

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

Relatório 3/8 - Relatório contendo o cálculo dos indicadores de extremos climáticos a partir das variáveis de vento, pressão e radiação com correção de viés utilizando o modelo Eta20km-MIROC5, baseline, RCP4.5 e RCP8.5.

Gustavo Medeiros

Elaborado por: **Gustavo Sueiro Medeiros** - gustavo.sueiro@cptec.inpe.br

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

Esplanada 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

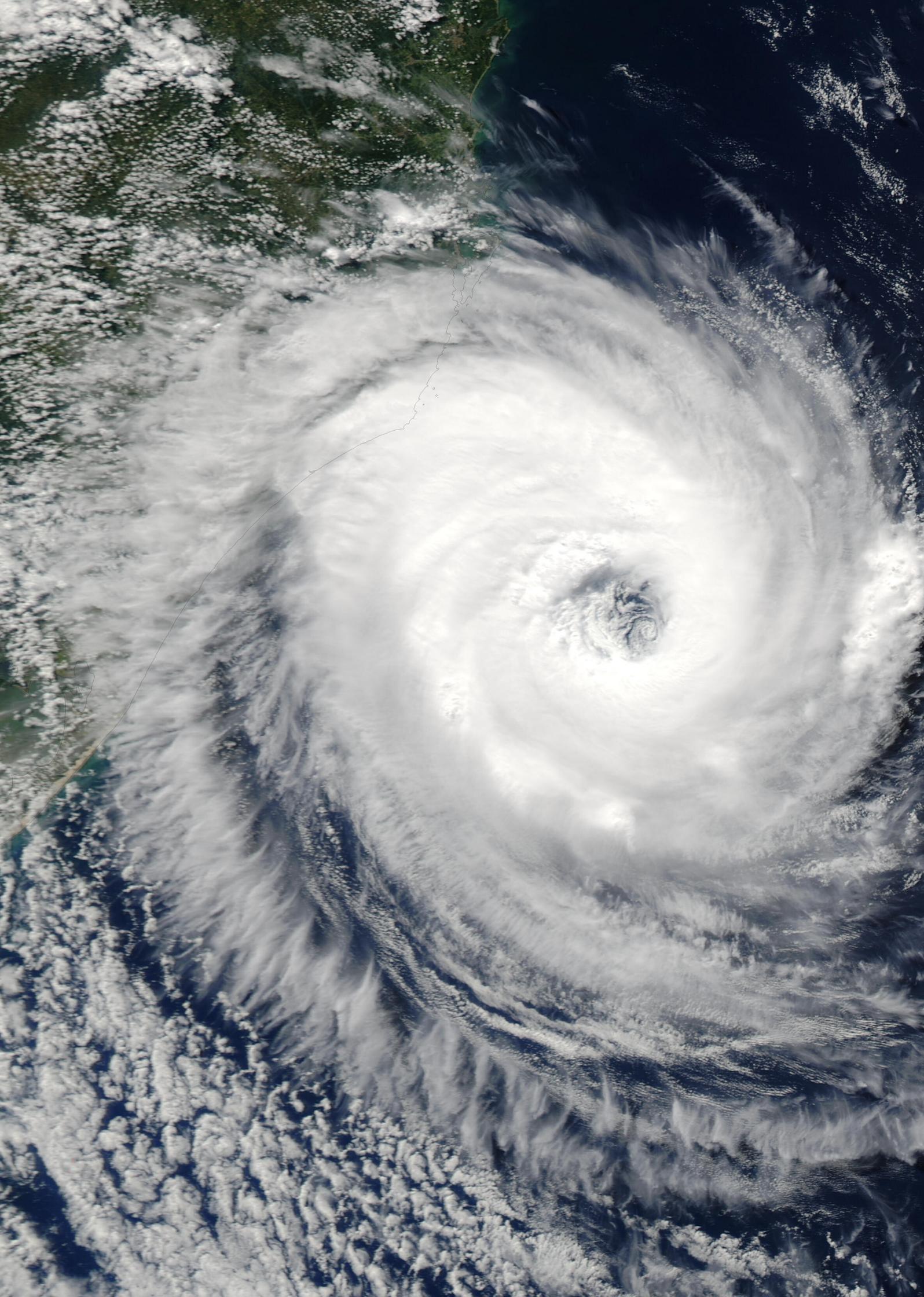
A encargo de:

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	vi
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	2
2 Dados e Metodologia	2
2.1 Modelo Eta-MIROC5	2
2.2 Correção de viés	4
2.3 Extremos Climáticos	6
2.3.1 Índices de Extremos de Pressão	6
2.3.2 Índices de Extremos de Vento	7
2.3.3 Índices de Extremos de Radiação de Onda Curta	8
2.4 Metodologia	9
3 Resultados	10
4 Produtos disponibilizados	14
Índices de extremos climáticos de pressão à superfície	16
Índices de extremos climáticos de radiação de onda curta	20
Índices de extremos climáticos de vento	24
5 Próximas etapas	28
6 Síntese e considerações finais	28
Referências Bibliográficas	29

Lista de Figuras

- Figura 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). 5
- Figura 2** Radiação de onda curta (W/m^2) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1980-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. .. 11
- Figura 3** Pressão à superfície (hPa) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés. .. 12
- Figura 4** Vento Máximo (m/s) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés..... 13
- Figura 5** Índice PSx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 16

- Figura 6** Índice PSn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 17
- Figura 7** Índice PS10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 18
- Figura 8** Índice PS90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 19
- Figura 9** Índice OCx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 20
- Figura 10** Índice OCn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 21
- Figura 11** Índice OC10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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, 2041-2070,2071-2099. 22
- Figura 12** Índice OC90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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..... 23

Figura 13 Índice WXx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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 14 Índice WXn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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 15 Índice WX10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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 16 Índice WX90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) 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

Lista de Tabelas

Tabela 1 Estações meteorológicas selecionadas ao longo do território brasileiro. Fonte: INMET (http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep)... 9	9
Tabela 2 Índices de extremos climáticos de radiação de onda curta para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto..... 14	14
Tabela 3 Índices de extremos climáticos de pressão a superfície para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto..... 14	14
Tabela 4 Índices de extremos climáticos de vento máximo para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto..... 14	14
Tabela 5 Lista de Conjunto de dados..... 15	15

1 Introdução

A frequência e intensidade dos eventos de precipitação intensa têm aumentado, 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 têm se tornado cada vez menos frequentes, enquanto dias quentes, noites quentes, e ondas de calor têm aumentado a frequência de ocorrências (Marengo et al. 2010). Tais eventos produzem impactos socioeconômicos severos nas atividades de infraestrutura de gerenciamento de recursos hídricos e energia, por exemplo.

Vale conceituar que os “eventos extremos” são aqueles que se distanciam das condições médias 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. É possível 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). Além do aumento dos riscos dos eventos extremos, há aumento também dos riscos de eventos singulares de grande escala, ou seja, eventos ainda não experimentados. 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).

Além dos eventos extremos, considerando variáveis como chuva e temperatura, há ainda de se considerar a ocorrência de extremos climáticos de vento, pressão à superfície e radiação de onda curta. Apesar de pouco explorados, extremos climáticos associados a estas variáveis podem causar também graves prejuízos aos setores chaves, mencionados anteriormente.

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 de medidas de adaptação 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 produzidas por Chou et. al (2014a e 2014b) através do modelo regional Eta. Essas projeções foram utilizadas para elaborar a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016) para apoiar o projeto Brasil 2040, além de terem 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 terceiro 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 vento, pressão à superfície e radiação de onda curta com correção de viés utilizando o modelo Eta20 km-MIROC5, baseline, RCP4.5 e RCP8.5.

2 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 aninhado ao modelo MIROC5, que será denominado Eta-MIROC5 e o método usado para correção de viés.

2.1 Modelo Eta-MIROC5

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 é 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 MIROC5 na resolução horizontal de 20 km, chamado a partir de agora como Eta-MIROC5. O modelo MIROC5 (*Model for Interdisciplinary Research, versão 5*) é composto pelos modelos atmosférico de circulação global da atmosfera (CCSR-NIES-Frontier Research Center for Global Change – Numaguti et al., 1997), modelo

oceânico CCSR Ocean Component Model (COCO;Hasumi,2006) que inclui um modelo de gelo oceânico global, e um modelo de superfície que possui um módulo de rios acoplado. O MIROC5 (Watanabe et al., 2010) é uma versão melhorada do modelo MIROC3.2 utilizado no IPCC AR4 (2007). Os núcleos dinâmicos do modelo atmosférico e os esquemas de parametrização de radiação, convecção cúmulos, turbulência e aerossóis foram atualizados na versão MIROC5. Nos modelos oceânicos e de superfície continental do MIROC5, a componente do gelo marinho foi melhorada e uma avançada versão do modelo de rios (Oki e Sud, 1998) foi incorporada. Uma descrição mais detalhada do modelo MIROC5 pode ser obtida em Watanabe et al. (2010). Detalhamentos do Eta-MIROC5 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 vento máximo (m/s), pressão à superfície (hPa) e radiação de onda curta (W/m^2). O método utilizado na correção dessa variável foi a 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 1 ilustra o esquema utilizado no método de Bárdossy e Pegram (2011).

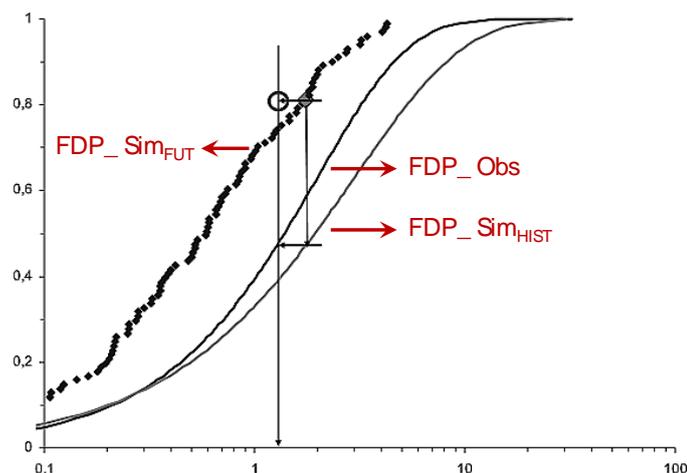


Figura 1 Método de correção de viés Quantil-Quantil proposto por Bárdossy e Pegram (2011). Esquematização da transformação quantil-quantil duplamente relacionado a uma função de distribuição de probabilidade cumulativa (FDP) do dado simulado por um modelo climático a uma FDP de um dado observado para 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).

A base de dados observacionais de radiação de onda curta utilizada para correção do modelo foi um conjunto disponibilizado por Xavier et al. (2016). Este conjunto é uma compilação de dados observados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), construído com análises de consistência e preenchimentos de falhas, além do uso do método de interpolação mais apropriado. O domínio dos dados cobre todo o Brasil na grade regular de 25km x 25km em escala temporal diária para o período de 1980 a 2013. Para aplicação da correção de viés foi feita interpolação na resolução horizontal do modelo Eta, ou seja, 20km. A correção foi aplicada para todos os pontos da grade, num total de 138.450 pontos oriundos de uma matriz 355 x 390.

Para as variáveis vento máximo e pressão à superfície foi construído um conjunto agregando dados de estações meteorológicas do INMET e dados de reanálises meteorológicas do ERA-Interim (Dee et al., 2011) e CFSR (Saha et al., 2010). Estas reanálises foram escolhidas por serem de fácil acesso e por alcançarem bons resultados em estudos que comparam as diferentes reanálises com dados, por exemplo, de vento de estações meteorológicas (Liléo e Petrik, 2011; Carvalho et al., 2014; Stüker et al., 2016).

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 pressão à superfície (hPa), radiação de onda curta (W/m^2) e vento máximo (m/s). O pacote *ClimDex* inclui o *RclimDex*, que 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 12 índices de extremos climáticos, os quais são detalhados a seguir.

2.3.1 Índices de Extremos de Pressão

a) PSx: Valor mensal máximo da pressão diária (hPa)

Temos que PSx será a pressão diária no mês k , período j . A máxima pressão diária em cada mês é:

$$PSx_{kj} = \max (PS_{x_{kj}}) \quad \text{Eq. 1}$$

b) PSn: Valor mensal mínimo da pressão diária (hPa)

Temos que PSn será a pressão diária no mês k , período j . A mínima pressão diária em cada mês é:

$$PSn_{kj} = \min (PS_{n_{kj}}) \quad \text{Eq. 2}$$

c) PS10p: Número de dias no ano em que a pressão está abaixo do 10º percentil da distribuição de pressão diária (porcentagem de dias com baixa pressão) (%).

Seja PS_{ij} a pressão diária no dia i no período j e seja PS_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-1990. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$PS_{ij} < PS_{in10} \quad \text{Eq. 3}$$

d) PS90p: Número de dias no ano em que a pressão está acima do 90^o percentil da distribuição de pressão diária (porcentagem de dias com alta pressão) (%).

Seja PS_{ij} a pressão diária no dia i no período j y seja PS_{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:

$$PS_{ij} > PS_{in90} \quad \text{Eq. 4}$$

2.3.2 Índices de Extremos de Vento

e) WXx: Máximo mensal do vento máximo diário (m/s)

Temos que WXx será o vento máximo diário no mês k , período j . O máximo vento máximo diário em cada mês é:

$$WXx_{kj} = \max (WX_{xkj}) \quad \text{Eq. 5}$$

f) WXn: Valor mensal mínimo do vento máximo diário (m/s)

Temos que WXn será o vento máximo diário no mês k , período j . O mínimo vento máximo diário em cada mês é:

$$WXn_{kj} = \max (WX_{nkj}) \quad \text{Eq. 6}$$

g) WX10p: Número de dias no ano em que a intensidade do vento máximo ocorreu abaixo do 10^o percentil da distribuição de vento diário (ventos máximos fracos) (%)

Seja WX_{ij} o vento máximo diário no dia i no período j , e seja WX_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-1990. A percentagem do tempo para o período base é determinada:

$$WX_{ij} < WX_{in10} \quad \text{Eq. 7}$$

h) WX90p: Número de dias no ano em que a intensidade do vento máximo ocorreu acima do 90º percentil da distribuição de vento diário (ventos máximos fortes) (%).

Seja WX_{ij} o vento máximo diário no dia i no período j , e seja WX_{in90} o dia calendário do percentil 90th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-1990. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$WX_{ij} > WX_{in90} \quad \text{Eq. 8}$$

2.3.3 Índices de Extremos de Radiação de Onda Curta

i) OCx: Valor mensal máximo da radiação diária (W/m^2)

Temos que OCx será a radiação diária no mês k , período j . A máxima radiação diária em cada mês é:

$$OCx_{kj} = \max (OC_{x_{kj}}) \quad \text{Eq. 9}$$

j) OCn: Valor mensal mínimo da radiação diária (W/m^2)

Temos que OCn será a radiação diária no mês k , período j . A mínima radiação diária em cada mês é:

$$OCn_{kj} = \min (OC_{kj}) \quad \text{Eq. 10}$$

k) OC10p: Número de dias no ano em que a radiação está abaixo do 10º percentil da distribuição de radiação diária (porcentagem de dias com baixa radiação) (%).

Seja OC_{ij} a radiação diária no dia i no período j e seja OC_{in10} o dia calendário do percentil 10th centrado na janela de 5 dias para o período base 1961-1990. A percentagem do tempo para o período base é determinada por:

$$OC_{ij} < OC_{in10} \quad \text{Eq. 11}$$

l) OC90p: Número de dias no ano em que a radiação está acima do 90º percentil da distribuição de radiação diária (porcentagem de dias com alta radiação) (%).

Seja OC_{ij} a radiação diária no dia i no período j y seja OC_{in90} o dia calendário do percentil 90th centrado na janela de 5 dias para o período

base 1961-1990. A percentagem do tempo para o período base é determinado:

$$OC_{ij} > OC_{in90} \quad \text{Eq. 12}$$

2.4 Metodologia

Foram realizadas análises das variáveis vento máximo, pressão à superfície e radiação de onda curta antes e após aplicação da correção de viés para o período baseline (1961-1990). 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 percentagem de falhas para o período de 1961-1990 (Tabela 1).

Tabela 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 às estações meteorológicas e foram avaliadas através das médias mensais e do erro médio absoluto (MAE). Os extremos climáticos também foram avaliados considerando o campo espacial do erro médio (BIAS) e dos índices calculados para o ponto de grade referente à estação de São Paulo. Além do 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 13, 14 e 15, respectivamente, descritas abaixo:

$$BIAS = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_i - V_{obs_i}) \quad \text{Eq. 13}$$

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |V_i - V_{obs_i}| \quad \text{Eq. 14}$$

$$SS = \left(\frac{E_{Eta} - E_{EtaCor}}{E_{Eta}} \right) 100 \quad \text{Eq. 15}$$

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.

3 Resultados

Para avaliar a aplicação da correção de viés, foram gerados os ciclos anuais das variáveis de Vento máximo (m/s), Pressão à superfície (hPa) e Radiação de onda curta (W/m^2) das estações meteorológicas selecionadas. Podemos verificar que as variáveis avaliadas na série corrigida tem um comportamento muito parecido com a observação, isto se deve pelo fato de que a correção do modelo Eta foi realizada tendo como base os dados observados. Em relação ao erro absoluto médio, verifica-se que, em todas as cidades avaliadas, este erro diminui após a correção, reforçando a ideia de que as séries do modelo Eta são mais representativas após a correção de viés, conforme apresentado nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Em geral verifica-se que o método aplicado para correção das variáveis foi eficaz no ajuste das simulações do modelo Eta-MIROC5 e que, portanto, o uso destas variáveis corrigidas podem contribuir nos estudos de impactos tendo em vista que apresentam menor incerteza nestas simulações.

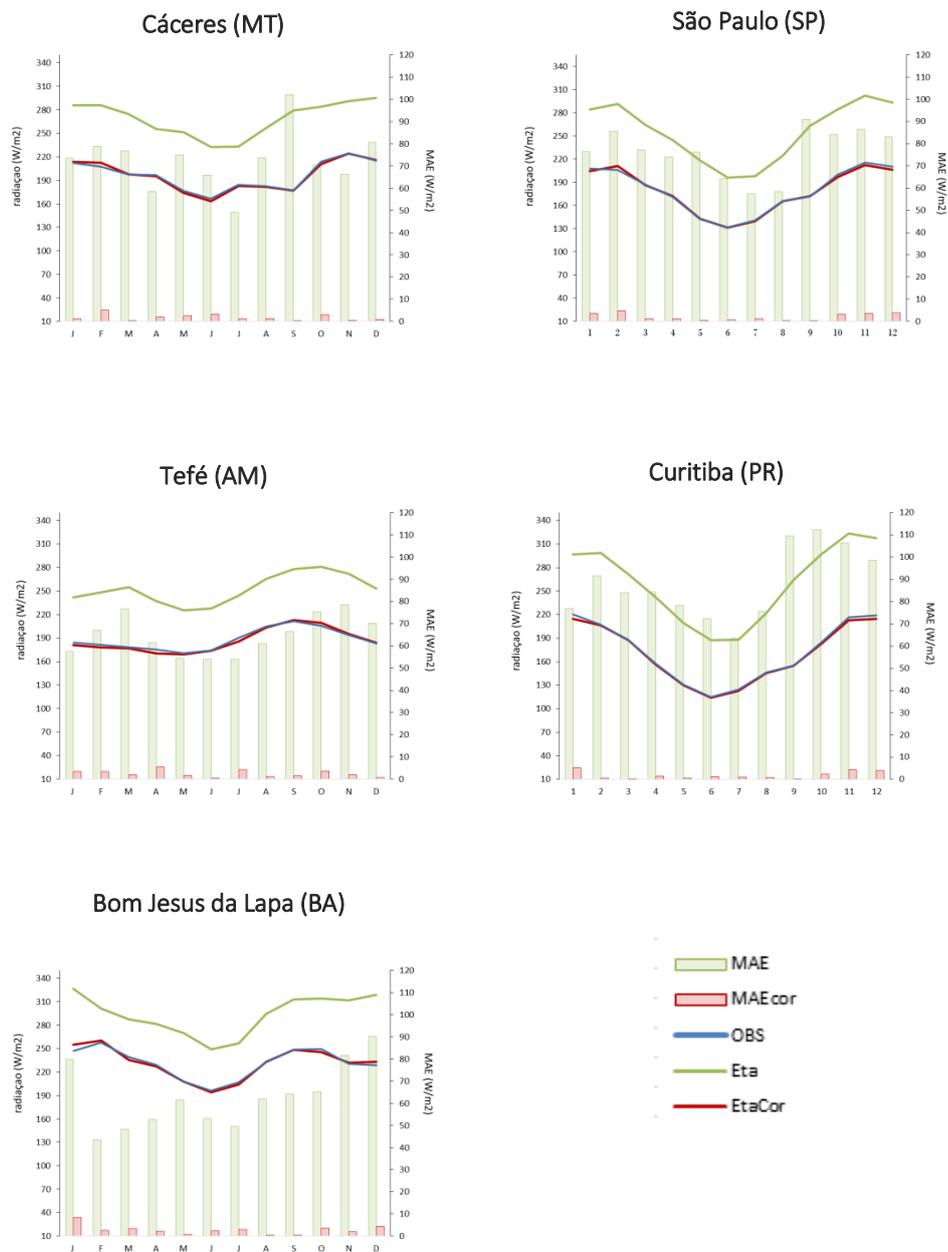


Figura 2 Radiação de onda curta (W/m^2) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1980-2005. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

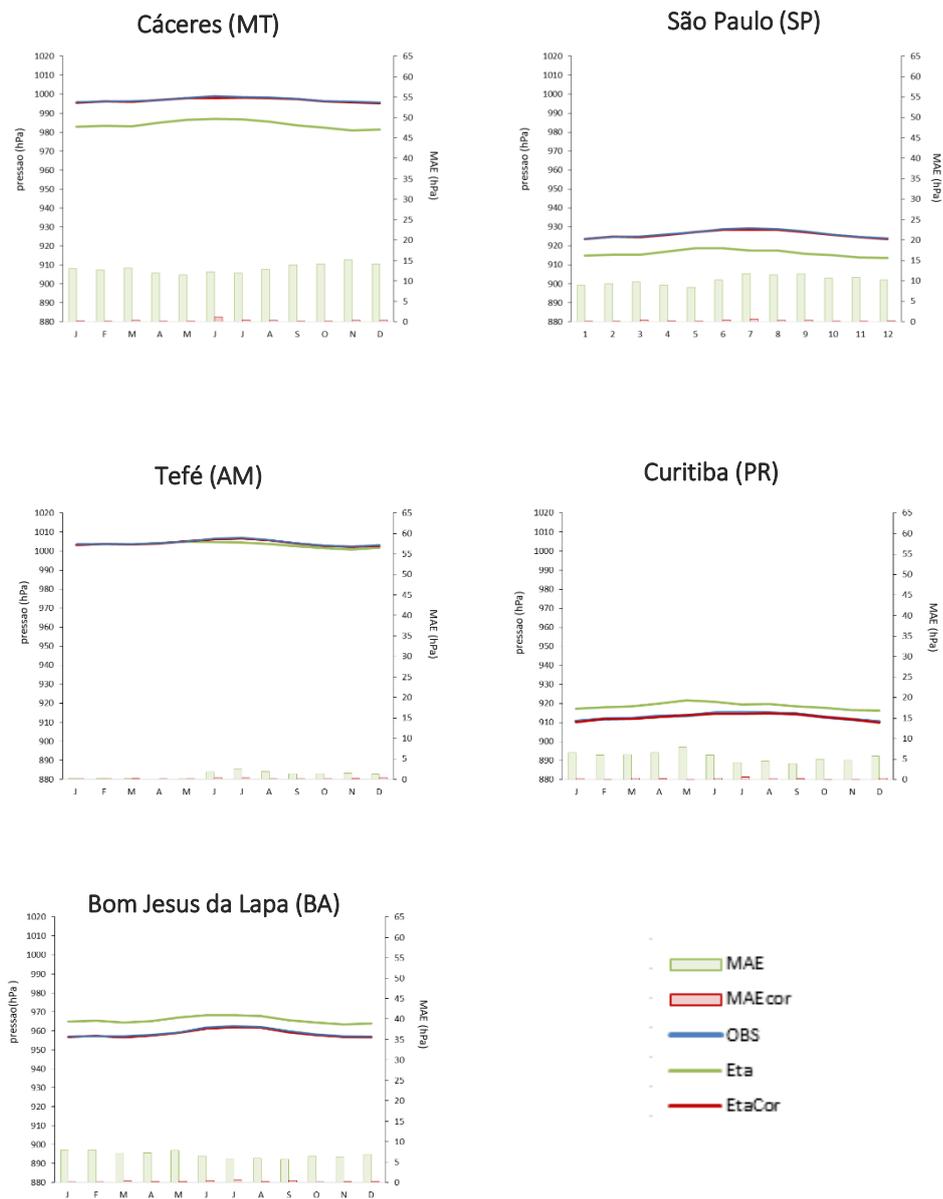


Figura 3 Pressão à superfície (hPa) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

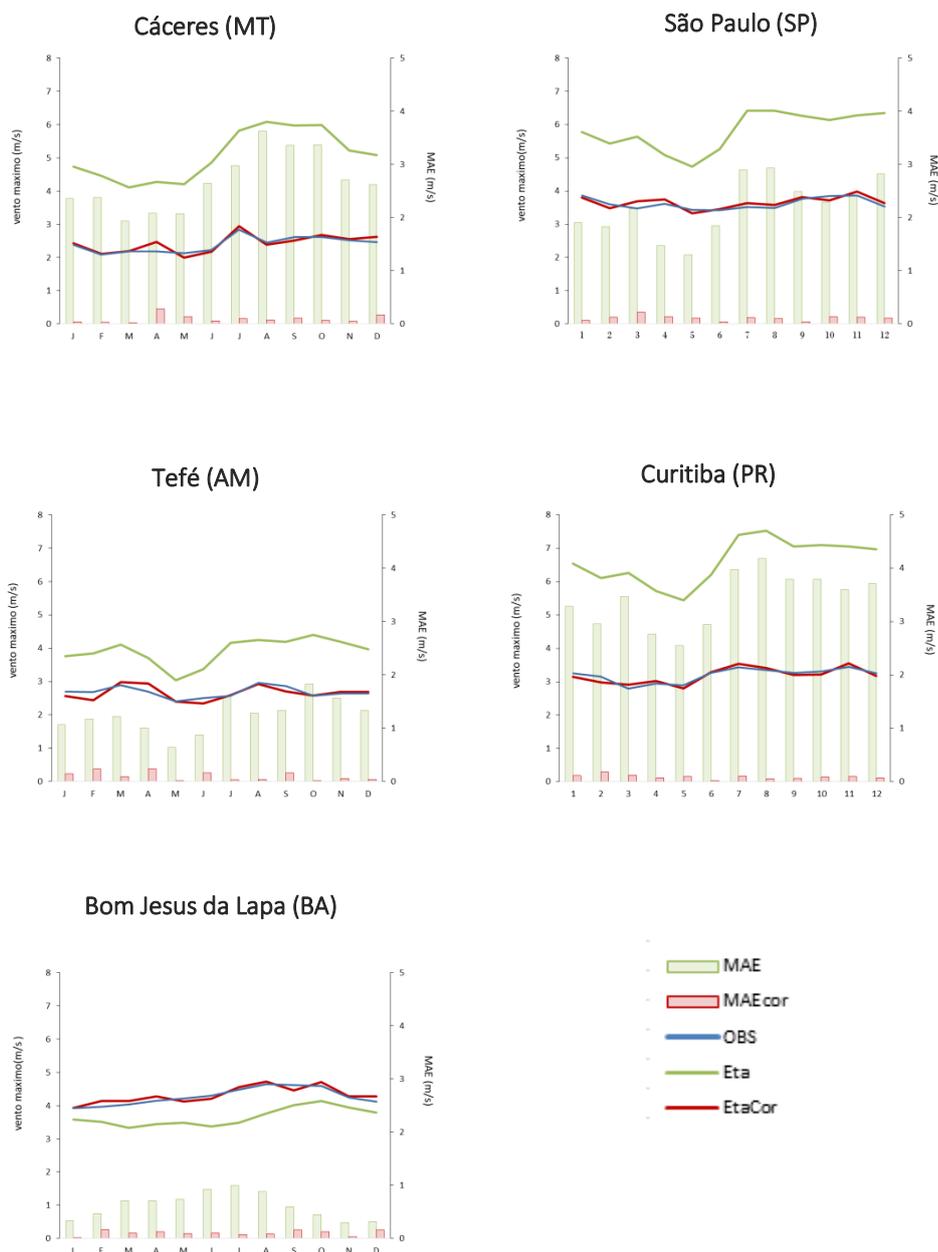


Figura 4 Vento Máximo (m/s) do modelo Eta-MIROC5. A linha azul representa o ciclo anual das séries observadas das estações meteorológicas selecionadas, a linha verde representa o modelo Eta-MIROC5 para o período baseline e a linha vermelha representa o modelo após a correção de viés. Nessas análises o período considerado foi 1982-1992. O eixo da direita se refere ao erro médio absoluto (MAE) do modelo antes e após a correção de viés.

Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão apresentados os índices de extremos climáticos de radiação de onda curta, pressão à superfície e vento máximo da estação de São Paulo para o período 1982-1992. Para os índices absolutos calculados (WXx, WXn, Psx, Psn, Ocx e Ocn) o modelo apresenta melhor desempenho após a correção de viés com valores próximos aos reais.

Tabela 2 Índices de extremos climáticos de radiação de onda curta (W/m²) para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto.

Índices	Obs	Eta 20km	EtaCor 20km	BIAS Eta	BIAS EtaCor	MAE Eta	MAE EtaCor	SS Bias	SS Mae
OCx	322.2	398.6	317.6	165.5	-10.1	165.5	40.5	106.1	75.5
OCn	67.1	59.0	67.6	-17.5	1.1	25.5	5.6	106.1	78.3
OC10p	10.5	10.2	10.2	-0.6	-0.7	5.3	5.3	-19.3	0.6
OC90p	10.4	9.6	9.6	-1.8	-1.6	13.6	13.8	7.4	-1.5

Tabela 3 Índices de extremos climáticos de pressão a superfície (hPa) para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto.

Índices	Obs	Eta 20km	EtaCor 20km	BIAS Eta	BIAS EtaCor	MAE Eta	MAE EtaCor	SS Bias	SS Mae
PSx	934.5	936.7	934.2	2.0	-0.3	2.1	1.1	113.6	49.2
PSn	918.4	917.5	918.3	-0.8	-0.1	1.0	0.8	92.9	22.0
PS10p	11.7	12.2	12.2	0.5	0.4	6.0	5.8	8.8	2.1
PS90p	11.9	8.3	8.3	-3.3	-3.3	7.1	7.2	-1.2	-1.5

Tabela 4 Índices de extremos climáticos de vento máximo (m/s) para a estação meteorológica de São Paulo, calculados a partir dos dados observados e simulados pelo Modelo Eta-MIROC5 20km com valores com correção de viés (EtaCor). Os índices estatísticos BIAS, MAE referem-se, respectivamente, o erro médio, erro médio absoluto.

Índices	Obs	Eta 20km	EtaCor 20km	BIAS Eta	BIAS EtaCor	MAE Eta	MAE EtaCor	SS Bias	SS Mae
WXx	8.6	13.9	11.0	4.9	2.3	4.9	2.3	54.1	53.4
WXn	1.0	2.2	0.9	1.2	-0.1	1.2	0.3	107.9	73.3
WX10p	10.5	9.9	9.9	-0.5	-0.5	6.1	6.2	6.0	-2.0
WX90p	11.3	10.9	10.5	-0.3	-0.7	11.6	11.0	-127.4	-5.4

4 Produtos disponibilizados

Estão listados na Tabela 5 os conjuntos de dados calculados e processados por esta consultoria referente ao terceiro produto. São apresentados apenas os produtos finais gerados, que consistem os índices de extremos climáticos calculados a partir da simulação do clima presente e projeções do modelo Eta-MIROC5 na resolução de 20km aplicando os métodos para correção de viés. As projeções dos índices extremos climáticos para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 são apresentadas através dos campos de diferença em relação ao clima presente (Figuras 5 a 16).

Tabela 5 Lista de Conjunto de dados

Conjunto de dados	Área de abrangência e ano	Unidade	Descrição
Índice PS10p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de pressão abaixo dos 10º percentil, calculado a partir da média diária de pressão à superfície.
Índice PS90p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de pressão acima dos 90º percentil, calculado a partir da média diária de pressão à superfície.
Índice PSn	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	hPa	Menor valor anual da pressão à superfície, calculada a partir da média diária.
Índice PSx	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	hPa	Maior valor anual da pressão à superfície, calculada a partir da média diária.
Índice OC10p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de radiação abaixo dos 10º percentil, calculado a partir da média diária de radiação de onda curta incidente.
Índice OC90p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com valor de radiação acima dos 90º percentil, calculado a partir da média diária de radiação de onda curta incidente.
Índice OCn	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	W/m ²	Menor valor anual da radiação de onda curta incidente, calculada a partir da média diária.
Índice OCx	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	W/m ²	Maior valor anual da radiação de onda curta incidente, calculada a partir da média diária.
Índice WX10p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo abaixo dos 10º percentil, calculado a partir do vento máximo diário.
Índice WX90p	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	%	Porcentagem anual de dias com intensidade do vento máximo acima dos 90º percentil, calculado a partir do vento máximo diário.
Índice WXn	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	m/s	Menor intensidade do vento máximo anual, calculada a partir do vento máximo diário.
Índice WXx	América do Sul: - Historical - 1961 a 2005 - RCP4.5 – 2006 a 2099 - RCP8.5 – 2006 a 2099	m/s	Maior intensidade do vento máximo anual, calculada a partir do vento máximo diário.

Índices de extremos climáticos de pressão à superfície

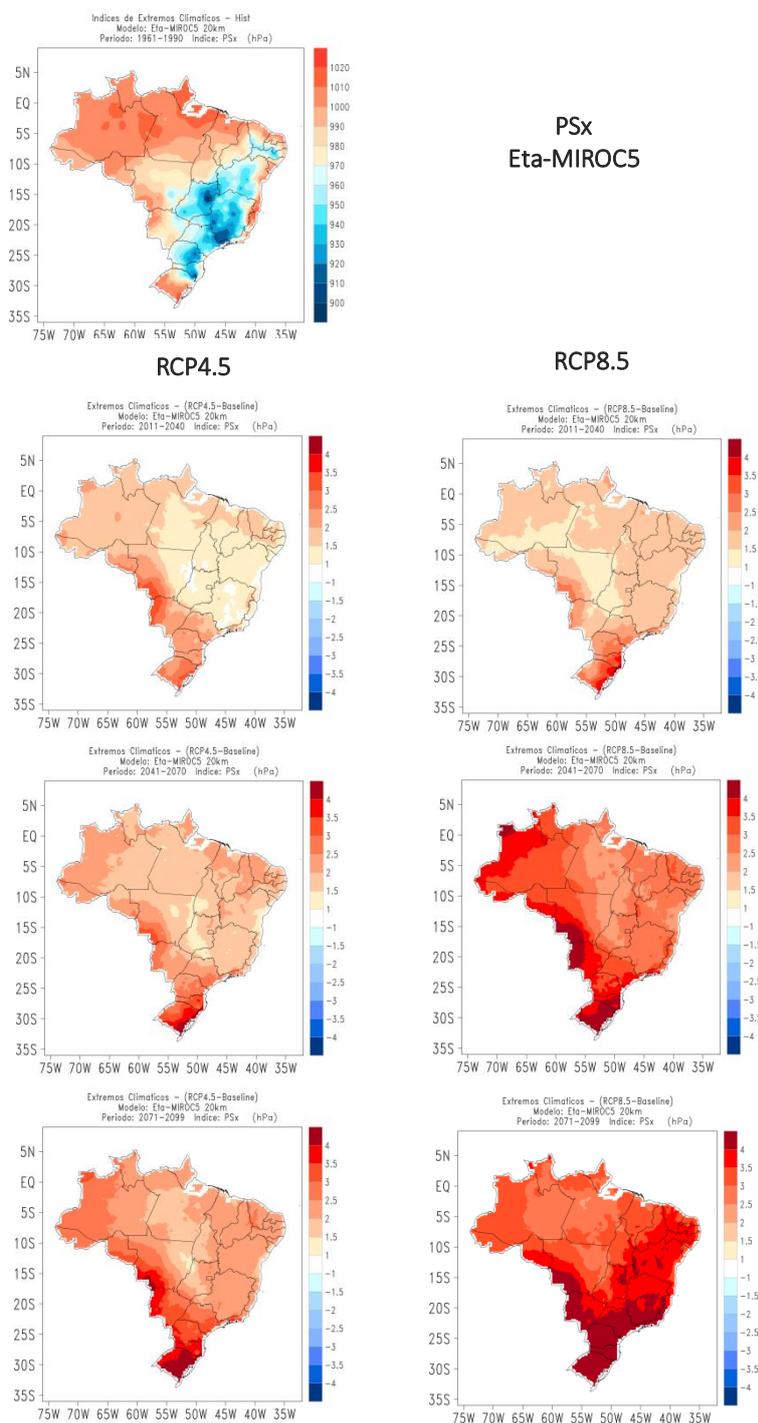


Figura 5 Índice PSx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

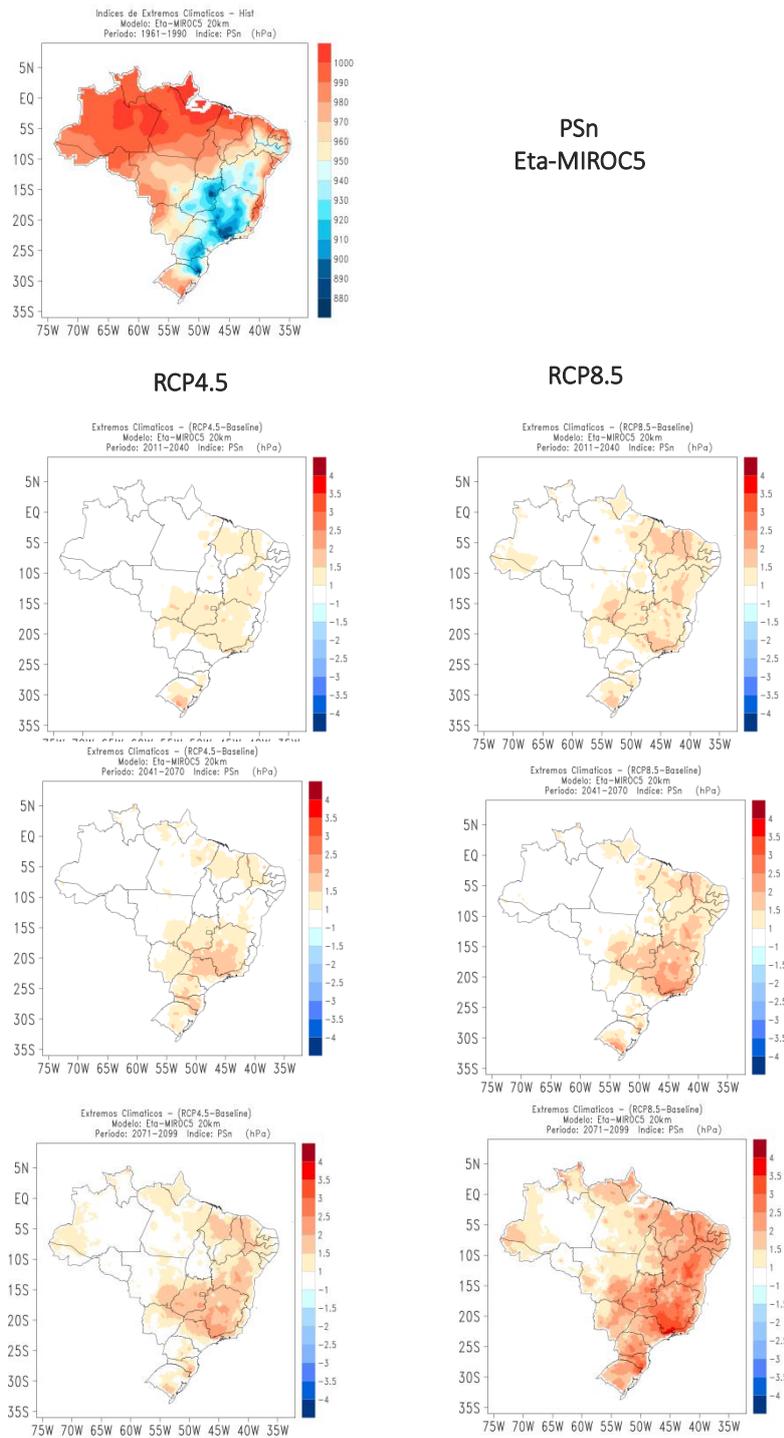


Figura 6 Índice PSn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

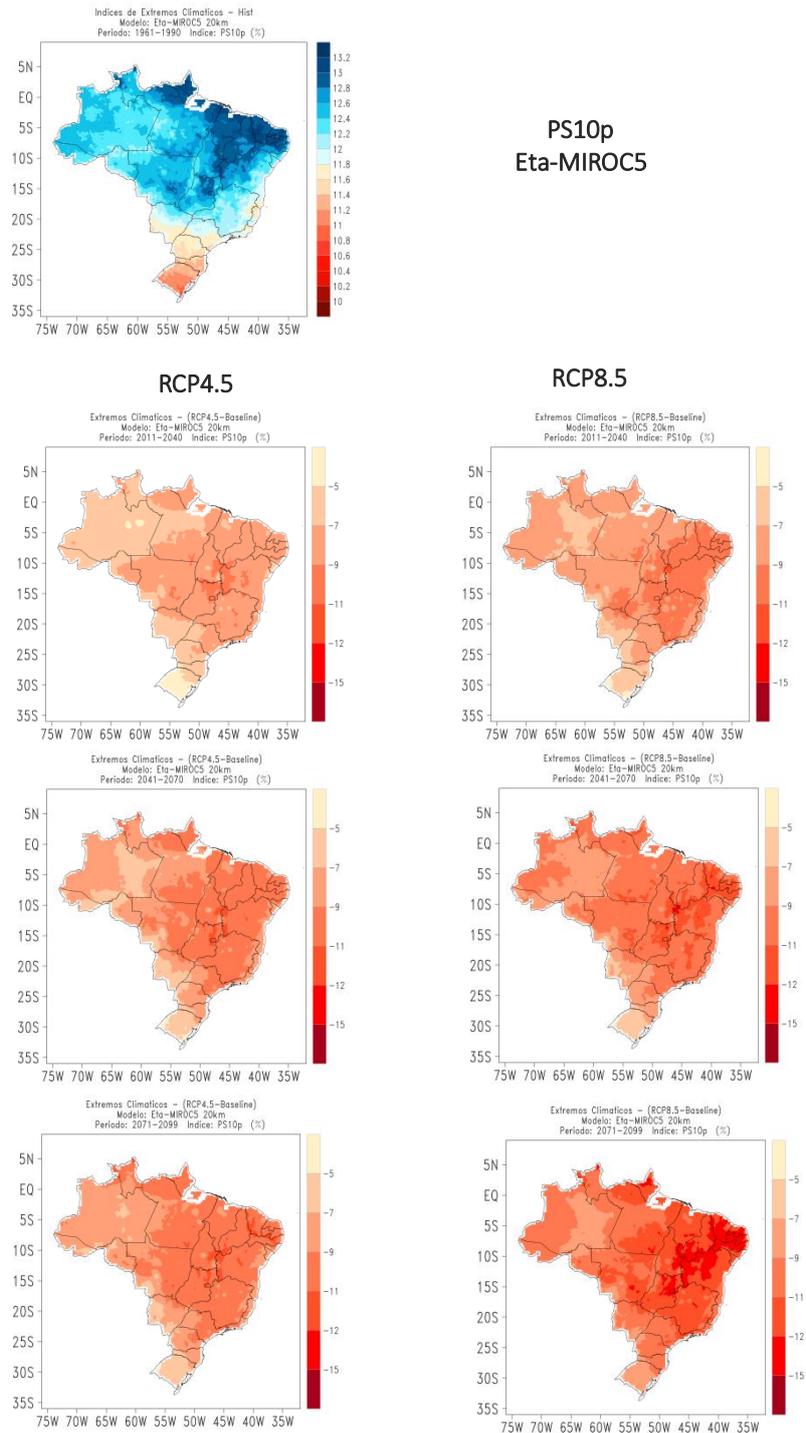


Figura 7 Índice PS10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

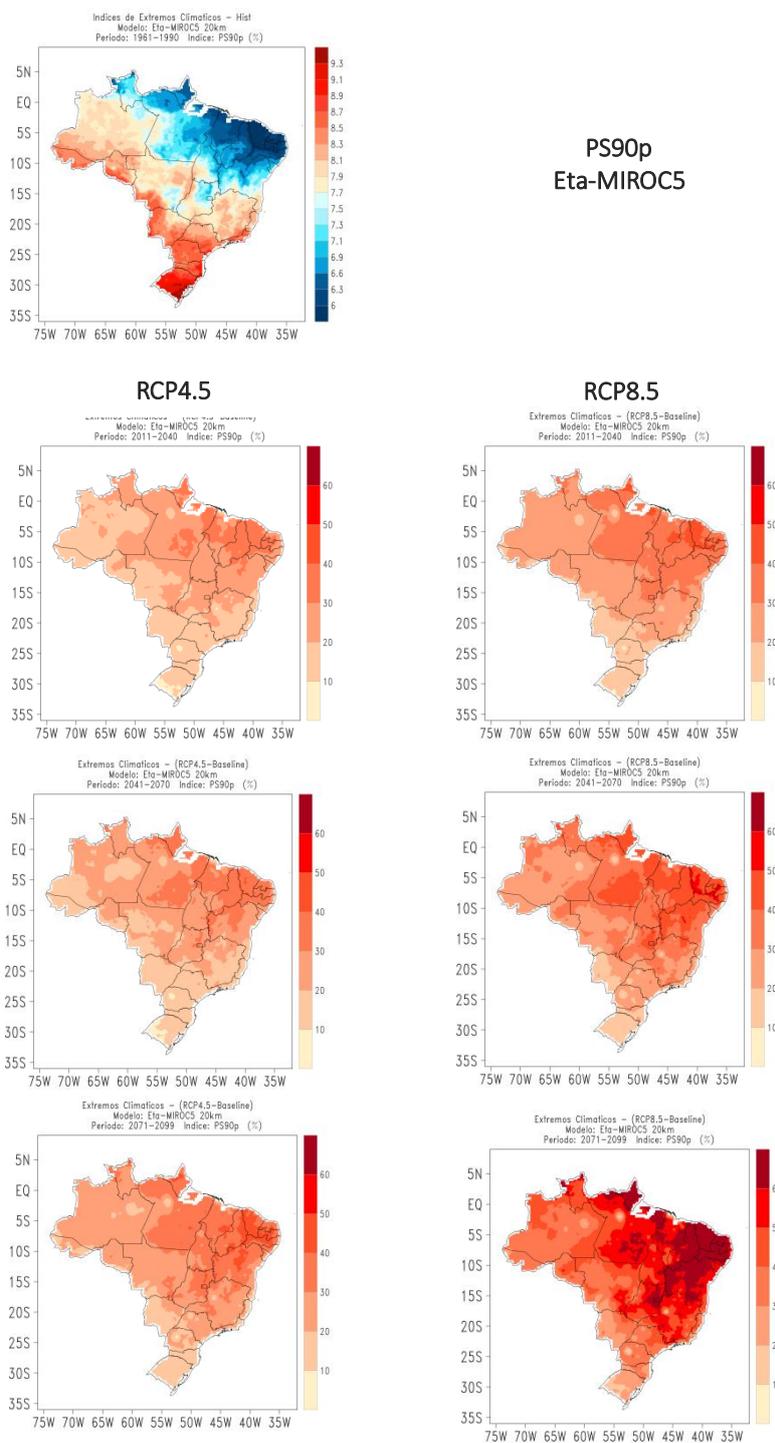


Figura 8 Índice PS90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

Índices de extremos climáticos de radiação de onda curta

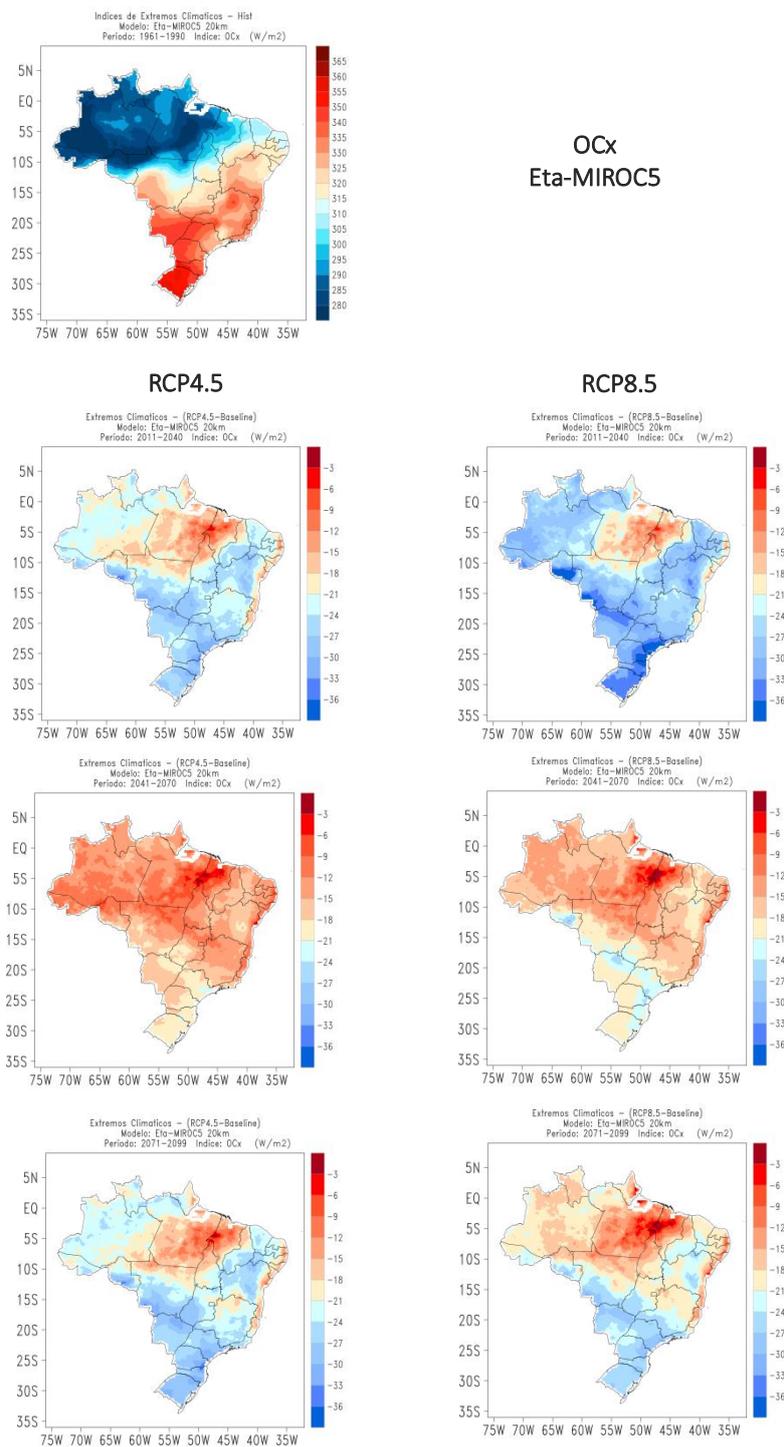


Figura 9 Índice OCx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

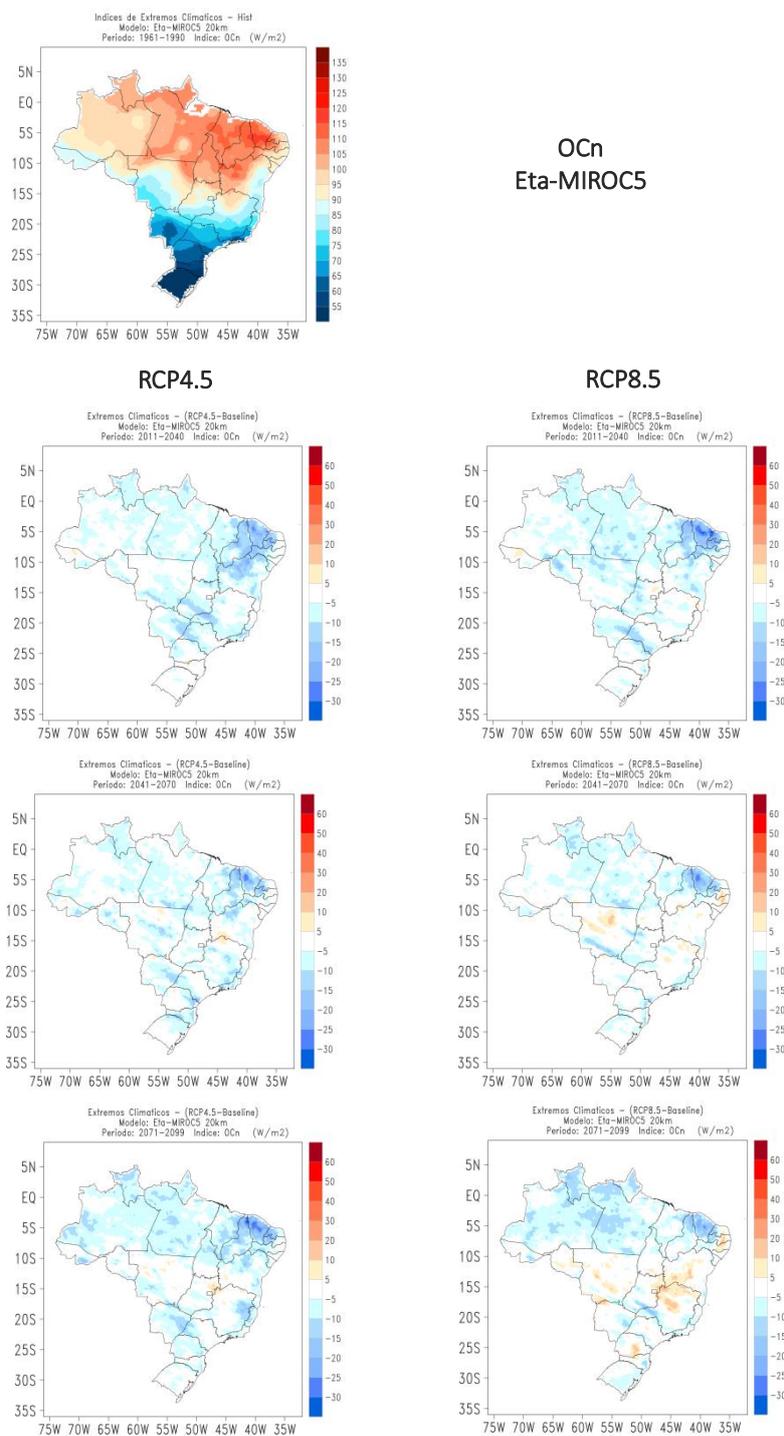


Figura 10 Índice OCn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

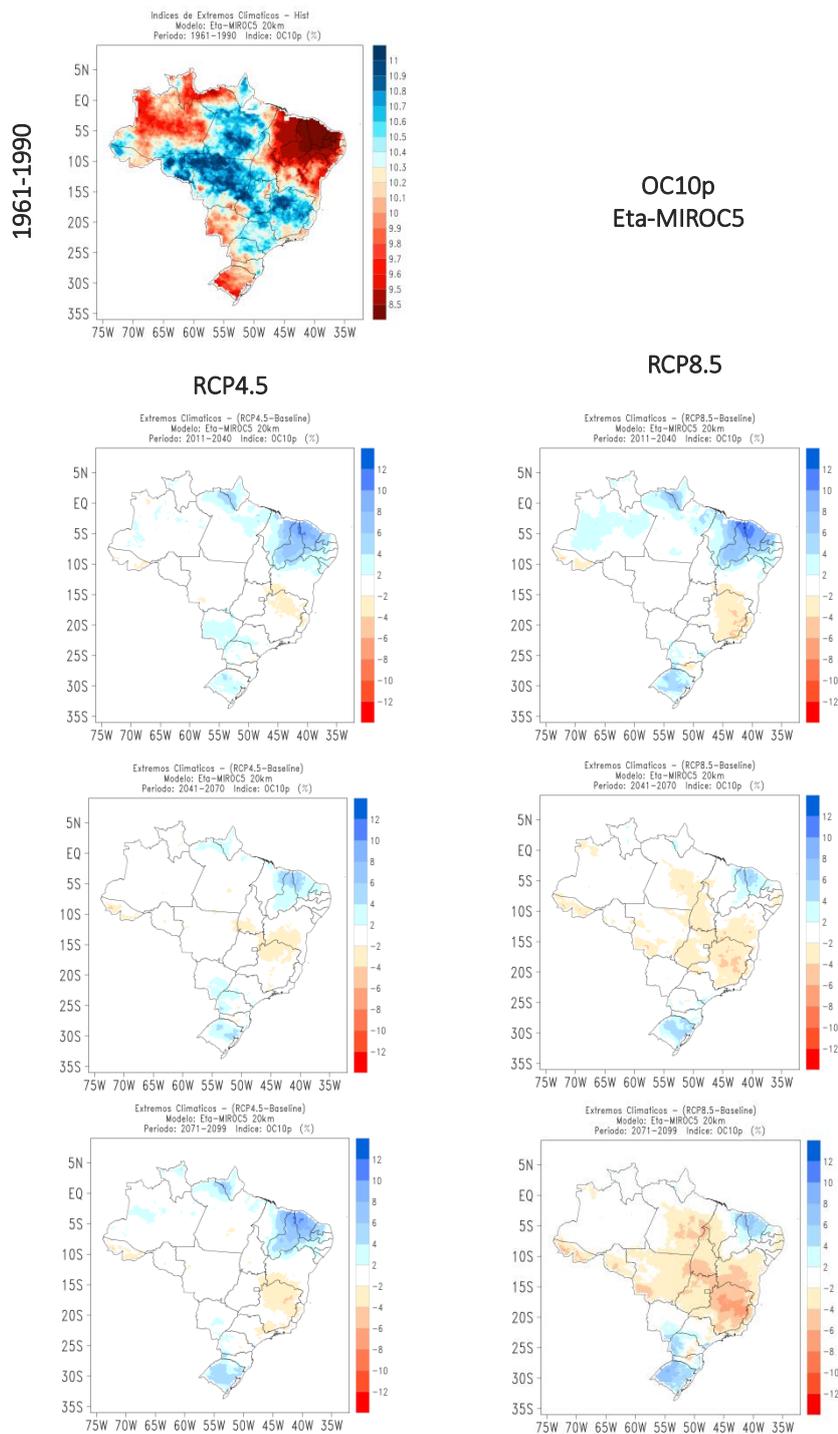


Figura 11 Índice OC10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070, 2071-2099.

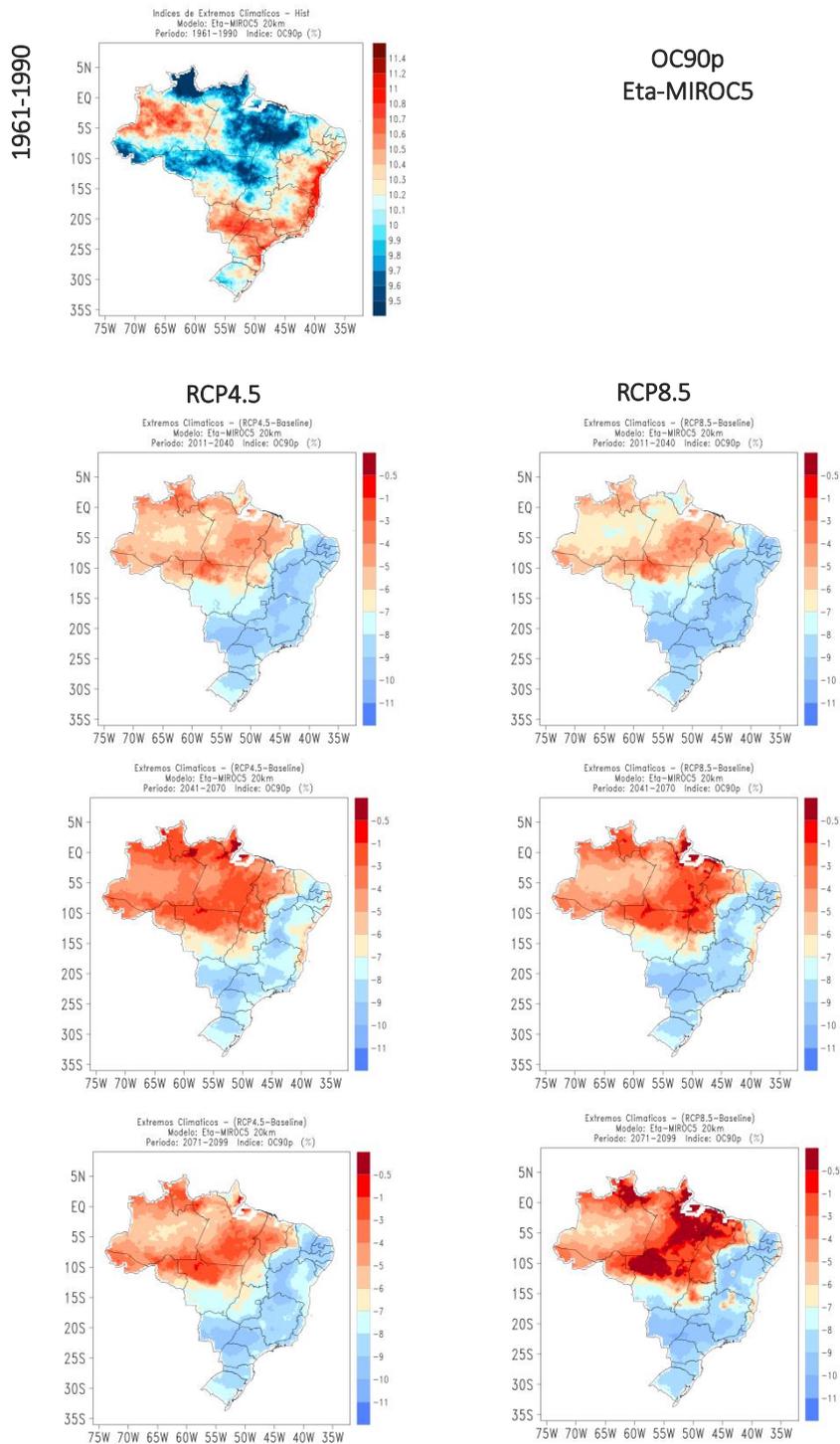


Figura 12 Índice OC90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

Índices de extremos climáticos de vento

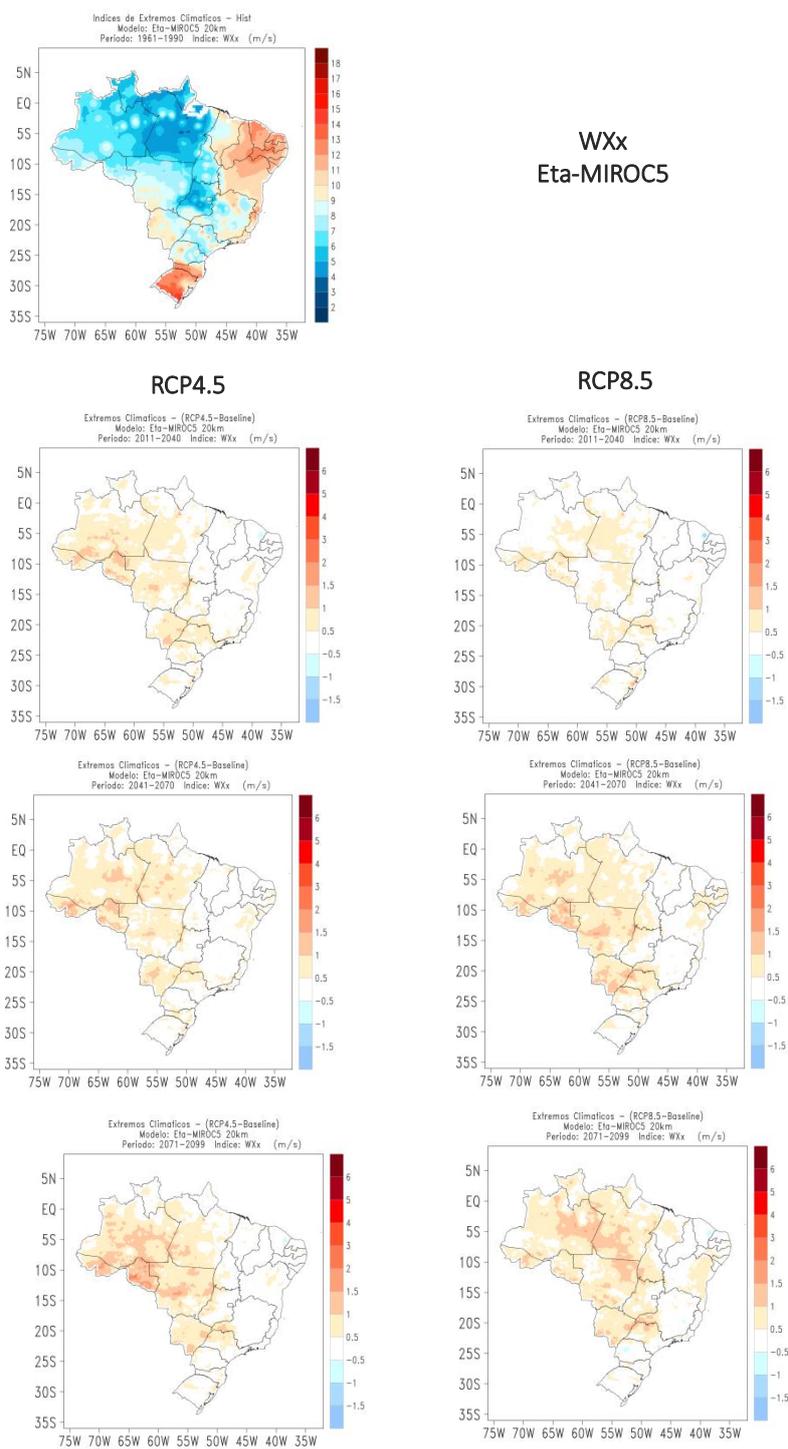


Figura 13 Índice WXx. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

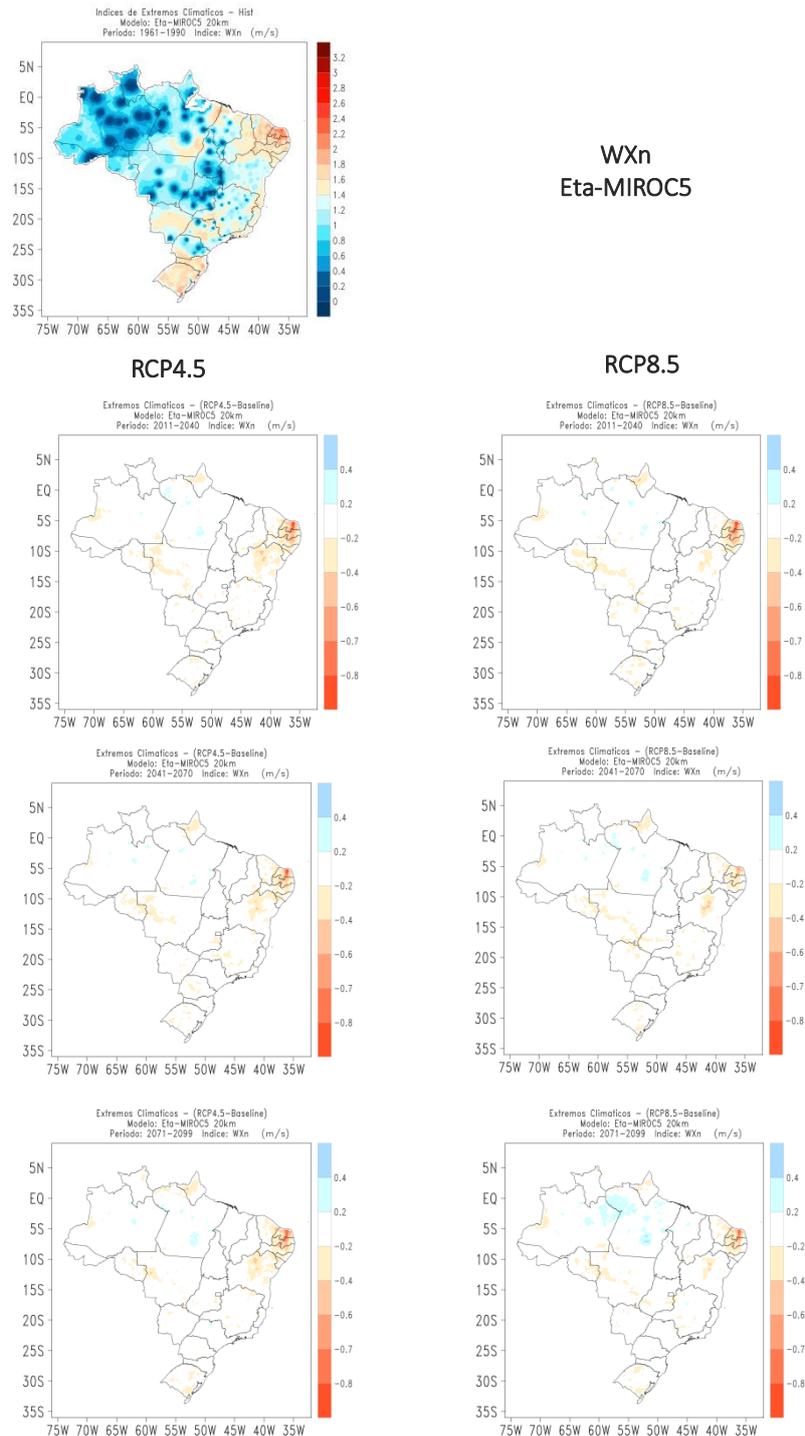


Figura 14 Índice WXn. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

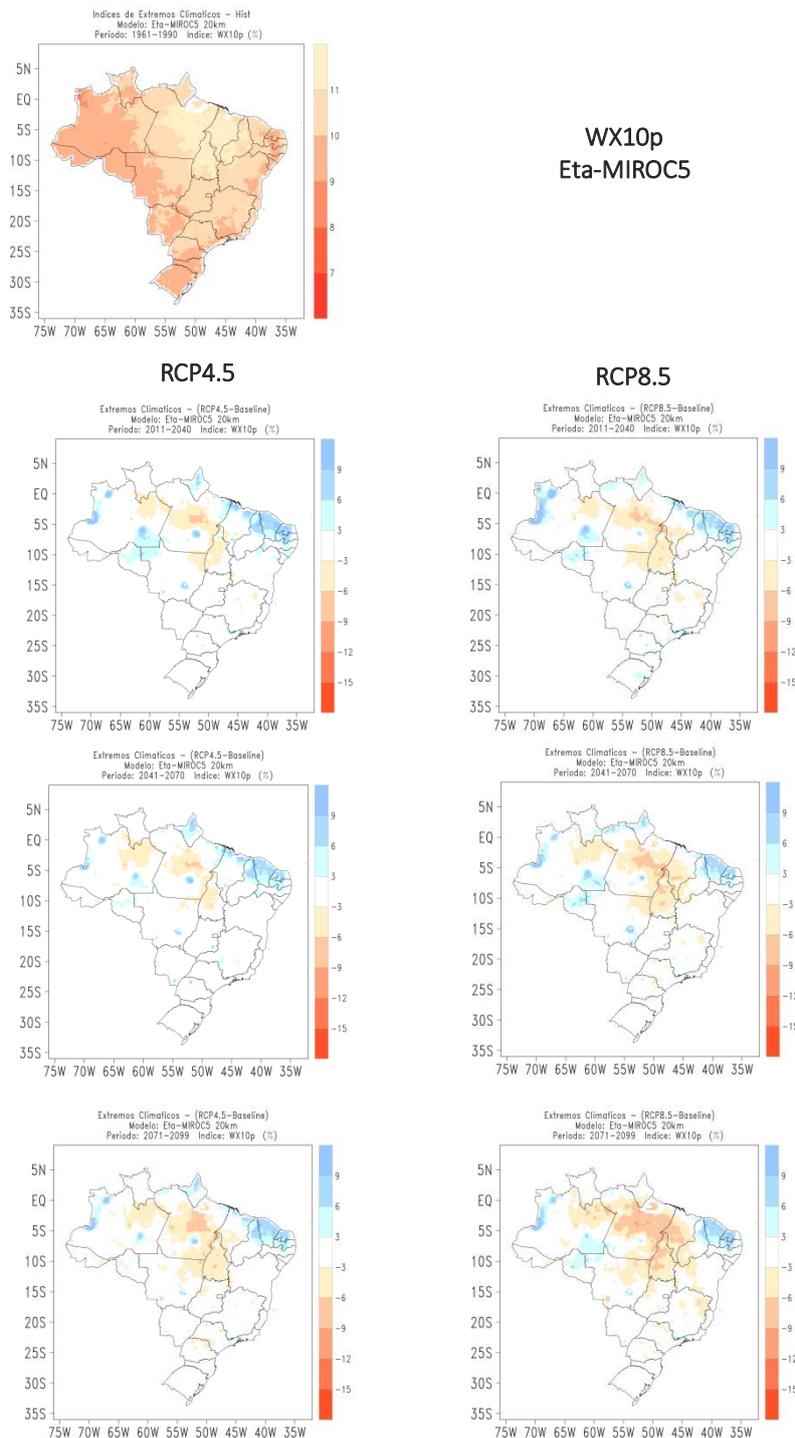


Figura 15 Índice WX10p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

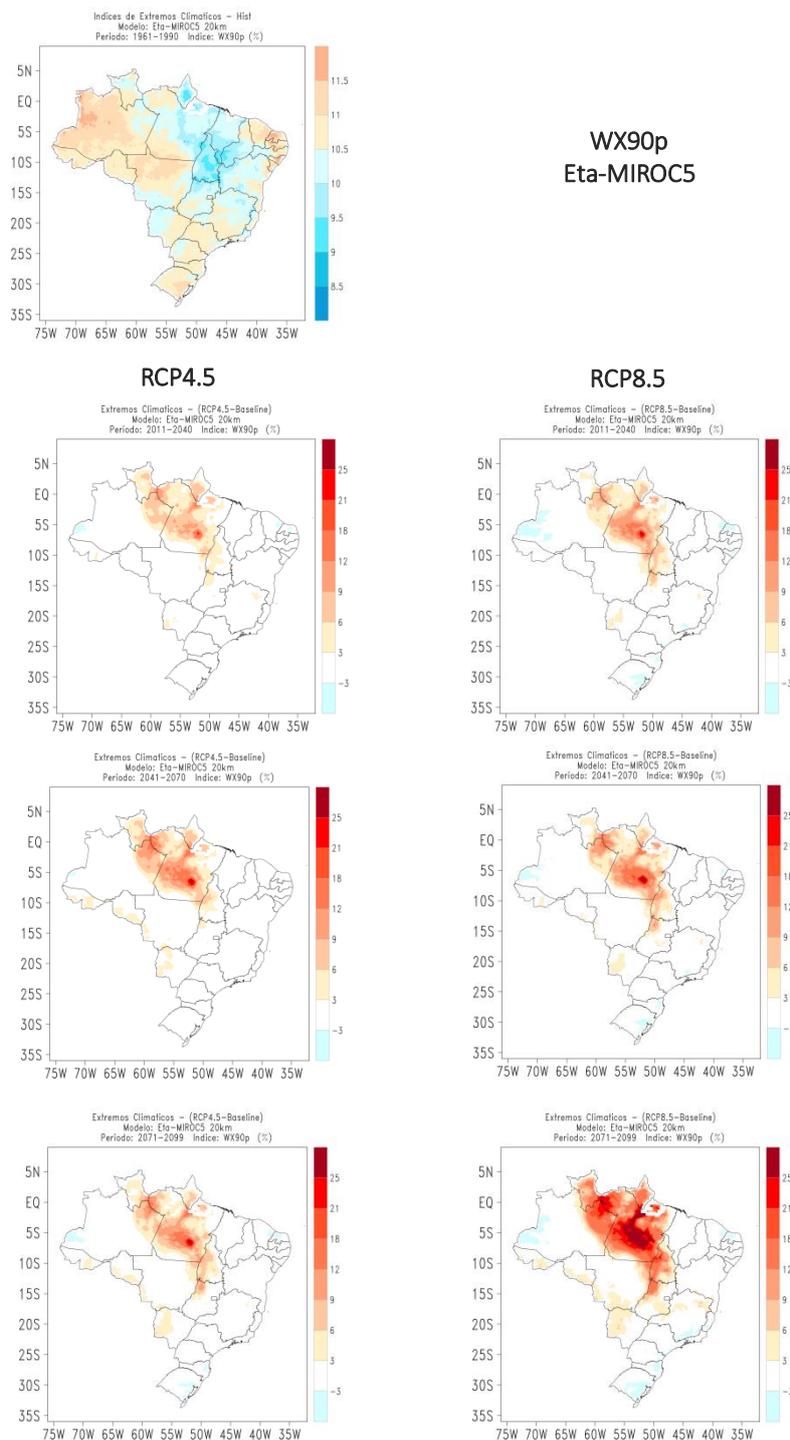


Figura 16 Índice WX90p. A figura no canto superior esquerdo indica o valor do índice absoluto para o período (1961-1990) e as demais indicam as diferenças entre as projeções climáticas para os cenários futuros RCP4.5 (coluna da esquerda) e RCP8.5 (coluna da direita) divididos em fatias de tempo de 30 anos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

5 Próximas etapas

Será apresentado na próxima etapa o quarto relatório, no qual demonstrará o carregamento dos índices de extremos climáticos gerados nesse produto no banco de dados via plataforma PROJETA (<https://projeta.cptec.inpe.br/>).

6 Síntese e considerações finais

O objetivo deste produto consistiu dos cálculos dos extremos climáticos a partir das variáveis de pressão à superfície (hPa), radiação de onda curta (W/m^2) e vento máximo (m/s) com correção de viés utilizando o modelo Eta-MIROC5 20 km. Os índices foram calculados para o período baseline (1961 a 1990) 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 conseqüentemente para representação dos extremos climáticos mais próximos das observações, constatados por campos espaciais e dos 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, com isso conclui-se que o uso e a aplicação dos índices de extremos com correção de viés contribuem em grande parte para com os 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.

DEE, D.; UPPALA, S.; SIMMONS, A.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G.; BAUER, P., et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, v. 137, n. 656, p. 553-597, 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.

HASUMI, Hiroyasu. **CCSR ocean component model (COCO)**. CCSR Rep, v. 13, p. 68, 2000.

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.

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.

LILÉO, SÓNIA; PETRIK, OLGA. Investigation on the use of NCEP/NCAR, MERRA and NCEP/CFSR reanalysis data in wind resource analysis. *Sigma*, v. 1, n. 2, 2000.

LYRA, A. A.; TAVARES, P. S.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DEREZYNSKI, 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

NUMAGUTI, A., M. TAKAHASHI, T. NAKAJIMA, AND A. SUMI. Description of CCSR/NIES atmospheric general circulation model. National Institute for Environmental Studies, Center for Global Environmental Research Supercomputer Monograph Rep. 3, 1-48, 1997.

OKI, TAIKAN; SUD, Y. C. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP)—A global river channel network. *Earth interactions*, v. 2, n. 1, p. 1-37, 1998.

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

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 91, p. 1015-1057, 2010.

STÜKER, E. et al. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, v. 38, 2016.

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/s10111.

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.

Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23, 6312-6335, 2010.

WATANABE, M., T. SUZUKI, R. O'ISHI, Y. KOMURO, S. WATANABE, S. EMORI, T. TAKEMURA, M. CHIKIRA, T. OGURA, M. SEKIGUCHI, K. TAKATA, D. YAMAZAKI, T. YOKOHATA, T. NOZAWA, H. HASUMI, H. TATEBE AND M. KIMOTO. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States,

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

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.