

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

Relatório 7/8 - Relatório contendo a descrição da Integração do Modelo Eta5km-SC forçado pelo Modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP4.5 para o período de 2011 a 2040. Figuras ilustrando a distribuição espacial de temperatura e precipitação a cada 5 anos para o período de 2011 a 2040.

Nicole Ferreira

Elaborado por: **Nicole Costa Resende Ferreira** - nicole.resende@yahoo.com.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](mailto:giz-brasilien@giz.de)  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

A encargo de:

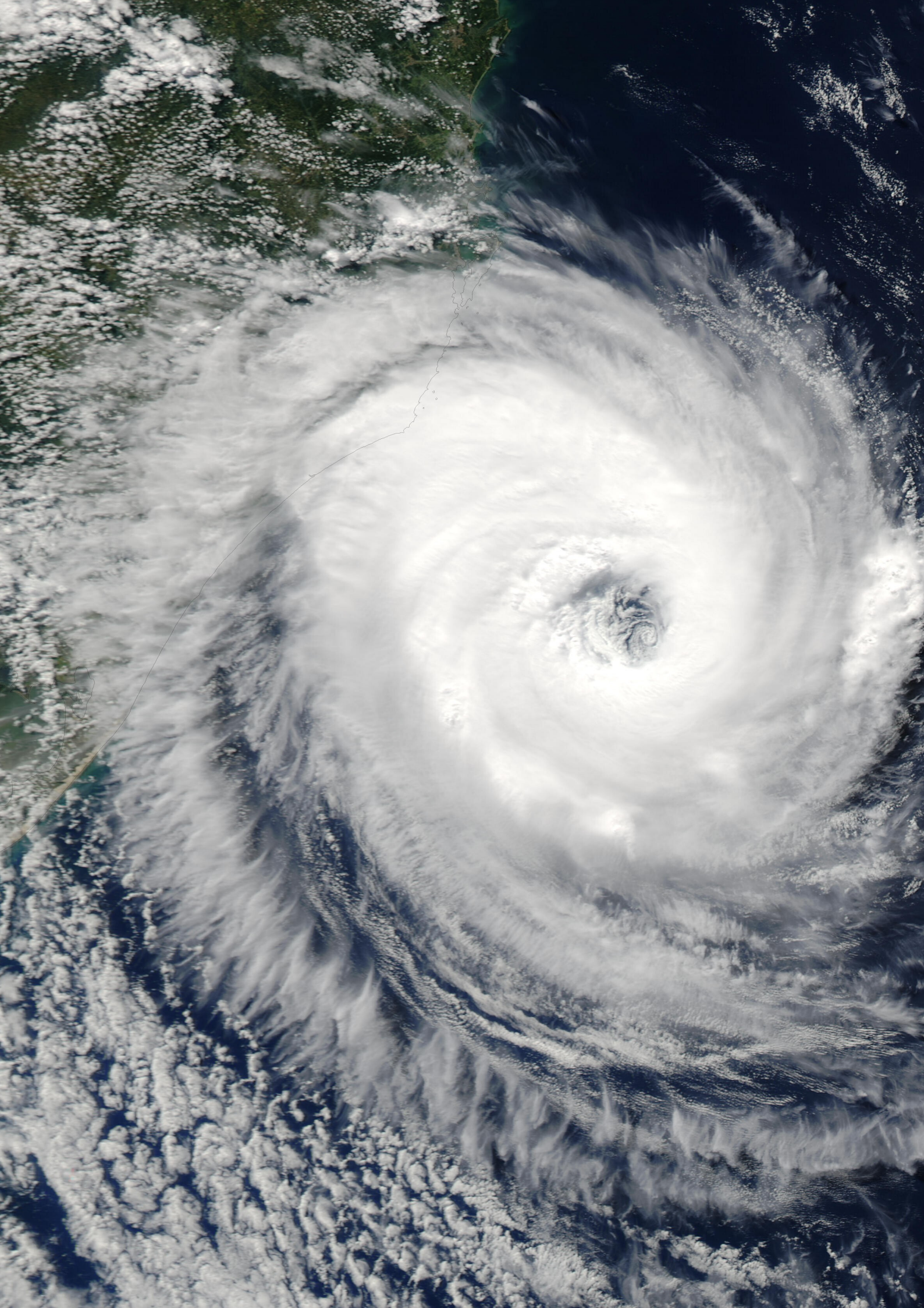
**Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha**

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](mailto:ana-carolina.camara@giz.de)







## Sumário

Lista de Figuras	iv
1. Introdução	1
1.1 Objetivo	2
2. Dados e Metodologia	2
3. Resultados	5
4. Próximas etapas	8
Referências Bibliográficas	8

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Domínio do modelo Eta-5km integrado para a região de Santa Catarina..... 4
- Figura 2.** Projeções dos níveis de CO2 equivalente (Figura 2) indicados pelo Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (Stocker et al., 2014).... 5
- Figura 3.** Média da precipitação acumulada (mm/dia) nos trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON). As médias foram realizadas a cada 5 anos, ou seja, para os período de 2011 a 2015, 2016 a 2020, 2021 a 2025, 2026 a 2030, 2031 a 2035 e 2036 a 2040..... 6
- Figura 4.** Média da temperatura a 2 metros da superfície (°C) para os trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON). As médias foram realizadas a cada 5 anos, ou seja, para os período de 2011 a 2015, 2016 a 2020, 2021 a 2025, 2026 a 2030, 2031 a 2035 e 2036 a 2040..... 7

## 1. Introdução

Modelos regionais permitem simulações explícitas dos processos de mesoescala, com melhor representação das características locais, como por exemplo regiões de vale-montanha, linhas costeiras, áreas urbanas, podendo assim fornecer resultados mais refinados (Chou et al., 2014a e 2014b). Neste contexto, a aplicação de técnicas de regionalização dinâmica (também chamado de *downscaling* dinâmico) através do uso dos modelos climáticos globais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel On Climate Changes - IPCC*) têm se mostrado como uma ferramenta importante quando se pretende avaliar os impactos das mudanças climáticas em escala regional.

Chou et al. (2014a e 2014b) utilizaram para a elaboração da Terceira Comunicação Brasileira da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI 2016), simulações multidecenais, na grade regular horizontal de 20 km x 20 km, a partir do aninhamento do Modelo Regional Eta em três modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). A partir destas simulações, Lyra et al. (2017) realizaram um segundo aninhamento do Eta na grade regular horizontal de 5 km x 5 km, sobre o sudeste do Brasil. As rodadas em altíssima resolução aprimoraram as simulações do clima presente, bem como os valores da distribuição de frequência de eventos extremos de chuva e temperatura. Por apresentarem resoluções mais altas, estas simulações são as mais indicadas para uso em estudos de impactos das mudanças climáticas tais como abordados pelo Projeto CSI, que tem como foco avaliação dos impactos em linhas de transmissão no estado de Santa Catarina.

## 1.1 Objetivo

Cumprir o sétimo 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 extremos climáticos, para subsidiar estudos em planejamento de investimentos para infraestruturas. O produto consiste de um Relatório contendo a descrição da Integração do Modelo Eta5km-SC forçado pelo Modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP4.5 para o período de 2011 a 2040. Desta forma, o produto pretende demonstrar a execução finalizada das rodadas de projeção em alta resolução para Santa Catarina. Essa demonstração é realizada a partir de figuras de médias da temperatura e da chuva no período de 2011 a 2040, a intervalos de 5 anos.

## 2. Dados e Metodologia

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 modelo 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 ( $\eta$ ), considerada mais adequada para simulações em regiões de topografia complexa, tais como a região dos Andes e as áreas serranas brasileiras.

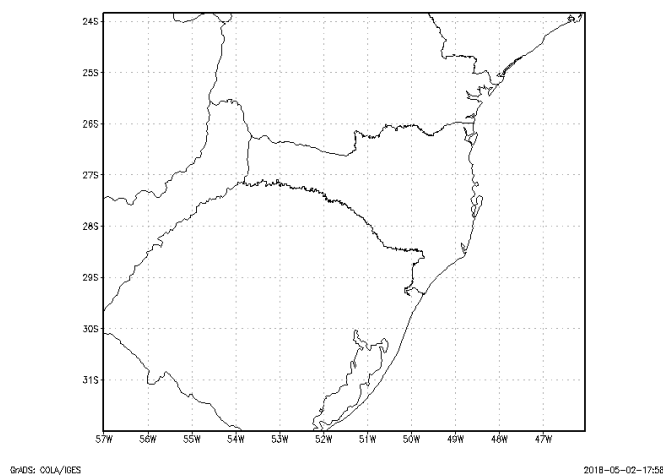
Ajustes iniciais no modelo Eta para gerar projeções dos cenários de mudanças climáticas sobre o Brasil foram realizadas por Pesquero et al. (2010), Chou et al. (2012) e Marengo et al. (2012). As últimas integrações multidecenais do clima futuro (cenários IPCC AR5) com o Eta foram realizadas por Chou et al. (2014a, 2014b) e Lyra et al. (2017). Chou et al. (2014a, 2014b) realizaram integrações na grade horizontal regular de 20 km, 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, 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).

O modelo climático HadGEM2-ES foi desenvolvido no Met Office Hadley Centre (Reino Unido). O HadGEM2-ES é compreendido de um modelo de circulação atmosférico com resolução N96L38 (aproximadamente  $1,875^\circ \times 1,250^\circ$  em longitude por latitude, e 38 níveis verticais), e um modelo oceânico com uma resolução horizontal de 1 grau (aumento de  $1/3$  grau no equador) e 40 níveis verticais (Collins et al., 2011). O passo de tempo do modelo HadGEM2-ES é de 30 minutos para as componentes da atmosfera e superfície e 1 hora para a componente oceânica. Os componentes do sistema terrestre incluem ciclo do carbono terrestre e oceânico e química da troposfera. A vegetação e o ciclo do carbono terrestre são representados pelo modelo de vegetação dinâmica global, TRIFFID (Top-down Representation of Interactive Foliage



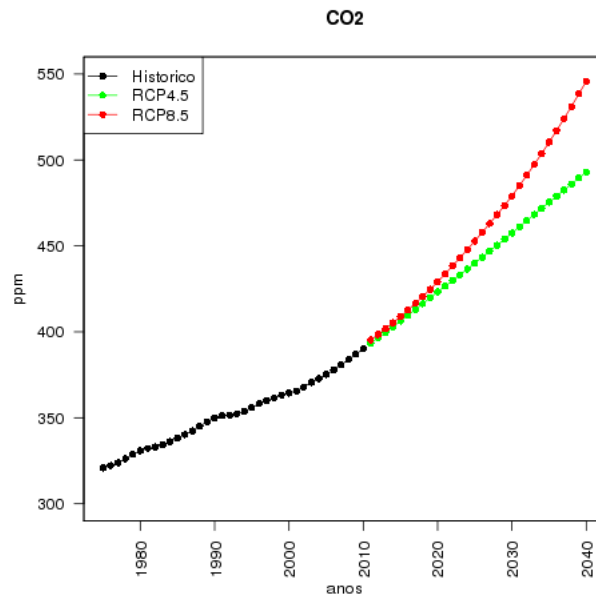
Including Dynamics; Cox, 2001). Este modelo possui uma boa capacidade para representar fenômenos atmosféricos na América do Sul, bem como os eventos de extremos climáticos nesta região, conforme apresentado no Produto 1 desta consultoria.

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 o cenário de concentração intermediária (RCP4.5) para a realização deste produto. O domínio do segundo aninhamento do modelo regional Eta com resolução horizontal de 5 km para a região Sul do Brasil, foi centrado no estado de Santa Catarina, conforme mostrado na Figura 1.



**Figura 1.** Domínio do modelo Eta-5km integrado para a região de Santa Catarina.

As projeções em alta resolução da mudança do clima futuro foram produzidas para o período de 2011 a 2040, na resolução de 5 km, utilizando o modelo Eta-20km forçado pelo HadGEM2-ES como condição de contorno lateral. Será utilizado o cenário de emissão RCP4.5, conforme as projeções dos níveis de CO<sub>2</sub> (Figura 2) indicados pelo Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês). O cenário RCP4.5 pode ser entendido como um cenário com projeções intermediárias em relação ao cenário RCP2.6 (mais otimista) ao cenário RCP8.5 (mais pessimista). Devido a sua importância na avaliação de riscos, o cenário RCP8.5 também será abordado em outras componentes do projeto.

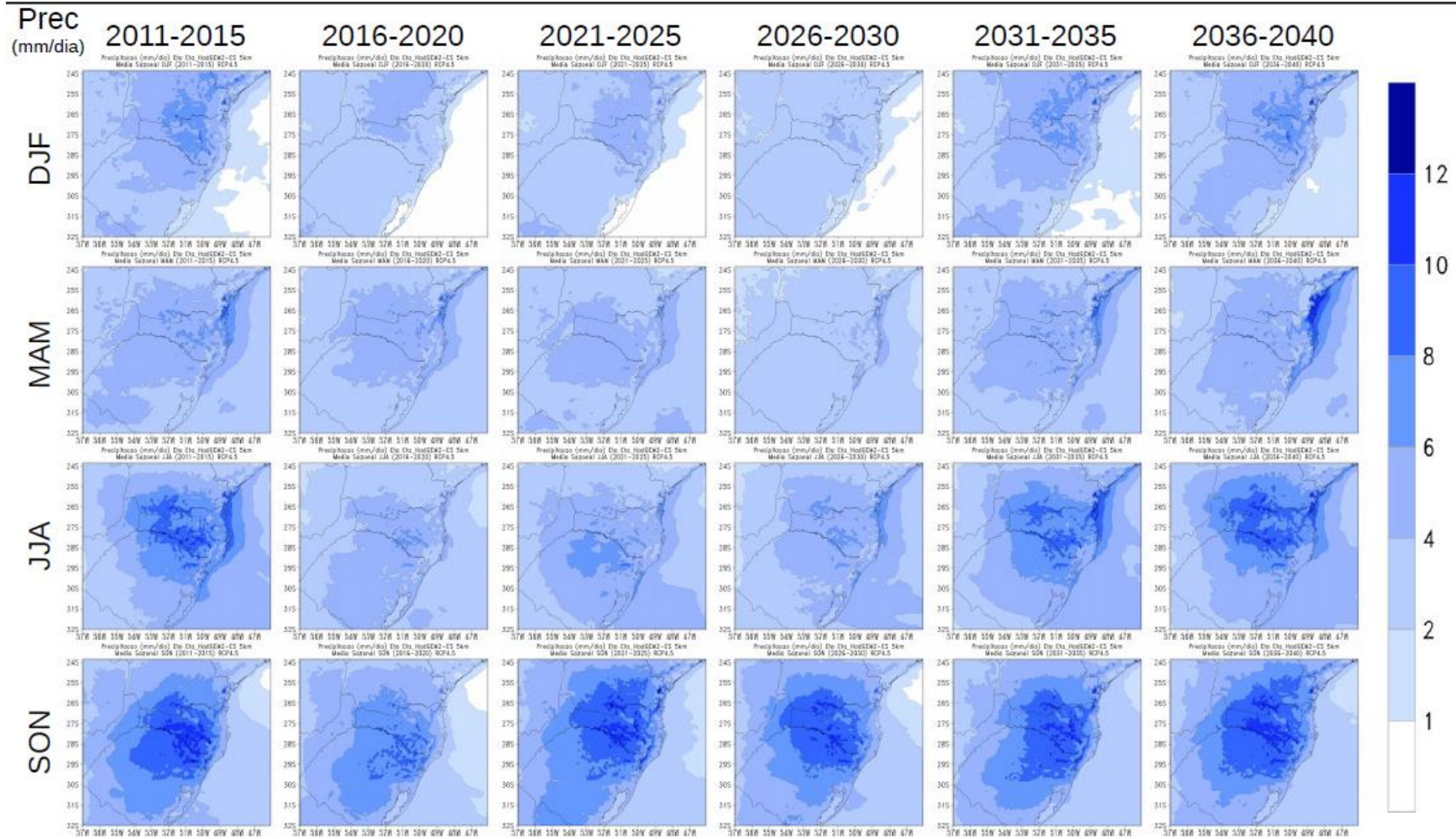


**Figura 2.** Projeções dos níveis de CO<sub>2</sub> equivalente (Figura 2) indicados pelo Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (Stocker et al., 2014).

A partir das simulações e projeções, foram obtidas as médias climatológicas, representadas por Figuras de temperatura e precipitação, para cada 5 anos de projeção em cada estação do ano. Estas são mostradas na seção a seguir.

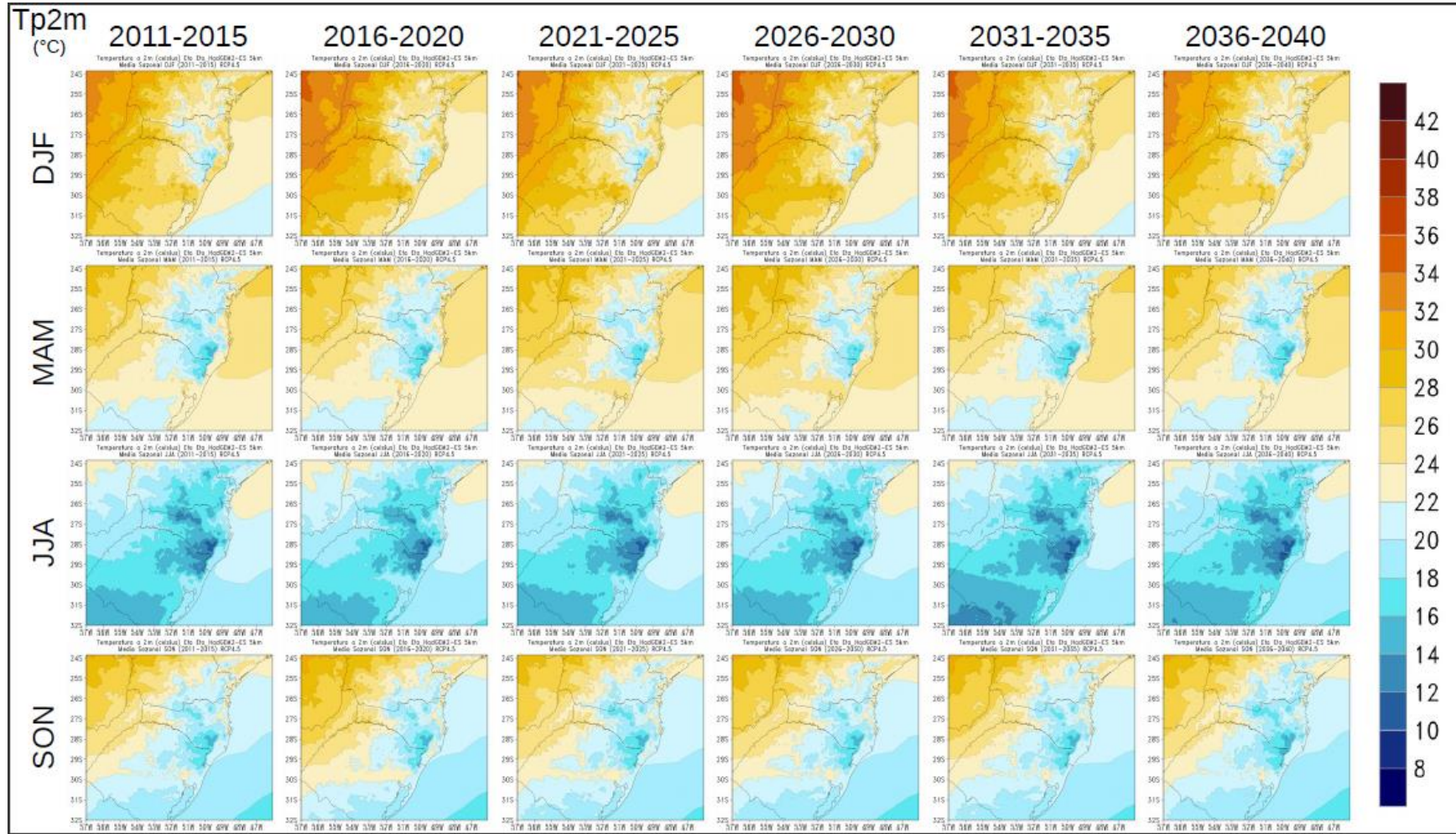
### 3. Resultados

As figuras a seguir mostram médias de temperatura e precipitação em intervalos de 5 anos, referentes à projeção do modelo Eta5km-SC forçado pelo Modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP4.5 para o período de 2011 a 2040.



**Figura 3.** Média da precipitação acumulada (mm/dia) nos trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON). As médias foram realizadas a cada 5 anos, ou seja, para os período de 2011 a 2015, 2016 a 2020, 2021 a 2025, 2026 a 2030, 2031 a 2035 e 2036 a 2040.





**Figura 4.** Média da temperatura a 2 metros da superfície (°C) para os trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON). As médias foram realizadas a cada 5 anos, ou seja, para os período de 2011 a 2015, 2016 a 2020, 2021 a 2025, 2026 a 2030, 2031 a 2035 e 2036 a 2040.

#### 4. Próximas etapas

A próxima etapa, Produto 8, que consiste em um relatório contendo a análise dos índices de instabilidade (SCM) para as principais áreas de Santa Catarina a partir dos resultados do Eta-20km forçado pelo HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM e do Eta5km-SC forçado pelo HadGEM2-ES ambos considerando o baseline e os cenários RCP4.5 e RCP8.5.

#### Referências Bibliográficas

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and forecasting**, 9, 265-278, 1994. 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

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; et al. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, v. 4, p. 1051–1075, 2011. DOI:10.5194/gmd-4-1051-2011

COX, P. Description of the triffid dynamic global vegetation model. London: Hadley Centre, 2001. Hadley Centre technical note 24.

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.

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.; 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.



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

STOCKER, T. (Ed.). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014.

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.

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.