

## QUALIDADE ESTATÍSTICA DO CLIMA PRESENTE SIMULADO PELOS MODELOS CLIMÁTICOS ETA-HADGEM2-ES E ETA-MIROC5 PARA O ESTADO DO TOCANTINS

*Statistical quality of climate present simulated by ETA-HADGEM3-ES and ETA-MIROC5 models for Tocantins*Rhonan Martins de Sousa<sup>1\*</sup>, Marcelo Ribeiro Viola<sup>2</sup>, Sin Chan Chou<sup>3</sup>, Marcos Giongo<sup>4</sup><sup>1</sup> Mestre em Ciências Florestais; Universidade Federal do Tocantins: [rohsousa@hotmail.com](mailto:rohsousa@hotmail.com)<sup>2</sup> Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor em Universidade Federal de Lavras: [marcelo.viola@deg.ufla.br](mailto:marcelo.viola@deg.ufla.br)<sup>3</sup> Doutora em Meteorologia; Pesquisadora em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: [chou@cptec.inpe.br](mailto:chou@cptec.inpe.br)<sup>4</sup> Doutor em Ciências Florestais e em Ambiente e Território; Professor em Universidade Federal do Tocantins: [giongo@uft.edu.br](mailto:giongo@uft.edu.br)

\*Autor para correspondência

Artigo enviado em 15/08/2017, aceito em 27/06/2018 e publicado em 17/07/2018.

**Resumo** – As projeções climáticas são produzidas em macro escala por Modelos Climáticos Globais (GCMs) e trazidas para a escala local pelos Modelos de Regionalização ou *downscaling*. Contudo, previamente à utilização de projeções climáticas futuras para planejamento e gestão, torna-se necessário avaliar a qualidade dos resultados produzidos pelos modelos climáticos. Isto pode ser feito para o clima presente, o qual dispõe de séries meteorológicas observadas para validação dos resultados simulados pelo modelo, e que geralmente tem sido conduzido entre 1961 e 2005. Nesse contexto objetivou-se avaliar a qualidade estatística das simulações climáticas geradas pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins. Para isto foram selecionadas cinco estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) inseridas no Estado do Tocantins. A qualidade da simulação foi avaliada pela quantificação do BIAS ( $P_{BIAS}$ ) e do Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA), tendo sido analisadas as seguintes variáveis: precipitação total anual, precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa anual. A análise dos resultados mostrou que o modelo climático Eta-MIROC5 apresentou melhor qualidade estatística para a simulação da precipitação total anual e umidade relativa anual, enquanto que o modelo Eta-HadGEM2-ES obteve melhores projeções para a temperatura máxima anual, temperatura média anual e temperatura mínima anual. A magnitude do  $P_{BIAS}$  permitiu concluir sobre a necessidade de aplicação de metodologias para a correção dos erros sistemáticos previamente à utilização das projeções futuras geradas pelos modelos em estudo.

**Palavras-Chave** – cerrado, erros sistemáticos, avaliação de modelos.

**Abstract** – The climatic projections are produced on scale macro per Global Climate Models (GCMs) and brought to the local scale of Regionalization or Downscaling Models. However, previously to the utilization of future climate projections for planning and management, it is necessary to evaluate the quality of the results produced by the climate models. This can be done for the present climate, which has observed meteorological series to validation the results simulated by the model, and which has generally it has been conducted between 1961 and 2005. In this context, the objective was to evaluate the statistical quality of the climate simulations generated by the models Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 for the State of Tocantins. For this, five meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET), inserted in the State of Tocantins, were selected. The quality of the simulation was evaluated by the quantification of the Bias ( $P_{BIAS}$ ) and the Mean Absolute Percentage Error (EMPA), having been analyzed the following variables: annual total precipitation, annual daily maximum precipitation, annual daily maximum temperature, annual average temperature, annual daily minimum temperature and annual relative humidity. The analysis of the results showed that the climatic model Eta-MIROC5 presented better statistical quality for the simulation of the annual total precipitation and annual relative humidity, while the Eta-HadGEM2-ES model obtained better projections for annual maximum temperature, annual average temperature and minimum annual temperature. The magnitude of the  $P_{BIAS}$  allowed to conclude on the need to apply methodologies to correction systematic errors previously to the utilization of future projections generated by the models in study.

**Keywords** – Cerrado, systematic errors, models evaluation.

## INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado corresponde a 24% da superfície terrestre brasileira, estando neste localizadas as nascentes de três grandes bacias hidrográficas da América do Sul: São Francisco, Prata e Tocantins-Araguaia (IBGE, 2004). Este bioma ocupa uma área de 252.634 km<sup>2</sup> do território tocantinense, representando 91 % da área do Estado. O restante (9%) é ocupado pelo bioma Amazônia, sendo caracterizado por florestas Ombrófila Aberta, Ombrófila Densa, Estacional Decidual e Semidecidual (IBGE, 2004; SILVA, 2007). Além disso, são encontrados na região do “Bico-do-Papagaio” as áreas de transição entre biomas, os chamados ecótonos, que são locais que apresentam tipologias vegetais de regiões fitoecológicas diversificadas, o que proporciona competição pelo mesmo ambiente fisiográfico (SEPLAN, 2013). Essas regiões de tensão ecológica apresentam alta influência climática na diversidade biológica do Cerrado, bem como na produção e organização do espaço geográfico (SILVA et al., 2008). O Cerrado apresenta grande riqueza biológica e elevado grau de endemismo (MYERS et al., 2000). De acordo com Melo (2013), a biodiversidade desse bioma não se manifesta apenas na variedade de espécies, mas também na diversidade genética (variabilidade na diversidade de subespécies) e ecossistêmica (variedade de habitats e comunidades bióticas). Entretanto é considerado um dos biomas que apresenta maior número de espécies ameaçadas de extinção, se encontrando entre os 34 *hotspots* mundiais para a preservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2005).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a aceleração do aquecimento global em decorrência da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs) para a atmosfera tem aumentado desde a metade do século XX, sendo ocasionado por atividade antropogênica (IPCC, 2007). Os principais GEEs originados de procedimentos antrópicos incluem o gás metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (NOBRE, 2001; IPCC, 2013).

De acordo com Dias (2014), outra preocupação sobre mudanças climáticas concerne os eventos climáticos extremos, que estão relacionando os fenômenos *El Niño* e *La Niña* podendo ser considerados os principais responsáveis pela ocorrência de extremos climáticos. Esses dois padrões, respectivamente, referem-se a um aquecimento e esfriamento anormal das águas da superfície da região do Oceano Pacífico equatorial. As mudanças climáticas podem provocar impactos significativos nos setores sociais, econômicos e naturais, bem como os eventos de temperatura e precipitação extremas, podendo afetar significativamente no conforto humano, turismo e

consumo de energia (QIAN e LIN, 2005; SANTOS et al., 2009).

De acordo com Hallegatte e Mach (2016), considerando as atividades antrópicas e os efeitos naturais, o objetivo a longo prazo dos acordos internacionais é limitar a emissão de GEEs para prevenir um aquecimento global ainda maior no futuro. De acordo com IPCC (2007) resultados de modelagens climáticas globais foram de aumento da temperatura entre 1,8 e 4 °C até o final do século XXI. Contudo, as projeções de mudanças climáticas não se restringem ao aumento da temperatura, tendo sido projetadas alterações importantes para a precipitação, umidade do ar, etc.

O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) trouxe evoluções nos Modelos de Circulação Global (GCMs), quando comparado com o Quarto Relatório de Avaliação (AR4), visto que os modelos passaram a incorporar os ciclos do enxofre, carbono e ozônio, conferindo maior confiabilidade (FLATO et al., 2013). Os GCMs são importantes ferramentas computacionais capazes de fornecer informações das mudanças climáticas globais, ou seja, simulam o comportamento dos processos químicos e físicos na atmosfera, além de interagir com componentes de outros sistemas (CHOU et al., 2014b). Os modelos climáticos globais e regionais têm sido utilizados como a principal ferramenta científica para simulações futuras e avaliação da variabilidade do clima, uma vez que conseguem representar as interações entre a atmosfera, superfície terrestre e oceano (CHOU et al., 2014a; MELLO et al., 2015). O modelo global HadGEM2-ES (COLLINS et al., 2011), apresenta resolução equivalente a 1,875° de longitude e 1,275° de latitude, com altitude podendo chegar até 40 km. O MIROC5, por sua vez, apresenta resolução de 150 km na horizontal e 40 níveis na vertical (CHOU et al., 2014a,b). Visando incorporar efeitos locais do relevo, detalhar a grade de simulação, dentre outros, são acoplados modelos de regionalização ou *downscaling* aos MCGs. O modelo regional Eta (MESINGER et al., 1988) vêm sendo aplicado em estudos de vulnerabilidade, adaptação e impactos no Brasil e no continente Sul-americano (CHOU et al., 2012). Atualmente é utilizado na previsão do tempo do CPTEC/INPE (CHOU et al., 2000), e foi utilizado na América do Sul em estudos de previsão, em diferentes escalas de tempo (CHOU et al., 2005; BUSTAMANTE et al., 2006; CHOU et al., 2014a).

A avaliação dos impactos decorrentes de possíveis mudanças climáticas requer um planejamento visando um futuro distante (PELLEGRINO; ASSAD; MARIN, 2007), sendo que, grande parte dos estudos recentes exploram projeções para até o final do século XXI. Contudo, previamente à utilização das projeções dos modelos climáticos torna-se necessário avaliar a presença de erros sistemáticos (CHOU et al., 2014a,b) e proceder sua correção quando necessário (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012).

O Estado do Tocantins apresenta 50,25% da sua superfície área com grande potencial para agricultura, despontando atualmente como o “novo polo agrícola do

Brasil” (SEAGRO, 2017). Na pecuária, o Tocantins tem como principal atividade econômica a criação de bovinos de corte, se destacando por apresentar um dos maiores rebanhos do país, ocupando atualmente a 7ª posição no ranking nacional de bovinos em confinamentos (SEAGRO, 2017), no qual confere ao bioma Cerrado destaque nacional no cenário econômico (BRASIL, 2012). De acordo com Lima (2013), o desenvolvimento das atividades socioeconômicas (pecuária, agricultura, turismo e geração de energia), são diretamente dependentes dos elementos climáticos. Dessa forma, a avaliação dos modelos climáticos no Tocantins é uma importante ferramenta para compreender a dinâmica climática em escala local, bem como o aquecimento global, que é decorrente das alterações do clima.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade estatística do clima presente (1961-2005) simulado pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o Estado do Tocantins, a partir de dados observados em cinco estações meteorológicas

convencionais do INMET, sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da região de estudo

A área de estudo corresponde ao Estado do Tocantins, estando localizado entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude oeste, com área de 277.621 km<sup>2</sup>, representando 3,26% da área do território nacional e 7,2% da região Norte, e 139 municípios. O Tocantins faz divisa com os Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará e Piauí. O bioma Cerrado abrange 91% da área do Estado do Tocantins, sendo os outros 9% ocupados pelo bioma Amazônia, com florestas Ombrófila Aberta, Ombrófila Densa e Estacionais (IBGE, 2004). A Figura 1 apresenta a inserção do Estado do Tocantins no território brasileiro e os biomas ali presentes.

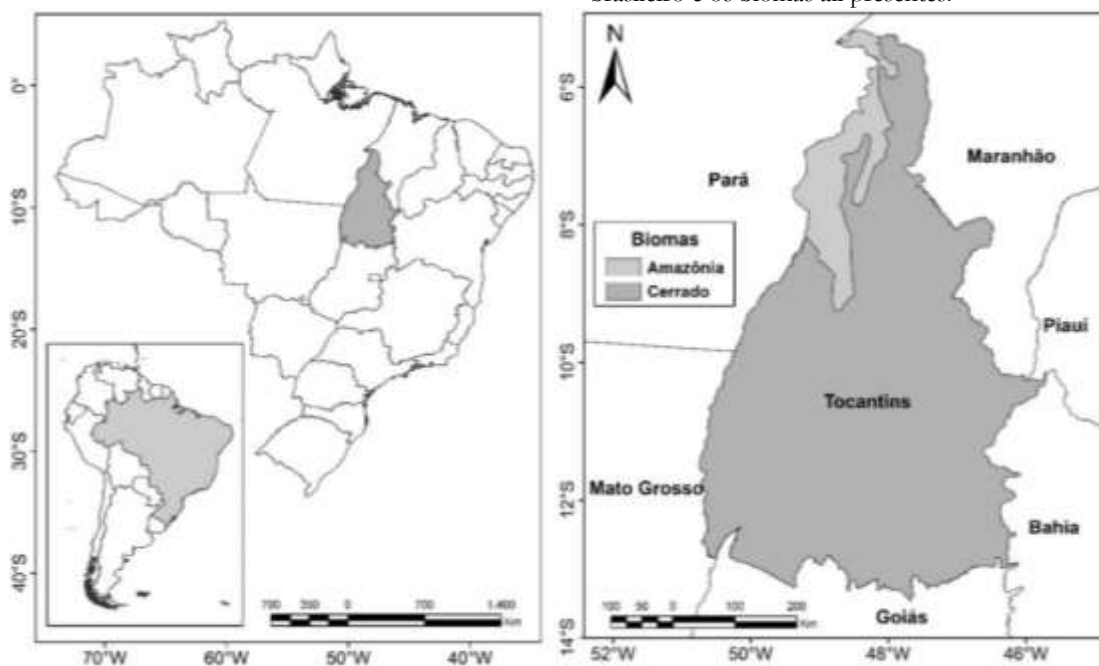


Figura 1: Localização do Estado do Tocantins no território brasileiro destacando os biomas e divisas.

Segundo SEPLAN (2012), a precipitação média anual no Estado varia entre 1.300 e 2.100 mm. De acordo com Sousa (2016), as três regiões climáticas homogêneas que ocorrem no Tocantins pela classificação climática de Thornthwaite são: a) C1s2A'a' (clima subúmido seco, com grande excesso de água no verão, megatérmico); b) C2wA'a' (clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) e c) B1wA'a' (clima úmido, com

deficiência de água moderada no inverno, megatérmico) (Figura 2).

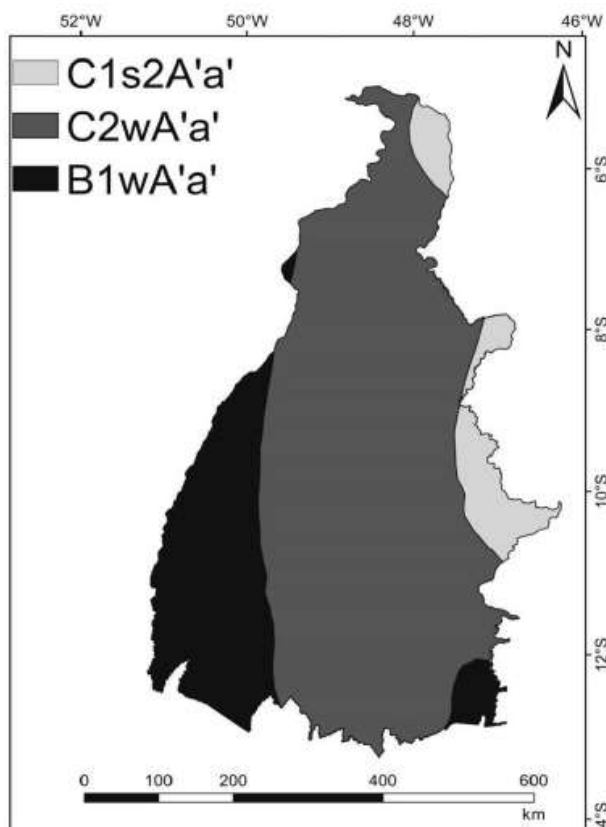


Figura 2: Regionalização climática de Thornthwaite para o Estado do Tocantins (SOUSA, 2016)

De acordo com levantamento realizado pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins – SEPLAN, o Estado apresenta diversidade de classes de solo, destacando-se principalmente os plintossolo, latossolo, neossolo quartzarênico, cambissolo e argissolo. Apresenta altitude variando entre 200 e 1.200 m (SEPLAN, 2012).

### Base de dados

Os dados meteorológicos observados utilizados no presente estudo são provenientes da rede de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em cinco municípios tocantinenses, sendo: Araguaína, Pedro Afonso, Peixe, Porto Nacional e Taguatinga. Na Tabela 1 são apresentados código, latitude, longitude e altitude, bem como o período

de dados disponível para cada estação. Foram selecionadas séries históricas diárias de precipitação, umidade relativa, temperaturas máxima, mínima e média do período de 1961 a 2005, quando disponível (Tabela 1). A partir das séries históricas diárias foram estruturadas séries de precipitação total anual, precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual, temperatura média anual, temperatura mínima diária anual e umidade relativa média anual, para posterior análise estatística ( $P_{BIAS}$ : percentagem de viés e EMPA: erro médio percentual absoluto) dos dados. Na Figura 3 consta a distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas, bem como o grid com resolução de 20 km, conforme apresenta o modelo Eta, resultando em 572 pontos no Estado do Tocantins.

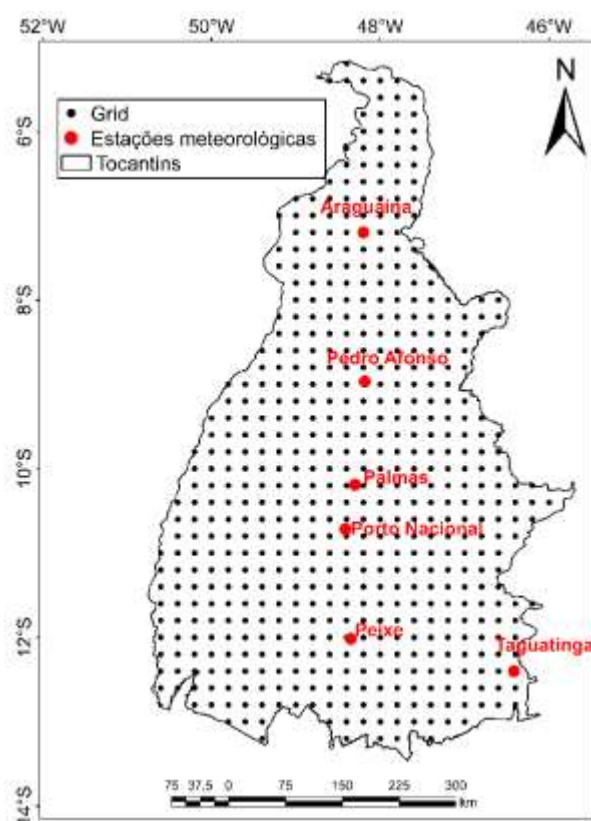


Figura 3: Grid com resolução de 20 km e distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais utilizados no presente estudo (INMET, 2016)

Tabela 1: Código, latitude, longitude, altitude e período de dados para cada estação meteorológica convencional do INMET utilizada (INMET, 2016)

Código	Estações	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período (Anos)
82659	Araguaína	-7,20	-48,20	228,5	1985-2005
82863	Pedro Afonso	-8,96	-48,18	187,0	1978-2005
83228	Peixe	-12,01	-48,35	242,5	1976-2005
83064	Porto Nacional	-10,71	-48,41	239,2	1961-2005
83235	Taguatinga	-12,40	-46,41	603,6	1962-2005

Em uma última análise, as mudanças climáticas foram estratificadas por região, sendo: Norte (Araguaína), Centro (Pedro Afonso e Porto Nacional) e Sul (Peixe e Taguatinga), conforme está apresentado na figura 4a. Nessa abordagem objetivou-se sintetizar os resultados da simulação climática obtidos pelos dois modelos regionais, em cada uma das três regiões. Outro objetivo refere-se à comparação dos resultados simulados pelos modelos

climáticos para o clima presente com os mapas anuais de precipitação média e temperatura média do ar do Atlas do Tocantins (Figuras 4b e 4c, respectivamente) disponibilizados pela Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2012). Procedeu-se comparando os valores médios simulados para a localização das estações meteorológicas do INMET, com aqueles mapeados no Atlas do Tocantins para estas mesmas localizações.

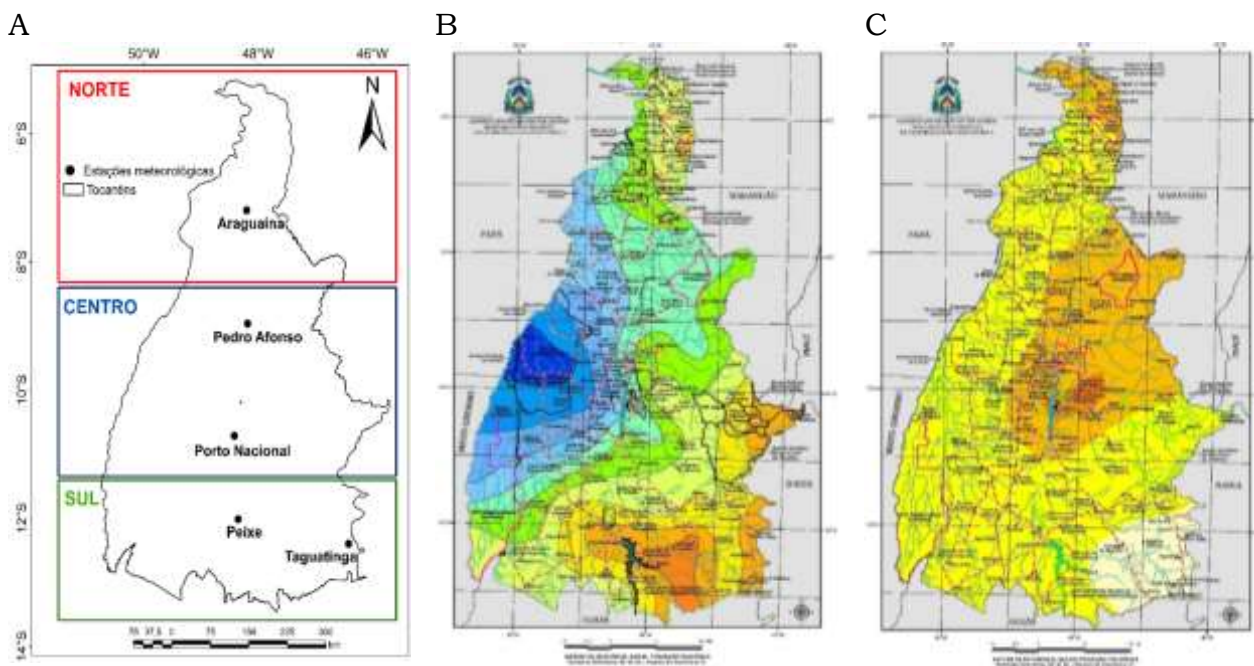


Figura 4: Distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais classificadas por região (A), precipitação média anual (B) e temperatura média anual do ar (C) (SEPLAN, 2012)

## Modelos climáticos

No presente estudo foram utilizadas projeções climáticas disponibilizadas por Chou et al. (2014a; 2014b), produzidas pelos modelos HadGEM2-ES e MIROC5, com *downscaling* pelo modelo regional Eta, sendo então designados por Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5. O modelo global HadGEM2-ES (*Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System*) (COLLINS et al.,

2011; MARTIN et al., 2011) é um modelo em ponto de grade com resolução N96, equivalente a 1,875 e 1,275 graus de longitude e latitude, respectivamente, e 38 níveis verticais na atmosfera, chegando a cerca de 40 km de altitude. Sobre o oceano, apresenta 40 níveis na orientação vertical, sendo que, a resolução pode variar de 1/3 de grau nos trópicos a 1 grau em latitudes maiores que 30°. O HadGEM2-ES foi aplicado pelo *Met Office Hadley Centre* nas simulações do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)* (IPCC, 2013), que utiliza dados históricos de 1960 a 2005 e

projeções através dos chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*) (MOSS et al., 2010).

O *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC5) (WATANABE et al., 2010), por sua vez, foi desenvolvido em conjunto pelo *National Institute of Environmental Studies* (NIES), *Center for Climate System Research* (CCSR) e *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC), sendo essa versão utilizada no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (IPCC, 2013).

O modelo climático regional (RCM) que produziu os dados utilizados neste trabalho foi o Eta. O modelo Eta foi desenvolvido na Universidade de Belgrado, e é empregado operacionalmente pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (BLACK, 1994; MESINGER et al., 2012). No Brasil o modelo Eta vem sendo aplicado pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para previsão do tempo e estudos sobre cenários exploratórios de mudanças climáticas futuras em diferentes escalas de tempo e resoluções espaciais (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005; CHOU et al., 2014a).

O modelo Eta (MESINGER, 1984; BLACK, 1994) é um modelo em ponto de grade baseado na coordenada  $n$  (Equação 1), sendo todas as variáveis tomadas a partir de uma atmosfera de referência. Os dados utilizados no presente estudo foram gerados com resolução de 20 km na horizontal e 38 camadas na vertical, com o topo do modelo estando a 25 hPa (CHOU et al., 2014a,b).

$$n = \frac{(p_r(Z_s) - p_t)}{(p_r(z=0) - p_t)} \quad (1)$$

em que:  $Z$  – altura geométrica;  $p_t$  – pressão no topo do modelo;  $p_r(z=0)$  – pressão do nível médio do mar (1013 hPa);  $p_r(z_s)$  – pressão atmosférica padrão para o nível de terreno do modelo  $z_s$ .

Os dados climáticos diários simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 utilizados no presente estudo referem-se a séries do período chamado de clima presente ou “*baseline*”, que se estende de 1961 a 2005. Ressalta-se que não foi definido um período de 30 anos (1961-1990), em razão da baixa disponibilidade de dados observados nas estações meteorológicas convencionais.

### Avaliação da qualidade das projeções climáticas

O desempenho dos modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 foi avaliado pela comparação de variáveis simuladas para o clima presente com dados observados nas estações meteorológicas do INMET para o mesmo período. Para cada estação meteorológica, selecionou-se o ponto do grid de simulação mais próximo para proceder a validação. A região Sudoeste do Estado do Tocantins não apresenta estação devido à dificuldade de acesso por ser uma terra indígena, que

dificulta a instalação de uma estação meteorológica convencional na Ilha do Bananal. Na avaliação da precisão dos modelos climáticos foram empregadas as seguintes estatísticas: percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e erro médio percentual absoluto (EMPA).

O  $P_{BIAS}$  (Equação 2) é o percentual de viés. O valor ideal para o  $P_{BIAS}$  é zero. Valores negativos indicam superestimativa, enquanto que os valores positivos indicam subestimativa dos dados gerados pelo modelo (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999). Na Tabela 2 pode ser verificado o intervalo de classificação do  $P_{BIAS}$  proposto por Van Liew et al. (2007):

$$P_{BIAS} = \left[ \frac{\sum(Obs_i - Est_i)}{\sum(Obs_i)} \right] 100 \quad (2)$$

em que:  $P_{BIAS}$  - Percentagem de viés;  $Est_i$  – valor estimado da variável para o ponto  $i$ ;  $Obs_i$  – valor observado da variável para o ponto  $i$

Tabela 2: Intervalo de classificação dos resultados para  $P_{BIAS}$  (Van Liew et al., 2007)

Referência	Classificação
$ P_{BIAS}  < 10\%$	Muito bom
$10\% \leq  P_{BIAS}  < 15\%$	Bom
$15\% \leq  P_{BIAS}  < 25\%$	Satisfatório
$ P_{BIAS}  \geq 25\%$	Insatisfatório

O erro médio percentual absoluto (EMPA) é uma estatística de precisão bastante difundida. De acordo com Lopes (2002), o EMPA (Equação 3) desconsidera o sinal do erro por considerar o seu módulo. Assim esta estatística de precisão calcula a média de todos os erros percentuais absolutos, impedindo que o erro seja diminuído através da soma de valores com sinais opostos. Na Tabela 3 pode ser verificado o intervalo de classificação para o EMPA conforme Lewis (1997):

$$EMPA = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| 100 \quad (3)$$

em que: EMPA – é o erro médio percentual absoluto;  $n$  – números de dados em análise

Tabela 3: Intervalo de classificação para EMPA (Lewis, 1997)

Referência	Classificação
$EMPA < 10\%$	Muito bom
$10\% \leq EMPA < 20\%$	Bom
$20\% \leq EMPA < 30\%$	Razoável
$EMPA \geq 30\%$	Impreciso

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação total anual

simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente.

Tabela 4: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação total anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins.

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	35,1	33,5
	Eta-MIROC5	30,1	29,2
Palmas	Eta-HadGEM2-ES	36,4	38,2
	Eta-MIROC5	27,4	37,3
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	28,1	31,1
	Eta-MIROC5	14,9	24,6
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	22,1	28,4
	Eta-MIROC5	5,5	21,1
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	28,9	30,0
	Eta-MIROC5	-3,0	27,9
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	41,8	39,5
	Eta-MIROC5	13,1	29,1
<b>Média</b>	<b>Eta-HadGEM2-ES</b>	<b>32,1</b>	<b>33,4</b>
	<b>Eta-MIROC5</b>	<b>14,7</b>	<b>28,2</b>

De maneira geral, analisando os resultados do  $P_{BIAS}$  observou-se tendência de subestimativa da precipitação por ambos os modelos climáticos, com exceção da estação de Porto Nacional para o modelo Eta-MIROC5, para o qual obteve-se superestimativa de 3%. Analisando-se especificamente o modelo Eta-MIROC5, observou-se que o  $P_{BIAS}$  das estações de Peixe e Porto Nacional apresenta valores abaixo de 10%, sendo classificado como “muito bom”. Ainda com base no  $P_{BIAS}$ , observou-se para as estações de Pedro Afonso (14,9%) e Taguatinga (13,1%), resultados classificados como “bom”. Já para o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, o melhor resultado do  $P_{BIAS}$  foi obtido para a estação de Peixe (22,1%), que recebe a classificação “satisfatório”. Os demais resultados apresentaram valores de  $P_{BIAS}$  acima de 25%, sendo assim considerados “insatisfatórios”. A estação de Araguaína em ambos os modelos, com série histórica de 21 anos, apresentou alto erro de  $P_{BIAS}$  em razão da baixa disponibilidade de dados observados. Optou-se por não excluir Araguaína devido ser a única estação localizada na região Norte do Estado do Tocantins. Baseado nos dados estimados para  $P_{BIAS}$  e na classificação de Van Liew et al. (2007), observa-se que o modelo Eta-MIROC5 é o que apresenta melhor simulação de precipitação total anual para

o Estado do Tocantins. Em termos médios, para as cinco localidades analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 12,1% e 31,2% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

Em relação ao EMPA verificam-se resultados imprecisos ( $EMPA > 30\%$ ) do modelo Eta-HadGEM2-ES para as estações de Araguaína, Pedro Afonso e Taguatinga. As demais estações apresentaram EMPA variando de 21,1% a 30%, sendo classificados como “razoável” na escala proposta por Lewis (1997). Baseado nos resultados médios do EMPA para as estações meteorológicas, o erro médio absoluto é de 32,5 e 26,4% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa forma, com base no EMPA, novamente constata-se que o Eta-MIROC5 se sobressaiu perante o Eta-HadGEM2-ES para simulação da precipitação total anual para o Tocantins. Diante dos resultados obtidos, recomenda-se para estudos futuros a análise da frequência de fenômenos ENSO (*El Niño e La Niña*) simulada pelos modelos climáticos. Chou et al. (2014a), em suas análises sobre a precipitação para a América do Sul, mostraram que nos períodos seco e chuvoso, o modelo Eta-MIROC5 foi o que apresentou melhores simulações climáticas para a região em que o Estado do Tocantins se encontra.

Na Figura 5 pode ser observada a distribuição temporal dos dados observados e simulados (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) de precipitação total anual para a localização das 5 estações meteorológicas.

O ano de 1985 apresentou a maior precipitação média observada dentre as 6 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior precipitação observada foi Araguaína, com 2893,2 mm. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 1025,1 mm e 1876,2 mm, respectivamente. Já no ano de 1963, observou-se a menor lâmina precipitada, que se deu na estação de Taguatinga, com 1005,5 mm. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 1107,7 mm e 1659,1 mm, respectivamente. Tais resultados mostram que as estimativas de precipitação anual apresentam alto grau de enviesamento, e que assim, é importante a aplicação de uma metodologia de remoção dos erros sistemáticos dos modelos previamente à utilização dos cenários climáticos futuros.

Na Tabela 5 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação máxima diária anual, simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

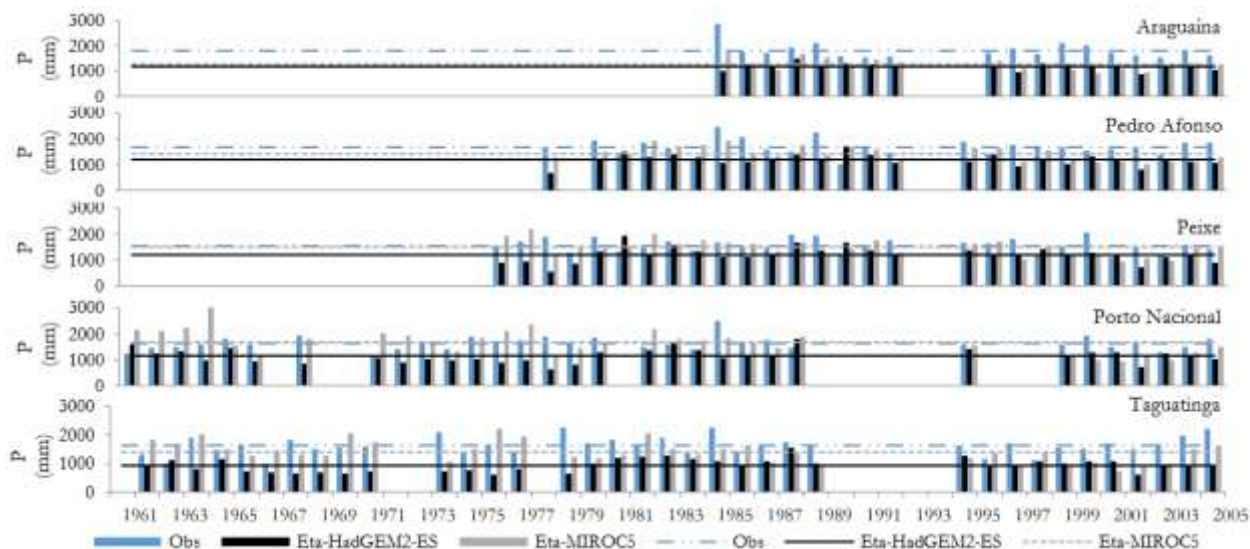


Figura 5: Precipitação anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Tabela 5: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para precipitação máxima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	61,8	59,7
	Eta-MIROC5	60,8	58,3
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	53,4	52,6
	Eta-MIROC5	50,1	47,7
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	42,4	41,4
	Eta-MIROC5	45,7	41,9
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	48,6	46,9
	Eta-MIROC5	40,2	38,4
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	53,5	50,7
	Eta-MIROC5	50,9	47,4
Média	Eta-HadGEM2-ES	51,9	50,3
	Eta-MIROC5	49,5	46,7

Com base nos resultados do  $P_{BIAS}$ , verificou-se uma acentuada tendência de subestimativa da precipitação máxima diária anual para os modelos climáticos em estudo.

Todas as estações meteorológicas apresentaram resultados de  $P_{BIAS}$  superiores a 25%, sendo classificados como “insatisfatórios”. Ainda com base no  $P_{BIAS}$ , a análise específica do modelo Eta-HadGEM2-ES, constatou que a estação de Peixe foi a que apresentou o melhor resultado (42,4%). Já para o modelo climático Eta-MIROC5, o melhor resultado de  $P_{BIAS}$  foi obtido para a estação de Porto Nacional (40,2%). Em termos médios, para as cinco estações meteorológicas analisadas, a subestimativa é de 49,5 e 51,9% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente.

No que se refere ao EMPA, verificou-se que a média para as cinco localidades foi de 50,3 e 46,7% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. O melhor resultado foi obtido nas estações de Peixe e Porto Nacional para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente.

Na Figura 6 pode ser observada a distribuição temporal dos dados observados e simulados (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) de precipitação máxima diária anual para a localização das 5 estações meteorológicas.



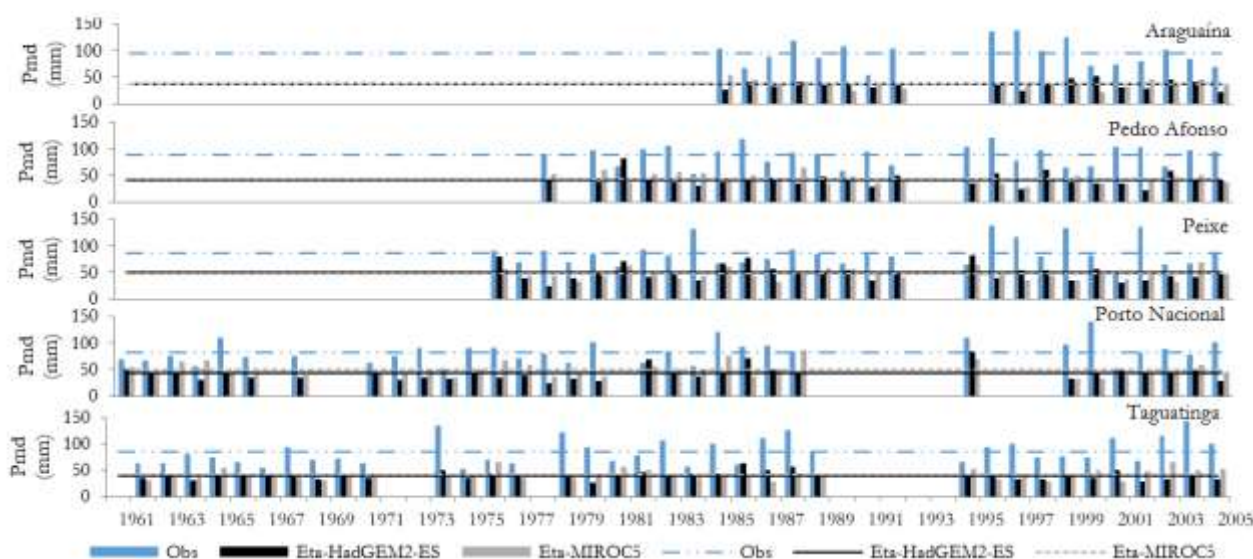


Figura 5: Precipitação máxima diária anual e média observada e simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

A maior precipitação máxima diária anual foi observada na estação meteorológica de Taguatinga (144,8 mm dia<sup>-1</sup> no ano de 2004). Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 39,8 e 49,8 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. No outro extremo, a menor precipitação máxima diária anual observada foi na estação de Peixe, no ano de 2001, sendo de 47,1 mm dia<sup>-1</sup>. Para este ano e estação, os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 31,0 e 35,8 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Nota-se também pela Figura 6, que no caso da média da precipitação máxima diária anual, os valores simulados por ambos os modelos são bastante próximos e substancialmente menores que os valores médios observados. Tal constatação é importante e indica que estudos futuros deverão avaliar também a necessidade de correção da frequência dos valores extremos simulados pelos modelos climáticos.

Na Tabela 6 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura máxima diária anual, simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 6: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura máxima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	4,0	4,0
	Eta-MIROC5	7,6	7,6
Palmas	Eta-HadGEM2-ES	3,5	3,7
	Eta-MIROC5	8,5	8,4
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	0,9	3,1
	Eta-MIROC5	6,5	6,4
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	2,0	3,5
	Eta-MIROC5	9,4	9,4
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	3,8	4,4
	Eta-MIROC5	11,0	11,0
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	9,5	9,5
	Eta-MIROC5	17,9	17,8
Média	<b>Eta-HadGEM2-ES</b>	<b>3,9</b>	<b>4,7</b>
	<b>Eta-MIROC5</b>	<b>10,1</b>	<b>10,1</b>

Analisando de forma geral os resultados para o  $P_{BIAS}$ , notou-se uma tendência de subestimativa da temperatura máxima diária anual para os modelos climáticos avaliados. Quanto a análise específica do modelo climático Eta-HadGEM2-ES, verificou-se que todas as estações apresentaram  $P_{BIAS}$  inferior a 10%, sendo assim classificados como “muito bom”, destacando a estação de Pedro Afonso que obteve o melhor resultado, de 0,9%. Já para o modelo Eta-MIROC5, a estação de Porto Nacional apresentou  $P_{BIAS}$

de 11,0%, sendo classificado como “bom”, enquanto que para Taguatinga (17,9%) o resultado foi “satisfatório”. As demais estações apresentaram  $P_{BIAS}$  abaixo de 10%, sendo assim considerados “muito bom”, evidenciando a estação de Pedro Afonso (6,5%), que apresentou menor viés para esse modelo.

Em termos médios, para as cinco estações analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 10,5% para o modelo Eta-MIROC5, sendo classificado como “bom”, enquanto que para o modelo Eta-HadGEM2-ES a subestimativa foi de 4,0%, recebendo a classificação “muito bom”. Chou et al. (2014a), analisando o ciclo anual da temperatura para os modelos Eta-HadGEM2-ES, Eta-BESM e Eta-MIROC5 nas regiões norte, nordeste e centro-sul do território brasileiro, constataram subestimativa das projeções climáticas em todas as áreas avaliadas, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

Já com relação ao EMPA das projeções do Eta-HadGEM2-ES, verifica-se que as estações em estudo

apresentam erro médio absoluto menor que 10%, sendo classificados como “muito bom”. Já para o modelo Eta-MIROC5, os resultados foram classificados como “bom” nas estações de Porto Nacional e Taguatinga. As demais estações obtiveram erro médio percentual absoluto classificados como “muito bom”, conforme a escala proposta por Lewis (1997). Ressalta-se ainda, que a estação de Pedro Afonso obteve o melhor resultado para o EMPA para ambos modelos climáticos.

Em termos médios o EMPA foi de 4,9 e 10,4% para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa maneira, baseado nas estatísticas aplicadas, constata-se que o modelo climático Eta-HadGEM2-ES apresenta a melhor simulação de temperatura máxima diária anual para o clima presente no Estado do Tocantins.

Na Figura 7 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura máxima anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

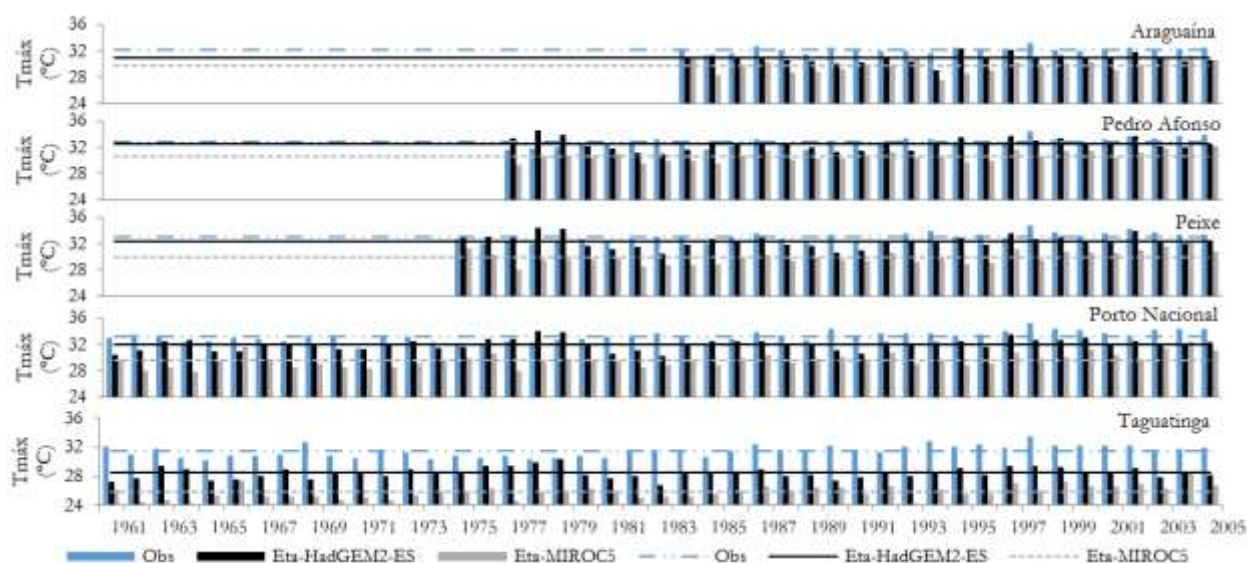


Figura 7: Temperatura máxima anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1998 apresentou a maior temperatura máxima anual observada dentre as 6 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura máxima observada foi Porto Nacional, com 35,2 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 32,7 °C e 29,8 °C, respectivamente. Já no ano de 1965, observou-se a menor temperatura máxima na estação de Taguatinga, com 30,2 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 27,4 °C e 25,4 °C, respectivamente.

Na Tabela 7 podem ser observados os resultados obtidos para a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA), para temperatura média anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 7: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA) para a temperatura média anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	-3,5	3,6
	Eta-MIROC5	2,0	2,6
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	-3,5	3,6
	Eta-MIROC5	2,8	2,8
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	-2,6	3,2
	Eta-MIROC5	5,4	5,7
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	-1,2	2,6
	Eta-MIROC5	6,5	6,6
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	7,9	7,8
	Eta-MIROC5	16,5	16,5
<b>Média</b>	<b>Eta-HadGEM2-ES</b>	<b>-0,6</b>	<b>4,2</b>
	<b>Eta-MIROC5</b>	<b>6,6</b>	<b>6,8</b>

Para o modelo Eta-HadGEM2-ES, avaliando-se os resultados de  $P_{BIAS}$  constata-se superestimativa da temperatura média diária anual, exceto para a estação de Taguatinga (7,9%). Por outro lado, para o Eta-MIROC5 obteve-se subestimativa para todas as estações avaliadas. Em termos médios para as cinco estações meteorológicas

analisadas, a subestimativa é 6,6% pelo Eta-MIROC5, enquanto que para o Eta-HadGEM2-ES, obteve-se superestimativa de 0,6%. Analisando-se especificamente o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, observa-se que todas as estações apresentaram  $P_{BIAS}$  inferior a 10%, que recebe a classificação “muito bom”, destacando a estação de Araguaína e Pedro Afonso que obtiveram melhores resultados (-3,5%). Já para o modelo Eta-MIROC5, a estação de Taguatinga apresentou  $P_{BIAS}$  de 16,5%, sendo classificado como “satisfatório”. Os demais resultados foram abaixo de 10%, sendo considerados “muito bom”.

No que diz respeito ao EMPA, analisando a média dos modelos, verificam-se erros médios de 4,2% e 6,8% para o Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Destaca-se que ambos os modelos receberam a classificação “muito bom”, exceto para a estação de Taguatinga para o modelo Eta-MIROC5 (16,5%), considerado “bom”. Esse resultado isolado com a estação de Taguatinga pode estar relacionado com a sua altitude, que é de 603,6 m, tendo-se em vista que as demais estações se encontram em altitudes inferiores a 280 m. Com base nestes resultados, o modelo Eta-HadGEM2-ES apresentou melhor acurácia da simulação para a precipitação média anual no Tocantins.

Na Figura 8 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura média anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

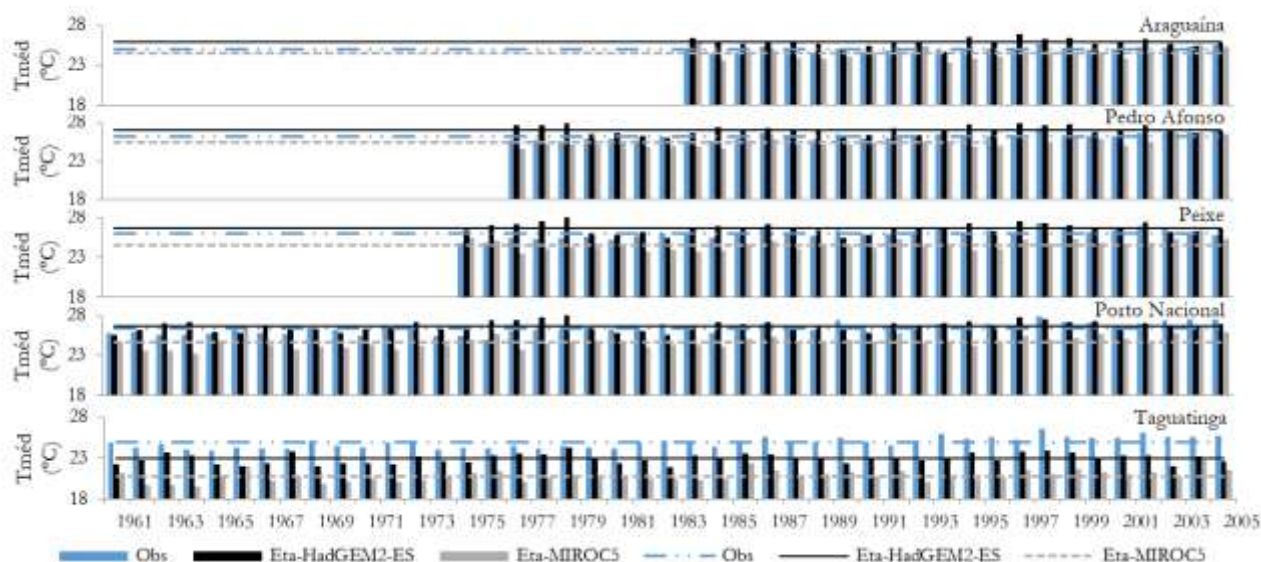


Figura 8: Temperatura média anual e média observada e simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins.

O ano de 1998 apresentou a maior temperatura média anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura média observada foi Porto Nacional, com 27,9 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 27,4 e 24,9 °C, respectivamente. Já no

ano de 1965, observou-se a menor temperatura média na estação de Taguatinga, com 23,9 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 22,3 e 20,7 °C, respectivamente.

Na Tabela 8 constam a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e o Erro médio percentual absoluto (EMPA), para a

temperatura mínima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 8: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA) para temperatura mínima diária anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	-3,2	3,6
	Eta-MIROC5	4,7	4,8
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	0,7	2,5
	Eta-MIROC5	7,2	7,2
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	1,0	2,6
	Eta-MIROC5	8,0	8,3
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	0,7	2,8
	Eta-MIROC5	7,8	7,8
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	13,3	13,2
	Eta-MIROC5	20,6	20,6
<b>Média</b>	<b>Eta-HadGEM2-ES</b>	<b>2,5</b>	<b>4,9</b>
	<b>Eta-MIROC5</b>	<b>9,7</b>	<b>9,7</b>

Verificam-se subestimativas da temperatura mínima diária anual por ambos os modelos climáticos,

exceto para a estação meteorológica de Araguaína pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, para a qual foi simulada superestimativa de 3,2%. Para ambos modelos foi obtido viés abaixo de 10% (“muito bom”), com exceção de Taguatinga.

Em termos médios para as cinco localidades analisadas no Estado do Tocantins, a subestimativa é de 9,7 e 2,5% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente. Avaliando o EMPA para a temperatura mínima diária anual, observa-se que os resultados das projeções foram classificados como “muito bom” para ambos os modelos, exceto a estação de Taguatinga, que apresentou EMPA de 13,2% (bom) e 20,6% (razoável) para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Em termos médios, observam-se erros absolutos de 4,9% (Eta-HadGEM2-ES) e 9,7% (Eta-MIROC5). Os melhores resultados do EMPA foram obtidos nas estações de Pedro Afonso e Araguaína, para os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente. Dessa forma, analisando os resultados obtidos, observa-se que o modelo Eta-HadGEM2-ES produziu melhores resultados para a temperatura mínima diária anual no clima presente simulado para o Estado do Tocantins.

Na Figura 9 pode ser observada a distribuição temporal da temperatura mínima diária anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

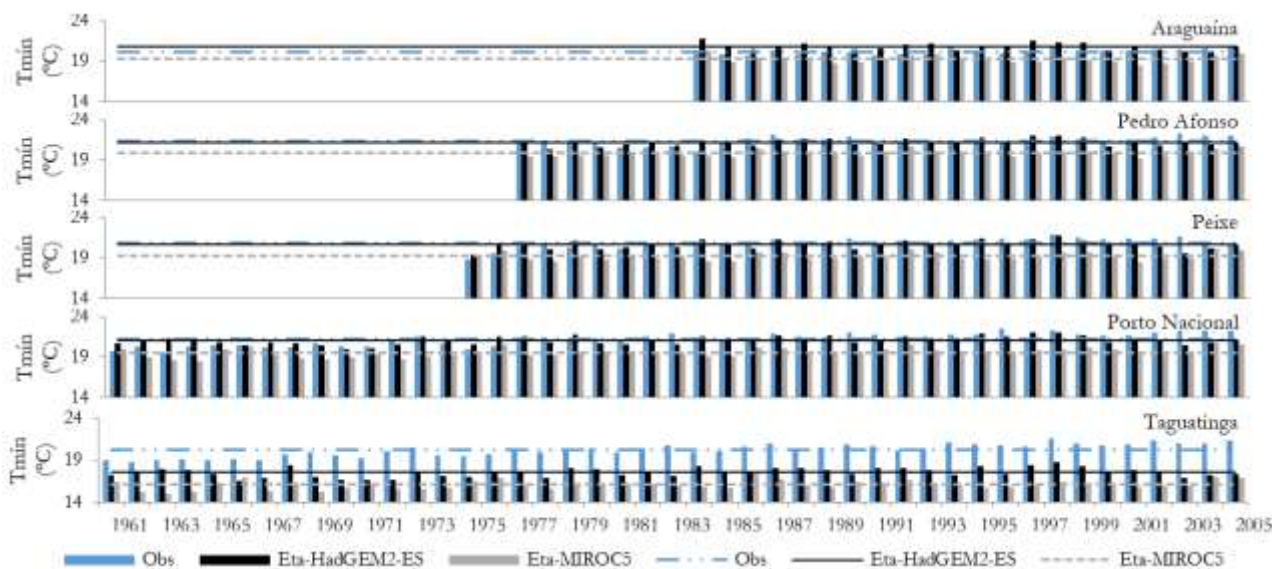


Figura 6: Temperatura mínima anual e média dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins.

O ano de 1993 apresentou a maior temperatura mínima anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior temperatura mínima observada foi Porto Nacional, com 22,5 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 21,8 e 20,9 °C,

respectivamente. Já no ano de 1962, observou-se a menor temperatura mínima na estação de Taguatinga, com 18,8 °C. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 17,6 e 15,2 °C, respectivamente.

Na Tabela 9 constam a Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e o Erro médio percentual absoluto (EMPA) para umidade relativa média anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5, para o clima presente.

Tabela 9: Percentagem de viés ( $P_{BIAS}$ ) e Erro médio percentual absoluto (EMPA) para umidade relativa anual simulada pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

Estação	Modelo	$P_{BIAS}$	EMPA
Araguaína	Eta-HadGEM2-ES	22,8	22,8
	Eta-MIROC5	24,6	24,6
Pedro Afonso	Eta-HadGEM2-ES	30,5	30,4
	Eta-MIROC5	27,7	27,7
Peixe	Eta-HadGEM2-ES	26,1	26,1
	Eta-MIROC5	17,9	17,9
Porto Nacional	Eta-HadGEM2-ES	24,5	24,4
	Eta-MIROC5	17,3	17,3
Taguatinga	Eta-HadGEM2-ES	21,0	20,8
	Eta-MIROC5	8,9	10,1
Média	Eta-HadGEM2-ES	24,6	24,6
	Eta-MIROC5	19,7	19,9

Analisando os resultados do  $P_{BIAS}$ , observa-se tendência de subestimativa da umidade relativa para ambos os modelos climáticos. Os valores médios para as cinco

estações foram de 19,3 e 25,0% para os modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM2-ES, respectivamente. Analisando-se o modelo Eta-MIROC5, observa-se que a estação de Taguatinga apresenta o menor viés (8,9%), classificado como “muito bom”, enquanto que a estação de Pedro Afonso apresenta o maior (27,7%). Já para o modelo climático Eta-HadGEM2-ES, as projeções para a localização das estações de Pedro Afonso (30,5%) e Peixe (26,1%), foram classificadas como “insatisfatório”. Para a localização das demais estações meteorológicas foram obtidos resultados classificados como “satisfatório”.

Em relação ao EMPA, verificou-se que o modelo Eta-HadGEM2-ES produziu resultados “impreciso” para a localização da estação de Pedro Afonso, enquanto que para as demais localidades os resultados foram classificados como “razoável”. Para o modelo Eta-MIROC5, notou-se que para a localização das estações de Peixe, Porto Nacional e Taguatinga os resultados foram classificados como “bom”; enquanto que as demais localizações analisadas foram classificadas como “razoável”. O melhor resultado para o EMPA foi obtido para a localização da estação de Taguatinga para ambos os modelos. Dessa maneira, baseado nas estatísticas de precisão utilizadas verifica-se que o modelo Eta-MIROC5 é o que apresenta melhor simulação da umidade relativa anual para o clima presente no Estado do Tocantins.

Na Figura 10 pode ser observada a distribuição temporal da umidade relativa anual observada e simulada (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para a localização das 5 estações meteorológicas.

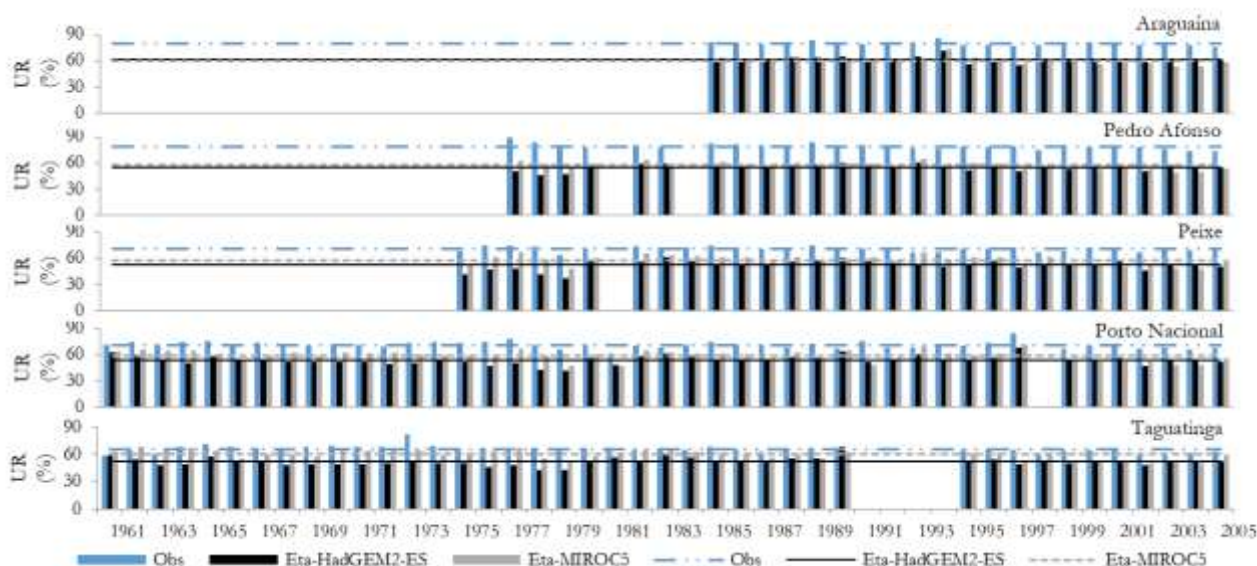


Figura 10: Umidade relativa anual e médio dos dados observados e simulados pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o clima presente, no Estado do Tocantins

O ano de 1977 apresentou a maior umidade relativa anual observada dentre as 5 estações meteorológicas em análise. Para este ano, a estação com maior umidade relativa observada foi Pedro Afonso, com 89,1%. Para esta situação os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 50,3 e 62,7%, respectivamente. Já no ano de 2002, observou-se a menor umidade relativa na estação de Taguatinga, com 58,7%. Para esta situação os modelos

Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 simularam valores de 48,4 e 50,9%, respectivamente.

Na tabela 10 consta o resumo geral dos valores das variáveis climáticas simuladas por região (Norte, Central e Sul) para o clima presente pelos modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 e aqueles obtidos dos mapas anuais de precipitação média e temperatura média do ar do Atlas do Tocantins.

Tabela 10: Valores das variáveis climáticas simuladas pelos modelos regionais Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 e pelos dados obtidos do Atlas do Tocantins para as regiões Norte, Central e Sul do Estado do Tocantins (Adaptado de SEPLAN, 2012)

Região	Variável climática	Dados simulados	Atlas do Tocantins
Norte	Precipitação anual (mm)	898,2 – 1.876,2	1.600 – 1.700
	Precipitação máxima diária anual (mm dia <sup>-1</sup> )	20,7 – 54,8	–
	Temperatura máxima anual (°C)	27,4 – 32,2	–
	Temperatura média anual (°C)	23,3 – 26,7	25 – 26
	Temperatura mínima anual (°C)	18,5 – 21,9	–
	Umidade relativa anual (%)	53,6 – 73,4	–
Central	Precipitação anual (mm)	634,8 – 3.105,3	1.600 – 1.700
	Precipitação máxima diária anual (mm dia <sup>-1</sup> )	22,1 – 86,7	–
	Temperatura máxima anual (°C)	27,8 – 34,5	–
	Temperatura média anual (°C)	23,2 – 28,0	26 – 27
	Temperatura mínima anual (°C)	18,5 – 22,1	–
	Umidade relativa anual (%)	41,0 – 71,3	–
Sul	Precipitação anual (mm)	568,7 – 2.208,9	1.300 – 1.400
	Precipitação máxima diária anual (mm dia <sup>-1</sup> )	24,6 – 81,5	–
	Temperatura máxima anual (°C)	34,0 – 34,3	–
	Temperatura média anual (°C)	19,4 – 28,0	24 – 26
	Temperatura mínima anual (°C)	15,0 – 21,8	–
	Umidade relativa anual (%)	36,9 – 68,2	–

A região Central do Tocantins apresentou a maior precipitação anual simulada entre as regiões em análise. Para esta região, projetaram-se lâminas variando de 634,8 a 3.105,3 mm ano<sup>-1</sup> para o clima presente. De acordo com o Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012), as maiores lâminas também são simuladas na região Central do Tocantins, onde estão localizados o Parque Estadual do Cantão e APA Ilha do Bananal/Cantão; embora os valores do Atlas sejam muito menores quando comparados com os simulados pelos modelos climáticos regionais. Em relação a precipitação máxima diária anual, as lâminas extremas foram simuladas nas regiões Central e Sul, atingindo até 86,7 e 81,5 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para a temperatura média anual, os maiores valores simulados foram nas regiões Sul e Central do Estado, com projeções variando de 19,4 a 28 °C e 23,2 a 28 °C, respectivamente. Pelo mapeamento da temperatura média anual do ar disponibilizado no Atlas do Tocantins (SEPLAN, 2012) verifica-se que a região Central do Tocantins é a que apresenta a maior temperatura média, atingindo até 27 °C na localidade do Parque Estadual do Lajeado.

A maior temperatura máxima anual foi simulada pelos modelos climáticos na região Central

do Estado, com 34,5 °C. Ao mesmo tempo que na região Sul do Tocantins é simulada a menor temperatura mínima anual (15 °C).

Para o Estado do Tocantins são projetadas as maiores umidades relativas nas regiões Norte e Central, com 73,4 e 71,3%, respectivamente. Por outro lado, a menor umidade relativa é simulada na região Sul (36,9%) do Estado do Tocantins.

Diversas metodologias de correção de erros sistemáticos têm sido aplicadas em simulações de modelos climáticos globais e/ou regionais, tais como: escalonamento linear, regressão linear múltipla, mapeamento quantil-quantil, transformação potencial, método da mudança de delta, escala de variância, escala de intensidade local (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012). Diante dos resultados encontrados, nota-se que é essencial a aplicação da correção dos erros sistemáticos dos modelos climáticos previamente à utilização das simulações futuras. Isto é relevante sobretudo tendo-se em vista que as análises dessas projeções são tidas como ferramentas para a gestão ambiental. Constata-se também a necessidade de realização de estudos posteriores mais aprofundados. Nestes é essencial a análise sazonal das variáveis simuladas pelo modelo climático. Além disto sugere-se

que seja realizada a análise da frequência de eventos extremos simulados pelos modelos climáticos, assim como a frequência de fenômenos ENSO (*El Niño e La Niña*).

## CONCLUSÕES

O modelo climático Eta-MIROC5 apresentou melhor desempenho nas projeções de precipitação total anual e umidade relativa anual. O modelo Eta-HadGEM2-ES apresentou melhor qualidade nas simulações de temperatura (máxima, média e mínima). Para a localização da estação de Taguatinga foram encontrados os maiores erros para a simulação de temperatura. Estes erros podem estar diretamente associados com a altitude, uma vez que a estação de Taguatinga apresenta maior altitude em relação as outras estações.

As variáveis climáticas necessitam de correção dos erros sistemáticos previamente à utilização das projeções futuras visando a múltiplos objetivos, sobretudo no planejamento de políticas públicas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro ao projeto n° 482075/2013-9 e pela concessão de bolsa produtividade ao segundo autor (processo CNPq 305854/2015-1).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model. Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, v. 9, n. 2, p. 265-278, jun. 1994.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Brasília, DF, v. 1, parte 2, p. 39-155. 2012.

BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L.; CHOU, S.C. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., Foz do Iguaçu (PR). Proceedings... São José dos Campos: INPE, 2006. p. 503-506.

CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A.: Extended range forecasts over South America using the regional Eta Model. *Journal Geophysical Research*, v.105, n. D8, p. 10 147–10 160, 2000.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, n. 4, p. 537-555, jun. 2005.

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. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*, v. 38, n. 3-4, p. 635-653, 2012.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, 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. 5, p. 438-454, dez. 2014a.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G. MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 512-525, dez. 2014b.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and Evaluation of an Earth-System Model-HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, v. 4, n. 4, p. 1051-1075, nov. 2011.

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. *Revista USP*, n. 103, p. 33-40, 2014.

FLATO, G.; MAROTZKE, J.; ABIODUN, B.; BRACONNOT, P.; CHOU, S. C.; COLLINS, W.; COX, P.; DRIQUECH, F.; EMORI, S.; EYRING, V.; FOREST, C.; GLECKLER, P.; GUILYARDI, E.; JAKOB, C.; KATSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. Evaluation of Climate Models. In: STOCKER, T. F. et al (Ed.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. cap. 9, p.741–866.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 4, n. 2, p.135-143, abr. 1999.

HALLEGATTE, S.; MACH, K. J. Make climate-change assessments more relevant. *Nature*, v. 534, n. 7609, p. 630-655, jun. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa dos biomas do Brasil*. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Estações convencionais*. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=esta-coes/estacoesConvencionais>> Acesso em: 15 jan. 2016.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, 1535 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.

LEWIS, C. D. *Demand Forecasting and Inventory Control*. A computer aided learning approach. Woodhead Publishing Ltd, 1997. p. 157.

LIMA, A. M. *Relação clima e vegetação na área das bacias das usinas hidrelétricas de Barra dos Coqueiros e Caçu-GO*. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, 2013.

LOPES, R. D. *Previsão de autopeças: Estudo de caso em uma concessionária de veículos*. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, dez. 2009.

MARTIN, G. M.; BELLOUIN, N.; COLLINS, W. J.; CULVERWELL, I. D.; HALLORAN, P. R.;

HARDIMAN, S. C.; HINTON, T. J.; JONES, C. D.; MCDONALD, R. E.; MCLAREN, A. J.; O'CONNOR, F. M.; ROBERTS, M. J.; RODRIGUEZ, J. M.; WOODWARD, S.; BEST, M. J.; BROOKS, M. E.; BROWN, A. R.; BUTCHART, N.; DEARDEN, C.; DERBYSHIRE, S. H.; DHARSSI, I.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; EDWARDS, J. M.; FALLOON, P.D.; GEDNEY, N.; GRAY, L. J.; HEWITT, H. T.; HOBSON, M.; HUDDLESTON, M. R.; HUGHES, J.; INESON, S.; INGRAM, W. J.; JAMES, P. M.; JOHNS, T. C.; JOHNSON, C. E.; JONES, A.; JONES, C. P.; JOSHI, M. M.; KEEN, A. B.; LIDDICOAT, S.; LOCK, A. P.; MAIDENS, A. V.; MANNERS, J. C.; MILTON, S. F.; RAE, J. G. L.; RIDLEY, J. K.; SELLAR, A.; SENIOR, C. A.; TOTTERDELL, I. J.; VERHOEF, A.; VIDALE, P. L.; WILTSHIRE A. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, v. 4, n. 3, p. 723-757, set. 2011.

MELLO, C. R.; ÁVILA, L. F.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; DARRELL, N. L. Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 12, p. 8683-8698, jan. 2015.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, v. 44, p. 195-202, 1984.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The stepmountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, v. 116; p. 1493-1518, 1988.

MESINGER, F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; JOVIC, D.; BASTOS, P. R.; BUSTAMANTE, J. F.; LAZIC, L.; LYRA, A. A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An upgraded version of Eta Model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 116, n. 3, p. 63-79, mai. 2012.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 601-611, jun. 2005.

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.; 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, fev. 2010.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do País. *Parcerias Estratégicas*, n. 12, p. 239-258, set. 2001.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. *Revista Multiciência*, v. 8, p. 139-162, 2007.

QIAN, W.; LIN, X. Regional trends in recent precipitation indices in China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 90, n. 3-4, p. 193-207, 2005.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SEAGRO. Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária. *Agricultura e Pecuária*. 2017. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/>> Acesso em: 30 mai. 2017.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. 2012. Disponível em: <<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO AtlasTocantins2012/Atlas do Tocantins 2012.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. *Mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do Estado do Tocantins. Regiões fitoecológicas da faixa centro. Escala 1:100.000*. 2013. Disponível em: <

<http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/TO Rel Mapeamento Regioes Fitoecologicas Inventario Florestal/Rel Regioes Fitoecologicas Faixa Centro TO vol1.pdf>> Acesso em: 07 jul. 2017.

SILVA, L. A. G. C. *Biomassas presentes no estado do Tocantins*. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, ago. 2007, 10 p.

SILVA, F. A. M. da; et al. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M., et al (Org). Cerrado: ecologia e flora. Vol. 1. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap. 3.

SOUSA, F. H. M. *Regionalização climática de Thorntwbaite e Mather para o Estado do Tocantins*. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, 2016.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, v. 456-457, n. 16, p. 12-29, ago. 2012.

VAN LIEW, M. W.; VIETH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: Comparison on USDA- agricultural research service watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.12, n.2, p.173- 189, mar. 2007.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TETEBE, H.; KIMOTO, M. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, v. 23, n. 23, p. 6312–6335, dez. 2010.