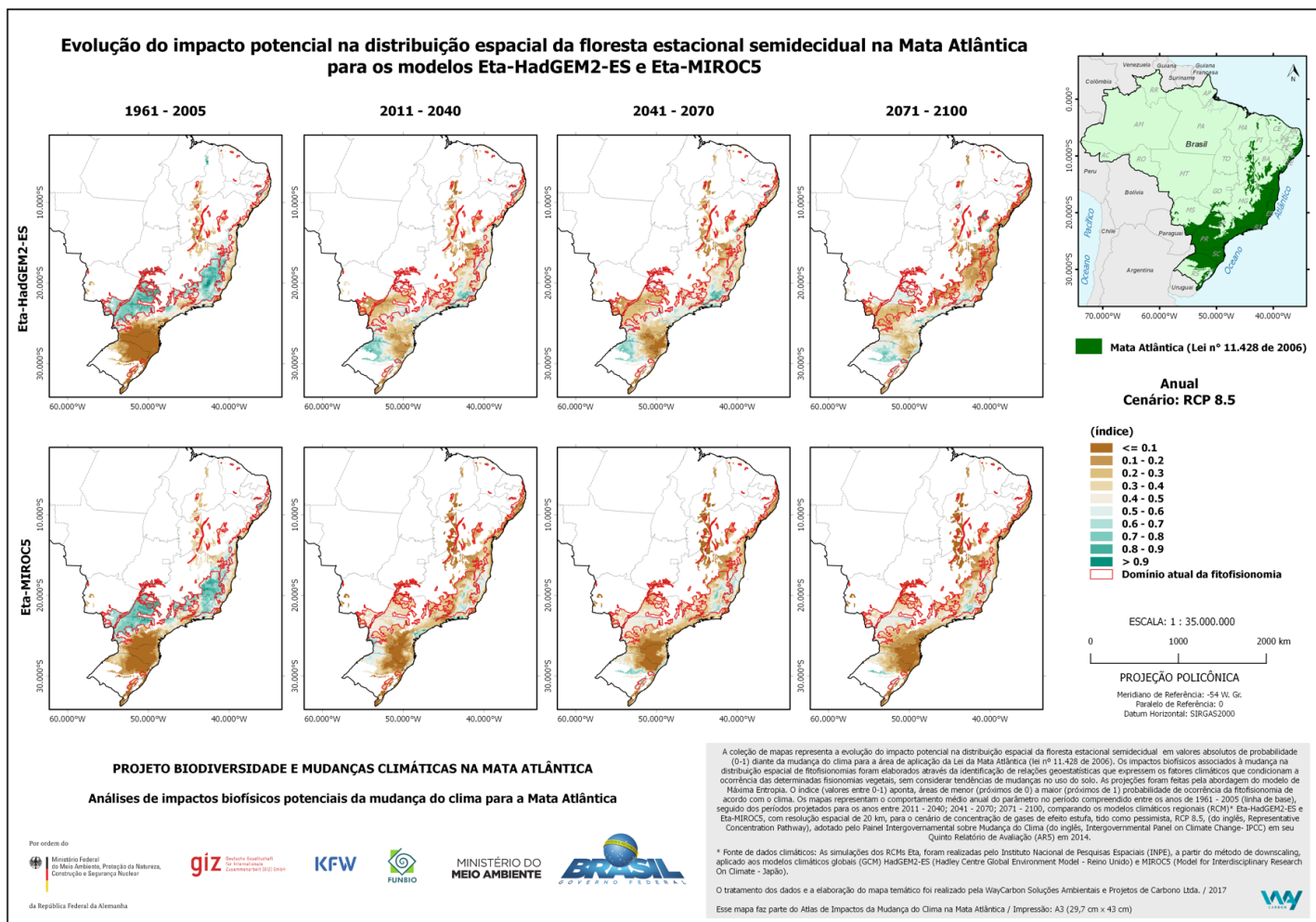


Figura 54. Evolução da aptidão climática da floresta semidecidual de 1965 a 2100 no RCP 8.5.

3.1.7 Dengue

Verão – Dezembro Janeiro Fevereiro (DJF)

Um aumento progressivo da intensidade do impacto observa-se em toda a Mata Atlântica em ambos os cenários RCP (Figura 55 e 56) ao longo do período estudado. O M(Eta MIROC5) registra incrementos superiores a +70% no Sul, parte do Centro-Oeste e Sudeste no RCP 8.5 até 2100. Já o M(Eta HadGEM2-ES) prevê uma distribuição mais homogênea com aumentos entre +40% e +60% em todo o território (com picos de +70%).

A Figura 57 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. Os resultados do M(Eta HadGEM2-ES) indicam a expansão do vetor da dengue para a região Sul do Brasil com incremento de até +70% no RCP 8.5 até 2100. O Sudeste e o Centro-Oeste também registram valores elevados associados ao incremento da temperatura mínima nas regiões Sul (+4%) e Centro-Oeste (+7%), bem como o aumento da umidade relativa do ar (+6%) na região Sul - condicionantes importantes para disseminação da doença. Esse novo cenário pode ser explicado pelo aumento gradual da temperatura mínima e das noites quentes ao longo dos períodos futuros, favorecendo o desenvolvimento do mosquito vetor.

No M(Eta MIROC5), a tendência incremental no Sul é menos evidente, provavelmente associado à uma diminuição da umidade relativa (-6%) até 2100. Os aumentos são concentrados principalmente no Centro-Oeste, no Sudeste e no litoral nordestino. Apesar da temperatura mínima atingir um valor mais favorável ao desenvolvimento do vetor (+4%, período até 2100, cenário RCP8.5, trimestre DJF), a dinâmica de chuva modelada para os cenários futuros apresenta certo equilíbrio no resultado final do impacto. A nova dinâmica de chuva passa a não ser a mais efetiva ao desenvolvimento de criadouros do mosquito, dependentes de intervalos temporais com água limpa e parada associados à temperatura ideal.

No RCP 4.5 as mesmas tendências de aumento generalizado do impacto na Mata Atlântica são observadas, com intensidade menor.

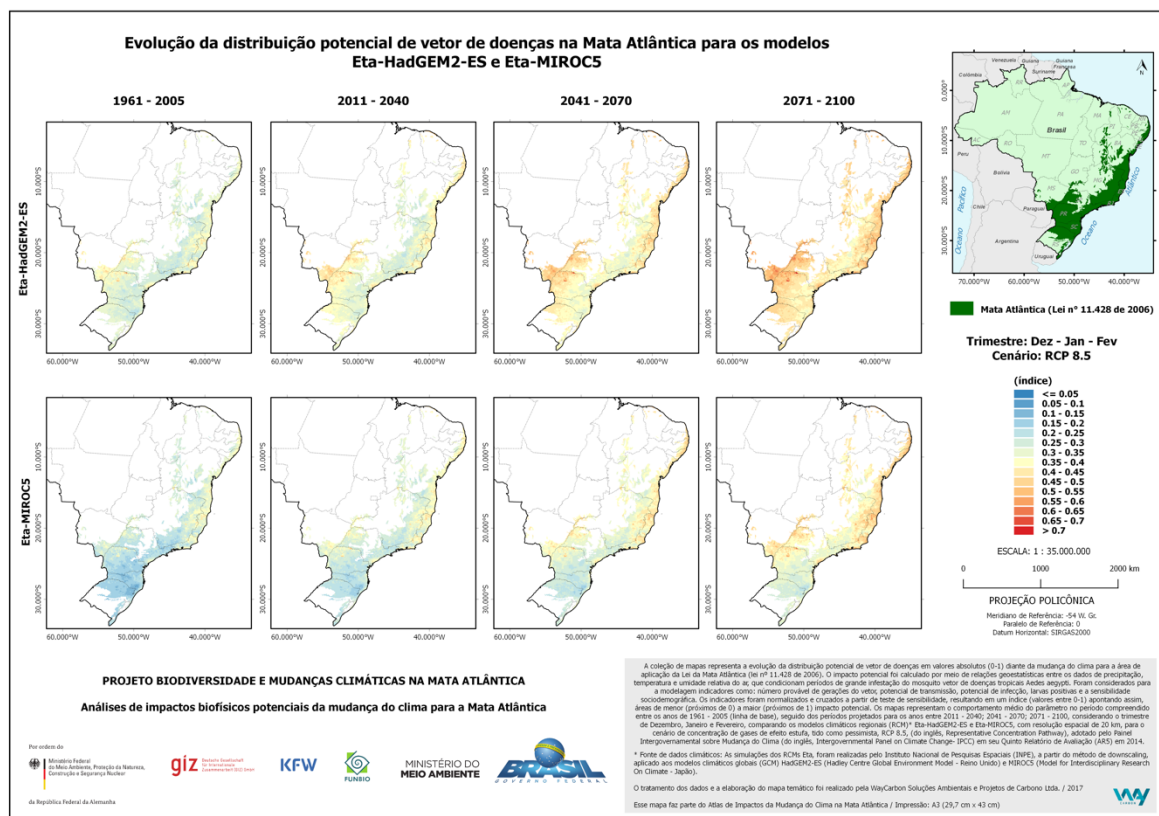
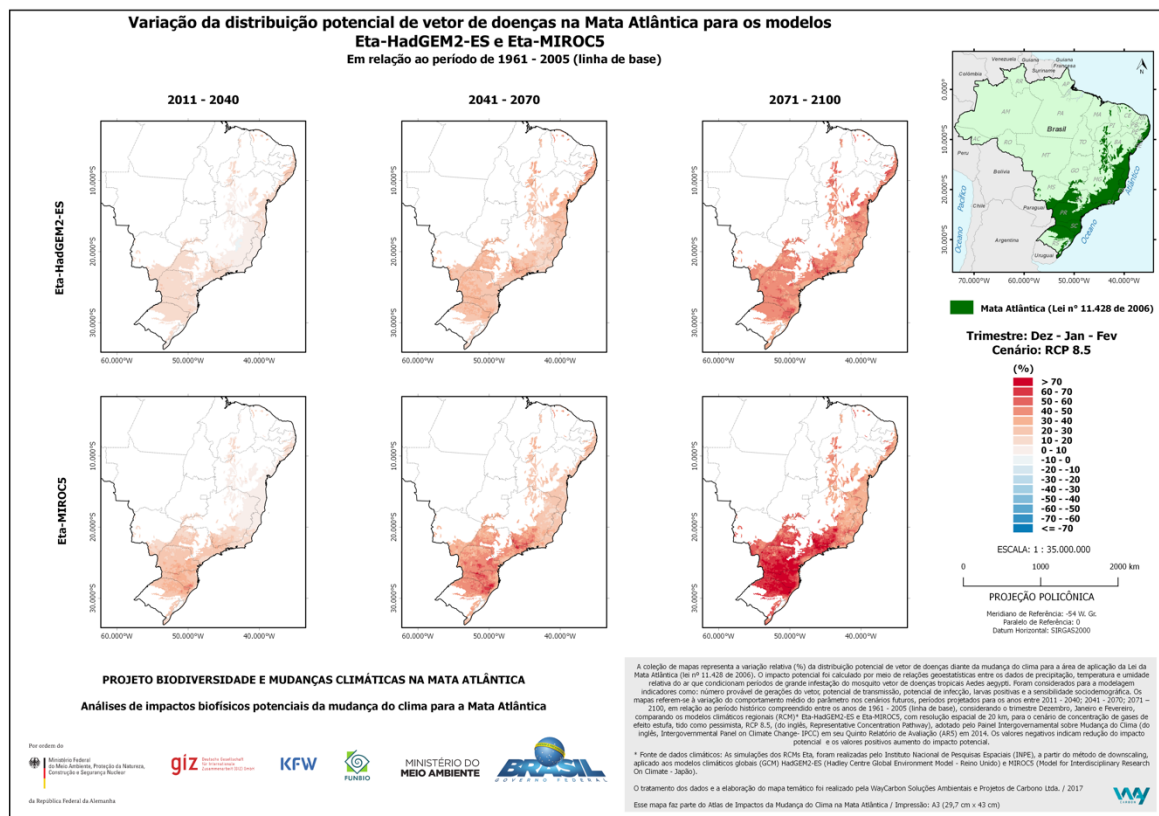


Figura 55. RCP 8.5 DJF. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

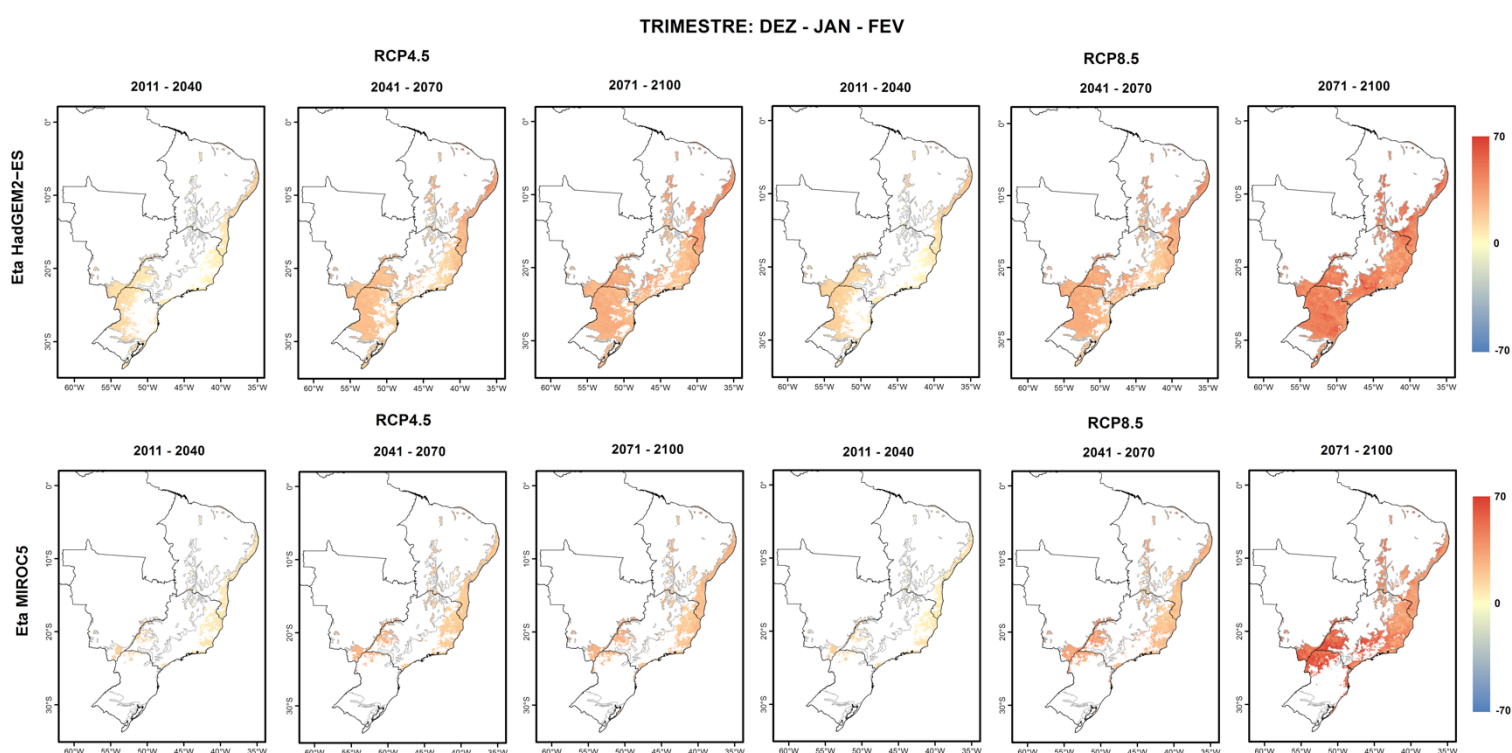


Figura 57. Índice de distribuição da dengue em DJF. Variação do índice nos *hotspots* (áreas com valores absolutos >80º percentil).

Inverno – Junho Julho Agosto (JJA)

Ambos os modelos em ambos cenários RCP estimam um progressivo aumento de superfície e de intensidade do impacto em toda a Mata Atlântica ao longo do período estudado (Figura 58 e 59).

Os resultados do M(Eta HadGEM2-ES) apresentam um cenário mais severo com incrementos relativos de +70% em todo o território até 2100 no RCP 8.5.

O M(Eta MIROC5) prevê aumentos entre +20% e +40% no território para o RCP 8.5. No período 2071-2100, observa-se uma importante variação positiva (até +50%) na região Nordeste, ligada ao aumento da temperatura (+5%), precipitação média (+18%) e umidade relativa (+3%) – importantes fatores para o desenvolvimento da doença.

A Figura 60 apresenta a variação do impacto nos *hotspots* selecionados. O cenário RCP 8.5 apresenta os resultados mais severos em ambos os modelos. O M(Eta HadGEM2-ES) prevê um aumento no Nordeste de até 36% até o 2100 de acordo com variações climáticas na temperatura e umidade relativa do ar. Ainda mais evidente é o incremento na região Sul (picos de +80%) ligado ao aumento de precipitação (+26%) e temperatura mínima (+4%) previstos pelo M(Eta HadGEM2-ES).

Um cenário símile – porém mais ameno - pode ser observado para o RCP 8.5 nos resultados do M(Eta MIROC5) até 2100. O modelo prevê um aumento progressivo em todo o território com picos de +50% no Nordeste. O incremento nas regiões do Sul é menos extenso que o do M(Eta HadGEM2-ES).

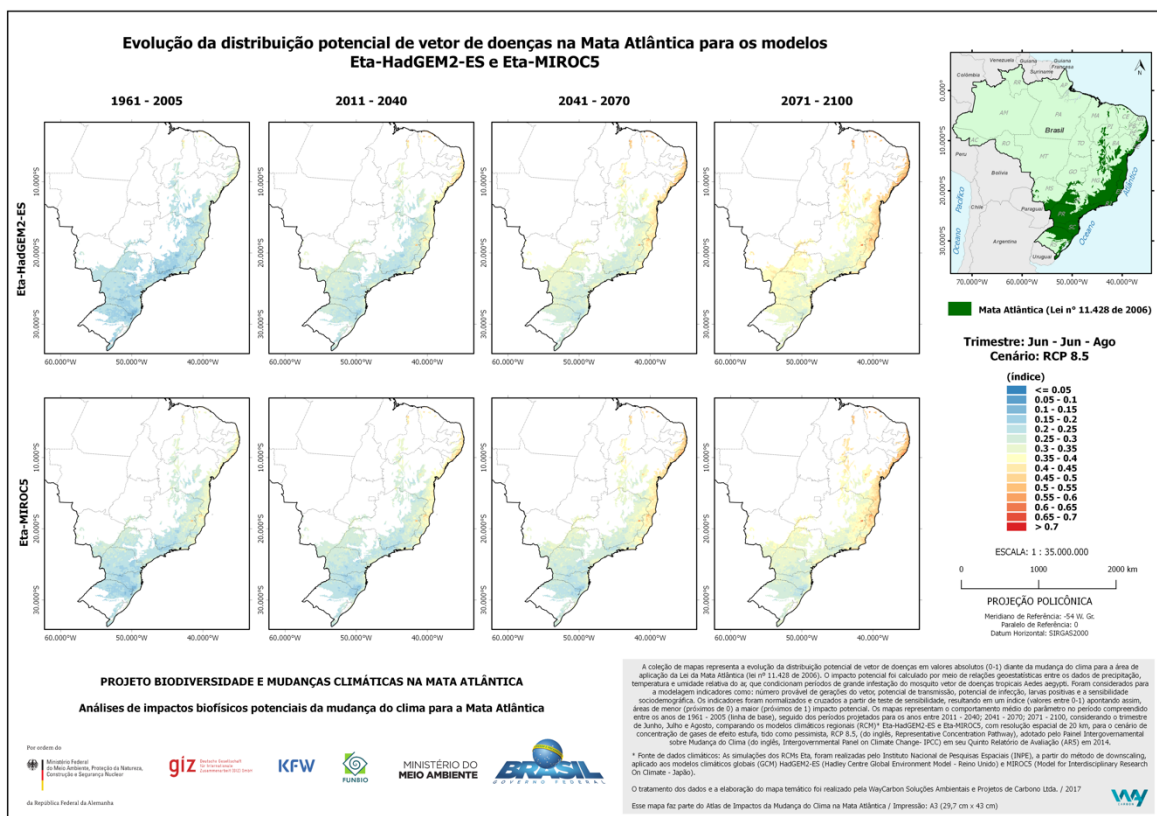
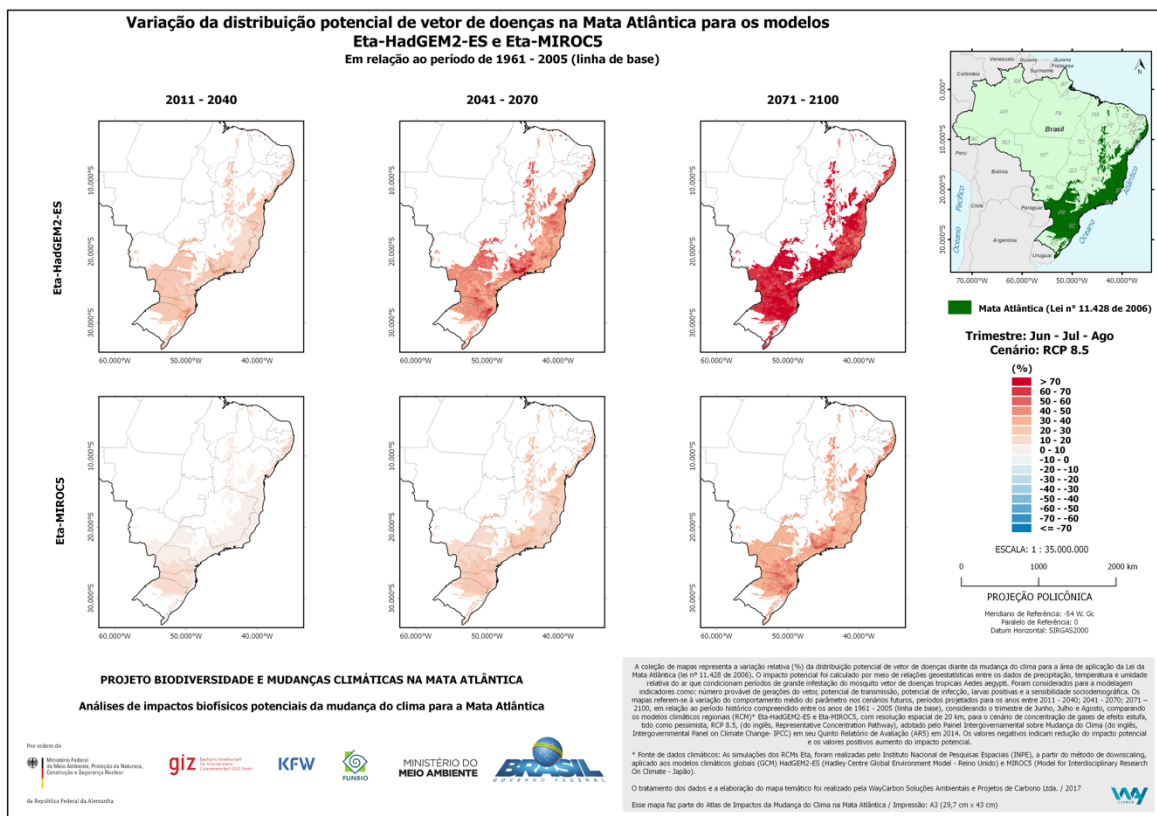


Figura 58. RCP 8.5 JJA. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

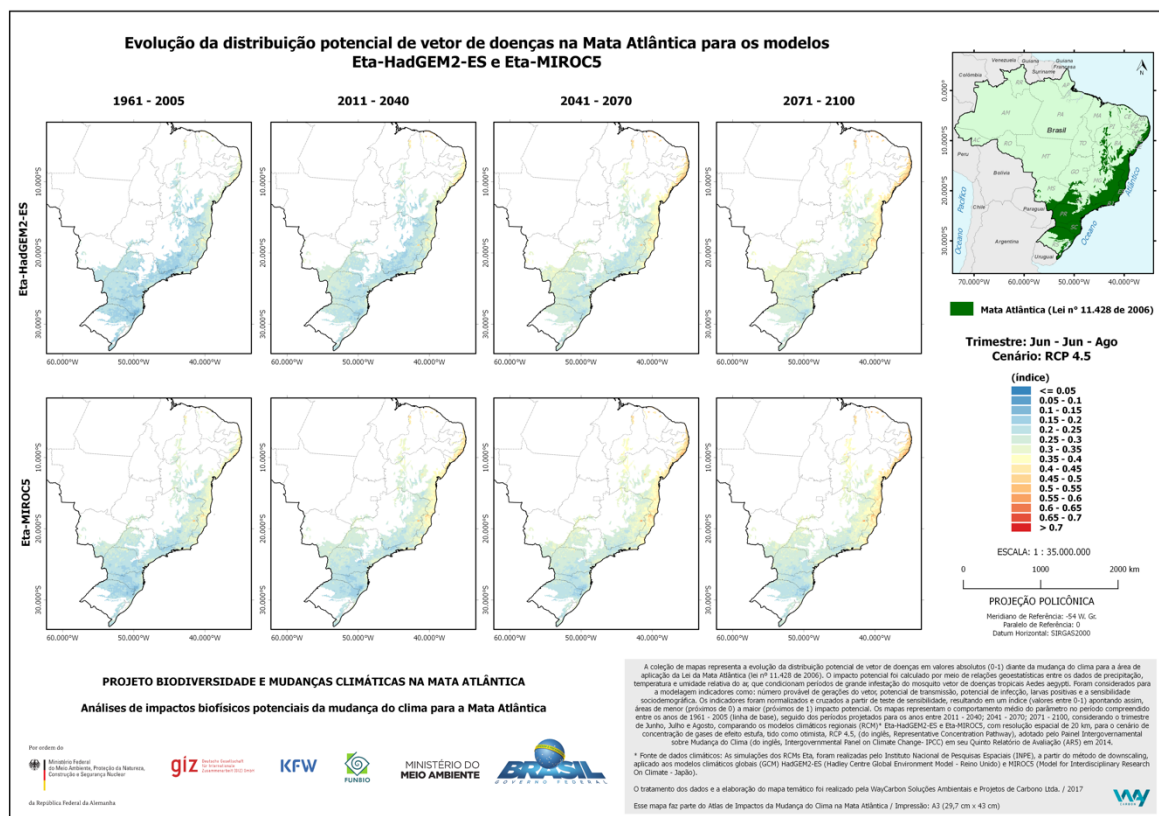
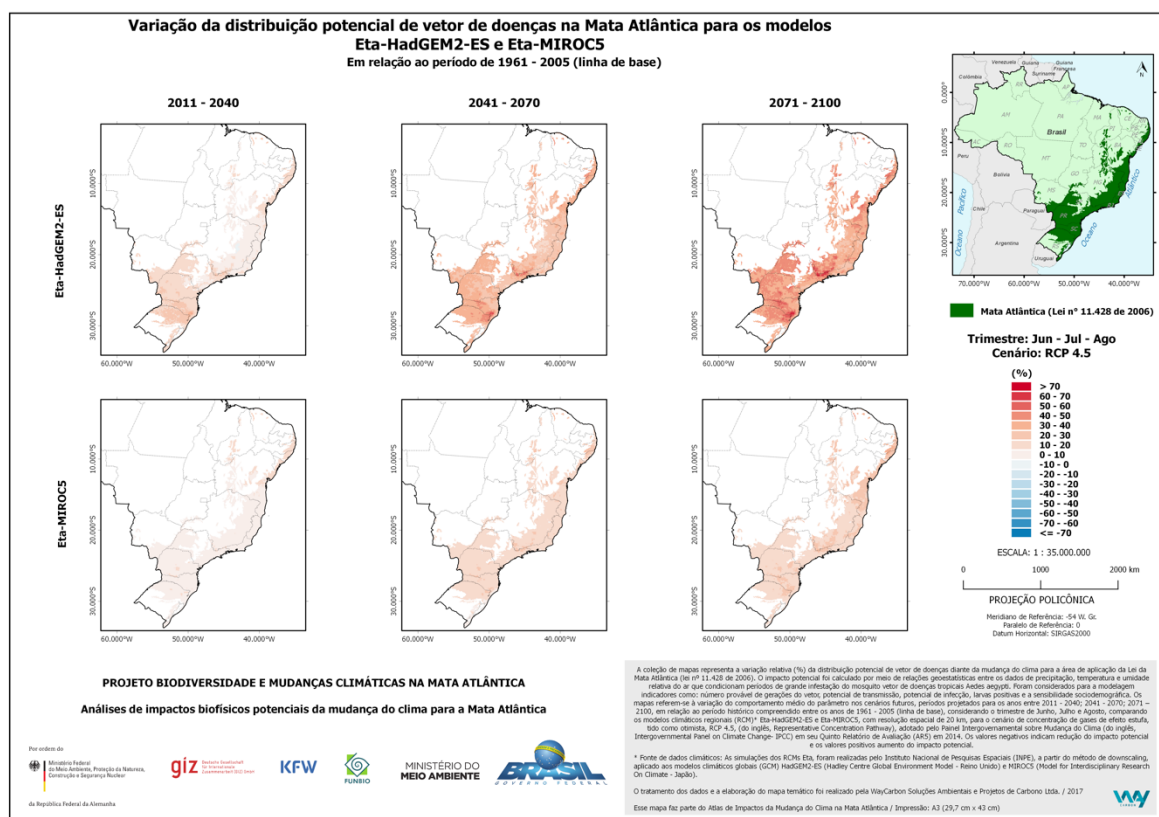


Figura 59. RCP 4.5 JJA. A) variação (%) do índice de distribuição da dengue em comparação a linha de base 1960-2005. B) Variabilidade espacial do índice na Mata Atlântica - janelas temporais 1960-2005, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

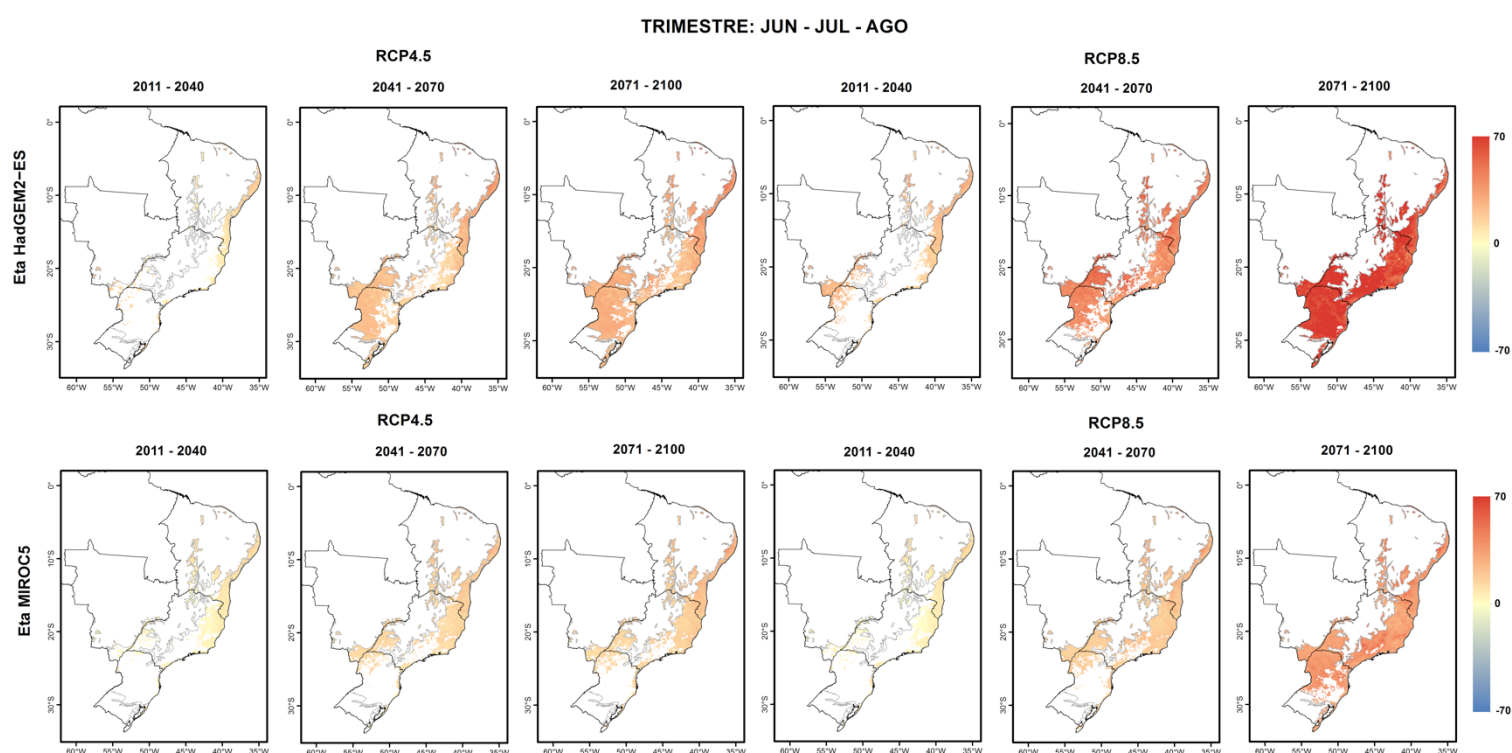


Figura 60. Índice de distribuição da dengue em JJA. Variação do índice nos *hotspots* (áreas com valores absolutos >80º percentil).

4 Síntese comparativa dos resultados

As conclusões apresentadas são o resultado da sinergia entre um componente físico (sensibilidade) e um componente climático (exposição) dos impactos. Os dados biofísicos ficaram constantes ao longo das simulações, portanto as diferenças entre o comportamento dos modelos de impacto se explicam através dos diferentes valores de entrada – i.e., projeções dos valores de temperatura e precipitações (e relativos extremos) – gerados pelos modelos climáticos Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC5.

Os Quadros 2 e 3 sintetizam os principais resultados obtidos pelos modelos de impactos e os fatores climáticos explicativos que determinaram eventuais divergências em cada cenário.

Os resultados dos quadros dizem respeito as tendências médias por região para os *hotspots*, apresentando as áreas com os maiores valores absolutos do impacto potencial. As cores dadas às siglas das regiões representam a tendência de aumento (vermelho), manutenção (amarelo) ou redução (azul) do impacto, para o ano de 2100 em relação ao período histórico (1961-2005). Vale ressaltar que em todos os casos, mesmo para aqueles que apresentam uma redução do impacto, os valores absolutos estão acima dos 80º percentil, o que difere é a interpretação. Para uma região que apresenta redução na variação relativa, significa que o impacto tem grande relevância no momento atual, e esse valor vai diminuindo ao longo do período estudado, mas continua a ser relevante em termos absolutos (tendência de alto para médio/alto). Aquele com variação incremental positiva, expressa a ideia que atualmente o impacto pode ser baixo, médio ou alto, mas que será mais relevante no período futuro projetado (tendência de baixo, médio ou alto para alto). As regiões são apresentadas pelas suas siglas, a saber: Sul – S, Sudeste – SE, Centro-Oeste – CO e Nordeste – NE.

Figura 61. Síntese dos resultados de cada modelo de impacto no cenário RCP 8.5.

IMPACTO	PERÍODO	Eta HadGEM2-ES		Eta MIROC5	
		REGIÕES	FATORES EXPLICATIVOS	REGIÕES	FATORES EXPLICATIVOS
Inundação	Anual	S-SE	S - aumento dos extremos de precipitação SE - diminuição dos extremos de precipitação	S-SE-NE	S - aumento dos extremos de precipitação SE - manutenção média dos extremos de precipitação NE - diminuição dos extremos de precipitação
Erosão hídrica	DJF	S-SE	S - pouca variação da precipitação SE - diminuição da precipitação	S-SE-CO	S, SE e CO - aumento da precipitação
	JJA	S-SE	S e SE - aumento da precipitação	S-NE	S e NE - pouca variação da precipitação
Deslizamento	DJF	S-SE	S - pouca variação da precipitação SE - diminuição da precipitação	S-SE	S e SE - aumento da precipitação
	JJA	S-SE	S - aumento de precipitação SE - pouca variação da precipitação	S-NE	S - pouca variação da precipitação SE - aumento da precipitação
Disponibilidade de água no solo	DJF	S-SE-CO-NE	S, SE, CO e NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura	NE	NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura
	JJA	SE-CO-NE	CO - diminuição da precipitação SE e NE - pouca variação da precipitação	S-SE-NE	S - pouca variação da precipitação SE e NE - diminuição da precipitação
Zoneamento agroclimático	DJF	S-SE-CO-NE	S, SE, CO e NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura	SE-CO-NE	CO e NE - diminuição da precipitação e umidade relativa do ar, aumento da temperatura SE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
	JJA	S-SE-CO-NE	SE, CO e NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura S - pouca variação da precipitação e aumento da umidade relativa do ar	S-SE-CO-NE	CO e NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura S - precipitação mais bem distribuída SE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
Ocorrência de fitofisionomias	Anual		grande variação de áreas aptas climaticamente devido as restrições de precipitação e aumento de temperatura e seus extremos		maior estabilidade de área apta climaticamente principalmente para as florestas ombrófilas devido as maiores taxas de precipitação
Distribuição da Dengue	DJF	S-SE-CO-NE	S, SE, CO e NE - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação e aumento da umidade relativa do ar	SE-CO-NE	SE e CO - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação NE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
	JJA	S-SE-CO-NE	S, CO e NE - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação e aumento da umidade relativa do ar SE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura	SE-CO-NE	SE, CO e NE - aumento da precipitação e extremos de temperatura. O Sul não apresenta baixo impacto pela redução da umidade relativa do ar

Figura 62. Síntese dos resultados de cada modelo de impacto no cenário RCP 4.5.

IMPACTO	PERÍODO	Eta HadGEM2-ES		Eta MIROC5	
		REGIÕES	FATORES EXPLICATIVOS	REGIÕES	FATORES EXPLICATIVOS
Inundação	Anual	S-SE	S - aumento dos extremos de precipitação SE - diminuição dos extremos de precipitação	S-SE-NE	S e NE - aumento dos extremos de precipitação SE - diminuição dos extremos de precipitação
Erosão hídrica	DJF	S-SE-NE	NE - pouca variação da precipitação S e SE - diminuição da precipitação	S - SE-NE-CO	SE e CO - aumento da precipitação S e NE - pouca variação da precipitação
	JJA	S	S - aumento da precipitação	S-NE	S - pouca variação da precipitação NE - aumento da precipitação
Deslizamento	DJF	S-SE	S e SE - pouca variação da precipitação	S-SE	S - pouca variação da precipitação SE - aumento da precipitação
	JJA	S-SE	S - aumento de precipitação SE - pouca variação da precipitação	SE-NE	S - pouca variação da precipitação SE - aumento da precipitação
Disponibilidade de água no solo	DJF	S-SE-CO-NE	S e CO - diminuição da precipitação e aumento da temperatura SE e NE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura	NE	NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura
	JJA	SE-CO-NE	SE - diminuição da precipitação CO e NE - pouca variação da precipitação	SE- CO -NE	SE, CO e NE - diminuição da precipitação
Zoneamento agroclimático	DJF	S-SE-CO-NE	S e SE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura CO e NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura	SE-CO-NE	SE,CO e NE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
	JJA	S-SE-CO-NE	NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura S, SE e CO - pouca variação da precipitação e aumento da umidade do ar	SE-CO-NE	NE - diminuição da precipitação e aumento da temperatura SE e CO - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
Ocorrência de fitofisionomias	Anual		grande variação de áreas aptas climaticamente devido as restrições de precipitação e aumento de temperatura e seus extremos		maior estabilidade de área apta climaticamente principalmente para as florestas ombrófilas devido as maiores taxas de precipitação
Distribuição da Dengue	DJF	S-SE-CO-NE	S, SE, CO e NE - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação e aumento da umidade relativa do ar	SE-CO-NE	SE - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação CO e NE - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura
	JJA	S-SE-CO-NE	CO e NE - aumento dos extremos de temperatura e extremos precipitação e aumento da umidade relativa do ar SE e S - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura	SE-CO-NE	SE e NE - aumento da precipitação e extremos de temperatura. CO - relação equilibrada entre variação de precipitação e temperatura.O Sul não apresenta baixo impacto pela redução da umidade relativa do ar

5 Considerações finais

Modelos de impacto apresentam resultados às vezes muito divergentes, devido às diferentes projeções climáticas que os alimentam. No presente estudo, os modelos utilizados apontam em alguns casos previsões bastante parecidas e em outros casos previsões muito diversas, dificultando a escolha para tomadores de decisão de um ou outro resultado. Ou seja, mesmo com um profundo grau de detalhamento, a utilização de um só modelo, ou de modelos de forma isolada, não consegue apontar direcionamentos claros. Isso reforça a necessidade de regionalizar mais modelos climáticos globais para América Latina, visando apontar claramente um padrão nos valores de temperatura e precipitações para Brasil. Uma abordagem multi-modelo vai permitir reduzir a incerteza ligada às simulações com cada modelo climático identificando tendências futuras robustas e acordadas dos impactos da mudança do clima no país.

6 Referências

- ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ASSAD, E. et al. , 2013. Impacts of Climate Change on Brazilian Agriculture. World Bank.
- CAMARINHA, P. I. M., 2016. Vulnerabilidade aos desastres naturais decorrentes de deslizamentos de terra em cenários de mudanças climáticas na porção paulista da Serra do Mar. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <https://sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.19.03.49-TDI>
- COLOMBO, A. F. Consequências da mudança do clima globais para as espécies arbóreas da Mata Atlântica. 2007. Tese de Doutorado– Instituto de Biologia/UNICAMP, Campinas.
- CHOU, C.S., et al., 2014a. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3, 438-454.
- CHOU, C.S., et al., 2014b. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, 3, 512-525.
- EAGLEMAN, J. R. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. Agricultural meteorology, v. 8, p. 385-394, 1971.
- FOLLADOR, M., 2016. Strengthening partnerships for monitoring and observation of impacts of climate change. Final Report. Ministry of Science, Technology, Innovation and Communication, pp.22. Brasilia, Brazil.
- FOLLADOR, M. et al., 2016. Análise de impactos biofísicos potenciais da mudança do clima para mata atlântica. Relatório final do projeto: Elaboração de análises de impactos biofísicos potenciais da mudança do clima para a Mata Atlântica, com foco nas regiões dos mosaicos de Unidades de Conservação do Projeto Biodiversidade e Mudança do clima na Mata Atlântica. Waycarbon-MMA-GIZ. Disponível: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica/projeto-biodiversidade-e-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-na-mata-atl%C3%A2ntica>
- FOLLADOR, M. et al., 2017a. Modelling potential impacts of climate change in the Atlantic Forest closing the gap to identify vulnerabilities in Brazil. Book: Climate Change Adaptation in Latin America: managing vulnerability, fostering resilience - Climate Change Management series – Springer. ISBN 978-3-319-56945-1, 2017.
- FOLLADOR, M. et al., 2017b. Impactos biofísicos potenciais da mudança do clima na Mata Atlântica – Relatório Final do projeto: Avaliação dos resultados para dois modelos climáticos disponíveis para o Brasil: Eta HadGEM2-ES e Eta MIROC55. Waycarbon-MMA-GIZ, pp.62.
- FULLERTON, L.M., Dickin, S.K., SchusterWallace, C.J., 2014. Mapping Global Vulnerability to Dengue using the Water Associated Disease Index. United Nations University.

GEVAERD, Rodrigo; FREITAS, Saulo, 2006.. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera parte I: descrição da metodologia e validação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 1-15.

KNAPP, Alan K. et al., 2002. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Science*, v. 298, n. 5601, p. 2202-2205.

KRAEMER, Moritz UG et al. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Elife*, v. 4, p. e08347, 2015.

LAMBRECHTS, Louis et al. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 18, p. 7460-7465, 2011.

LINO, J. S. Evolução do sistema plantio direto e produção de sedimentos no Estado do Rio Grande do Sul. 2010. 119 f.Tese (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.

MARENGO, J., 2007. Mudança do clima globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição da mudança do clima para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2007.

NAUMANN, G., Barbosa, P., Iglesias, A. and Vogt, J., 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. *Hydrol. Earth Syst. Science*, 18, pp. 1591-1604.

PHILLIPS, Steven J.; DUDÍK, Miroslav; SCHAPIRE, Robert E., 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*. ACM, p. 83.

PORPORATO, A., DALY, E., RODRIGUEZ-ITURBE, I., 2004. Soil water balance and ecosystem response to climate change. **The American Naturalist**, v. 164, n. 5, p. 625-632.

ROLIM, Samir G. et al., 2005. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. **Oecologia**, v. 142, n. 2, p. 238-246.

SALIS, S. M.; SHEPHERD, G. J.; JOLY, C. A., 1995. Floristic comparison between mesophytic forests of the interior of the state of São Paulo, S.E. Brazil. **Vegetation**, v. 119, p. 55-164.

SHANNON, Claude E., 1949. Communication theory of secrecy systems. **Bell system technical journal**, v. 28, n. 4, p. 656-715,.

SILVA, A.M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57, 251–259.

SILVA, A.M. & ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. *Geociências*, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005. Disponível em: <http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias>.

WISCHMEIER, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:246-249.

7 Anexo 1: Detalhamento dos dados de entrada dos modelos

7.1 Variáveis climáticas

SIGLA	VARIÁVEL	UNIDADE	DESCRIÇÃO
UR2M	Umidade	%	Média da umidade relativa do ar a
TP2M	Temperatura média	°C	Média da temperatura do ar a 2
MXTP	Temperatura máxima	°C	Média da máxima da temperatura
MNTP	Temperatura mínima	°C	Média da mínima da temperatura
R10mm	Dias no ano com precipitação > 10mm	dias	Números de dias do ano com
PREC	Precipitação total	mm	Média da precipitação total
CWD	Número máximo de dias consecutivos	dias	Duração dos períodos chuvosos
R95p	Precipitação anual total dos dias em que precipitação > percentil 95	mm	Precipitação de intensidade extrema
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos	mm	Precipitação acumulada em 5 dias, máxima ocorrida em um ano
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano	dias	Duração de períodos de estiagem
WSDU	Número máximo de dias consecutivos no ano com temperatura máxima > percentil 90	dias	Duração de ondas de calor no ano
Tn90p	Porcentagem anual de dias em que a temperatura mínima > percentil 90	%	Frequência dos dias muito quentes durante o ano

7.2 Inundação

Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Topografia (MDE)	TopoData-INPE1	Resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m	2008
Malha Municipal	IBGE2	1 : 500.000	2010
Precipitação (mm/dia)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC55	Região Sudeste - 5 km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100
Mapa de Desastres Naturais causados por Inundação Brusca e Alagamento	CEPED3	Brasil	1991 - 2010

1. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) - <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>
2. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) - <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>
3. CEPED(Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres) - <http://www.ceped.ufsc.br/>

7.3 Erosão hídrica

Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Precipitação (mm/mensal)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC5	Região Sudeste - 5 km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100
Precipitação (mm/anual)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC5	Região Sudeste - 5 km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100

7.4 Deslizamento

Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Topografia (MDE)	TopoData-INPE	Resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m	2008
Tipo de solo	EMBRAPA	1 : 5.000.000	2011
Precipitação (mm/mensal)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC5	Região Sudeste - 5 km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100
Precipitação (mm/anual)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC5	Região Sudeste - 5km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100

7.5 Umidade do solo

Sensibilidade			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Mapa de solos	Embrapa ¹	1 : 5.000.000 - Brasil	2011
	PERH ²	1 : 1.250.000 - Estado da Bahia	2004
	IAC ³	1 : 250.000 - São Paulo	2006
	Embrapa	1 : 50.000 - Paraná	2006
Fitofisionomias	IBGE ⁴	1 : 5.000.000 - Brasil	2010
	Instituto Florestal ⁵	1 : 50.000 - São Paulo	2006
	ITCG ⁶	1 : 50.000 - Paraná	2000
Uso da terra	INPE ⁷	1 : 50.000 - Brasil	2014
	ITCG	1 : 50.000 - São Paulo	2002
	IPARDES ⁸	1 : 50.000 - Paraná	2002
	IBGE ⁹	1 : 5.000.000 - Brasil	2012
Precipitação (mm/ano)	INPE - Modelos globais e downscaling - ETA/HadGEM2-ES e ETA/MIROC5 ⁵	Região Sudeste - 5km Demais regiões 20 km	Janela temporal: 1960-1990; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100
Exposição climática			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE ¹⁰	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Média (°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Mínima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Máxima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Radiação Solar Extraterrestre	IAPAR ¹¹	20 km e 5 km Brasil	2015
Evapotranspiração Potencial	MODIS ¹²	20 km e 5 km Brasil	2014

1. Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Disponível em: <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>)
2. PERH: Plano Estadual de Recursos Hídricos (Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadVetorial>)
3. IAC: Instituto Agrônomo de Campinas
4. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica/mapa-da-area-de-aplicacao/>)
5. ITCG: Instituto de Terras Cartografia e Geociências (<http://www.itcg.pr>)
6. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://mapas.sosma.org.br/dados/>)
7. IPARDES: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
8. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/shapes/cobertura_e_uso_da_terra)
9. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
10. IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná
11. MODIS: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (Disponível em: ftp://ftp.ntsg.umd.edu/pub/MODIS/NTSG_Products/MOD16/)

7.6 Zoneamento agroclimático

Sensibilidade			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Disponibilidade de água no solo	----	20 km e 5 km Mata Atlântica	1961-2100
Kc (coeficiente da cultura)	FAO ¹	Tabular	1998
Exposição climática			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE ²	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Média(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Mínima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Máxima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Radiação Solar Extraterrestre	IAPAR ³	20 km e 5 km Brasil	2015
Evapotranspiração Potencial	MODIS ⁴	20 km e 5 km Brasil	2014

1. FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
(Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>)
2. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
3. IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná
4. MODIS: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
(Disponível em: ftp://ftp.ntsg.umd.edu/pub/MODIS/NTSG_Products/MOD16/)

7.7 Fitofisionomia

Sensibilidade			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Disponibilidade de água no solo	----	20 km e 5 km Mata Atlântica	1961-2100
Fitofisionomias	IBGE ¹ Instituto Florestal ITCG	1 : 5.000.000 - Brasil 1 : 50.000 - São Paulo 1 : 50.000 - Paraná	2010 2006 2000
Declividade (MDE)	TopoData ³	90 m	2008
Altitude (MDE)	TopoData	90 m	2008
Exposição climática			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE ²	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Média(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Mínima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Máxima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Umidade relativa do ar (%)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Sequência de dias secos (CDD)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Precipitação intensa (R10mm)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Noites quentes (TN90p)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Ondas de calor (WSDI)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100

1. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
(Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica/mapa-da-area-de-aplicacao/>)
2. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
3. TopoData: projeto do INPE
(Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>)

7.8 Dengue

Sensibilidade			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Ocorrência de dengue	SINAN ⁴	Municipal	2000-2014
Ocorrência de <i>Aedes aegypti</i>	DRYAD ³	Coordenada Mata Atlântica	1960-2014
Malha Municipal	IBGE ¹	1 : 500.000 - Brasil	2010
Exposição climática			
Descrição	Fonte	Extensão / Resolução	Escala temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE ²	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Média(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Mínima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Temperatura Máxima(°C)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Umidade relativa do ar (%)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Precipitação intensa (R10mm)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100
Precipitação intensa (R10mm)	INPE	20 km e 5 km América do Sul	1961-2100

1. IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
2. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
3. DRYAD: The global compendium of *Aedes aegypti* occurrence
(Disponível em: <http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.47v3c>)
4. SINAN: Sistema de informação de agravos de notificação
(Disponível em: <http://aplicacao.saude.gov.br/sinan/>)



Mata Atlântica

Biodiversidade e Mudanças Climáticas



