

GERAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR ESTUDOS EM PLANEJAMENTO DE INVESTIMENTOS PARA INFRAESTRUTURAS A PARTIR DOS DADOS DE PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Relatório 1/8 - Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das variáveis de temperatura e chuva com correção de viés utilizando o modelo Eta 20 km-CanESM, baseline, RCP4.5 e RCP8.5

Priscila Tavares

Elaborado por: Priscila da Silva Tavares - priscilatavares@gmail.com

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

EQUIPE TÉCNICA - MMA

Hugo do Valle Mendes (coordenação)
Adriana Brito da Silva
Jaqueline Leal Madruça

EQUIPE TÉCNICA - GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas
Pablo Borges de Amorim

EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA

Flavio Rene Brea Victoria
Frederico Moraes Rudorff

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Chou Sin Chan

Ministério do Meio Ambiente

Espanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP
70068-901
Telefone: + 55
61 2028-1206

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil

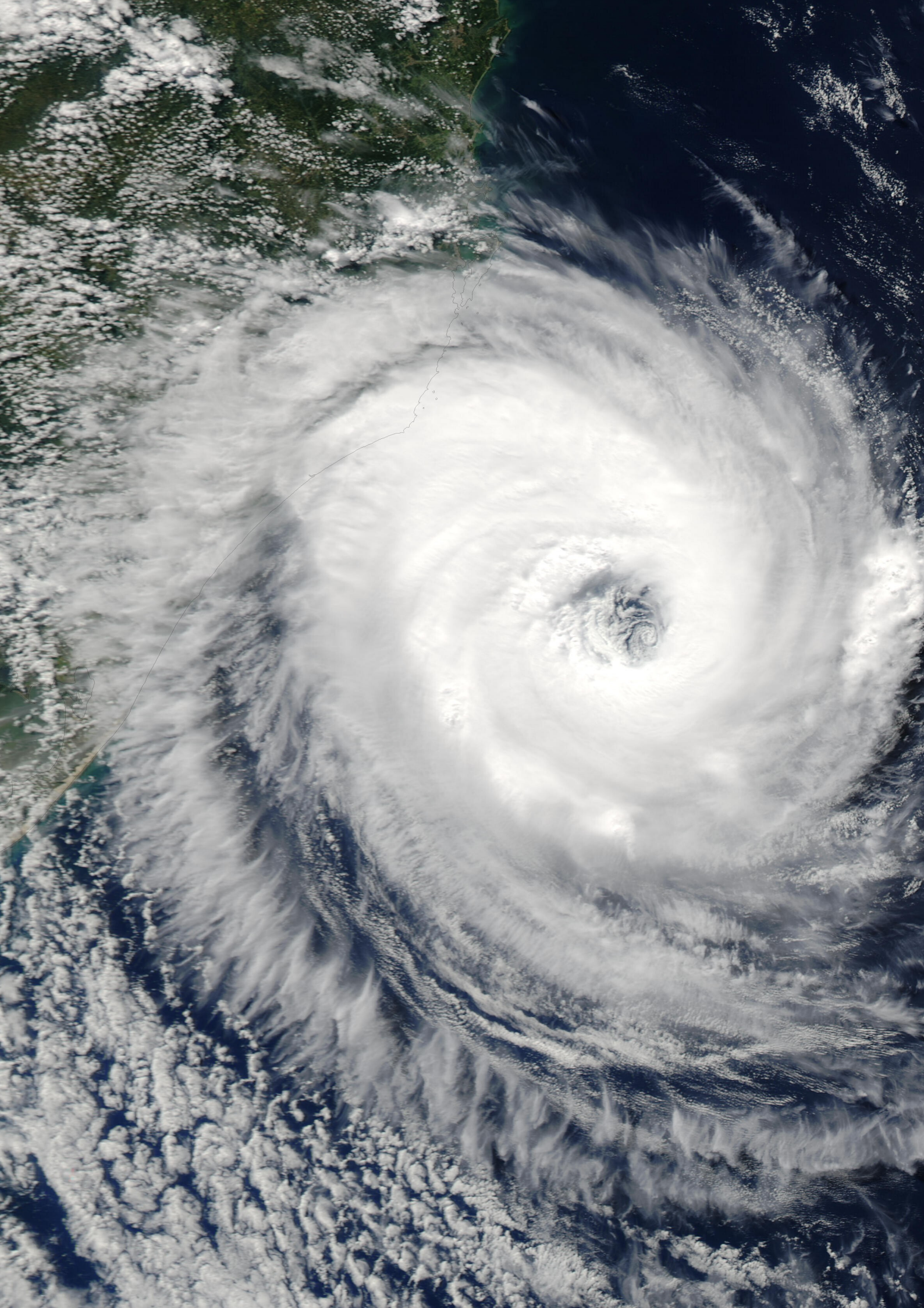
A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara
T +55 61 9 99 89 71 71
T +55 61 2101 2098
E ana-carolina.camara@giz.de



Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	viii
1.0 Introdução	1
1.1 <i>Objetivo</i>	3
2.0 Dados e Metodologia	3
2.1 <i>Modelo Eta-CanESM</i>	3
2.2 <i>Correção de viés</i>	5
2.3 <i>Extremos Climáticos</i>	7
2.3.1 <i>Índices de Extremos de Precipitação</i>	8
2.3.2 <i>Índices de Extremos de Temperatura</i>	10
2.4 <i>Metodologia</i>	14
3.0 Resultados	15
4.0 Produtos disponibilizados	21
5.0 Próximas etapas	50
6.0 Síntese e considerações finais	50
Referências Bibliográficas	51

Lista de Figuras

Figura 1.1. Níveis de risco associados às mudanças climáticas. IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Fonte: adaptado de IPCC (2014) e Dias (2014). _____ 2

Figura 2.1. Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para um período de referência. Os eixos verticais mostram as FDP's e os eixos horizontais são em milímetros. O ponto futuro do modelo (FDP_SimFUT) é deslocado no mesmo nível em comparação a FDP simulada no período histórico (FDP_SimHIST) e a FDP observada num período de referência (FDP_Obs), processo esse que preserva a classificação no valor deslocado. Fonte: Adaptado de Bárdossy e Pegram (2011). _____ 6

Figura 3.1. Análise das correções de precipitação (mm/dia) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1961-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. _____ 17

Figura 3.2. Análise das correções da temperatura máxima (°C) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. _____ 18

Figura 3.3. Análise das correções da temperatura mínima (°C) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés _____ 19

Figura 4.1. Índice CDD- Dias secos consecutivos (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 24

Figura 4.2. Índice CSDI- Duração das ondas de frio (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 25

Figura 4.3. Índice CWD- Dias consecutivos úmidos (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 26

Figura 4.4. Índice DTR- Amplitude anual média da temperatura diurna (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 27

Figura 4.5. Índice FD- Número de dias com geadas (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 28

Figura 4.6. Índice ID- Número de dias muito frio (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 29

Figura 4.7. Índice PRCPTOT- Precipitação anual total (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 30

Figura 4.8. Índice R10mm- Número de dias no ano com chuva acima de 10 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 31

Figura 4.9. Índice R20mm- Número de dias no ano com chuva acima de 20 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 32

Figura 4.10. Índice R25mm- Número de dias no ano com chuva acima de 25 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 33

Figura 4.11. Índice R95p- Precipitação de intensidade moderada a extrema (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 34

Figura 4.12. Índice R99p- Precipitação de intensidade muito extrema (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 35

Figura 4.13. Índice RX1day- Máxima precipitação anual em 1 dia (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros

RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 36

Figura 4.14. Índice RX5day- Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 37

Figura 4.15. Índice SDII- Intensidade média da precipitação anual (mm/dia). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 38

Figura 4.16. Índice SU25- Dias de verão (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 39

Figura 4.17. Índice TN10p- Frequência das noites muito frias durante o ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 40

Figura 4.18. Índice TN90p- Frequência das noites muito quentes durante o ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 41

Figura 4.19. Índice TNn- Menor temperatura mínima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 42

Figura 4.20. Índice TNx- Maior temperatura mínima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 43

Figura 4.21. Índice TR- Noites Tropicais (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 44

Figura 4.22. Índice TX10p- Frequência de dias muito frios no ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 45

Figura 4.23. Índice TX90p- Frequência de dias muito quentes no ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 46

Figura 4.24. Índice TXn- Menor temperatura máxima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 47

Figura 4.25. Índice TXx- Maior temperatura máxima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 48

Figura 4.26. Índice WSDI- Duração das ondas de calor no ano (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. _____ 49

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). _____ 14

Tabela 3.1. Índices de extremos climáticos para a estação meteorológica de São Paulo (1961-2005), calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-CanESM 20 km com valores sem correção de viés (Eta) e com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE e SS referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto e o índice *Skill Score* (%). _____ 20

Tabela 4.1. Lista de conjunto de dados. _____ 21

1.0 Introdução

Nos últimos anos, a variabilidade do clima e dos eventos extremos tem afetado fortemente o Brasil. Alguns estudos identificaram um grande aumento na frequência e intensidade dos eventos de precipitação intensa, desde os anos de 1950, além de aumento da frequência de seca (Groisman et al., 2005; Zeng et al., 2008; Marengo et al., 2010; Marengo et al., 2013; Espinoza et al., 2014). Dias e noites frias, além de eventos de geadas tem se tornado cada vez menos frequentes, enquanto dias quentes, noites quentes, e ondas de calor tem aumentado a frequência de ocorrências (Marengo et al. 2010). Tais eventos produzem severos impactos socioeconômicos nas atividades humanas tais como na agricultura, infraestrutura e gerenciamento de recursos hídricos e energia.

Vale conceituar que os “eventos extremos” são aqueles que se distanciam das condições habituais de uma série histórica e que conseqüentemente geram interesse e preocupação na sociedade, devido ao potencial que apresentam em desestruturar o ambiente físico e as atividades de determinado lugar ou região, causando prejuízos às comunidades afetadas e ao poder público. Espera-se que as mudanças climáticas modifiquem a frequência, intensidade e duração dos eventos extremos em muitas regiões. De acordo com o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*) as evidências já são de moderadas (alta confiança) a alta que 1°C adicional na temperatura global contribua para o aumento dos riscos relacionados aos eventos climáticos extremos, tais como ondas de calor, precipitação extrema e inundações costeiras (IPCC,2014), vide Figura 1.1. Além do aumento dos riscos dos eventos extremos, aumenta também o risco de eventos singulares de grande escala, ou seja, eventos ainda não experimentados (Figura 1.1). A menção a eventos extremos denota tanto eventos chuvosos e secos, como quentes e frios. Isto é, uma variabilidade maior do que a conhecida nos dias atuais com eventos adversos

ocorrendo sucessivamente. Essa perspectiva assinala a necessidade de um planejamento e adequação das infraestruturas, principalmente aquelas associadas aos recursos hídricos (Dias, 2014).

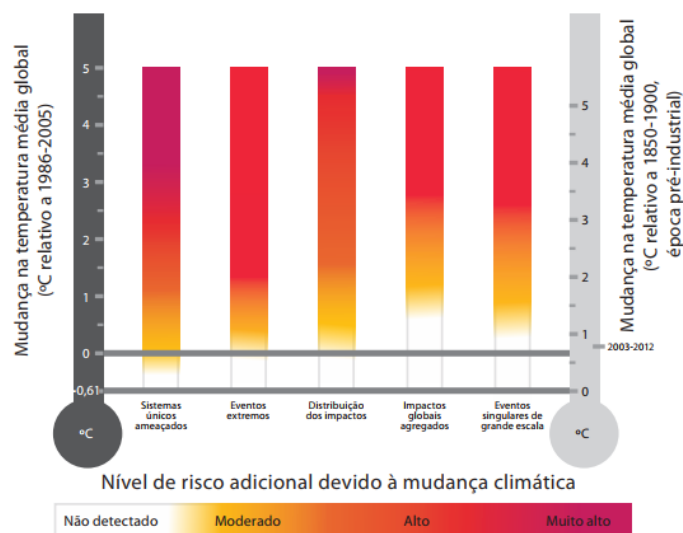


Figura 1.1. Níveis de risco associados às mudanças climáticas. IPCC AR5 – *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Fonte: adaptado de IPCC (2014) e Dias (2014).

Sendo assim, o uso e aplicação de projeções de modelos climáticos, com intuito de entender as mudanças na probabilidade dos extremos sob diferentes cenários de mudanças climáticas, podem contribuir para dar suporte ao planejamento em diversos setores socioeconômicos/ambientais. Projeções climáticas regionalizadas dos cenários de concentração dos gases do efeito estufa e suas forçantes radiativas no clima – IPCC AR5 - foram realizadas por Chou et. al (2014a e 2014b) através do modelo Eta. Essas projeções foram utilizadas para elaborar a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016) e têm sido usadas para apoiar diversos estudos de impactos. Portanto, as estimativas dos extremos climáticos com correção de viés podem contribuir para estudos de impactos e planejamento em setores chave do Brasil.

1.1 Objetivo

Cumprir o primeiro produto do Projeto CSI – Ampliação dos Serviços Climáticos em investimentos de Infraestruturas /PN: 16.9025.4-003.00, termo de referência: Geração de informações, a partir dos dados de projeções de mudanças climáticas, para subsidiar estudos em planejamento de investimentos para infraestruturas. O produto consiste de um Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das variáveis de temperatura e chuva com correção de viés utilizando o modelo Eta 20 km-CanESM, baseline, RCP4.5 e RCP8.5.

2.0 Dados e Metodologia

Além da metodologia e as equações utilizadas para cálculos dos índices de extremos climáticos, são apresentadas também a seguir uma breve descrição do modelo Eta-CanESM e o método usado para correção de viés.

2.1 Modelo Eta-CanESM

O modelo atmosférico Eta é da categoria de modelos chamados de regionais ou de área limitada e que, portanto, necessitam de modelos globais para lhe fornecer informações da atmosfera nos contornos laterais. O Eta possui representação complexa dos processos físicos e dinâmicos da atmosfera, incluindo explicitamente os processos de mesoescala. Esse modelo foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). A partir de 1996, tornou-se operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) com a finalidade de complementar a previsão numérica de tempo realizada com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC (Chou, 1996). Uma particularidade do modelo e que dá nome ao próprio constitui-se da utilização da coordenada vertical eta (η),

considerada mais adequada para simulações em regiões de topografia complexa, tais como região dos Andes e as áreas serranas brasileiras.

Ajustes iniciais no modelo Eta para gerar projeções dos cenários de mudanças climáticas sobre o Brasil foram realizadas por Pesquero et al. (2009), Chou et al. (2012) e Marengo et al. (2012). As últimas integrações multidecenais do clima futuro (cenários IPCC AR5) com o Eta foram realizadas por Chou et al. (2014a, 2014b) e Lyra et al. (2017). Chou et al. (2014a, 2014b) realizaram integrações na grade horizontal regular de 20 km x 20 km, a partir do aninhamento do Eta em três modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*), enquanto que Lyra et al. (2017) realizaram integrações na grade regular de 5 km X 5 km a partir do segundo aninhamento do modelo. As simulações apresentaram boa destreza na representação do clima presente da América do Sul e as integrações em mais alta resolução favorecem uma melhor representação dos extremos de chuva e temperatura na região sudeste do Brasil. Estas simulações e projeções do clima futuro foram utilizadas na Terceira Comunicação Brasileira da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI 2016) e têm sido usadas para dar suporte em diversos estudos de impactos tais como em Tavares et al. (2017) e Viola et al. (2014). A versão do modelo utilizado na realização deste produto consiste do Eta aninhado ao modelo climático global CanESM2 na resolução horizontal de 20 km, chamado a partir de agora como Eta-CanESM. O modelo CanESM2 (*Canadian Earth System Model Second Generation*) (Arora et al., 2011; Chylek et al., 2011) do *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCMA), usado como modelo condutor, é uma junção do modelo acoplado oceano-atmosfera CanCM4 com o modelo de vegetação dinâmica e ciclo do carbono terrestre CTEM (*Canadian Terrestrial Ecosystem Model*) (Arora e Boer, 2010). Detalhamentos do Eta-CanESM podem ser encontrados em Chou et al. (2014a, 2014b). As integrações do clima futuro realizadas com este modelo são baseadas

nos caminhos representativos de concentração dos Gases do Efeito Estufa (GEE) e suas forçantes radiativas no clima, nomeados de *Representative Concentration Pathway* (RCP) (Moss et al. 2010). Foi considerado um cenário de concentração intermediária (RCP4.5) e um de alta concentração (RCP8.5), semelhantes aos cenários anteriores B1 e A1FI (IPCC, 2007), ambos utilizados na realização deste produto.

2.2 Correção de viés

No cálculo dos índices de extremos climáticos são usados valores diários das variáveis de temperatura máxima e mínima do ar (°C) e precipitação (mm). A precipitação foi disponibilizada pelo grupo do modelo Eta já com método de correção de viés aplicado. O método utilizado na correção dessa variável foi da transformação quantil-quantil (*Quantile-Quantile*) proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esse método é baseado em funções de distribuição de probabilidades cumulativas (FDP's), comparando curvas de probabilidade acumulada da variável observada e da variável simulada por um modelo climático no clima presente e nas projeções do clima futuro. As FDP's são calculadas em escala mensal para cada ponto de grade do modelo. A Figura 2.1 ilustra o esquema utilizado no método de Bárdossy e Pegram (2011).

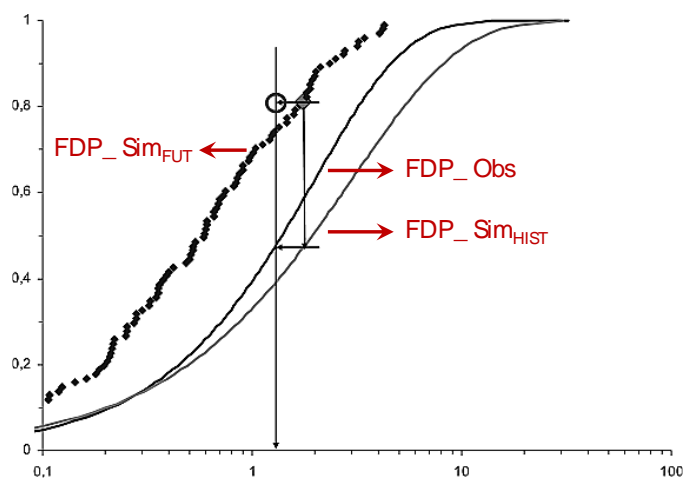


Figura 2.1. Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para um período de referência. Os eixos verticais mostram as FDP's e os eixos horizontais são em milímetros. O ponto futuro do modelo (FDP_SimFUT) é deslocado no mesmo nível em comparação a FDP simulada no período histórico (FDP_SimHIST) e a FDP observada num período de referência (FDP_Obs), processo esse que preserva a classificação no valor deslocado. Fonte: Adaptado de Bárdossy e Pegram (2011).

O banco de dados observado usado para a correção foi formado por dados de estações meteorológicas (automáticas e convencionais) e agrometeorológicas disponibilizados por alguns institutos, agências ou empresas, tais como o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Cargill, etc. Estes dados foram espacializados e interpolados na grade horizontal do modelo Eta.

Para as variáveis de temperatura máxima e mínima foi necessário realizar a correção e a metodologia empregada para a correção de viés foi a do escalonamento linear (*Linear Scaling*), apresentada por Lenderink et al. (2007). Essa metodologia se baseia na estimativa de um coeficiente de correção a partir das diferenças entre as normais climatológicas observadas e simuladas pelos modelos climáticos no clima presente. Esse mesmo coeficiente é posteriormente utilizado na remoção dos erros sistemáticos nas projeções do clima futuro. As equações que descrevem o método de correção seguem abaixo.

$$T_{Hij}^c = T_{Hij}^{nc} + (\overline{T_{Oj}} - \overline{T_{Hj}}) \quad \text{Eq.1}$$

$$T_{Fij}^c = T_{Fij}^{nc} + (\overline{T_{Oj}} - \overline{T_{Hj}}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, T_{ij}^{nc} é a variável a ser corrigida no dia i e mês j. Esta variável é transformada em T_{ij}^c através das Equações 1 e 2. As subscrições H e F referem-se aos períodos baseline e futuro, respectivamente, simulados pelo modelo. $\overline{T_o}$ é o valor climatológico da variável observada e $\overline{T_H}$ é o

valor climatológico da variável simulada, enquanto i e j fazem referência ao dia e mês. A base de dados utilizada para correção das temperaturas é proveniente do *WorldClim - Global Climate Data (1970-2000)* (Hijmans et al., 2005) disponibilizados em valores climatológicos mensais na resolução espacial de aproximadamente 1 km. Foi adotada a base de dados do WordClim devido à falta de outra base disponível com dados de temperatura máxima e mínima espacializados em resolução espacial mais refinada.

2.3 Extremos Climáticos

Os índices de extremos climáticos foram calculados seguindo a metodologia desenvolvida pelo grupo de pesquisadores de detecção de mudanças climáticas do *Climate Variability and Predictability (CCI/CLIVAR)*, através do pacote *ClimDex* (Alexander et al., 2005). No cômputo desses índices são realizadas análises estatísticas dos valores diários de precipitação (mm) e da temperatura máxima e mínima do ar (°C) (Alexander et al, 2005; Zhang et. al., 2005; Zhang e Yang, 2004; Hyndman e Fan, 1996). O pacote *ClimDex* inclui o *RclimDex*, o qual permite calcular o índice por ponto de estação (usa o software estatístico R) e o *FclimDex* que realiza cálculos a partir da matriz do modelo (Zhang e Yang, 2004). Foram utilizados os dois pacotes, o primeiro foi utilizado para realizar os cálculos a partir das saídas do modelo Eta, com valores corrigidos e sem correção de viés, e o segundo foi usado para realizar os cálculos a partir de dados observados de estações meteorológicas, com intuito de avaliar a destreza do modelo na representação dos extremos após a correção dos erros sistemáticos. Foram calculados 26 índices de extremos climáticos, os quais são detalhados a seguir.

2.3.1 Índices de Extremos de Precipitação

a) RX1day: Máxima precipitação anual em 1 dia (mm)

Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . O máximo valor de precipitação num dia i para o período j é:

$$RX1day = \max (RR_{ij}) \quad \text{Eq.3}$$

b) RX5day: Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (mm)

Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação no intervalo de cinco dias, terminando em k , no período j . O máximo valor de precipitação em 5 dias para o período j é:

$$RX5day = \max (RR_{ij}) \quad \text{Eq.4}$$

c) SDII: Intensidade média da precipitação durante o ano (mm/dia)

Seja RR_{w_j} a quantidade de precipitação diária nos dias úmidos w ($RR_{w_j} \geq 1$ mm) no período j . Se W representa o número de dias úmidos em j , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{w_j}}{W} \quad \text{Eq.5}$$

d) R10mm: Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 10 mm (dias)

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 10mm. \quad \text{Eq.6}$$

a) R20mm: Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 20 mm (dias)

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad \text{Eq.7}$$

e) R25mm: Quantidade de dias no ano com precipitação acima de 25 mm (dias)

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 25mm \quad \text{Eq.8}$$

b) CDD (Consecutive Dry Days): Dias consecutivos secos (dias)

Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1mm$. Temos RR_{ij} como a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . Contabiliza-se o número maior de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad \text{Eq.9}$$

c) CWD (Consecutive Wet Days): Dias consecutivos úmidos (dias)

Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm. Temos RR_{ij} como a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . Contabiliza-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad \text{Eq.10}$$

d) R95p: Precipitação de intensidade moderada a extrema (mm)

Total anual de precipitação onde $RR > 95p$. Seja RR_{wj} a quantidade de precipitação diária no dia úmido w ($RR \geq 1.00mm$) no período i , e temos $RR_{wn}95$ como o 95th percentil de precipitação sobre os dias úmidos no período de 1961-2005. Se W representa o número de dias úmidos no período então:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W R_{wj}, \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad \text{Eq.11}$$

e) R99p: Precipitação de intensidade muito extrema (mm)

Total anual de precipitação onde $RR > 99p$. Seja RR_{wj} a quantidade de precipitação diária no dia úmido w ($RR \geq 1$ mm) no período i , e temos RR_{wn99} como o 99th percentil de precipitação sobre os dias úmidos no período de 1961-1990. Se W representa o número de dias úmidos no período então temos:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W R_{wj}, \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn99} \quad \text{Eq.12}$$

f) PRCPTOT: Precipitação total anual (mm)

Temos RR_{ij} como a quantidade da precipitação diária para o dia i no período j . Se I representa o número de dias em j , então temos:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I R_{ij} \quad \text{Eq.13}$$

2.3.2 Índices de Extremos de Temperatura

a) FD (Frost Day): Dias com Geadas (dias)

Número de dias onde a temperatura mínima diária é menor a 0°C . Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i e no período J . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tn_{ij} < 0^\circ\text{C} \quad \text{Eq.14}$$

b) SU25 (Summer Days): Dias de Verão (dias)

Número de dias onde a temperatura máxima é maior a 25°C . Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i e no período J . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tx_{ij} > 25^\circ\text{C} \quad \text{Eq.15}$$

c) ID (Ice days): Dias muito frio (dias)

Número de dias onde a temperatura máxima diária é menor que zero. Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i e no período j . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tx_{ij} < 0^{\circ}C \quad \text{Eq.16}$$

d) TR: Noites Tropicais (dias)

Número de dias onde a temperatura mínima diária é maior a $20^{\circ}C$. Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i e no período j . Contabiliza-se o número de dias que:

$$Tn_{ij} > 20^{\circ}C \quad \text{Eq.17}$$

e) TX_x: Valor mensal máximo da temperatura máxima diária ($^{\circ}C$)

Temos que **TX_x** será a temperatura máxima diária no mês k , período j . A máxima temperatura máxima diária em cada mês é:

$$TXx_{kj} = \max(TXx_{kj}) \quad \text{Eq.18}$$

f) TN_x: Valor mensal máximo da temperatura mínima diária ($^{\circ}C$)

Temos que **TN_x** será a temperatura mínima diária no mês k , período j . A máxima temperatura mínima diária em cada mês é:

$$TNx_{kj} = \max(TNx_{kj}) \quad \text{Eq.19}$$

g) TX_n: Valor mensal mínimo da temperatura máxima diária ($^{\circ}C$)

Temos que **TX_n** será a temperatura máxima diária no mês k , período j . A mínima temperatura máxima diária em cada mês é:

$$TXn_{kj} = \max(TXn_{kj}) \quad \text{Eq.20}$$

h) TN_n: Valor mensal mínimo da temperatura mínima diária ($^{\circ}C$)

Temos que **TN_n** será a temperatura mínima diária no mês k , período j . A mínima temperatura mínima diária em cada mês é:

$$TNn_{kj} = \max(TNn_{kj}) \quad \text{Eq.21}$$

- i) TN10p:** Número de dias no ano em que a temperatura mínima está abaixo do 10º percentil da distribuição de temperatura diária (noites frias) (%).

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j e seja TN_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$TN_{ij} < TN_{in10} \quad \text{Eq.22}$$

- j) TX10p:** Número de dias no ano em que a temperatura máxima está abaixo do 10º percentil da distribuição de temperatura diária (dias frios) (%)

Seja TX_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j y seja TX_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinada:

$$TX_{ij} < TX_{in10} \quad \text{Eq.23}$$

- k) TN90p:** Número de dias no ano em que a temperatura mínima está acima do 90º percentil da distribuição de temperatura diária (noites quentes) (%).

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j y seja TN_{in90} o dia calendário do percentil 90th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$Tn_{ij} > Tn_{in90} \quad \text{Eq.24}$$

- l) TX90p:** Número de dias no ano em que a temperatura máxima está acima do 90º percentil da distribuição de temperatura diária (dias quentes) (%).

Seja TX_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j y seja TX_{in90} o dia calendário do percentil 90th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-2005. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$TX_{ij} > TX_{in90} \quad \text{Eq.25}$$

- m) DTR** (*Daily Temperature Range*): Amplitude anual da temperature diurna (°C)

É a diferença média mensal entre TX e TN. Seja Tx_{ij} e Tn_{ij} a temperatura máxima e mínima respectivamente no dia i e no período j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I} \quad \text{Eq.26}$$

- n) CSDI** (*Cold Spell Duration Indicator*): Duração das ondas de frio (dias)

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j e seja Tn_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias. Então, o número de dias para o período base é somando em intervalos de 6 dias consecutivos:

$$Tn_{ij} < Tn_{in10} \quad \text{Eq.27}$$

- o) WSDI** (*Warm Spell Duration Indicator*): Duração ondas de calor (dias)

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j e seja TX_{in90} o dia calendário do percentil 90th centrado na janela de 5 dias.

Então, o número de dias para o período base é somando em intervalos de 6 dias consecutivos:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90} \quad \text{Eq.28}$$

2.4 Metodologia

Foram realizadas análises das variáveis precipitação e temperaturas mínimas e máximas antes e após aplicação da correção de viés para o período baseline (1961-2005). Nesta etapa foram consideradas séries históricas de 5 estações meteorológicas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), selecionadas com base numa melhor homogeneidade temporal da série disponível e que apresentassem baixa porcentagem de falhas para o período de 1961-2005 (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

Nº	Município	Região	Estado	Lat.	Lon.	Alt.
1	Cáceres	CO	MT	-16,05	-57,68	118,0
2	Tefé	N	AM	-3,83	-64,70	47,0
3	Bom Jesus da Lapa	NE	BA	-13,26	-43,41	439,9
4	Curitiba	S	PR	-25,43	-49,26	923,5
5	São Paulo	SE	SP	-23,65	-46,62	792,0

As séries temporais do modelo foram extraídas para os pontos de grade referente as estações meteorológicas e foram avaliadas através das médias mensais e do erro médio absoluto (MAE). Os extremos climáticos também foram avaliados considerando os índices calculados para o ponto de grade referente a estação de São Paulo. Além do erro médio (BIAS), ou seja, o desvio do modelo em relação à observação, indicando assim a tendência em superestimar (valores positivos) ou subestimar (valores negativos) os valores observados, foram considerados também o erro absoluto médio (MAE) e o índice *Skill Score* (SS). O índice

SS fornece o ganho das simulações do modelo com correção de viés em relação às simulações não corrigidas. O BIAS, MAE e o SS, são definidos pelas equações 29, 30 e 31, respectivamente, descritas abaixo.

$$BIAS = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_i - V_{obs_i}) \quad \text{Eq.29}$$

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |V_i - V_{obs_i}| \quad \text{Eq.30}$$

$$SS = \left(\frac{E_{Eta} - E_{EtaCor}}{E_{Eta}} \right) 100 \quad \text{Eq.31}$$

Onde: M é o número total das simulações, T_i é a i-ésima variável ou índice de extremo simulado, V_{obs_i} é a i-ésima variável ou índice de extremo observado, E_{Eta} e E_{EtaCor} são umas das duas medidas estatísticas de erro para simulações do modelo antes e após a correção de viés, respectivamente.

Os resultados referentes à avaliação do modelo e os extremos climáticos seguem na seção 3.0. As projeções dos índices de extremos climáticos para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 mostrados pelos campos da diferença em relação ao clima presente seguem na seção 4.0.

3.0 Resultados

Na busca de examinar se houve melhoria na representação do padrão climatológico após a aplicação do método de correção de viés, foram gerados os ciclos anuais das variáveis de precipitação (mm/dia), temperatura máxima e mínima (°C) das estações meteorológicas selecionadas. Em relação a precipitação, nota-se que a correção dos erros sistemáticos contribuiu para uma melhor representação do ciclo anual das chuvas em todas as localidades selecionadas, favorecendo a

redução dos erros absolutos médios em todos os meses do ano (Figura 3.1). Em Tefé, por exemplo, localizada na região norte do Brasil, o modelo apresentava dificuldades em simular o ciclo anual das chuvas na localidade, apresentando em alguns meses erros da ordem 5-7 mm/dia. Após a remoção dos erros sistemáticos os valores reduziram significativamente, ficando abaixo de 1 mm/dia. Nas demais localidades selecionadas, nota-se que a remoção do viés do modelo contribuiu enormemente para a redução dos erros absolutos médios, os quais ficaram abaixo de 1 mm/dia ou quase nulos.

Em relação as temperaturas máximas e mínimas, verifica-se que o método de correção de viés também contribuiu para a redução dos erros absolutos médios na maior parte das localidades selecionadas (Figuras 3.2 e 3.3). Verifica-se também que após a remoção do viés a sazonalidade do modelo segue exatamente os valores tomados como base para a correção (WorldClim), o que valida a correção, assim como sugerido por Teutschbein e Seibert (2012). Em algumas localidades o erro absoluto médio da temperatura máxima ultrapassava 3°C, como nas estações de Cáceres e Bom Jesus da Lapa (Figura 3.2). Após a correção, o erro médio nestas localidades passou a ser abaixo de 2°C. Com relação a temperatura mínima, a correção contribuiu para simulação dos valores sazonais climatológicos mais próximos das observações locais nas estações de Cáceres, Tefé e Curitiba (Figura 3.3).

Avaliações adicionais foram realizadas utilizando mais 10 estações ao longo do território brasileiro (gráficos não apresentados). Os resultados indicaram, assim como notado nas estações acima, que em geral o método aplicado para correção das variáveis de precipitação e temperaturas máximas e mínimas foi eficaz no ajuste das simulações do modelo Eta-CanESM e que, portanto, o uso das variáveis corrigidas pode contribuir para estimativas dos extremos climáticos mais próximos das condições reais. Com essa perspectiva, foi feita uma avaliação dos índices de extremos climáticos calculados a partir das variáveis do

modelo com e sem correção de viés, resultados esses que estão apresentados na Tabela 3.1 e são discutidos a seguir.

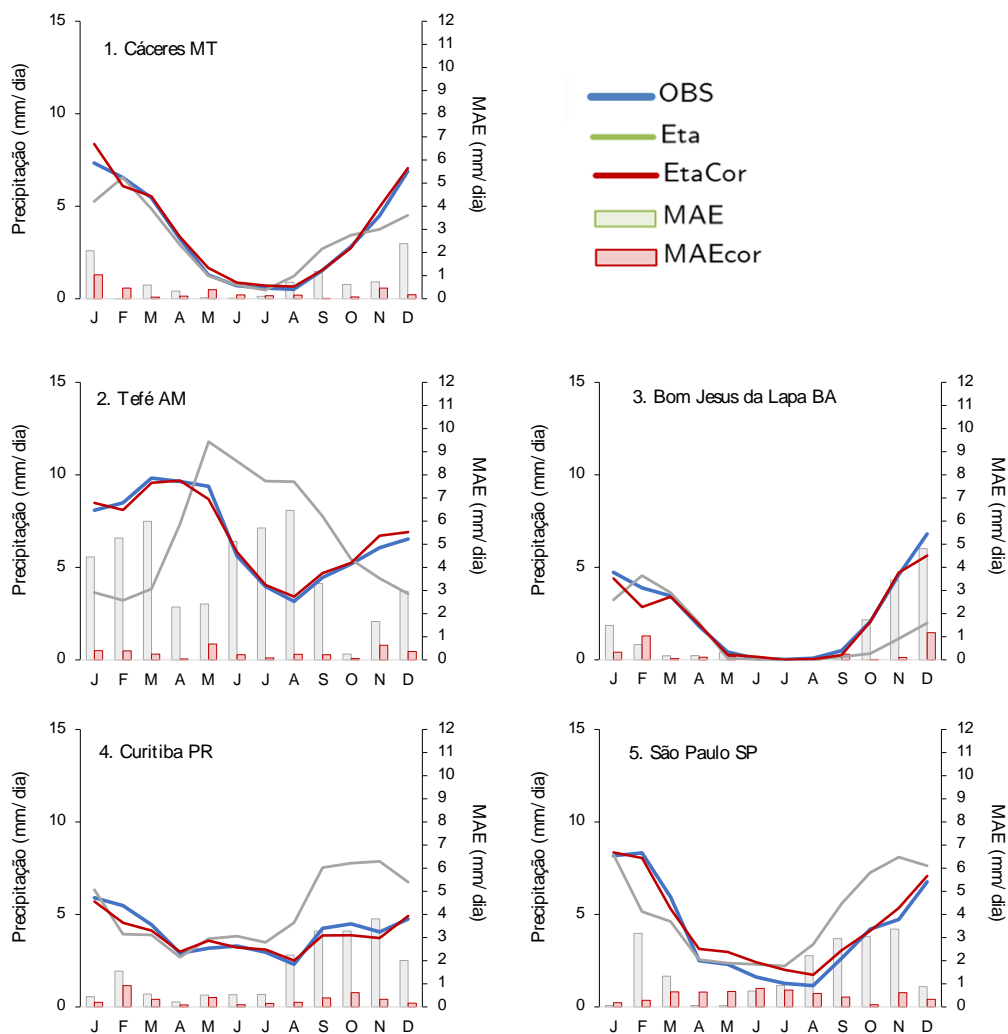


Figura 3.1. Análise das correções de precipitação (mm/dia) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1961-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

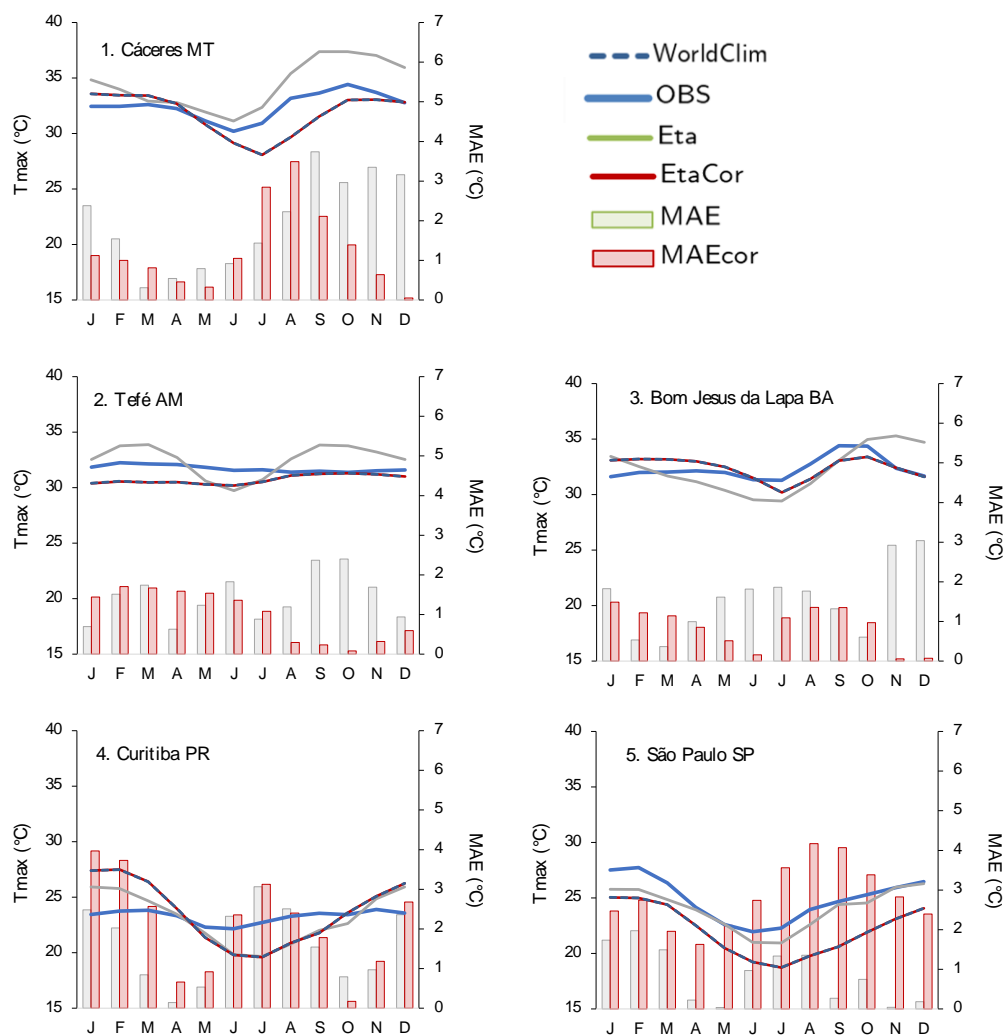


Figura 3.2. Análise das correções da temperatura máxima (°C) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

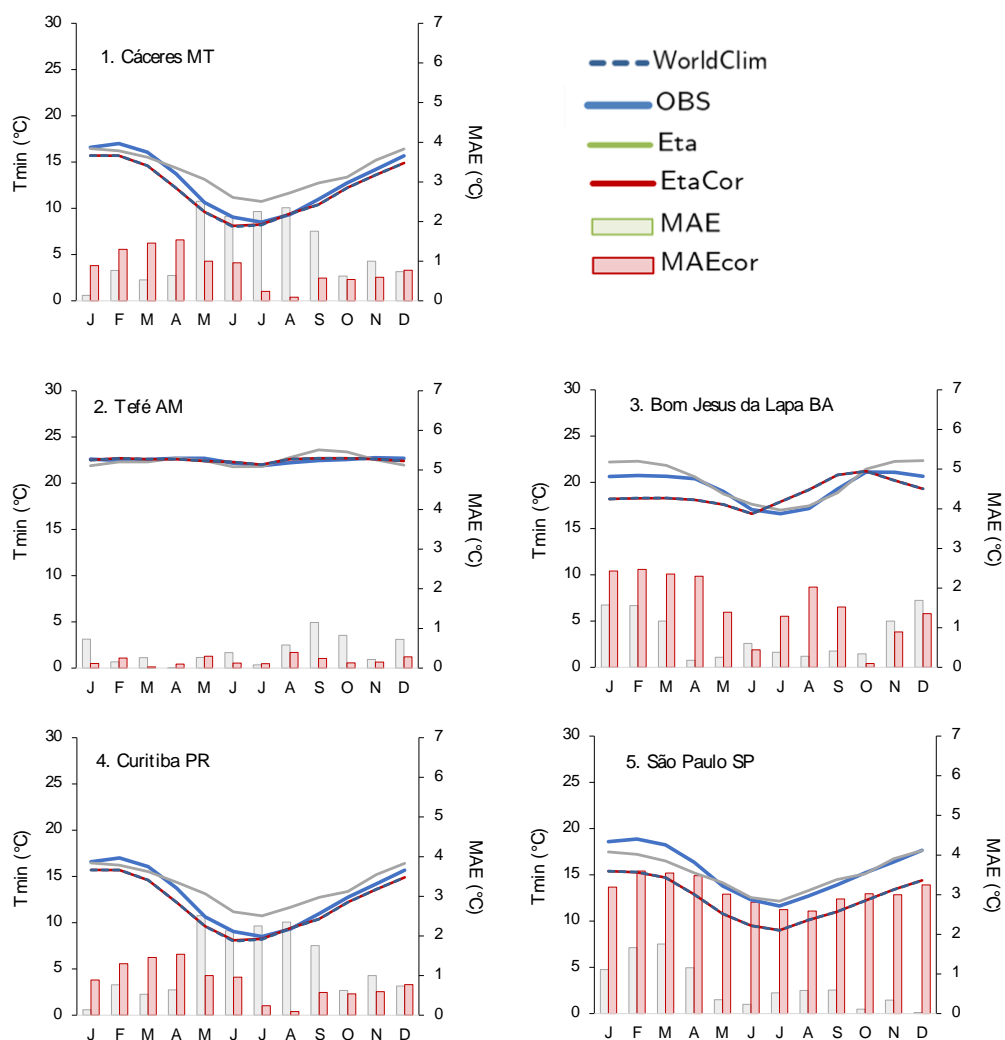


Figura 3.3. Análise das correções da temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) do modelo Eta-CanESM. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas (1961-2005), a linha azul tracejada representa a série do *Worldclim* (1970-2000), a linha preta representa o modelo Eta-CanESM para o período baseline (1961-2005) e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés (1961-2005). O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés

Na Tabela 3.1, estão apresentados os índices de extremos climáticos da localidade da estação de São Paulo para o período baseline (1961-2005). Essa estação foi selecionada por possuir séries históricas consistentes (mais de 80 anos de dados) e com baixíssima

porcentagem de falha ($\approx 2\%$) das variáveis necessárias para o cômputo dos extremos climáticos. Nota-se que, para os índices calculados a partir da temperatura, o modelo apresenta melhor desempenho, com valores próximos aos observados. Os índices TX90p e TN90p, por exemplo, onde representam o número de dias e noites quentes, respectivamente, os desvios do modelo apresentam-se próximos de zero. Nestes índices, o ganho da aplicação do método de correção pode ser visto apenas claramente no índice SS do desvio médio. Verifica-se que a correção de viés da temperatura mínima do modelo proporcionou também ganhos substanciais para o valor mínimo da temperatura mínima, representado pelo índice TNn. Para os índices de extremos relacionados à variável de precipitação nota-se que o modelo apresenta maiores desvios em relação ao observado. Apesar da limitação quantitativa, a remoção de viés contribuiu para a diminuição da diferença entre os valores observados e os valores simulados pelo modelo. Em geral, pôde-se notar que os índices de extremos climáticos calculados a partir de variáveis corrigidas do modelo Eta-CanESM apresentaram menores erros e que, portanto, o uso destes índices pode contribuir enormemente para estudos de impactos tendo em vista que apresentam menor incerteza da simulação dos extremos climáticos no período baseline.

Tabela 3.1. Índices de extremos climáticos para a estação meteorológica de São Paulo (1961-2005), calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-CanESM 20 km com valores sem correção de viés (Eta) e com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE e SS referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto e o índice *Skill Score* (%).

Índices	Obs	Eta 20km	EtaCor 20km	BIAS Eta	BIAS EtaCor	MAE Eta	MAE EtaCor	SS BIAS	SS MAE
TXx	34,2	33,7	33,3	-0,5	-0,9	1,4	1,3	-91	5
TNn	3,5	5,1	2,5	1,6	-1,0	2,5	2,3	163	6
TN10p	10,2	10,7	10,4	0,5	0,2	5,4	5,2	55	3
TX10p	10,2	10,5	10,3	0,3	0,1	3,6	3,1	78	15
TN90p	9,9	9,9	10,4	0,0	0,4	4,7	4,9	1253	-4
TX90p	10,1	10,1	10,3	0,0	0,3	7,1	6,6	1984	7
WSDI	2,6	7,4	7,5	4,7	4,9	8,4	9,0	-3	-6
CSDI	2,6	3,0	2,5	0,4	-0,2	4,1	3,2	141	23
RX1day	78,9	49,2	61,7	-29,7	-17,2	31,9	27,3	42	15

RX5day	142,9	116,8	130,1	-26,1	-12,8	33,6	41,1	51	-22
R10mm	47,6	65,2	51,0	17,6	3,4	17,9	8,5	81	53
R25mm	16,7	12,5	13,0	-4,3	-3,7	6,4	5,7	13	10
CDD	27,2	15,9	24,3	-11,3	-2,9	12,0	9,8	74	18
CWD	8,8	13,2	11,2	4,4	2,4	5,1	3,8	46	26
R95p	326,8	309,9	306,7	-16,8	-20,1	156,9	166,2	-19	-6
R99p	96,1	84,1	87,1	-12,0	-9,0	80,2	93,6	25	-17
PRCPTOT	1438,7	1720,7	1474,4	282,0	35,7	359,2	272,0	87	24

4.0 Produtos disponibilizados

Estão listados na Tabela 4.1 os conjuntos de dados calculados e processados por esta consultoria – Produto 01. São apresentados apenas os produtos finais gerados, que consistem os índices de extremos climáticos calculados a partir das simulações e projeções do modelo Eta-CanESM em 20 km com correção de viés. Os campos espaciais dos índices de extremos climáticos para o período baseline e para as projeções das mudanças para cada cenário RCP são dispostos nas Figuras 4.1 a 4.26. Os resultados obtidos a partir dos indicadores de extremos climáticos de precipitação indicam aumento dos dias consecutivos secos em quase todo território brasileiro, sendo mais proeminente no final do século XXI do cenário RCP8.5. Notou-se também redução dos valores totais anuais (PRCPTOT) excetuando-se a região sul do Brasil, a qual apresenta aumento das chuvas anuais até meados do século em ambos os cenários RCP's. Em relação aos extremos climáticos de temperatura do ar as projeções climáticas indicam aquecimento em todo país, com aumento nas ondas de calor (WSDI), aumento nos dias quentes (TX90p), nos máximos de temperatura máxima (TXx) e mínimos de temperatura mínima (TNn), além da diminuição das noites (TN10p) e dias frios (TX10p). É importante destacar o índice referente a dias muito frio (ID) mostraram valores médios anuais aproximadamente nulos.

Tabela 4.1. Lista de conjunto de dados.

Conjunto de dados	Área de abrangência e ano	Unidade	Descrição
-------------------	---------------------------	---------	-----------

Índice CDD	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias consecutivos secos calculados a partir da precipitação.
Índice CSDI	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Duração das ondas de frio calculada a partir da temperatura mínima.
Índice CWD	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias consecutivos úmidos calculados a partir da precipitação.
Índice DTR	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Amplitude anual média da temperatura diurna calculada a partir da temperatura máxima e mínima.
Índice FD	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias com geadas calculado a partir da temperatura mínima.

...continua

Conjunto de dados	Área de abrangência e ano	Unidade	Descrição
Índice ID	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias muito frio calculado a partir da temperatura máxima.
Índice PRCPTOT	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm	Precipitação total anual calculado a partir da precipitação.
Índice R10mm	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias no ano com chuva acima de 10 mm calculado a partir da precipitação.
Índice R20mm	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias no ano com chuva acima de 20 mm calculado a partir da precipitação.
Índice R25mm	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Número de dias no ano com chuva acima de 25 mm calculado a partir da precipitação.
Índice R95p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm	Precipitação de intensidade moderada a extrema calculada a partir da precipitação com correção de viés
Índice R99p	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm	Precipitação de intensidade muito extrema calculada a partir da precipitação.
Índice RX1day	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm	Máxima precipitação anual em 1 dia calculada a partir da precipitação.
Índice RX5day	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos calculada a partir da precipitação.
Índice SDII	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	mm/dia	Intensidade média da precipitação anual calculada a partir da precipitação.
Índice SU25	Brasil: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Dias de verão calculados a partir da temperatura máxima.

Índice TN10p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de noites frias calculada a partir da temperatura mínima.
Índice TN90p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de noites quentes calculada a partir da temperatura mínima.
Índice TNn	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Menor temperatura mínima anual calculada a partir da temperatura mínima
Índice TNx	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Maior temperatura mínima anual calculada a partir da temperatura mínima
Índice TR	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	Dias	Noites Tropicais calculadas a partir da temperatura mínima.

...continua

Conjunto de dados	Área de abrangência e ano	Unidade	Descrição
Índice TX10p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias frios calculada a partir da temperatura máxima.
Índice TX90p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias quentes calculada a partir da temperatura máxima.
Índice TXn	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Menor temperatura máxima anual calculada a partir da temperatura máxima.
Índice TXx	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Maior temperatura máxima anual calculada a partir da temperatura máxima.
Índice WSDI	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	°C	Duração das ondas de calor calculada a partir da temperatura máxima.

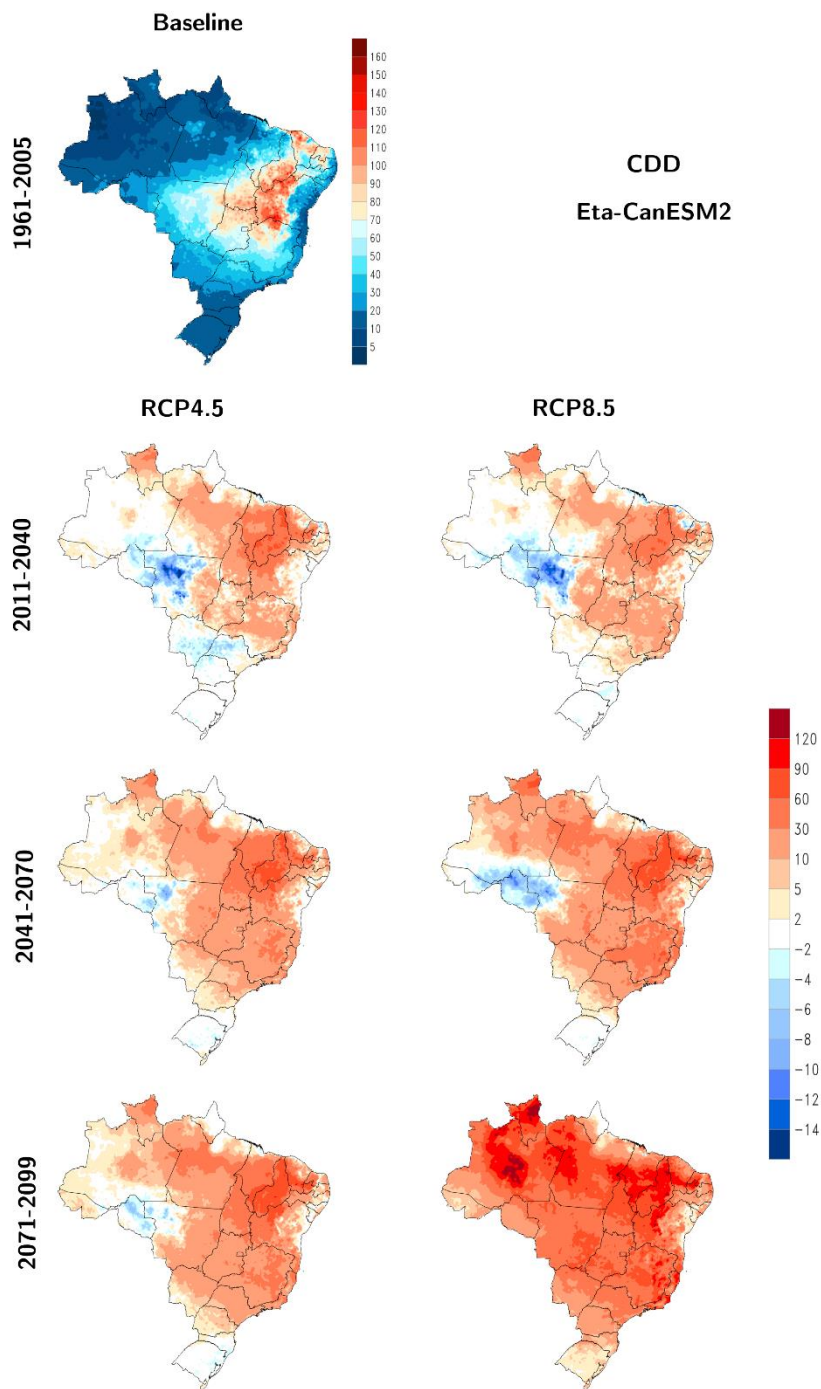


Figura 4.1. Índice CDD- Dias secos consecutivos (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

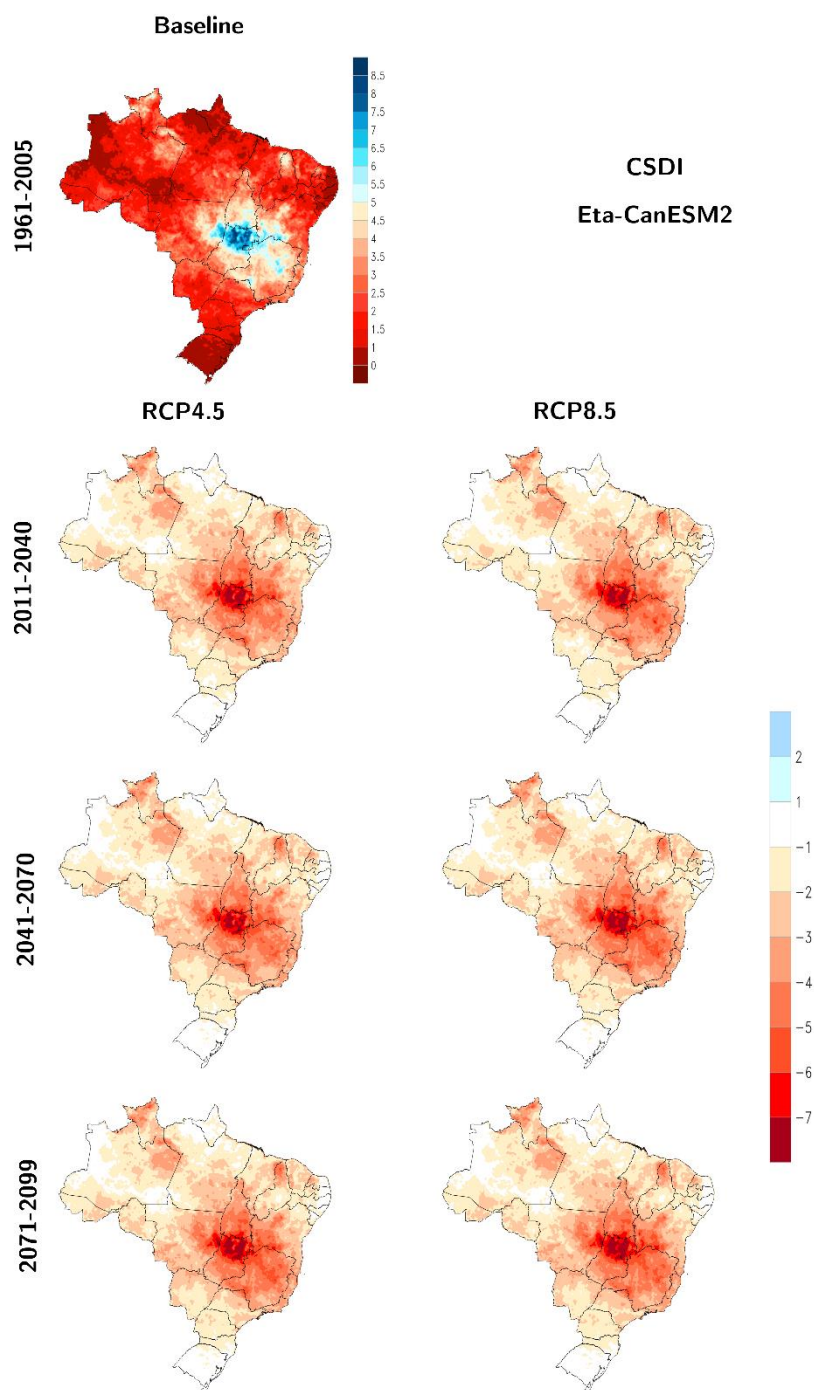


Figura 4.2. Índice CSDI- Duração das ondas de frio (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

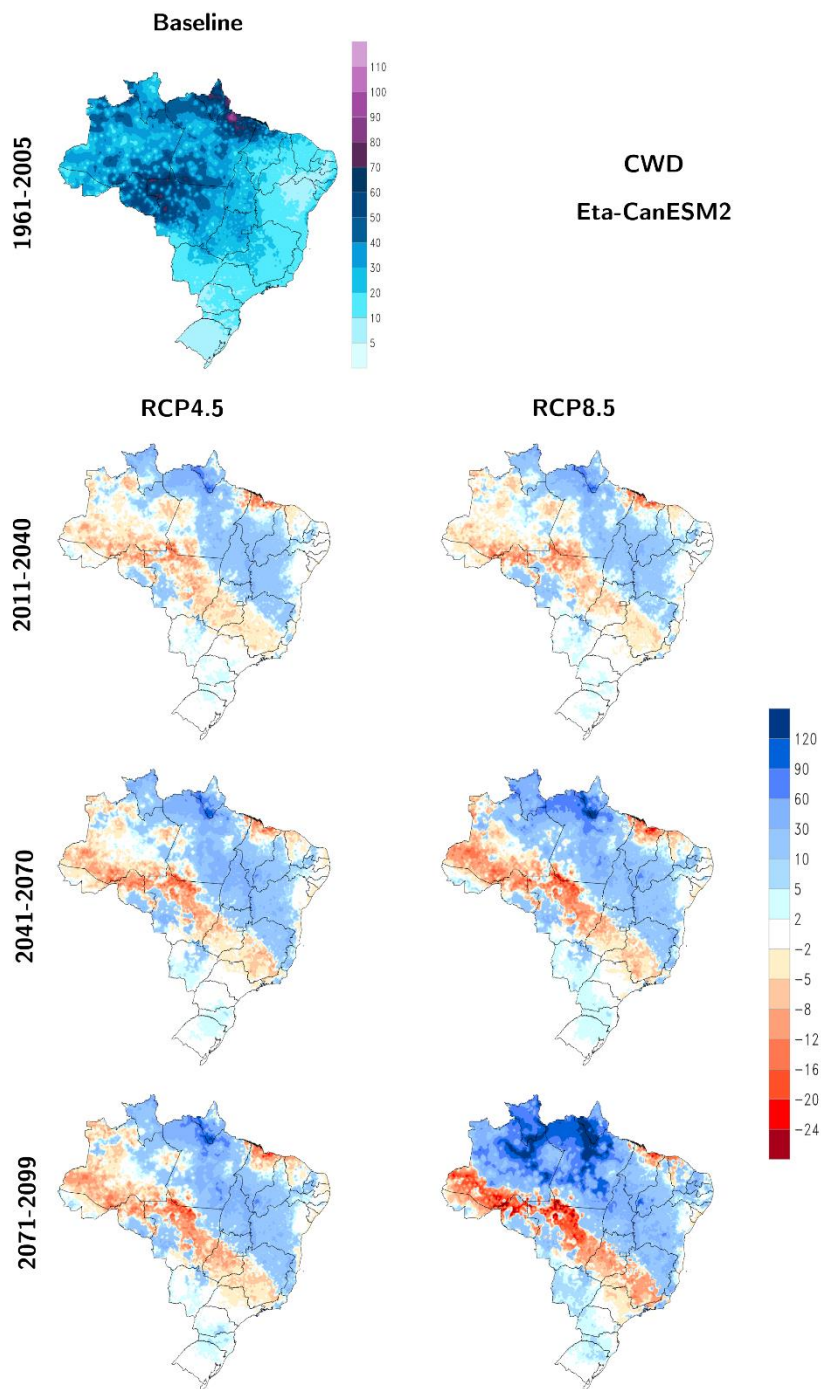


Figura 4.3. Índice CWD- Dias consecutivos úmidos (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

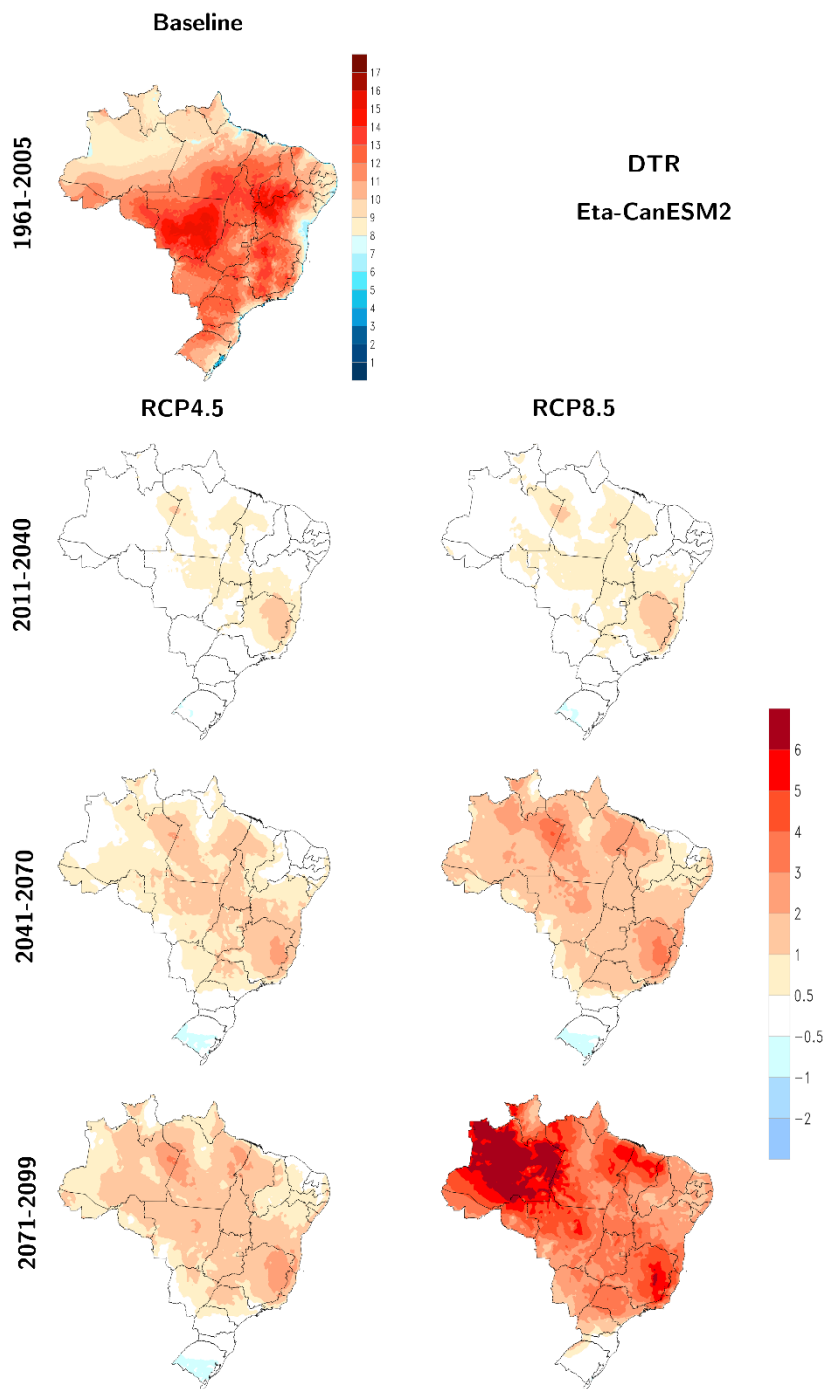


Figura 4.4. Índice DTR- Amplitude anual média da temperatura diurna ($^{\circ}\text{C}$). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

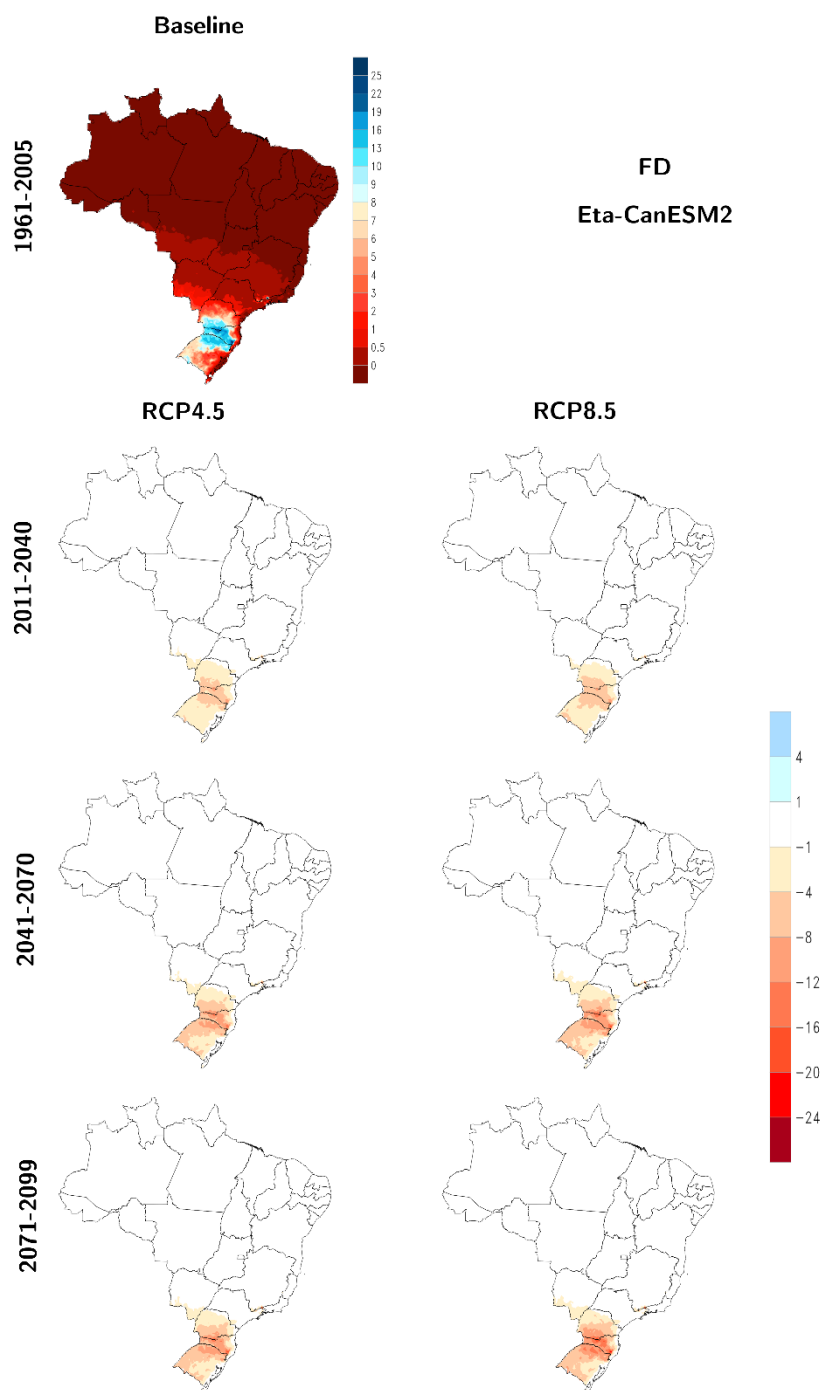


Figura 4.5. Índice FD- Número de dias com geadas (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

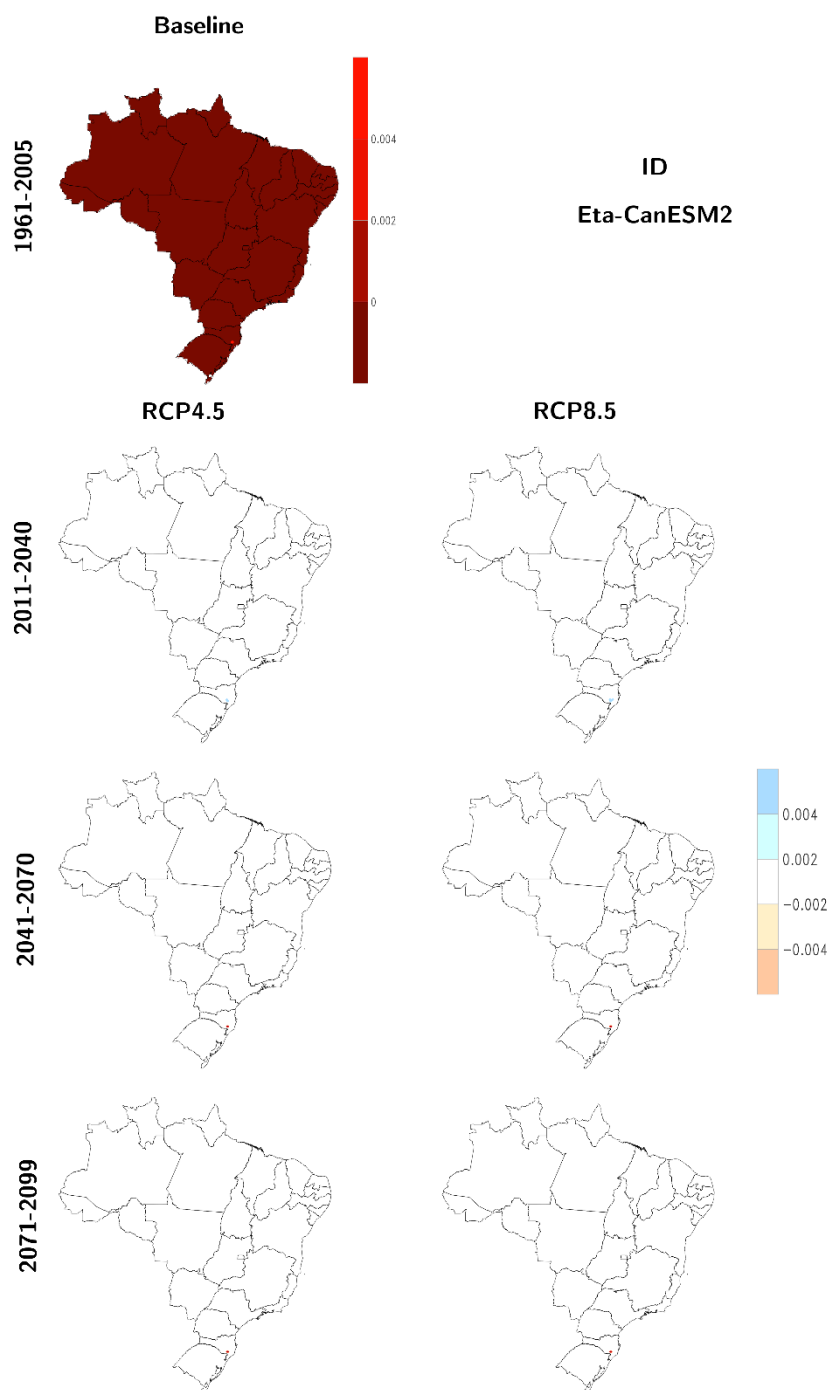


Figura 4.6. Índice ID- Número de dias muito frio (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

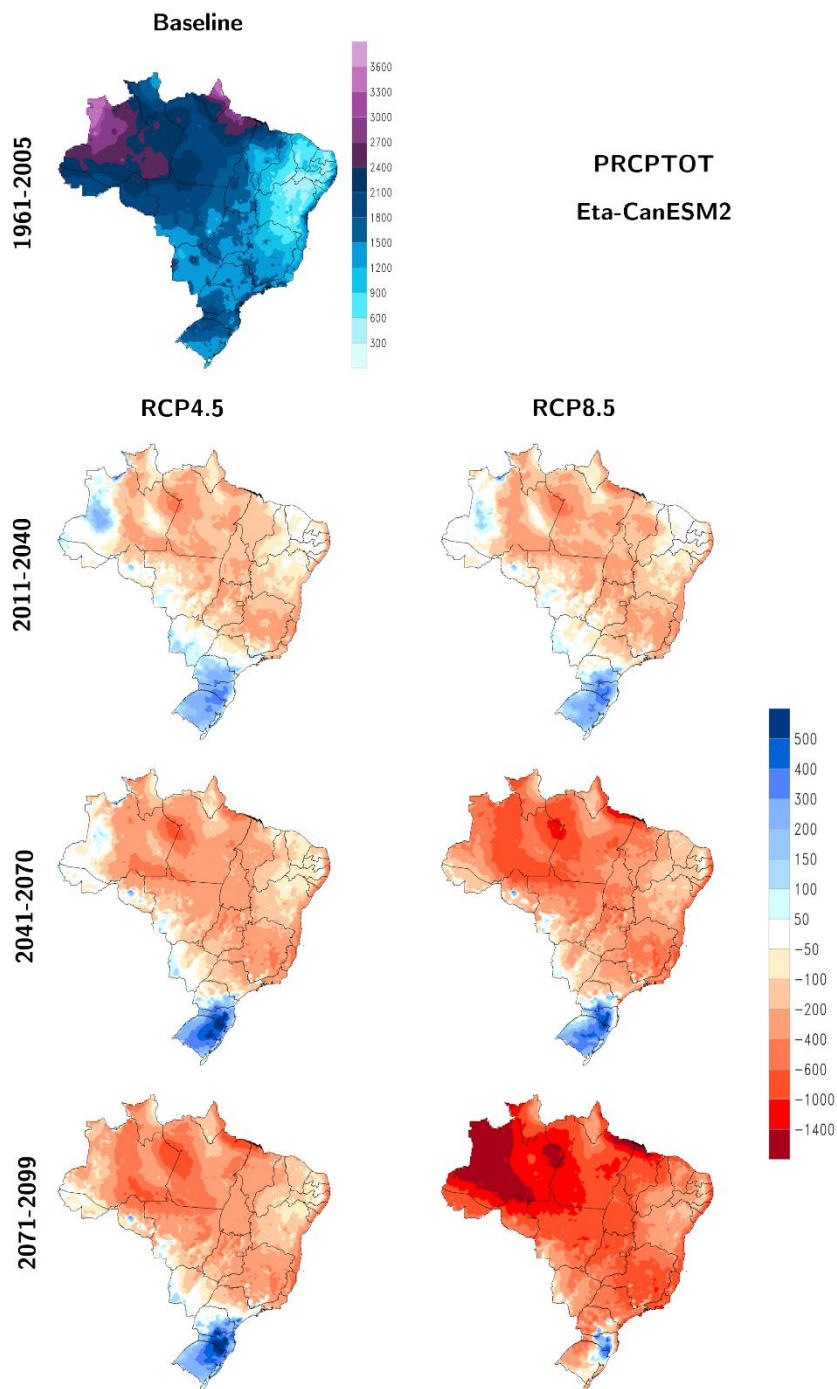


Figura 4.7. Índice PRCPTOT- Precipitação anual total (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

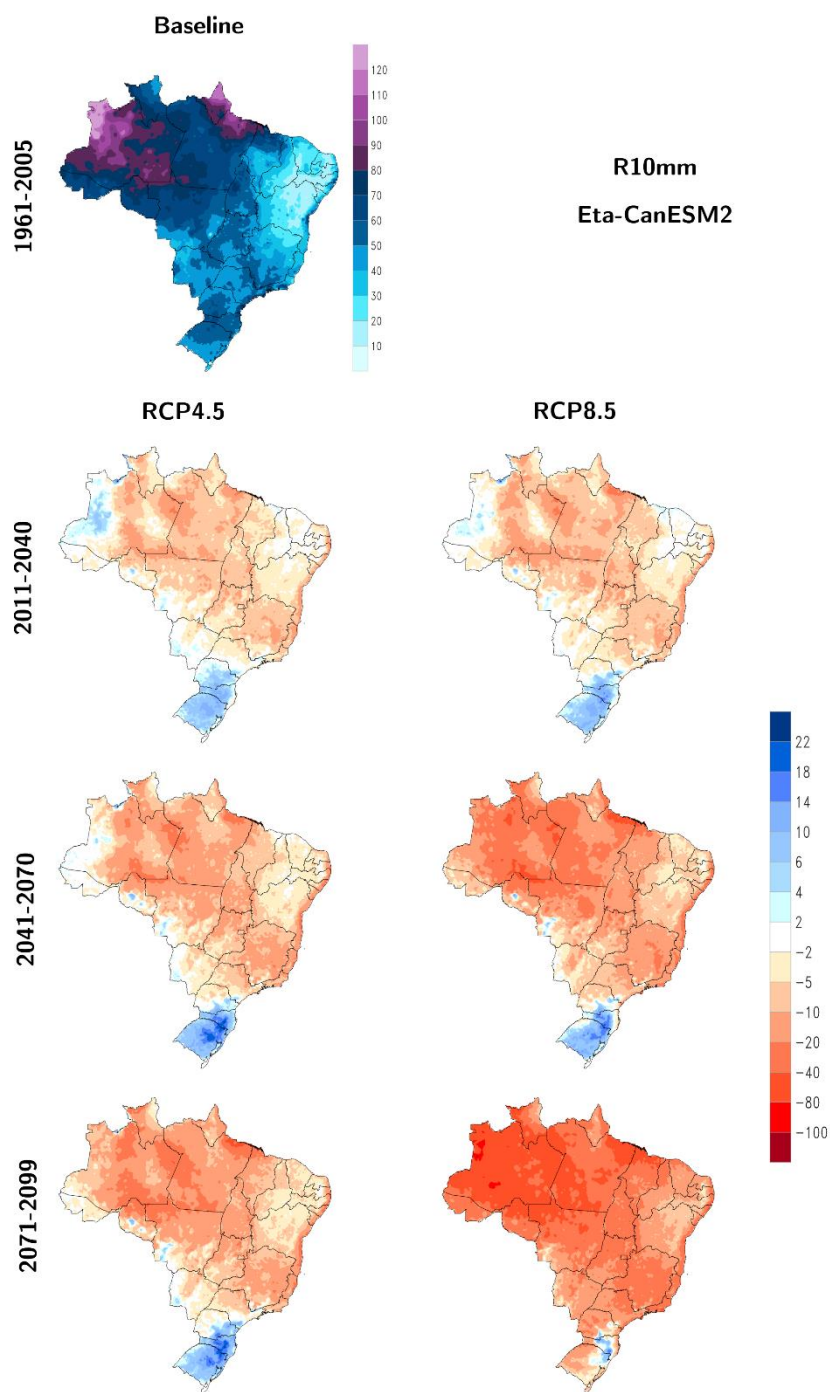


Figura 4.8. Índice R10mm- Número de dias no ano com chuva acima de 10 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

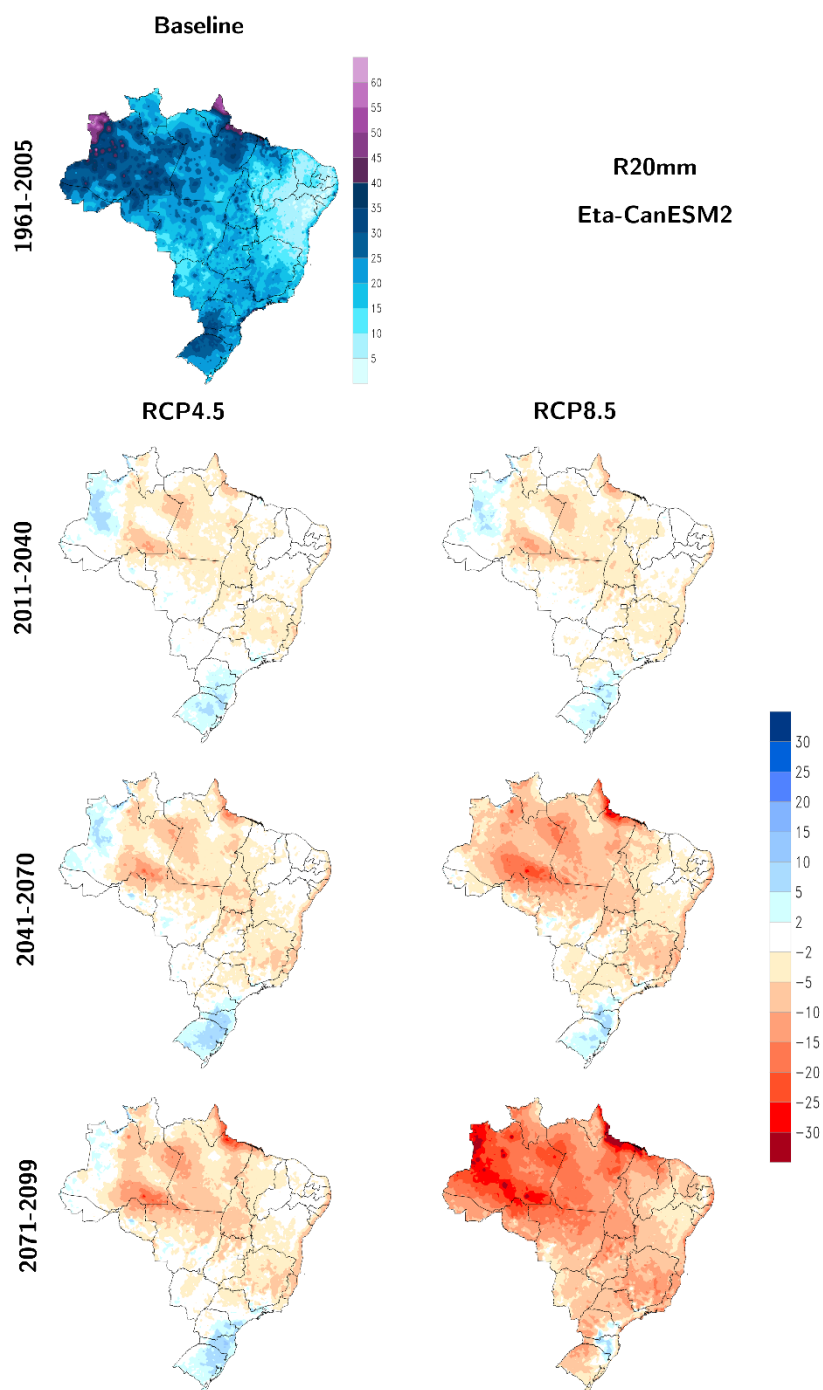


Figura 4.9. Índice R20mm- Número de dias no ano com chuva acima de 20 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

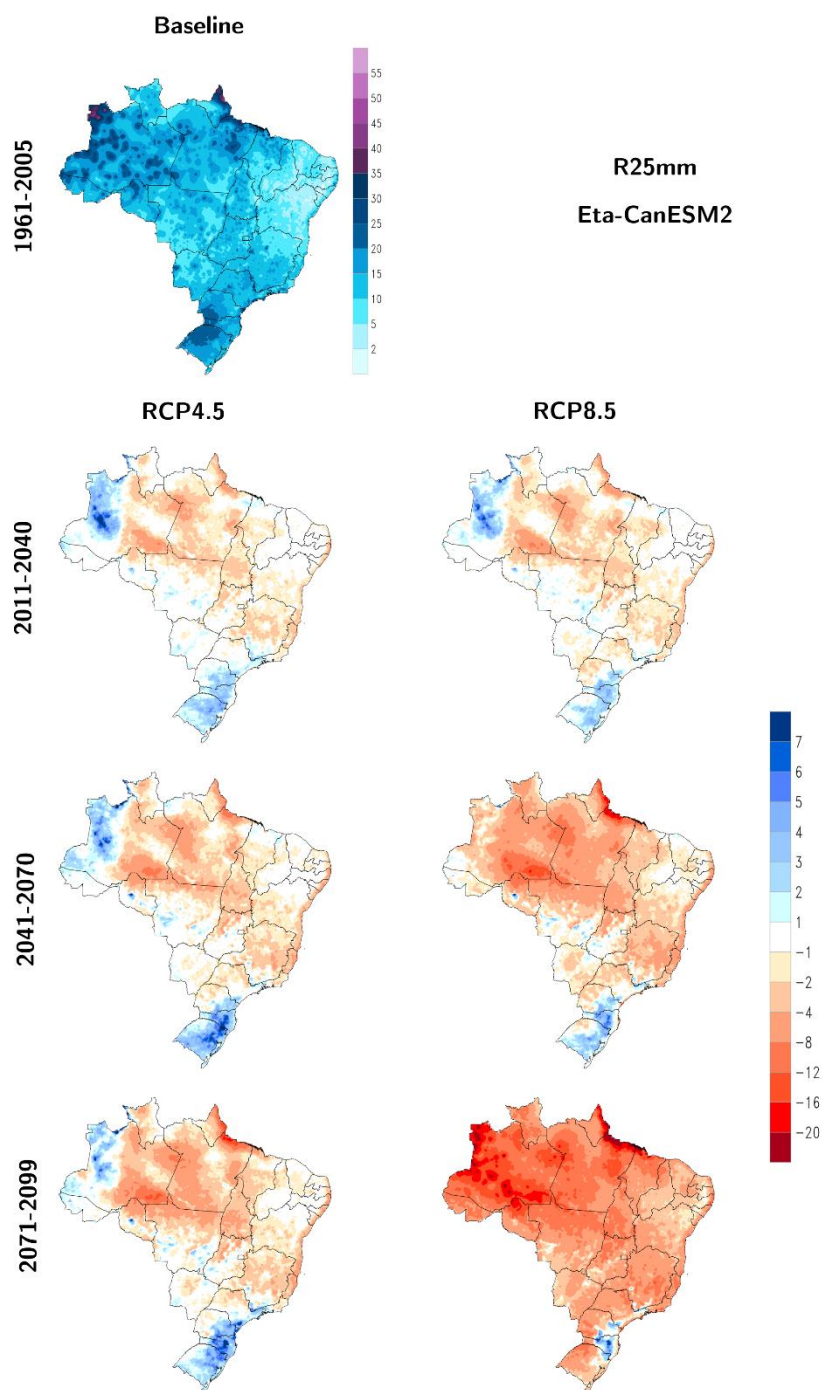


Figura 4.10. Índice R25mm- Número de dias no ano com chuva acima de 25 mm (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

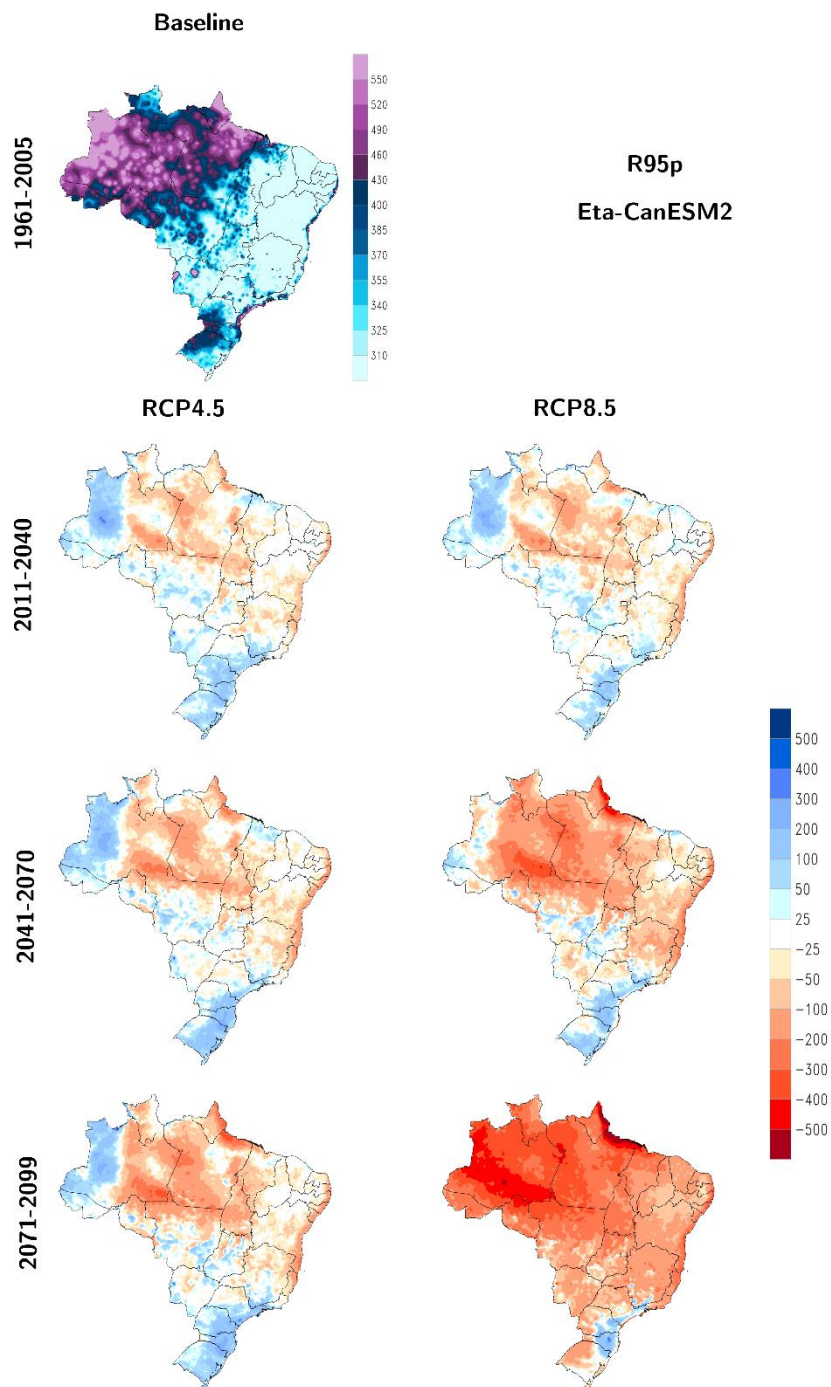


Figura 4.11. Índice R95p- Precipitação de intensidade moderada a extrema (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

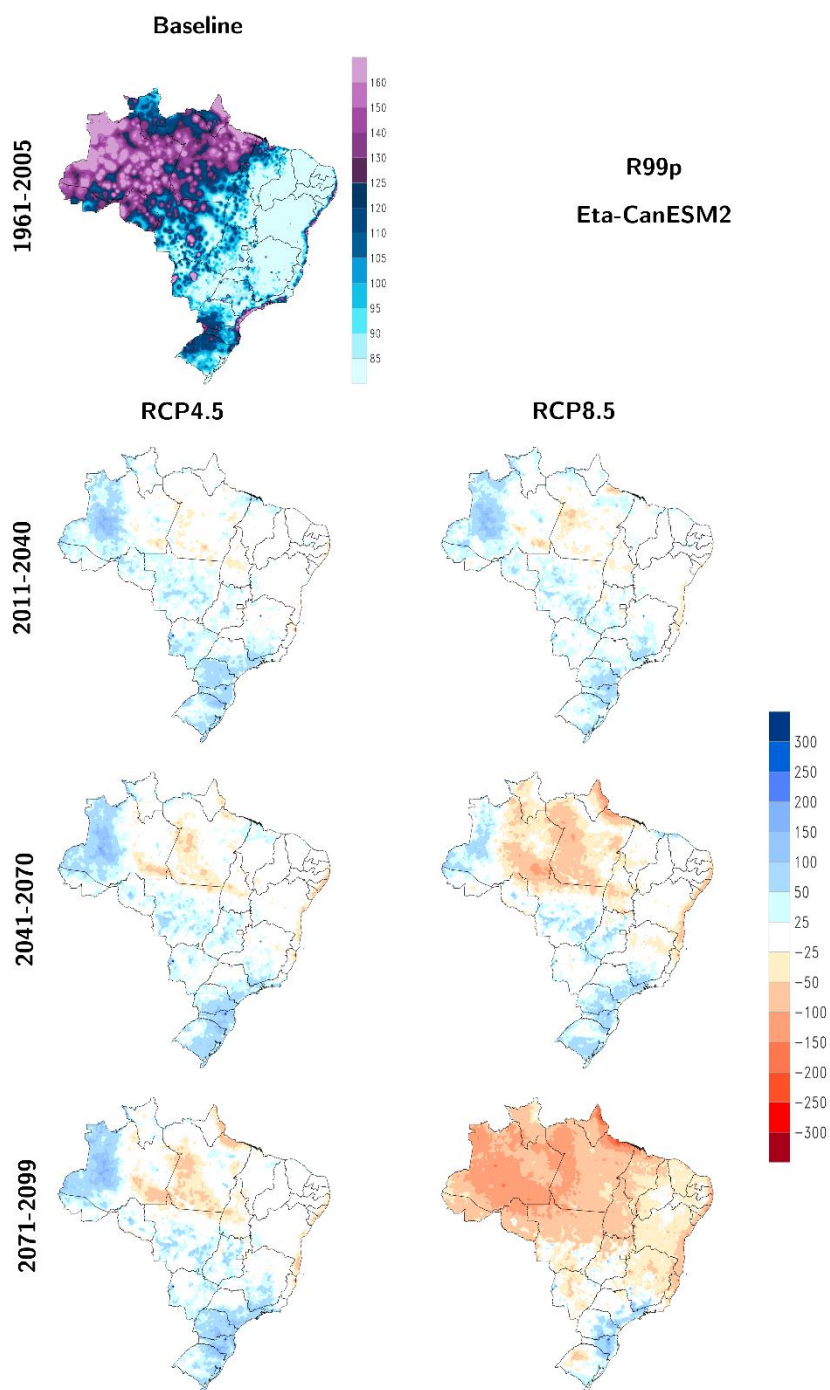


Figura 4.12. Índice R99p- Precipitação de intensidade muito extrema (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

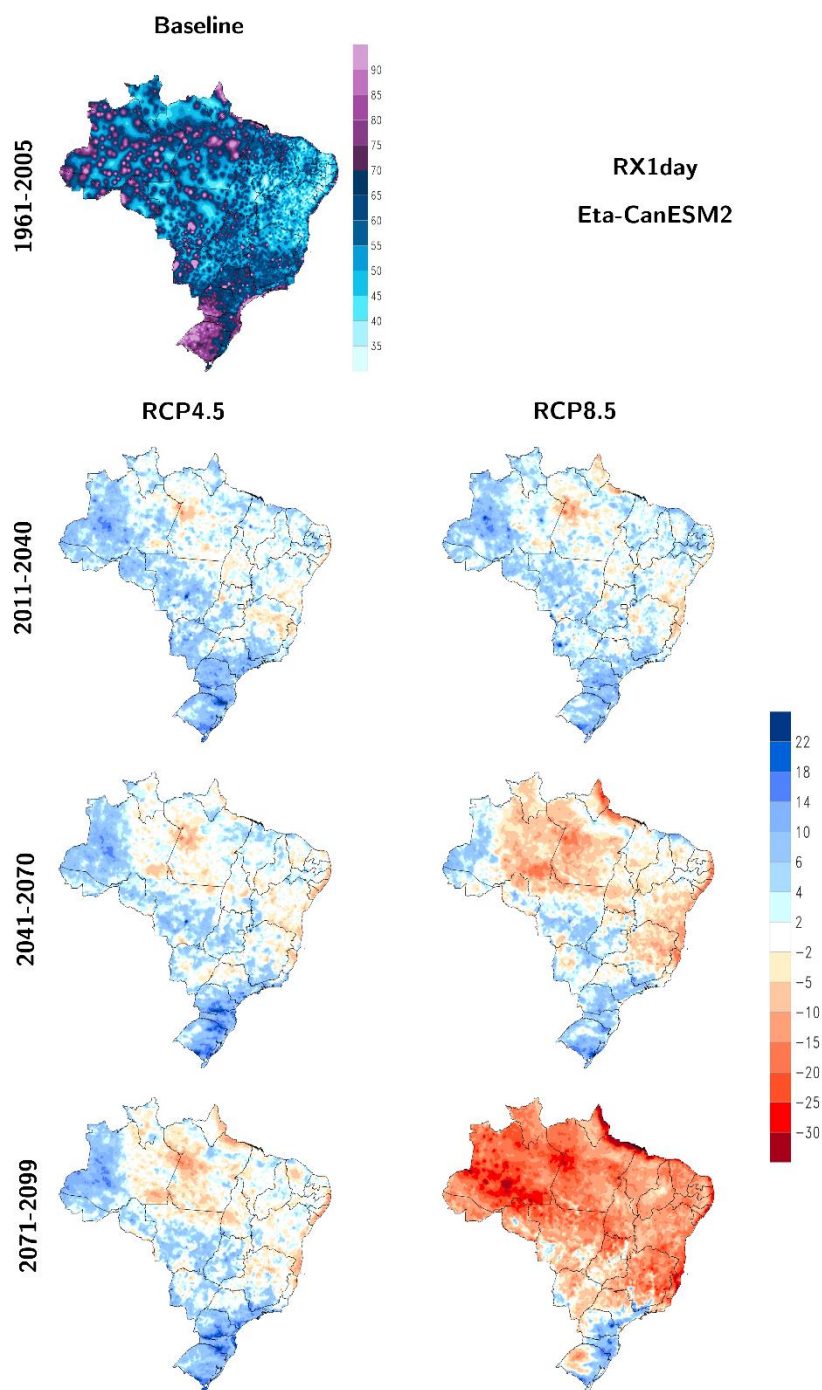


Figura 4.13. Índice RX1day- Máxima precipitação anual em 1 dia (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

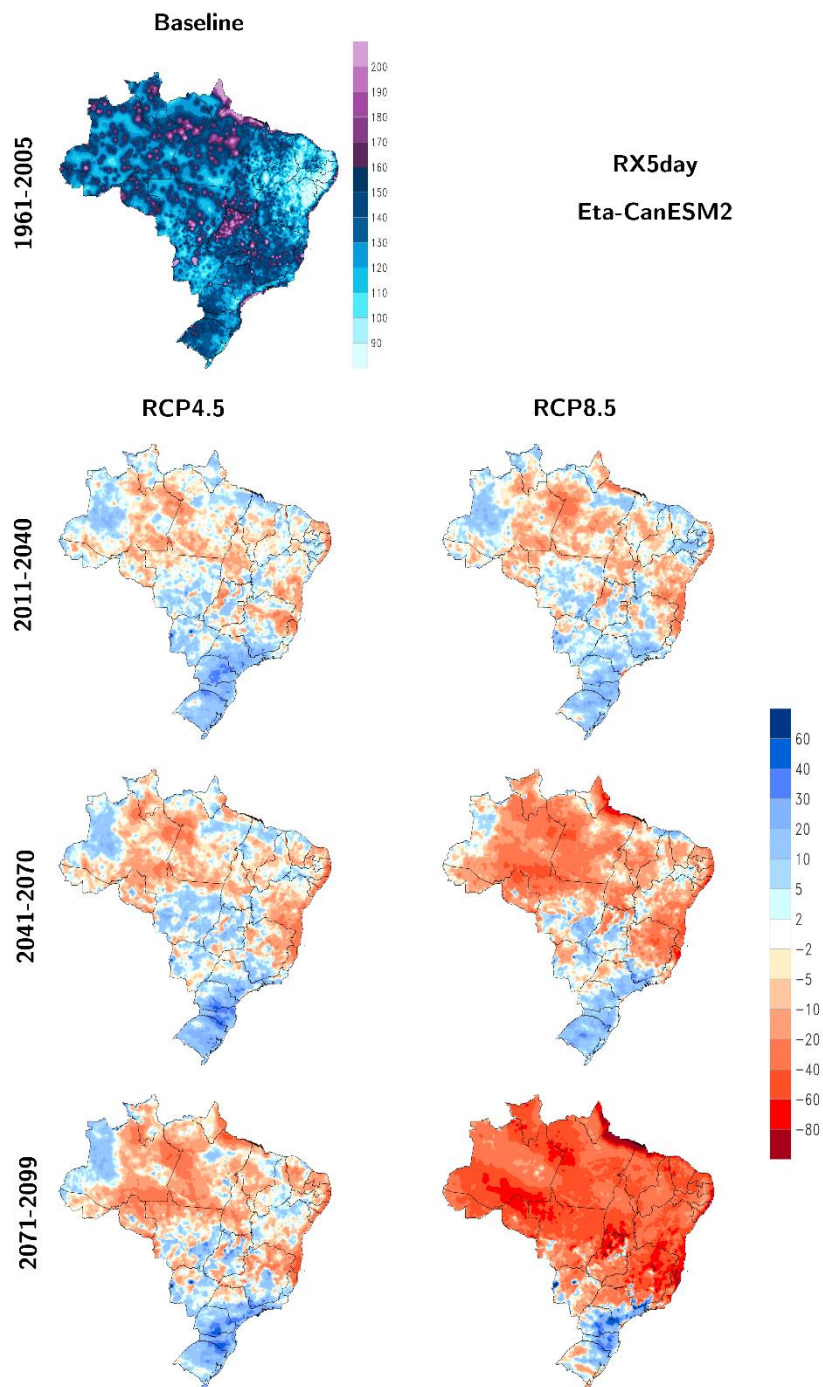


Figura 4.14. Índice RX5day- Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (mm). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

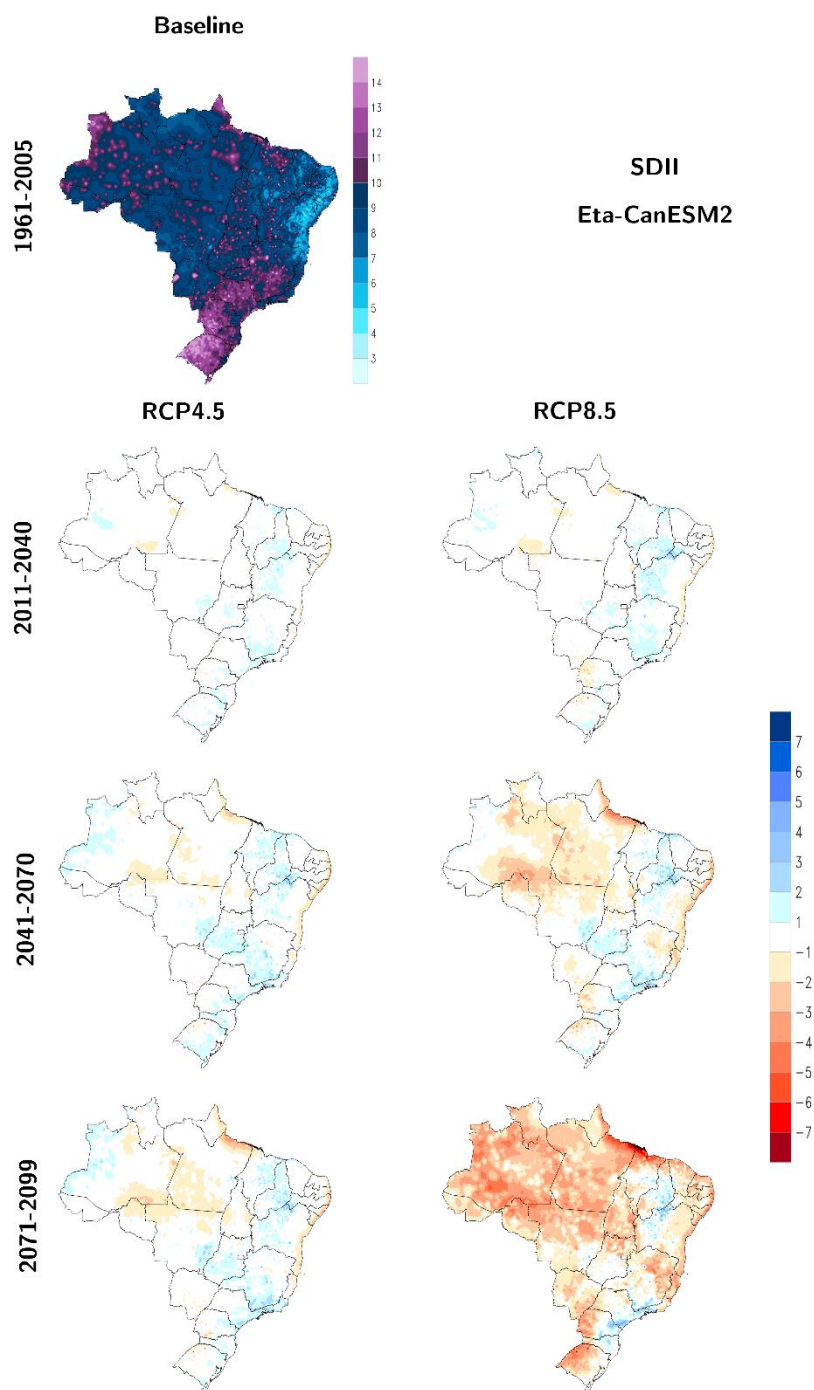


Figura 4.15. Índice SDII- Intensidade média da precipitação anual (mm/dia). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

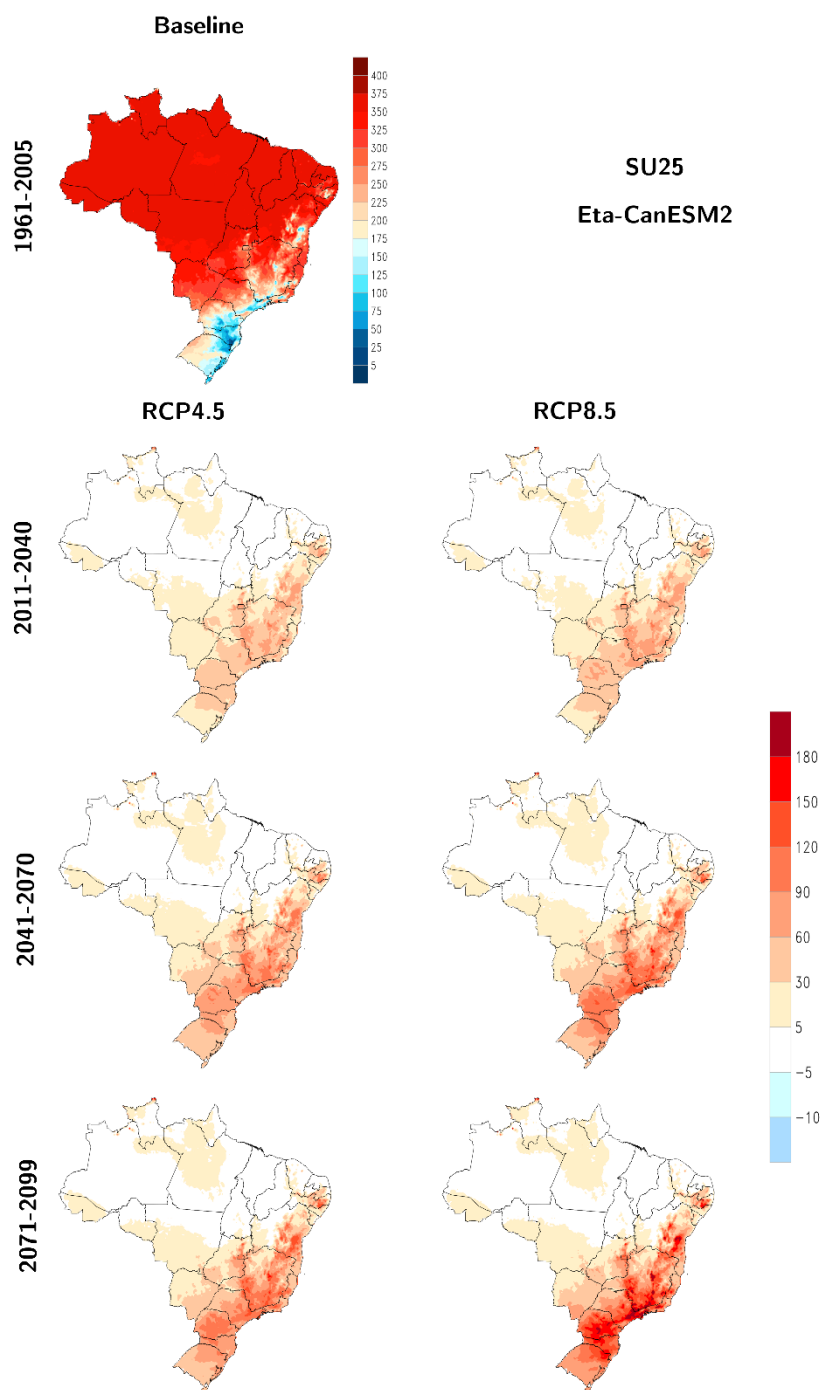


Figura 4.16. Índice SU25- Dias de verão (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

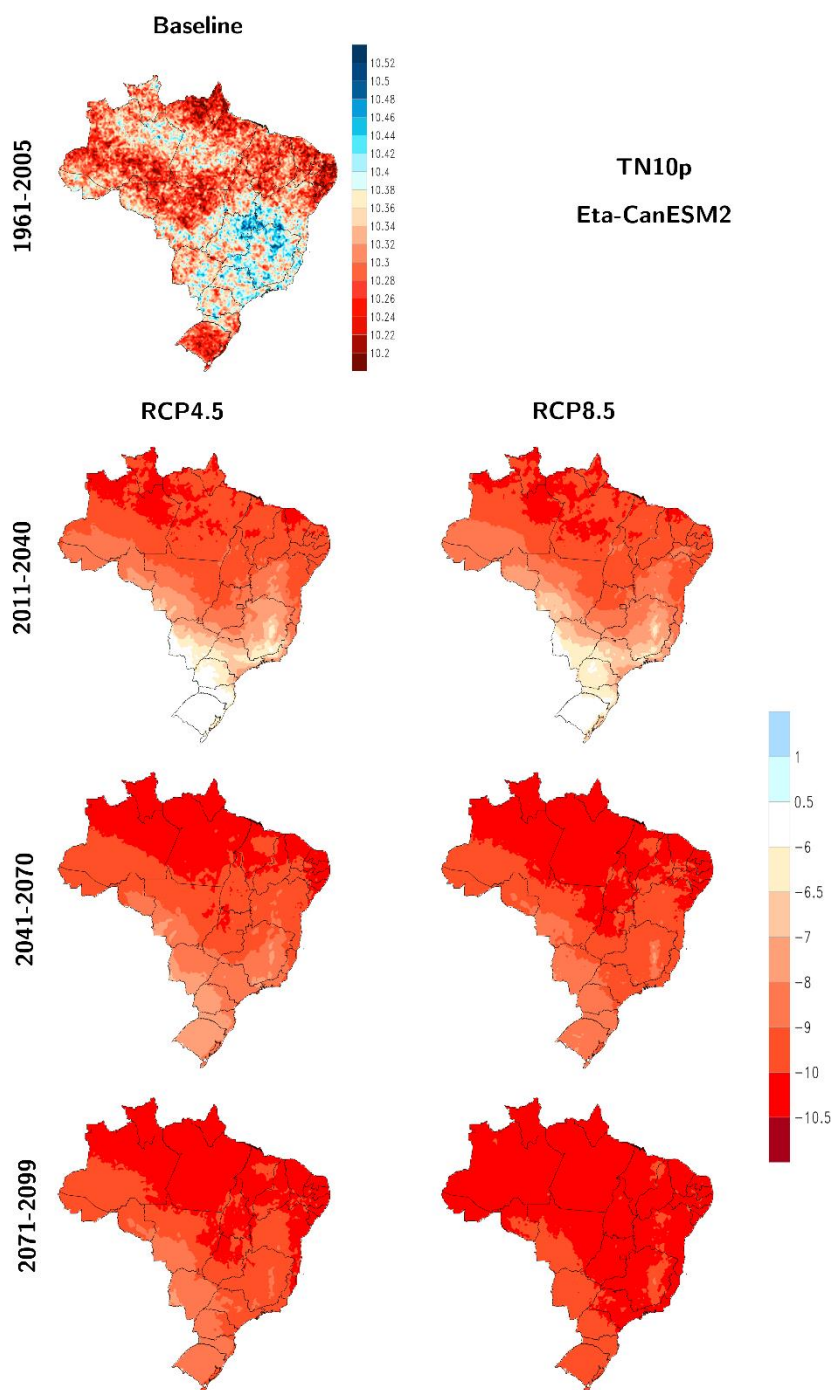


Figura 4.17. Índice TN10p- Frequência das noites muito frias durante o ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

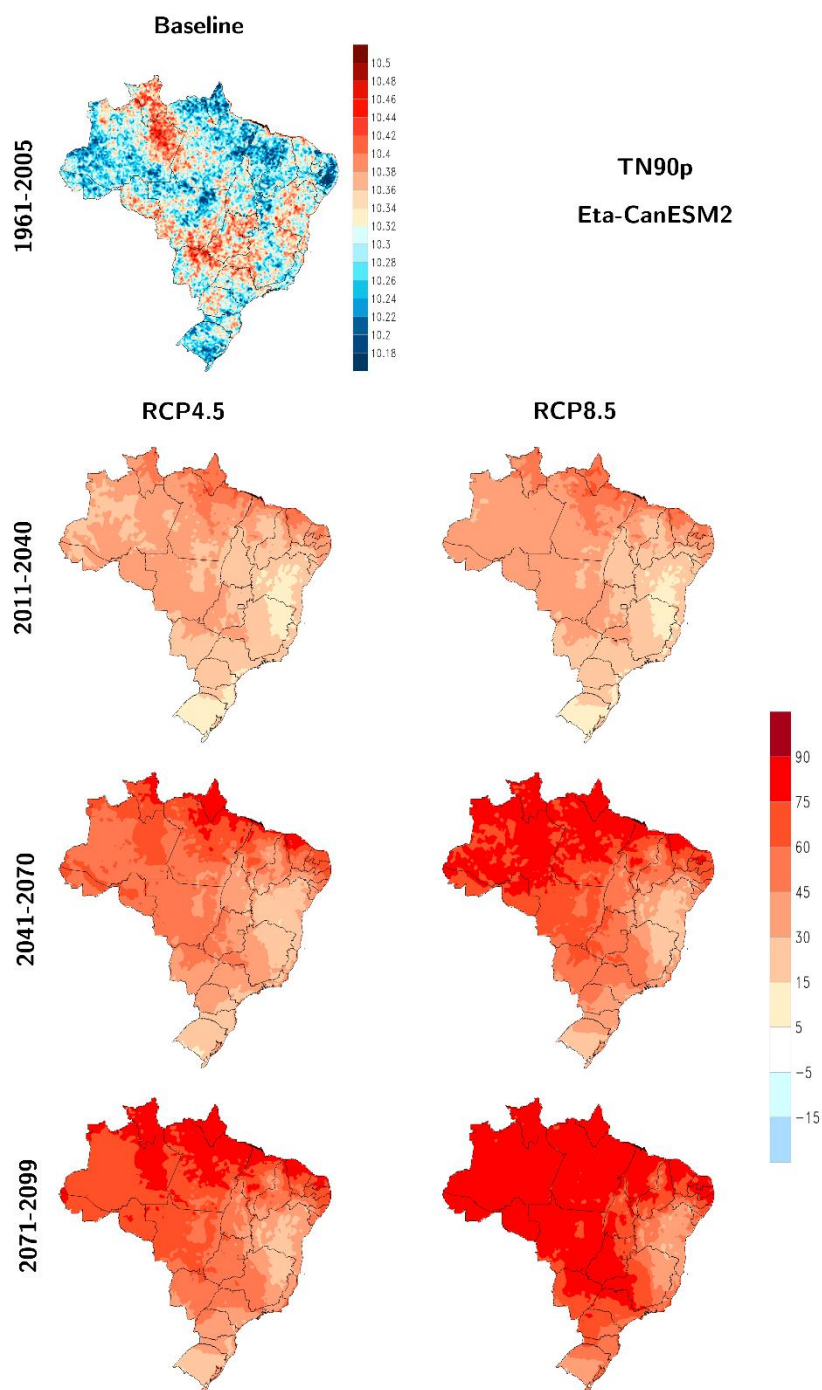


Figura 4.18. Índice TN90p- Frequência das noites muito quentes durante o ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

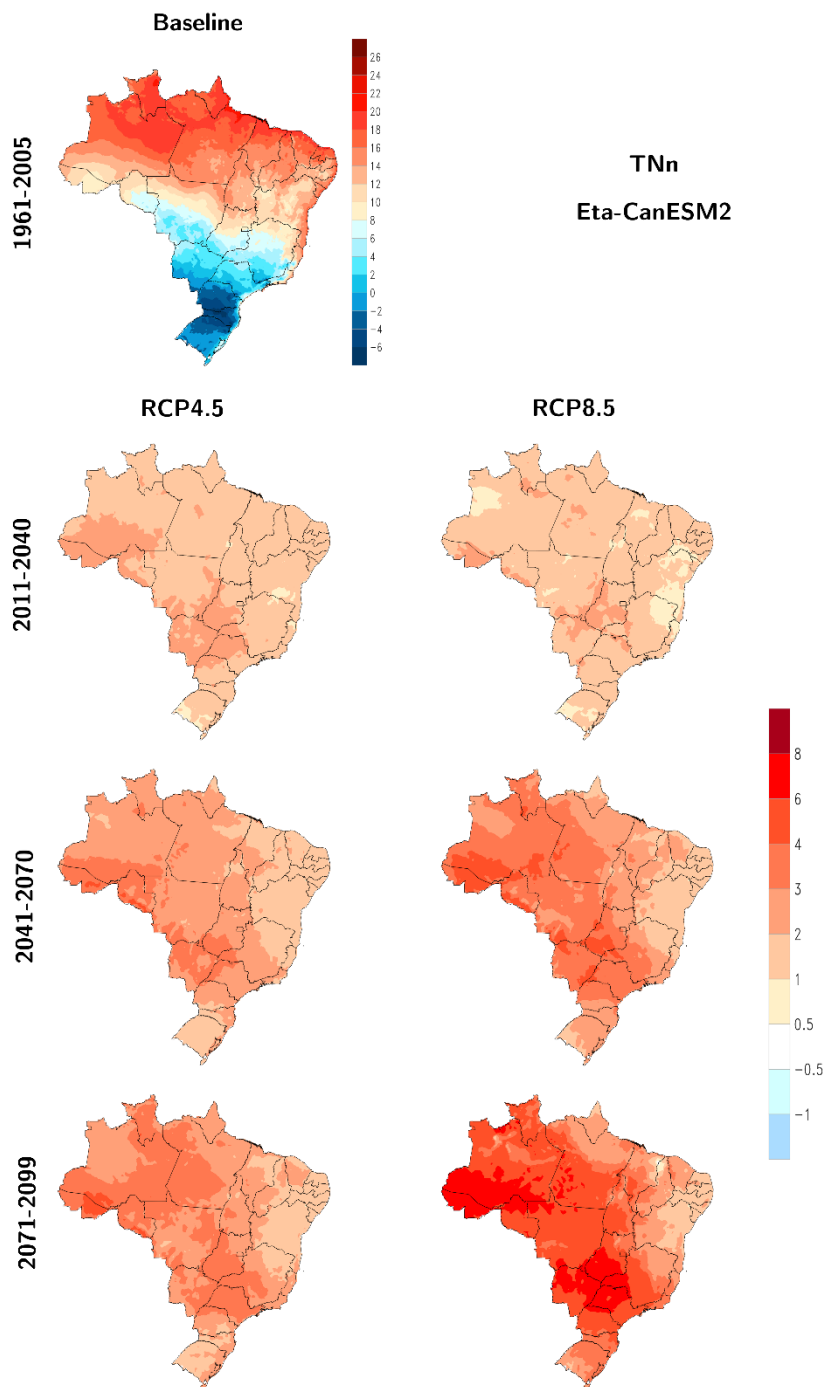


Figura 4.19. Índice Tn- Menor temperatura mínima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

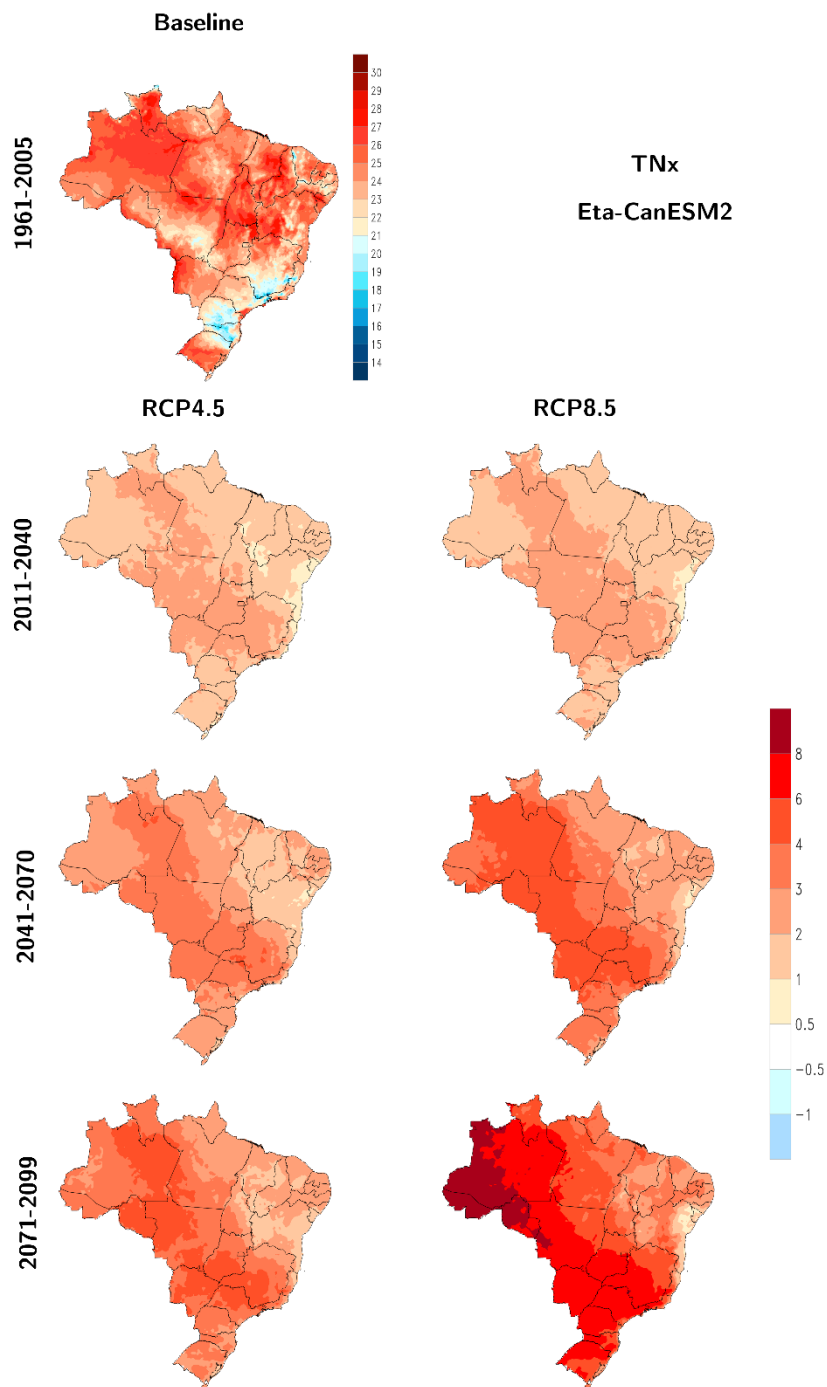


Figura 4.20. Índice TNx- Maior temperatura mínima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

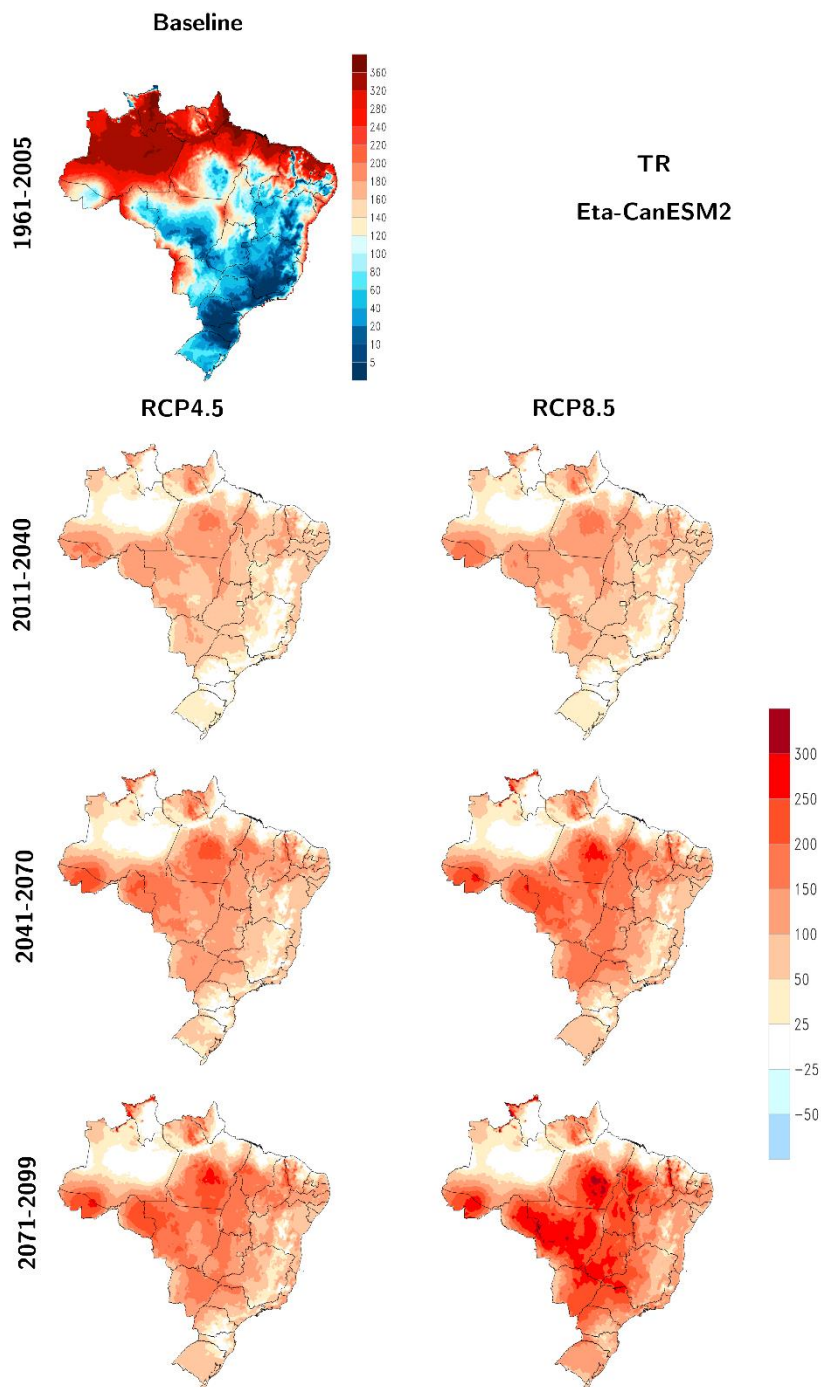


Figura 4.21. Índice TR- Noites Tropicais (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

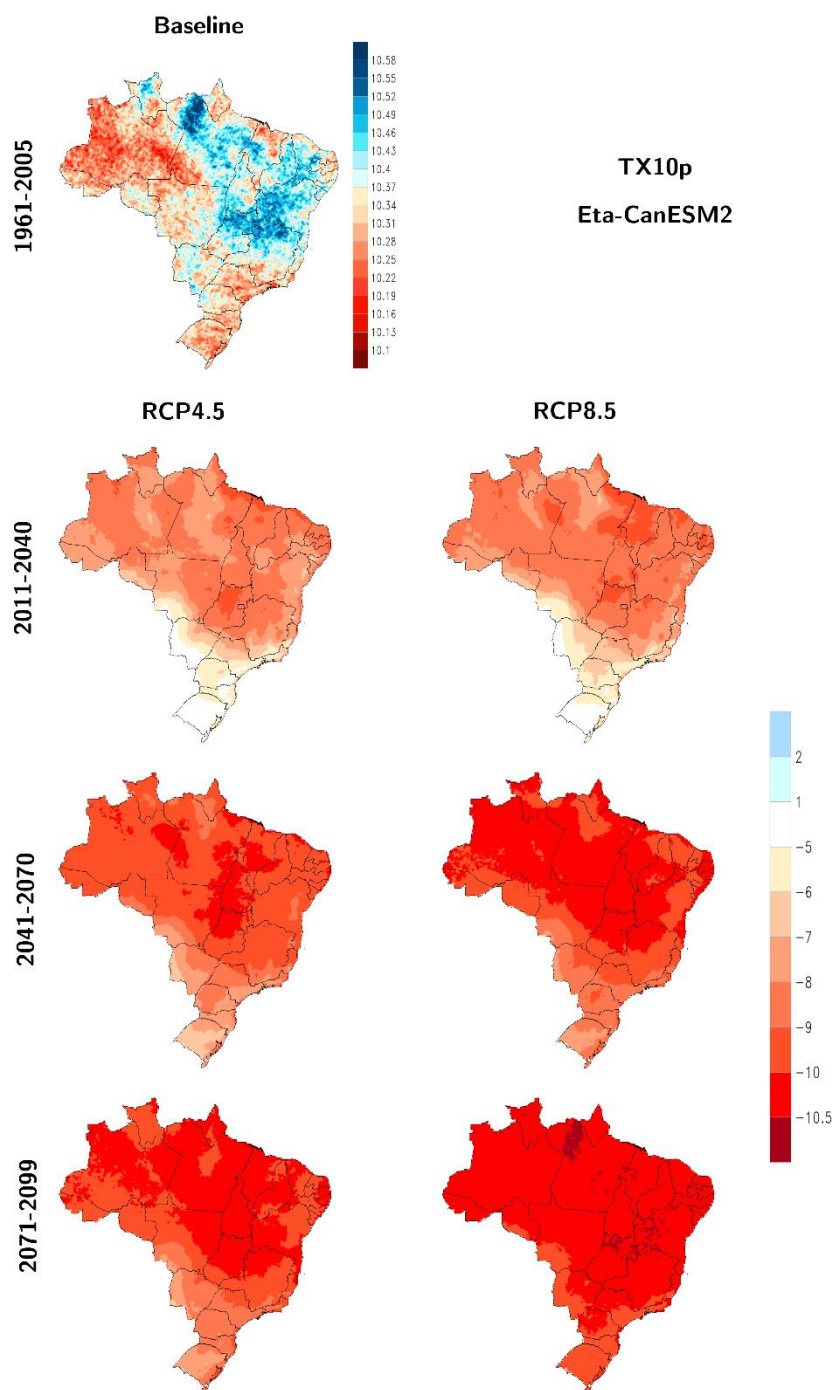


Figura 4.22. Índice TX10p- Frequência de dias muito frios no ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

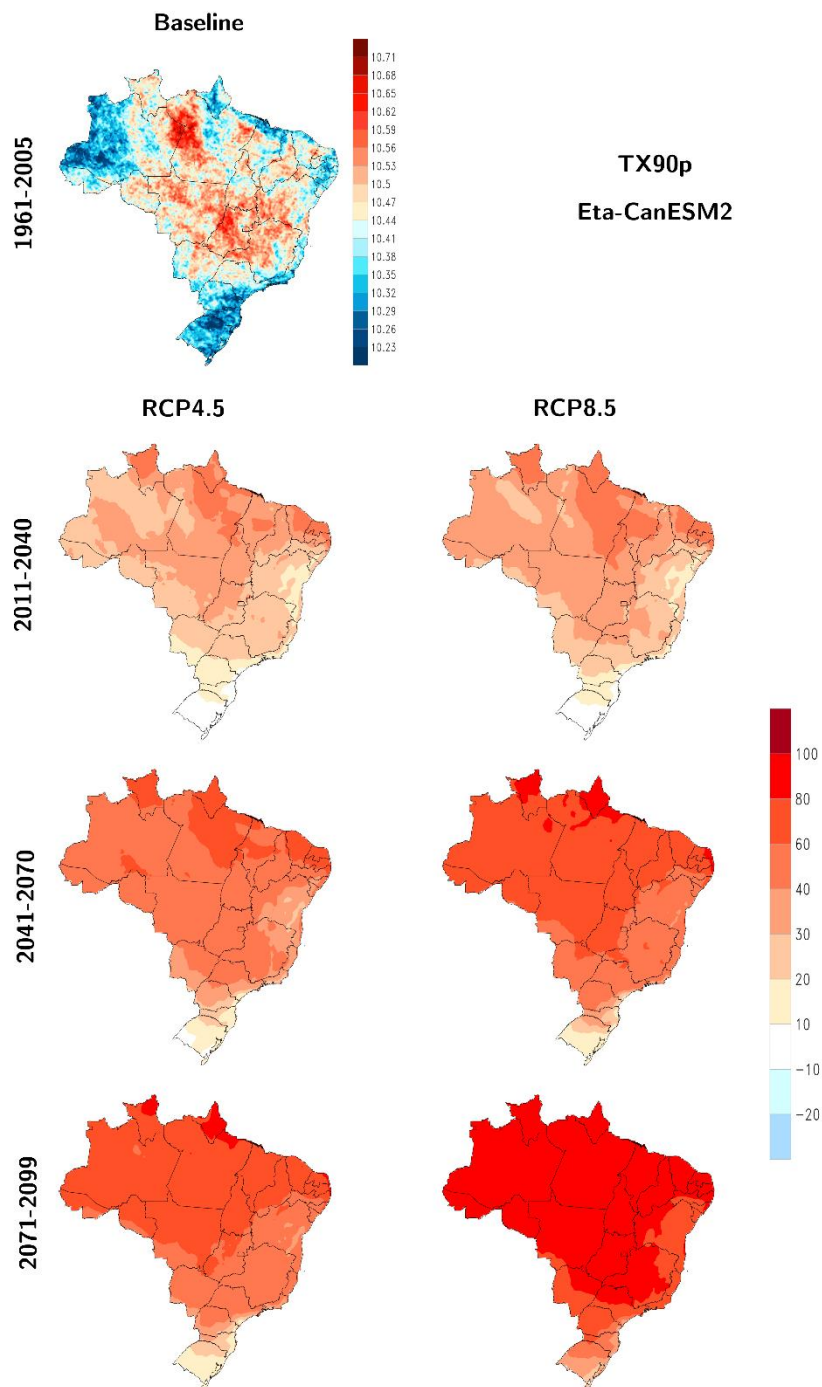


Figura 4.23. Índice TX90p- Frequência de dias muito quentes no ano (%). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

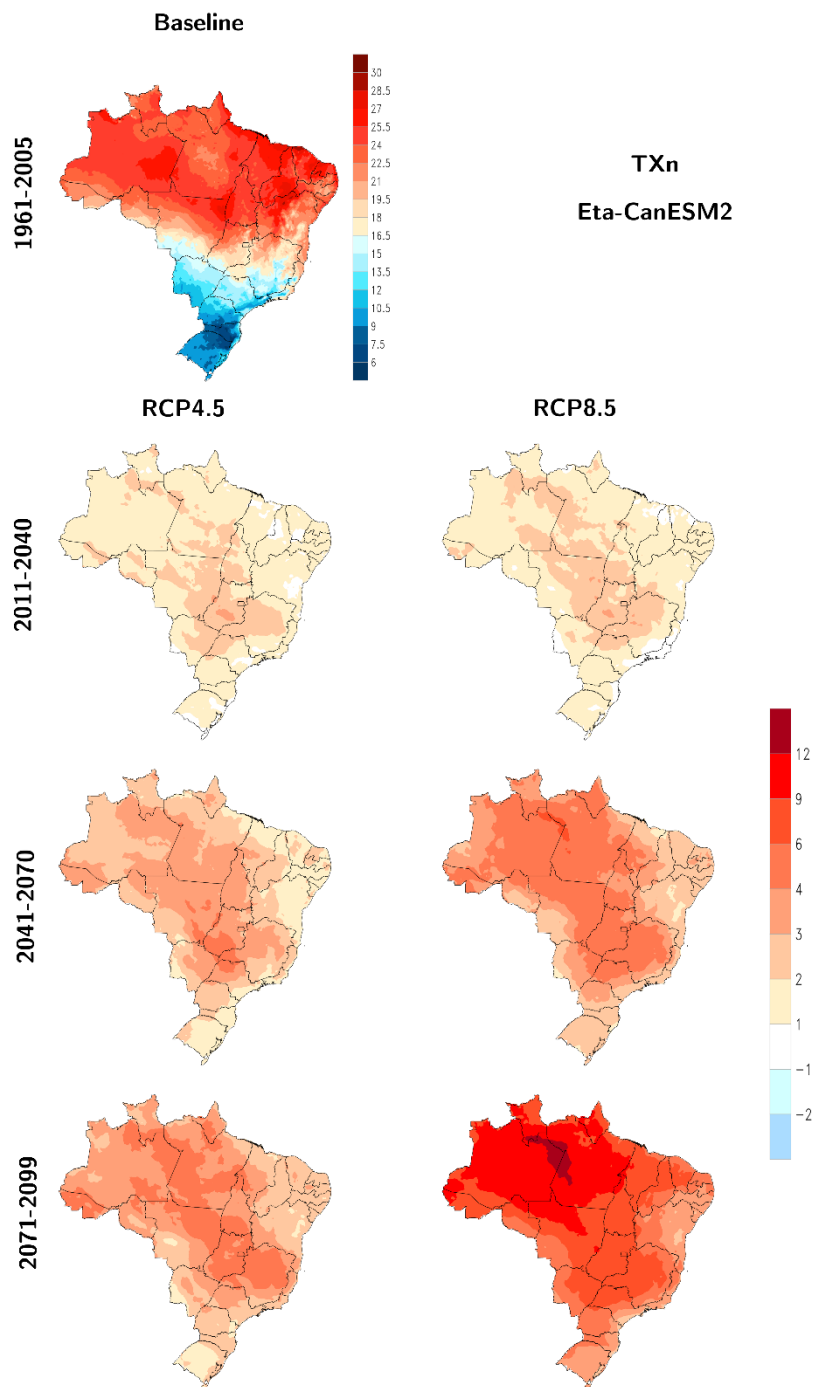


Figura 4.24. Índice TXn- Menor temperatura máxima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

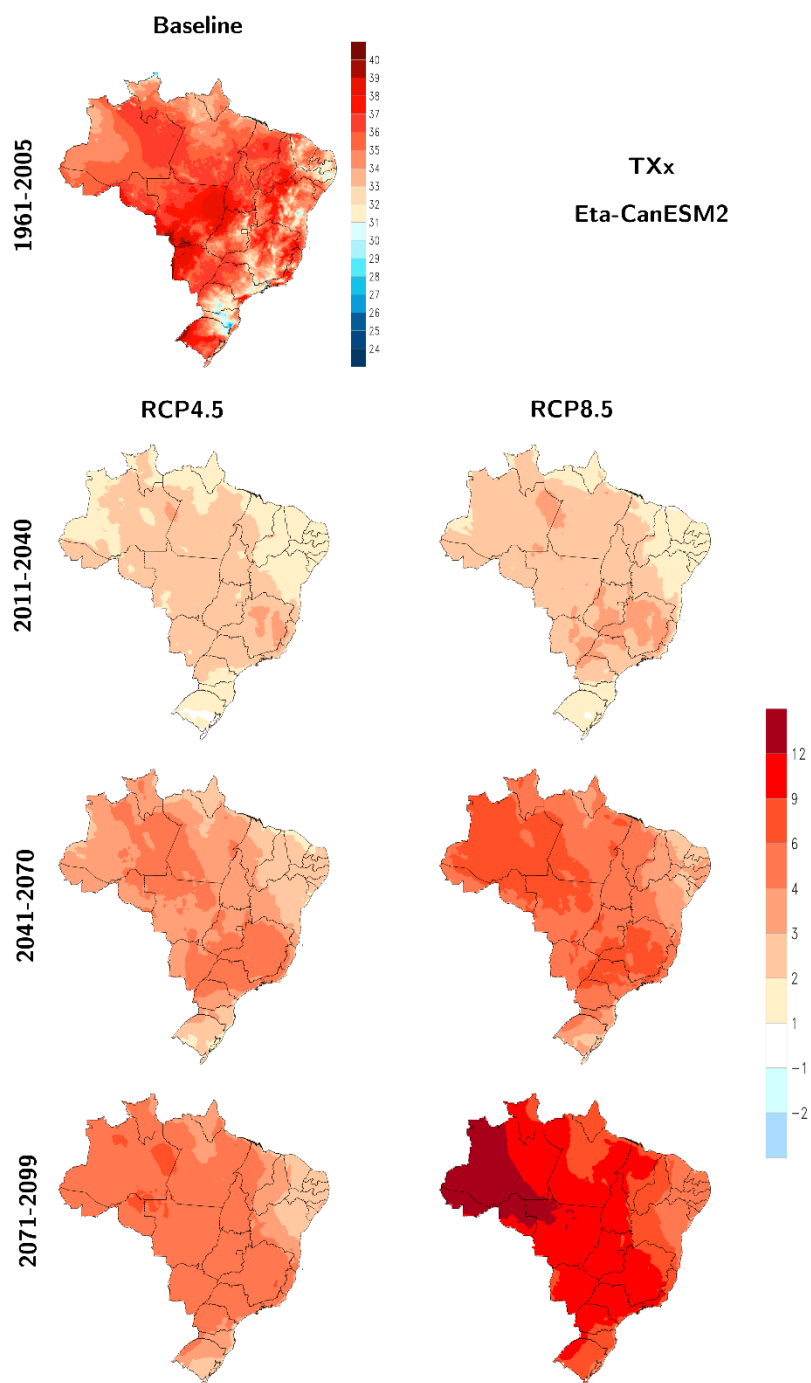


Figura 4.25. Índice TXx- Maior temperatura máxima anual (°C). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

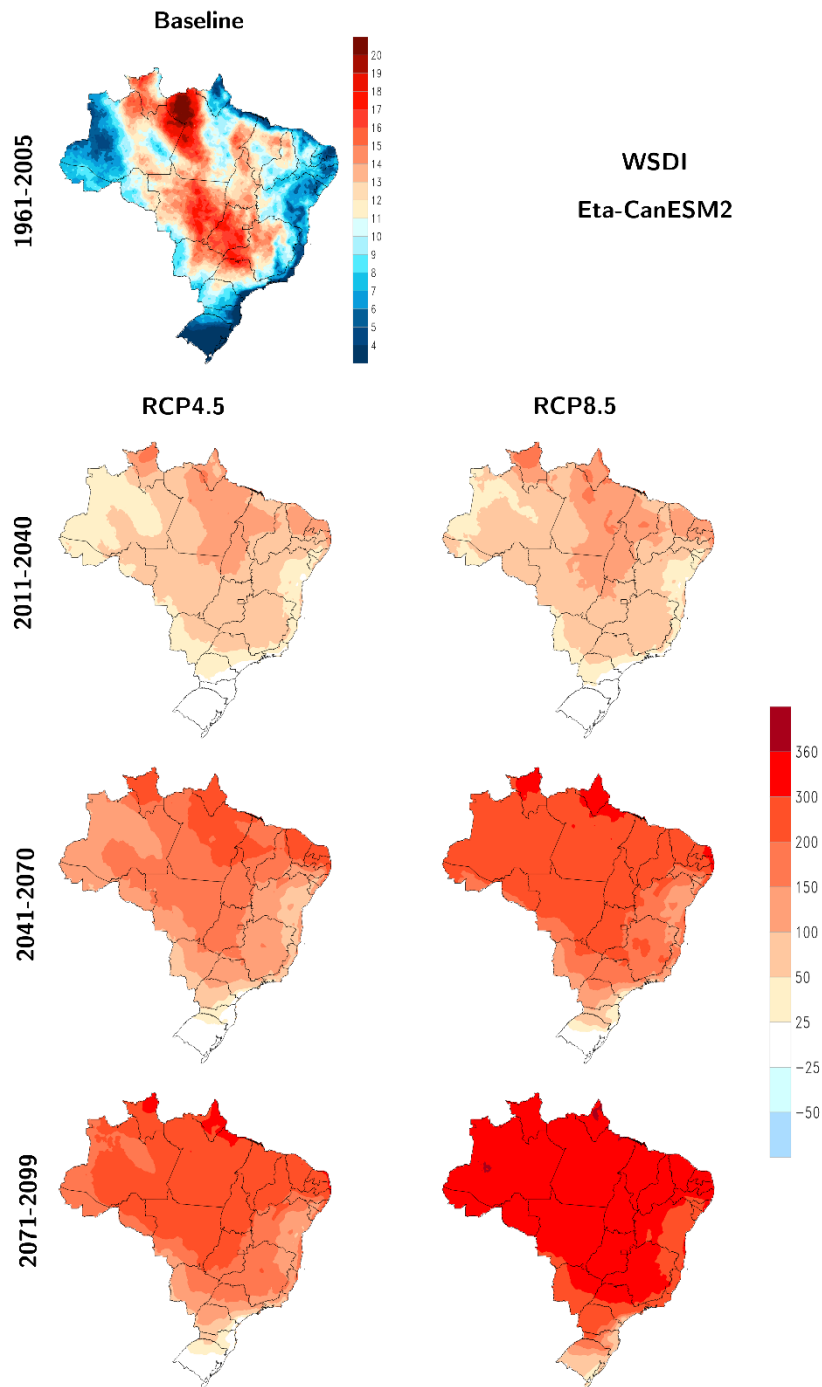


Figura 4.26. Índice WSDI- Duração das ondas de calor no ano (dias). A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período baseline (1961-2005) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

5.0 Próximas etapas

Na próxima etapa será apresentado o relatório demonstrando o carregamento dos índices de extremos climáticos gerados nesse produto no banco de dados via plataforma PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br/>).

6.0 Síntese e considerações finais

O objetivo deste produto consistiu dos cálculos dos extremos climáticos a partir das variáveis de precipitação e das temperaturas máximas e mínimas com correção de viés utilizando o modelo Eta-CanESM 20 km. Os índices foram calculados para o período baseline (1961 a 2005) e para projeções dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 (2006 a 2099). A aplicação do método de correção de viés contribuiu para ajustes das variáveis no período baseline e consequentemente para representação dos extremos climáticos mais próximos das observações, constatados pelos valores calculados para a estação de São Paulo. Portanto, as variáveis com correção de viés também foram usadas nos cálculos dos extremos para as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5. O uso e aplicação dos índices de extremos com correção de viés podem contribuir enormemente para estudos de impactos pois apresentam menor incerteza em relação as simulações e projeções não corrigidas.

Referências Bibliográficas

ALEXANDER, L. V., X. ZHANG, T. C. PETERSON, J. CAESAR, B. GLEASON, A. KLEIN TANK, M. HAYLOCK, D. COLLINS, B. TREWIN, F. RAHIMZADEH, A. TAGIPOUR, P. AMBENJE, K. RUPA KUMAR, J. REVADEKAR, G. GRIFFITHS, L. VINCENT, D. STEPHENSON, J. BURN, E. AGUILAR, M. BRUNET, M. TAYLOR, M. NEW, P. ZHAI, M. RUSTICUCCI, J. L. VAZQUEZ-AGUIRRE Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J. Geophys. Res.**, 111, D05109, 2005. DOI: 10.1029/2005JD006290.

ARORA, V. K.; BOER, G. J. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3327-3348, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02202.x

ARORA, V. K. et al. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 5, 2011. DOI: 10.1029/2010GL046270

BÁRDOSSY, A.; PEGRAM, G. Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology, **Water Resources Res.**, v. 47, W04505, 2011.

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and forecasting**, 9, 265-278, 1994. DOI: DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434\(1994\)009<0265:TNNMEM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434(1994)009<0265:TNNMEM>2.0.CO;2)

CHOU, S. C. Modelo regional Eta. **Climanálise Especial**. Edição Comemorativa de 10 anos, MCT/INPE/CPTEC, Cachoeira Paulista, 1996.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate dynamics**, v. 38, n. 3-4, p. 635-653, 2012. doi: 10.1007/s00382-011-1002-8

CHOU, S. C.; LYRA, A. A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014a. DOI: 10.4236/ajcc.2014.35043

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014b. doi: 10.4236/ajcc.2014.35039

CHYLEK, P. et al. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 11, n. 8, p. 22893-22907, 2011.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J., CARPIO, J. M., FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, p. 124007, 2014. DOI:10.1088/1748-9326/9/12/124007.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, V. 18, n. 9, p. 1326-1350, 2005. DOI: 10.1175/JCLI3339.1.

HIJMANS, Robert J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005. DOI: 10.1002/joc.1276

HYNDMAN, R.J.; FAN, Y. Sample quantiles in statistical packages. *The American Statistician*, 50, 361-367, 1996.

IPCC, 2007: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp

LENDERINK, G., BUIHAND, A., VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 11 (3), 1145–1159, 2007.

LYRA, A. A.; TAVARES, P. S.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.; SONDERMAN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the

non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-20, 2017. doi: 10.1007/s00704-017-2067-z

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010. DOI 10.1007/s10584-009-9743-7.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012. DOI: 10.1007/s00382-011-1155-5.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M. P.; PABLÓ, A. D. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00642.1.

MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil para a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas** – Volume II. Brasília, Brasil, 2016.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Mon. Wea. Rev.**, 116, 1493-1518, 1988.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010. doi:10.1038/nature08823

PESQUERO, J. F.; CHOU, S. C.; NOBRE, C.A.; MARENGO, J. A. Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. **Theoretical and applied climatology**, v. 99, n. 1-2, p. 75-93, 2010. doi: 10.1007/s00704-009-0123-z

TAVARES, P. S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S. C., SILVA, A. J. P.; LYRA, A. A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, p. 1-11, 2017. DOI: 10.1007/s1011.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. I. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**. 456–457, p.12-29, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>

VIOLA, M. R. ; DE MELLO, C. R. ; CHOU, S. C. ; YANAGI, S. N. ; GOMES, J. L. . 2014. Assessing climate change impacts on Upper Grande River Basin hydrology, Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**. DOI: 10.1002/joc.4038.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 014002, 2008. DOI:10.1088/1748-9326/3/1/014002.

ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex User Manual. Climate Research Division, **Science and Technology Branch**, Environment Canada. 23 p., 2004.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS F.; KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature change. **J. Climate**, 18, 1641-1651, 2005.