

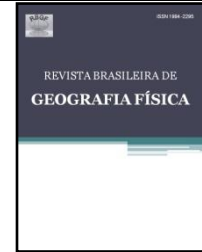


ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação e correção das simulações do modelo Eta/CPTEC – HADCM3 para o estado do Rio de Janeiro

Julyana Gomes da Silva¹, Henderson Silva Wanderley², Ednaldo dos Santos Oliveira², Gustavo Bastos Lyra²

¹Engenheira Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR-465, Km 7, Seropédica-RJ. E-mail: julyanagomes.silva@gmail.com. ²Prof. Dr. Departamento de Ciências Ambientais - Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR-465, Km 7, Seropédica-RJ. henderson@ufrj.br; edmeteoro@hotmail.com; gbylra@gmail.com

Artigo recebido em 02/08/2019 e aceito em 01/03/2020

RESUMO

Os modelos climáticos propiciam melhora na compreensão dos padrões de elementos climáticos e, assim, possibilitam identificar possíveis mudanças futuras. Embora essas simulações sejam alternativas satisfatórias para essa compreensão, esses modelos podem produzir simulações incertas. Deste modo, surge a necessidade de avaliar essas simulações, principalmente para o clima atual, com a finalidade de remover erros entre o que foi simulado para o clima atual e os dados observados em estações meteorológicas. Assim, esta pesquisa objetivou avaliar e corrigir simulações de temperatura do ar e precipitação obtidas pelo modelo Eta/CPTEC para o estado do Rio de Janeiro. Foram utilizados dados médios mensais de precipitação e de temperatura do ar oriundos de 108 pontos de grades simulados pelo modelo Eta para o estado do Rio de Janeiro, 1961-1990 (cenário atual) e dados de 12 (11) estações meteorológicas com séries de precipitação (temperatura do ar) também no período de 1961-1990, os quais foram utilizados para correção das simulações pela técnica de correção *Delta Change Approach*. Os resultados da correção das simulações foram avaliados por meio da análise de regressão linear simples e o ajuste de seus coeficientes, coeficiente de determinação (r^2), erro percentual da estimativa (SEE, (mm, °C e %)) e índice de concordância de Willmott. A correção das simulações proporcionou melhora por parâmetros estatísticos avaliados e redução do erro sistemático, principalmente para as simulações de chuvas.

Palavras-chave Temperatura do ar, chuva, Delta Change Approach.

Evaluation and correction of simulations of the Eta/CPTEC – HADCM3 model for the state of Rio de Janeiro

ABSTRACT

The climate models provide improved understanding of the patterns of climate elements and thus make it possible to identify possible future changes. Although these simulations are satisfactory alternatives for this understanding, these models can produce uncertain simulations. Therefore, it is necessary to evaluate these simulations, especially for the current climate, in order to remove errors between what was simulated for the current climate and the data observed in meteorological stations. This research objetived to evaluate and correct simulations of air temperature and rainfall obtained by the Eta/CPTEC model for the state of Rio de Janeiro. We used monthly mean rainfall and air temperature data from 108 grid points simulated by the Eta model for the state of Rio de Janeiro, for the period 1961-1990

Silva, J. G.; Wanderley, H. S.; Oliveira, E.S.; Lyra, G. B.

350

(current scenario) and data from 12 (11) meteorological stations with rainfall series (air temperature) for the period 1961-1990, which were to correct the simulations using the Delta Change Approach technique. The results of the correction of the simulations were evaluated through simple linear regression analysis and the adjustment of their coefficients, coefficient of determination (r^2), standard error of the estimate (SEE, (mm, ° C and%)) and Willmott index. The correction of the simulations provided improvement by statistical parameters evaluated and reduction of the systematic error, mainly for the rainfall simulations.

Keywords: Air temperature, rainfall, Delta Change Approach.

Introdução

Atualmente existe necessidade crescente de entender como as alterações do clima estão modificando os regimes de chuva e temperatura do ar de determinada região. A temperatura do ar é o elemento climático que apresentou mudanças relevantes nos últimos séculos, tendo aumento de cerca de 0,8 °C (Mauritsen e Stevens, 2015). Esse aumento chega a ser preocupante quando analisadas simulações obtidas por modelos climáticos, que preveem aumento na temperatura do ar próximo aos 5 °C para as próximas décadas (Basheer et al., 2016).

As simulações para a precipitação indicam aumento em algumas regiões do Brasil e diminuição em outras e, pode inclusive ocorrer inversão de sua distribuição em função da época do ano (Pellegrino et al., 2007). Essas alterações indicam redução de -350 mm a aumento de 300 mm (Silva et al., 2014). No entanto, o sucesso dessa simulação se reflete no nível de confiança na compreensão de tais mudanças (Bony et al., 2015).

Para o Rio de Janeiro, Wanderley e Bunhak (2016) identificaram mudanças na distribuição da precipitação e do número de dias sem chuvas, consoante, aumento na temperatura média do ar mínima de +0,66 °C e na temperatura média do ar máxima de + 1,21 °C (Wanderley et al., 2019). Para cenários futuros as simulações indicam aumento na temperatura de até 4,5 °C para a cidade (Silva et al., 2014).

Conseqüentemente, o entendimento dessas mudanças torna-se essencial para o desenvolvimento de gestões públicas, para conduzir ações

sobre gerenciamento dos recursos hídricos, abastecimento urbano e que possibilitem adaptar e mitigar seus impactos sobre a agricultura, uma vez que já foram observadas tensões nos sistemas de água doce e agrícola no Brasil (Engle e Lemos, 2010; Marim et al., 2013).

Para minorar essas tensões, caracterizar as alterações climáticas em cursos torna-se fundamental, principalmente para compreensão das possíveis mudanças climáticas futuras, as quais apenas podem ser expressas com a utilização de modelos climáticos de simulações de clima futuro. Os modelos climáticos tendem melhorar a compreensão e previsibilidade do comportamento climático em escalas de tempo sazonais, anuais, decadais e centenárias.

Embora essas simulações sejam alternativas satisfatórias para entender possíveis mudanças, os modelos climáticos podem produzir simulações incertas. Isso se justifica porque as simulações dos modelos climáticos dependem principalmente da abordagem selecionada e do processo de *downscaling* adotado. Além disso, suas projeções são bastantes sensíveis as condições de contornos iniciais as quais foram usadas para projetar as condições de mudança climática durante os períodos de estudo.

Essa incerteza preconiza o fato de que as projeções obtidas por modelos climáticos de simulações de clima, seja esse modelo de macro ou de meso escala, não devem ser utilizadas de forma direta para se compreender as mudanças climáticas, principalmente as de clima

futuro (Graham, 2000; Lenderink et al., 2007). Deste modo, surge a necessidade de avaliar as simulações obtidas pelos modelos climáticos, principalmente para o clima atual, com a finalidade de remover erros sistemáticos e não sistemáticos, entre o que foi simulado para o clima atual e os dados observados em estações meteorológicas por meio de correções (Oliveira et al., 2015).

Apesar da existência de vários modelos climáticos, as simulações do modelo Eta vêm apresentando índices de acerto superior aos das previsões do modelo global (Chou et al., 2012; Marengo et al., 2012). Pode-se destacar o uso do Eta para descrever flutuações diurnas de jatos de baixos níveis (Saulo et al., 2000), subsidiar previsão agrícola (Júnior et al., 2009), identificar condições favoráveis à ocorrência de tempo severo (Pinheiro et al., 2014) e avaliação da precipitação (Vieira et al., 2015).

Na literatura são apresentadas várias técnicas, desenvolvidas e comparadas para a correção das simulações realizadas por modelos climáticos (Lenderink et al., 2007; Themeßl et al., 2012). Dentes essas técnicas, a utilização de perturbações *Delta Change Approach* apresenta resultados satisfatórios na correção de simulações de modelos climáticos (Graham, 2000; Graham, 2004; Bergström et al., 2001; Lenderink et al., 2007; Pelt et al., 2012).

A aplicação do *Delta Change Approach* é conceitualmente simples e tem sido amplamente aplicado em estudos que buscam corrigir as simulações dos modelos de clima global e, ou de clima regional de precipitação e temperatura do ar, tanto máxima como mínima (Hay et al., 2000; Eisner et al., 2012). O método delta é aplicado a qualquer conjunto de temperatura e precipitação, que resultem de simulações mensais de modelos climáticos em uma escala regional (Hamlet et al., 2010). A abordagem delta não se trata de uma correção de viés de um

modelo climático, pois sua aplicação apenas modifica as simulações em resposta aos dados observados (Maraun, 2016).

Quase a totalidade das análises usadas para avaliar as simulações obtidas pelos modelos climáticos identificam mudanças de variância média, com análise das mudanças de variância para décadas futuras e compará-las à simulações controle (Stouffer e Wetherald, 2007). No entanto, poucos estudos buscam avaliar as simulações obtidas por modelos climáticos por meio de mudanças no desvio padrão para as anomalias mensais em escala local (Bathiany et al., 2018).

Além disso, a análise em escala local permite identificar como mecanismos físicos atuantes em escala regionais que não são representados pelas simulações, onde na maioria dos casos são resultantes de fatores de maior magnitude. Deste modo, esta pesquisa objetivou avaliar e corrigir simulações de temperatura do ar e precipitação obtidas pelo modelo Eta/CPTEC para o estado do Rio de Janeiro.

Material e métodos

A análise foi realizada para o estado do Rio de Janeiro, localizado na região Sudeste do país, fazendo divisa com os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e costeado pelo Oceano Atlântico. Quanto a sua geomorfologia, o Estado encontra-se na região dos Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, segundo a classificação do relevo brasileiro (ROSS, 1999), tendo como ponto culminante o Pico das Agulhas Negras, com 2.787 m acima do nível do mar (IBAMA, 1994). Apesar da maior parte do estado do Rio de Janeiro apresentar os tipos climáticos superúmido ou úmido, parte das regiões Centro, Norte e Nordeste Fluminense é classificada como subúmida seca.

Essas características fazem com que o Estado do Rio de Janeiro apresente

uma classificação climática distinta, segundo o padrão definido por Köppen, com clima do tipo Aw, observado nas região costeira contornando os vales e planaltos em altitudes inferiores a 250-300 m, com precipitação anual inferior a 1.000 mm. Nas região dos Tabuleiros Costeiros, com precipitação anual entre 1.200 e 1.300 mm ano⁻¹, o clima recebe classificação de Am. Para altitudes superior a 650 m, o clima do tipo Cwb se destaca na região montanhosa da Serra do Mar, sendo ainda observado clima do tipo Cwc, nos altos picos, entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (Alvares et al., 2014).

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados dados médios mensais de precipitação e de temperatura

do ar oriundos de 108 pontos de grades simulados pelo modelo Eta para o estado do Rio de Janeiro (Figura 1), compreendidos no período de 1961-1990 (cenário atual). Foram utilizados também dados de 12 (doze) estações meteorológicas com dados de precipitação e 11 (onze) estações com dados de temperatura do ar. Esses dados foram obtidos junto ao banco de dados dos principais órgãos responsáveis pelas principais redes meteorológicas nacional, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA) e da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), compreendidos também no período de 1961-1990.

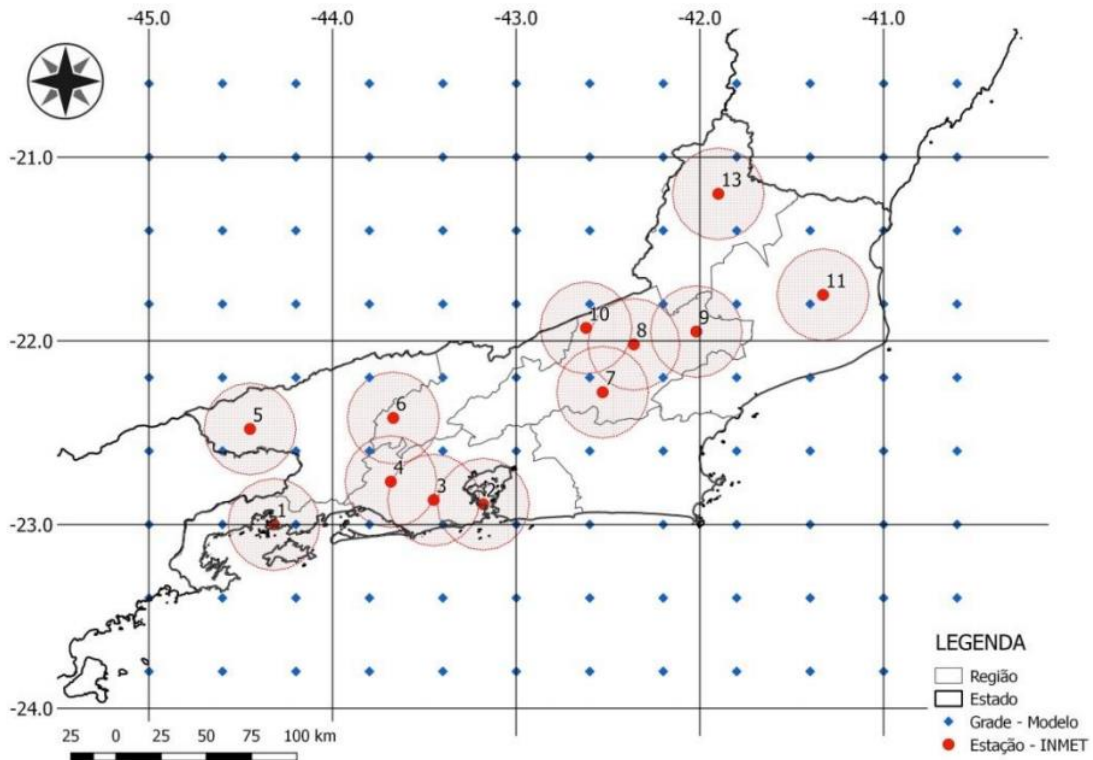


Figura 1. Grade do modelo Eta-CPTEC delimitada para o estado do Rio de Janeiro e seu entorno e estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) usadas para avaliar e corrigir o modelo.

As simulações dos dados meteorológicos para o clima atual (1961-1990) foram obtidas pelo modelo climático regional Eta-CPTEC/INPE, a Silva, J. G.; Wanderley, H. S.; Oliveira, E.S.; Lyra, G. B.

partir das condições de fronteira do modelo global HadCM3, fornecidas pelo *Metoffice Hadley Centre* (MOHC) do Reino Unido. O modelo Eta apresenta uma grade de resolução espacial de 40 x 40

km. Em função dessa grade, para o estudo foi selecionado um conjunto de 108 pontos, os quais abrangem o estado do Rio de Janeiro e regiões circunvizinhas. As simulações de clima geradas pelo modelo Eta foram realizadas para toda América do Sul, com a simulação de dados diários de 42 variáveis para 20 níveis atmosféricos, sendo utilizados nesta avaliação apenas os dados médios mensais de precipitação e temperatura do ar (Marengo et al., 2012).

Os dados médios mensais de precipitação e de temperatura do ar, medidos nas estações meteorológicas selecionadas, foram submetidos à análise fatorial para identificar regiões homogêneas na distribuição da precipitação e temperatura. A análise fatorial definiu oito regiões homogêneas em função da distribuição da temperatura e 12 em função da distribuição da precipitação no estado do Rio de Janeiro. Em função das regiões homogêneas, os 108 pontos de grade foram reduzidos a 50 pontos, os quais foram utilizados para correção pela técnica de correção *Delta Change Approach*. Os resultados da correção das simulações foram avaliados por meio da análise de regressão linear simples e o ajuste de seus coeficientes, coeficiente de determinação (r^2), erro percentual da estimativa (SEE, (mm, °C e %)) e índice de concordância de Willmott.

A técnica de correção *Delta Change Approach* foi utilizada para a correção dos simulações de precipitação e temperatura do ar do modelo Eta para o Rio de Janeiro, respectivamente equações 1 e 2. A abordagem Delta é um método baseado no uso de um fator de mudança, o qual expressa a correção em função da relação entre um valor médio simulado pelo modelo, compreendido entre 1961-1990, e observado em estação meteorológica, compreendido no mesmo intervalo.

$$P_{\text{corrigida}} = P_{(t)\text{cont}} \times \left(\frac{\bar{P}_{\text{obs}}}{\bar{P}_{\text{cont}}} \right) \quad (1)$$

Silva, J. G.; Wanderley, H. S.; Oliveira, E.S.; Lyra, G. B.

$$T_{\text{corrigida}} = T_{(t)\text{cont}} + (\bar{T}_{\text{obs}} - \bar{T}_{\text{cont}}) \quad (2)$$

em que,

$t = 1, 2, \dots, 30$

P_{cont} - precipitação controle

P_{obs} - precipitação observada

T_{cont} - temperatura controle

T_{obs} - temperatura observada

As simulações obtidas pelo modelo Eta foram submetidas a análise de regressão linear simples entre as simulações (Y), com e sem correção; e os dados observados nas estações meteorológicas observacionais (X). Na regressão, os coeficientes intercepto (β_0) e inclinação (β_1) determinam as características da função que relaciona os dados simulados pelo modelo Eta e os observados nas estações meteorológicas (Equação 3). No caso do modelo linear, β_0 é o intercepto, definido pelo ponto de intersecção da reta da regressão no eixo da variável dependente (dados simulados pelo modelo Eta). O coeficiente β_1 é a inclinação dessa reta, a qual expressa a variação dos dados simulados de modelo Eta e os dados medidos nas estações meteorológicas.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (3)$$

Os coeficientes da regressão foram determinados pelo método dos mínimos quadrados (Equações 4 e 5). Para um ajuste ideal da equação da regressão β_0 deverá ser igual a 0 (zero) e $\beta_1=1$, em que neste caso, as simulações do modelo seriam iguais aos dados observados nas estações meteorológicas.

$$\alpha = \bar{Y} - \beta \bar{X} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\text{Var}(X)} \quad (5)$$

em que,

X - variável dependente (precipitação ou temperatura do ar observada);
 Y - variável independente (precipitação ou temperatura do ar simulada);
 cov - covariância;
 var - variância.

O coeficiente de determinação (r^2) representa a porcentagem da variação da variável dependente, ou seja, a variação dos Y_i , a qual é explicada pela variável independente, que foi expressa pela soma dos quadrados total (SST) (Equação 6). Neste caso, o coeficiente de determinação expressa quanto a simulação do modelo foi capaz de explicar a distribuição dos dados observados nas estações meteorológicas. O valor de r^2 varia entre 0 e 1, e indica, em porcentagem o quanto o modelo consegue explicar os valores observados.

$$r^2 = \frac{SS_{\text{Total}} - SS_{\text{Residual}}}{SS_{\text{Total}}} \quad (6)$$

em que,
 SS - a soma dos erros quadráticos.

Erro padrão da estimativa (SEE) é o desvio padrão entre os valores previstos e observados. Esse erro mostra a diferença entre as simulações do modelo Eta e as séries climatológicas observadas nas estações meteorológicas. Neste caso, quanto menor o erro padrão, o ajuste da regressão será melhor (Equação 7).

Erro padrão de estimativa (SEE) absoluto (mm) e relativo (%) e a porcentagem do SEE relativo ao erro sistemático (SEE_s) e não-sistemático (SEE_u)

$$SSE = \sqrt{\frac{SS_{\text{Residual}}}{N - 2}} \quad (7)$$

O índice de concordância de Willmott (1981) expressa o grau padronizado do erro de previsão de modelo. O índice de concordância representa a razão entre o erro quadrático

médio e o erro potencial (Equação 8). Esse índice varia entre 0 e 1. O valor de concordância de 1 indica uma correspondência perfeita e 0 indica ausência de concordância. O índice de concordância pode detectar diferenças aditivas e proporcionais nas médias e variâncias observadas e simuladas.

$$d = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (8)$$

em que:
 O_i - valor observado;
 \bar{O} - média dos valores observados;
 E_i - valor estimado;
 \bar{E} - média dos valores estimados.

Resultados e discussão

Avaliação e correção das simulações de chuva

As simulações das chuvas, realizadas pelo modelo Eta, quando comparadas as observações das estações meteorológicas, mostrou erro padrão de estimativa (SEE) entre o valor estimado e observado maior para quase a totalidade das estações analisadas, com exceção de Itaperuna. As maiores discrepâncias, entre o valor estimado e observado, foram observadas em Angra dos Reis, Resende, Nova Friburgo, Cordeiro e Campos dos Goytacazes, com aproximadamente 30 mm (Tabela 1).

As estações com maiores SEE% (> 40 %), sete no total, foram também as que apresentaram maior contribuição do erro sistemático (SEE_s). A contribuição do SEE_s em Resende, Nova Friburgo e Cordeiro foram maior que 90% do SEE. Para as demais estações, a maior fração de erro das simulações foi não sistemático (SEE_u), que variaram entre 50,9 a 70,4 %.

Os erros sistemáticos verificados nas simulações do modelo Eta são decorrentes da representação dos processos físicos atuantes e das condições

de fronteira e inicial utilizadas no modelo, principalmente nos períodos de transição entre as estações do ano (Moura, 2010). Deste modo, o uso do modelo tende a superestimar a quantidade de eventos de chuvas fracas a moderadas e subestimam a quantidade de eventos de chuvas fortes (Vieira et al., 2015).

O erro sistemático tem potencial para correção das simulações pelo método Delta, visto que esse considera, no caso da chuva, uma ponderação entre os valores médios observados e simulados para corrigir as simulações. Ou seja, considera basicamente que o erro para a chuva é sistemático proporcional (Willmott, 1981).

Tabela 1. Erro padrão de estimativa (SEE) absoluto (mm) e relativo (%) e a porcentagem do SEE relativo ao erro sistemático (SEE_s) e não-sistemático (SEE_u) entre a chuva média mensal observada para as redes meteorológicas nacional no estado do Rio de Janeiro, e a simulada pelo modelo Eta/CPTEC, sem correção (SC) e com correção (CC) para o período baseline (1961-90).

Estações	SEE (mm)		SEE (%)		SEE_s (%)		SEE_u (%)	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Angra dos Reis	63,1	35,6	40,9	23,1	86,6	2,8	13,4	97,2
Resende	92,3	57,8	72,6	45,5	94,0	40,7	6,0	59,3
Vassouras	32,2	31,8	31,3	31,0	49,1	64,6	50,9	35,4
Ecologia Agrícola	33,9	23,3	34,5	23,7	38,1	10,5	61,9	89,5
Bangu	49,5	48,8	41,2	40,6	87,7	69,8	12,3	30,2
Rio de Janeiro	33,0	19,6	42,1	25,0	60,6	36,2	39,4	63,8
Carmo	28,6	26,7	24,3	22,7	29,6	7,8	70,4	92,2
Nova Friburgo	62,0	38,4	64,0	39,6	90,6	10,9	9,4	89,1
Cordeiro	64,2	23,1	61,0	22,0	96,9	16,9	3,1	83,1
Santa Maria Madalena	30,4	27,9	26,0	23,8	40,7	1,0	59,3	99,0
Itaperuna	23,2	35,9	25,1	38,8	43,9	54,4	56,1	45,6
Campos dos Goytacazes	49,5	28,0	57,3	17,3	73,8	74,3	26,2	25,7

Sem a correção das simulações pelo modelo, o SEE oscilou de 23,2 mm para Itaperuna a 92,3 mm para Resende. Depois das correções o erro padrão reduziu para $19,6 < SEE < 57,8$ mm. O SEE de 57,8 mm se deve ao erro associado à simulação da estação de Resende, onde devido à complexidade territorial, principalmente pela proximidade ao Pico das Agulhas Negas, ponto de maior altitude do estado do Rio de Janeiro, o modelo não apresentou resultado satisfatório para essa estação. Quando comparado o erro padrão entre os dados sem e com correção houve redução nesse erro para onze estações, a exceção de Itaperuna.

Para algumas estações, onde foi avaliada a correção proposta nas simulações, observou-se redução no erro de aproximadamente 30 mm, para Resende, Cordeiro e Campos dos Goytacazes. Erros dessas magnitudes também foram constatados por Moura (2010), que observaram superestimativa das chuvas, com erro médio e raiz do quadrado médio do erro maior do que 30 mm, com acréscimo de cerca de 7,5 mm d⁻¹ em alguns caso.

O erro padrão em percentuais ratifica o resultado satisfatório obtidos mediante a correção realizada nos dados simulados pelo modelo Eta. Sem a correção, o erro padrão oscilou de 24,3 % (Carmo) a 72,6 % (Resende). Posterior a

correção, o erro em percentual foi de 17,3 < SEE < 45,5%, respectivamente, em Campos e Resende. Novamente, a maior parte desse percentual está associado à simulação para a estação de Resende. Depois da correção, a fração do erro não sistemático aumentou nas estações que tinham os maiores erros sistemáticos.

Além disso, pode-se destacar, que as estações que tiveram os menores SEE e maiores frações de SEE_u (Vassouras, Carmo e Santa Maria) antes da correção, não apresentaram diminuição no SEE, como no caso de Itaperuna, ou pela diminuição do SEE inferior a 2,5 % depois da correção. A exceção a esse padrão foi Ecologia Agrícola, que em termos

percentuais diminuiu mais de 10 % do SEE antes e depois das correções, mesmo tendo fração elevada de SEE_u.

A precisão foi avaliada pelo coeficiente de determinação (r^2) entre os dados medidos e simulados pelo modelo, que variaram de $0,60 < r^2 < 0,89$ (Tabela 2). O ajuste linear entre os dados medidos e simulados pelo modelo depois de corrigido apresentou r^2 iguais as simulações sem correção. Esse fato é decorrente da aplicação método Delta, o qual é uma correção sistemática proporcional aos dados simulados de precipitação, o que não altera a precisão dos dados, mas sim sua exatidão (Willmott, 1981).

Tabela 2. Coeficiente de determinação (r^2), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b) e índice de concordância de Willmott entre a chuva média mensal observada para as estações do INMET no estado do Rio de Janeiro, e a simulada pelo modelo Eta/CPTEC, sem correção (SC) e com correção (CC) para o período baseline (1961-90).

Estações	r^2		β_0 (mm)		β_1		d	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Angra dos Reis	0,74	0,74	9,3	14,1	0,60	0,91	0,74	0,92
Resende	0,60	0,60	25,9	51,1	0,30	0,60	0,66	0,86
Vassouras	0,86	0,86	38,5	31,8	0,79	0,65	0,94	0,93
Ecologia Agrícola	0,81	0,81	17,1	14,1	1,04	0,86	0,91	0,95
Bangu	0,80	0,80	45,1	69,6	0,46	0,70	0,81	0,87
Rio de Janeiro	0,66	0,66	36,5	27,6	0,86	0,65	0,79	0,89
Carmo	0,89	0,89	6,6	7,0	0,85	0,91	0,96	0,97
Nova Friburgo	0,70	0,70	10,7	20,4	0,43	0,82	0,71	0,91
Cordeiro	0,89	0,89	3,3	6,2	0,47	0,89	0,71	0,97
Santa Maria Madalena	0,87	0,87	-2,2	-2,6	0,87	1,03	0,95	0,96
Itaperuna	0,88	0,88	12,4	17,3	0,78	1,09	0,96	0,93
Campos dos Goytacazes	0,85	0,85	15,9	10,1	1,28	0,82	0,83	0,95

Segundo a classificação apresentada por Coutinho et al. (2012) para r^2 , os valores desse coeficiente, para o ajuste linear entre os dados medidos e simulados pelo modelo, podem ser classificados como forte e fortíssima precisão, para os valores de $0,60 \leq r^2 \leq 0,89$. Neste ajuste linear, para quatro estações os r^2 foram classificados como forte e para oito estações classificados com fortíssima. Os

resultados de correlação encontrados neste estudo para a precipitação, entre os dados medidos e simulados pelo modelo, foram superiores aos obtidos por Salathé (2002), em que a correlação variou de 0,44 a 0,84. O coeficiente linear obtido por Salathé (2002) oscilaram entre 0,05 a 1,00.

Padrão similar ao apresentado para o SEE antes e depois das correções, foi observado para o índice de concordância

de Willmott, com aumento desse coeficiente em 10 das doze estações avaliadas. Na sua maioria (nove estações), o d de Willmott depois das correções foi superior a 0,9, o que indicou melhora na exatidão das simulações de chuva. A exatidão da simulação ante da correção demonstrou coeficiente de Willmott variando de $0,66 < d < 0,96$. Cinco estações tiveram coeficiente superior (inferior) a 0,9 (0,8).

Os resultados insatisfatórios da precisão e exatidão ratificam que as simulações do modelo precisam de correção. A correção da simulação proporcionou melhora na exatidão, com coeficiente de Willmott entre $0,86 < d < 0,97$. Após a correção foi observado melhora na exatidão em 10 das doze estações utilizadas na pesquisa. As estações que não apresentaram melhoras na exatidão já apresentavam coeficientes de Willmott maior de 0,9.

Os coeficientes lineares encontrados neste estudo variaram de $-2,2 < \beta_0 < 45,1$ mm, para o intercepto e $0,3 < \beta_1 < 1,28$, para as simulações sem correção. Esses coeficientes demonstram que as simulações para a precipitação se distanciam sistematicamente dos valores observados nas estações de medições, levando ao o modelo subestimar e superestimar os valores de precipitação para os pontos em análise.

A correção da simulação proporcionou redução do intercepto para parte das estações, indicando redução no erro sistemático aditivo das simulações do modelo Eta. Contudo, com relação a inclinação, a correção proporcionou valores mais próximos do ideal 1 ($0,6 < \beta_1 < 1,09$) na maior parte das estações (nove estações) em relação as simulações sem correção ($0,3 < \beta_1 < 1,28$).

Avaliação e correção das simulações de temperatura do ar

As simulações da temperatura do ar pelo modelo Eta para o estado do Rio de Janeiro, semelhante aos dados estimados

de chuva para o Estado, não apresentaram resultados satisfatórios. A temperatura do ar simulada apresentou erro padrão de estimativa absoluto (SEE) variando de 1,0 a 2,9 °C (Tabela 3). Erros de estimativas de temperatura do ar maior do que 2 °C também foram observados e corrigidos por Engen-Skaugen (2007) e Thrasher et al (2012). No entanto, a correção só apresentou redução desse erro em cinco estações, já que a variabilidade espacial/temporal da temperatura é menor do que a da precipitação, fazendo com que as simulações da temperatura apresentassem erro menor.

Mas, eventualmente, são observados erros grosseiros nas simulações de temperatura (Engen-Skaugen, 2007). Esses erros nas simulações da temperatura podem ser reflexo da dinâmica sazonal da temperatura, que pode apresentar discrepância de 1 a 2 °C, com tendência de superestimar as temperaturas de verão e outono, com os maiores erros para as simulações de temperatura para os meses de inverno (Graham et al., 2007).

A correção das simulações de temperatura do ar propiciou redução do SEE relativo apenas para quatro estações, embora para as estações de Angra dos Reis, Resende, Ecologia, Nova Friburgo e Campos, essa diferença foi de apenas 0,1 °C, após a correção. O erro relativo demonstrou que para apenas três estações, esse erro foi superior a 10 %, tanto para as simulações com e sem correção.

Aproximadamente um terço das estações analisadas apresentaram maior contribuição do erro sistemático (SEE_s). Para essas estações essa fração foi de 29,8 a 88,5 %. Ressalta-se ainda o fato de que para as estações de Vassouras, Carmo, Cordeiro e Itaperuma, esse erro foi superior a 81 %, antes da correção. O erro não sistemático (SEE_n) apresentou proporção semelhante ao sistemático. A correção propiciou redução desse erro para seis estações.

Tabela 3. Erro padrão de estimativa (SEE) absoluto (mm) e relativo (%) e a porcentagem do SEE relativo ao erro sistemático (SEE_s) e não-sistemático (SEE_u) entre a temperatura do ar média mensal observada para as estações do INMET no estado do Rio de Janeiro, e a simulada pelo modelo Eta/CPTEC, sem correção e com correção para o período baseline (1961-90).

Estações	SEE (°C)		SEE (%)		SEE_s (%)		SEE_u (%)	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Angra dos Reis	1,2	1,3	5,3	5,4	29,8	25,8	70,2	74,2
Resende	1,0	1,1	4,6	4,9	17,2	40,2	82,8	59,8
Vassouras	2,4	2,7	11,5	13,1	88,5	92,9	11,5	7,1
Ecologia Agrícola	1,0	1,1	4,4	4,6	44,5	24,7	55,5	75,3
Bangu	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	1,0	0,7	4,4	3,1	34,5	14,1	65,5	85,9
Carmo	2,7	1,4	11,3	5,8	81,6	37,0	18,4	63,0
Nova Friburgo	1,4	1,3	7,5	7,3	39,5	50,5	60,5	49,5
Cordeiro	2,9	3,7	13,6	17,2	85,2	93,7	14,8	6,3
Santa Maria Madalena	2,0	1,2	9,6	5,8	65,8	20,4	34,2	79,6
Itaperuna	2,0	3,5	8,4	14,5	86,8	94,6	13,2	5,4
Campos dos Goytacazes	1,1	1,0	4,2	4,2	41,8	46,1	58,2	53,9

Tabela 4. Coeficiente de determinação (r^2), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b) e índice de concordância de Willmott entre a temperatura do ar média mensal observada para as estações do INMET no estado do Rio de Janeiro, e a simulada pelo modelo Eta/CPTEC, sem correção (SC) e com correção (CC) para o período baseline (1961-90).

Estações	r^2		β_0 (°C)		β_1		d	
	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC
Angra dos Reis	0,69	0,66	6,2	7,0	0,72	0,70	0,90	0,90
Resende	0,81	0,80	3,9	6,5	0,82	0,71	0,95	0,93
Vassouras	0,80	0,85	8,1	7,6	0,71	0,76	0,74	0,71
Ecologia Agrícola	0,81	0,75	6,4	5,8	0,74	0,75	0,93	0,93
Bangu	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	0,76	0,84	3,6	3,6	0,83	0,85	0,91	0,96
Carmo	0,70	0,67	4,0	8,2	0,73	0,65	0,74	0,89
Nova Friburgo	0,76	0,75	5,4	6,6	0,73	0,63	0,91	0,91
Cordeiro	0,70	0,71	2,8	4,4	0,75	0,64	0,70	0,62
Santa Maria Madalena	0,65	0,66	2,9	5,6	0,78	0,73	0,78	0,90
Itaperuna	0,72	0,74	9,2	5,2	0,55	0,65	0,74	0,61
Campos dos Goytacazes	0,75	0,74	7,3	8,8	0,72	0,64	0,91	0,91

A correção dos dados de temperatura proporcionou também melhora na precisão dos resultados obtidos. Antes da correção a precisão variou de $0,65 \leq r^2 \leq 0,81$, sendo classificada por Coutinho et al. (2012) como forte. Posterior a correção, a precisão aumentou para $0,66 \leq r^2 \leq 0,85$ (Tabela 4), sendo classificada como forte e fortíssima. Resultados coerentes com os apresentados por Thrasher et al (2012). Para cinco estações foram observados aumento de r^2 , sobretudo para as estações de Vassouras, Cordeiro e Itaperuma, estações essas que apresentaram erros elevados nas simulações.

A correção dos dados proporcionou melhora na exatidão dos dados simulados. Para três estações houve melhora no coeficiente de Willmott, justamente para algumas das estações que apresentaram as menores exatidões das simulações, como a estação de Santa Maria Madalena de $d = 0,78$ para $d = 0,90$ e Carmo $d = 0,74$ para $d = 0,98$. Para quatro estações a exatidão antes e após a correção não foi alterada. No entanto, essa exatidão foi inferior a 0,90 para essas estações.

Os coeficientes lineares variaram de $2,8 < \beta_0 < 9,2$ °C e $0,3 < \beta_1 < 1,28$, para as simulações sem correção. Assim, como os dados de precipitação, as simulações de temperatura também se distanciam sistematicamente dos valores observados nas estações de medições. No entanto, as simulações de temperatura do Eta, apenas superestimou os valores de temperatura nas estações em análise.

A correção da simulação proporcionou redução do intercepto para parte das estações, indicando redução no erro sistemático aditivo das simulações do modelo Eta. Contudo, com relação a inclinação, a correção proporcionou valores mais próximos do ideal 1 ($0,6 < \beta_1 < 1,09$) na maior parte das estações (nove estações) em relação as simulações sem correção ($0,3 < \beta_1 < 1,28$).

Conclusões

As simulações da precipitação e temperatura do ar para o estado do Rio de Janeiro não apresentam resultados satisfatórios, entre os valores simulados e observados em estações meteorológicas em superfície, sendo necessário as correções das simulações. As simulações para a precipitação mostraram que a maior contribuição do erro de estimativa é referente a erros sistemáticos, inerentes ao modelo Eta, os quais podem ser decorrentes da representação dos processos físicos atuantes no estado do Rio de Janeiro e das condições de fronteira e inicial utilizadas no modelo.

A correção das simulações de precipitação propiciou a diminuição do erro padrão de estimativa em mais de 91 % das estações, sendo observado também aumento na precisão e exatidão das simulações. As simulações para a temperatura do ar apresentam discrepância menor entre os dados simulados e observados, no entanto, é observado proporção semelhante dos erros sistemáticos e não sistemáticos nas simulações. A correção dos dados simulados de temperatura do ar proporciona redução desses erros e, assim, contribui para melhora da exatidão e precisão dos resultados obtidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA) e da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET) pela disponibilidade dos dados meteorológicos medidos em estações. E ao INPE pela cessão das simulações do modelo Eta/CEPTEC.

Referências

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, L. M.; Sparovek, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [online] 22. Disponível:

- [http:// 10.1127/0941-2948/2013/0507](http://10.1127/0941-2948/2013/0507). Acesso: 08 jun. 2018.
- Bathiany, S.; Dakos, V.; Scheffer, M.; Lenton, T. M., 2018. Climate models predict increasing temperature variability in poor countries. *Science Advances*, [online] 4. Disponível: [http:// 10.1126/sciadv.aar5809](http://10.1126/sciadv.aar5809). Acesso: 14 mar. 2018.
- Bergström, S.; Carlsson, B.; Gardelin, M.; Lindström, G.; Pettersson, A.; Rummukainen, M. 2001. Climate change impacts on runoff in Sweden – assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modeling. *Climate Research*, [online] 16. Disponível: <http://10.3354/cr016101>. Acesso: 13 jul. 2018.
- Basheer, A. K.; Lu, H.; Omer, A.; Ali, A. B.; Abdelgader, A. M. S., 2016. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the streamflow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan, *Hydrology and Earth System Sciences*, [online] 20. Disponível: <http://10.3354/cr016101>. Acesso: 15 Ago. 2018.
- Bony, S.; Stevens, B.; Frierson, D. M. W.; Jakob, C.; Kageyama, C.; Pincus, R.; Shepherd, T. G.; Sherwood, S. C.; Siebesma, A. P.; Sobel, A. H.; Watanabe, M.; Webb, M. K., 2015. Clouds, circulation and climate sensitivity. *Nature Geoscience* 8, 261-268.
- 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, T., 2012. Downscaling of South America Present Climate Driven by 4-Member HadCM3 Runs. *Climate Dynamics*, 38, 635-653.
- Coutinho, L. S. A. L.; Duarte, A. A. A. M.; Neves, R. M.; Neto, B. C.; Maneschy, C. E. A.; Pinheiro, M. G. S. 2012. Modelagem do tempo de execução de obras civis: estudo de caso na Universidade Federal do Pará. *Revista Ambiente Construído*, 12, 243-256.
- Engen-Skaugen, T. 2007. Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios. *Climatic Change*, [online] 84. Disponível: [http:// 10.1007/s10584-007-9251-6](http://10.1007/s10584-007-9251-6). Acesso: 12 Ago. 2018.
- Engle, N. L.; Lemos, M. C., 2010. Unpacking governance: Building adaptive capacity to climate change of river basins in Brazil. *Global Environmental Change*, [online] 20. Disponível: [http:// 10.1016/j.gloenvcha.2009.07.001](http://10.1016/j.gloenvcha.2009.07.001). Acesso: 10 Ago. 2018.
- Eisner, S.; Voss, F.; Kynast, E., 2012. Statistical bias correction of global climate projections – consequences for large scale modeling of flood flows. *Advances in Geosciences*, [online] 31. Disponível: [http:// 10.5194/adgeo-31-75-2012](http://10.5194/adgeo-31-75-2012). Acesso: 03 Set. 2018.
- Graham, L. P. 2004. Climate change effects on river flow to the Baltic Sea. *Ambio*, [online] 33. Disponível: [http:// 10.1579/0044-7447-33.4.235](http://10.1579/0044-7447-33.4.235). Acesso: 17 Nov. 2018.
- Graham, L. P., 2000. Large-scale hydrological modeling in the Baltic basin. Division of Hydraulic Engineering, Dept of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Report TRITA-AMI PHD 1033, Stockholm.
- Graham, L.P.; Andréasson, J.; Carlsson, B., 2007. Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods - a case study on the Lule River basin. *Climatic Change*, [online] 81. Disponível: [http:// 10.1007/s10584-006-9215-2](http://10.1007/s10584-006-9215-2). Acesso: 23 Nov. 2018.
- Hay, L. E.; Wilby, R. L.; Leavesley, G. H., 2000. A comparison of delta change and downscaled gcm scenarios for three mountainous basins in the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, [online] 36.

- Disponível: [http:// 10.1111/j.1752-1688.2000.tb04276.x](http://10.1111/j.1752-1688.2000.tb04276.x). Acesso: 12 Fev. 2018.
- Hamlet, A.F.; Salathé, E.P.; Carrasco, P. 2010. Statistical downscaling techniques for global climate model simulations of temperature and precipitation with application to water resources planning studies. Chapter 4 in Final Report for the Columbia Basin Climate Change Scenarios Project, Climate Impacts Group, Center for Science in the Earth System, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1994. Plano de ação emergencial para o Parque Nacional de Itatiaia. IBAMA, Brasília.
- Junior, P. A. V.; Neto, D. D.; Chou, S. C.; Martin, T. N., 2009. Previsões meteorológicas do Modelo Eta para subsidiar o uso de modelos de previsão agrícola no Centro-Sul do Brasil. *Ciência Rural*, [online] 39. Disponível: [http:// 10.1590/S0103-84782008005000076](http://10.1590/S0103-84782008005000076). Acesso: 21 Nov. 2018.
- Lenderink, G.; Buishand, A.; Deursen, W. V., 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Science*, [online] 11. Disponível: [http:// 10.5194/hess-11-1145-2007](http://10.5194/hess-11-1145-2007). Acesso: 07 Dez. 2018.
- Maraun, D., 2016. Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review. *Current Climate Change Reports*, [online] 2. Disponível: [http:// 10.1007/s40641-016-0050-x](http://10.1007/s40641-016-0050-x). Acesso: 05 Abr. 2019.
- 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.; J. L.; Bustamante, J. F.; Tavares, T., 2012. 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 Parana River Basins. *Climate Dynamics*, [online] 38. Disponível: [http:// 10.1007/s00382-011-1155-5](http://10.1007/s00382-011-1155-5). Acesso: 06 Mar. 2019.
- Marim, F. R.; Jones, J. W.; Singles, A.; Royce, F.; Assad, E. D.; Pellegrino, G. Q.; Justino, F., 2013. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. *Climatic Change* 117, 227–239.
- Mauritsen, T.; Stevens, B., 2015. Missing iris effect as a possible cause of muted hydrological change and high climate sensitivity in models. *Nature Geoscience*, 8, 346-351.
- Moura, R. G.; Herdies, D. L.; Mendes, D.; Mendes, M. C. D., 2010. Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [online] 25. Disponível: [http:// 10.1590/S0102-77862010000100005](http://10.1590/S0102-77862010000100005). Acesso: 06 Mar. 2019.
- Oliveira, G. G.; Pedrollo, O. C.; Castro, N. M. R., 2015. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HAdCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na Bacia Hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [online] 30. Disponível: [http:// 10.1590/0102-778620140041](http://10.1590/0102-778620140041). Acesso: 07 Mar. 2019.
- Pellegrino, G. Q.; Assad, E. D.; Marin, F. R., 2007. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. *Revista Multiciência* 8, 139-162.
- Pelt, S.C. V.; Beersma, J. J.; Buishand, T. A.; Hurk, B. J. J. M. V.; Kabat, P., 2012. Future changes in extreme precipitation in the Rhine basin based on global and regional climate model simulations. *Hydrology and Earth*

- System Sciences, [online] 16. Disponível: [http:// 10.5194/hess-16-4517-2012](http://10.5194/hess-16-4517-2012). Acesso: 03 Mar. 2019.
- Pinheiro, H. R.; Escobar, G. C. J.; Andrade, K. M., 2014. Aplicação de uma ferramenta objetiva para previsão de tempo severo em ambiente operacional. *Revista brasileira de meteorologia*, [online] 29. Disponível: [http:// 10.1590/S0102-77862014000200006](http://10.1590/S0102-77862014000200006). Acesso: 11 Abr. 2019.
- Ross, J. L. S., 1999. Relevo Brasileiro: Planaltos, Planícies e Depressões. In: Ana Fani A. Carlos. org. *Novos Caminhos da Geografia*. São Paulo, Ed. Contexto. p. 41-63. (Col. Caminhos da Geografia).
- Salathé, E. P., 2002. Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of streamflow in a Rainshadow River basin. *Climate Impacts Group, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans / School of Marine Affairs, University of Washington, Seattle* July 24.
- Saulo, A. C.; Nicoline, M.; Chow, S. C., 2000. Model characterization of the South American low-level folw during the 1997-1998 spring-summer season. *Climate Dynamics*, [online] 18. Disponível: [http:// 10.1007/s003820000](http://10.1007/s003820000). Acesso: 15 Abr. 2019.
- Silva, W. L.; Dereczynski, C.; Chan, C. S.; Cavalcanti, I., 2014. Future changes in temperature and precipitation extremes in the state of Rio de Janeiro (Brazil). *American Journal of Climate Change*, [online] 3. Disponível: [http:// 10.4236/ajcc.2014.34031](http://10.4236/ajcc.2014.34031). Acesso: 18 Fev. 2019.
- Stouffer, R. J.; Wetherald, R. T., 2007. Changes of Variability in Response to Increasing Greenhouse Gases. Part I: Temperature. *Journal of Climate*, [online] 20. Disponível: [http:// 10.1175/2007JCLI1384.1](http://10.1175/2007JCLI1384.1). Acesso: 14 Jan. 2019.
- Themeßl, M. J.; Gobiet, A.; Heinrich, G., 2012. Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal, *Climatic Change*, [online] 112. Disponível: [http:// 10.1007/s10584-011-0224-4](http://10.1007/s10584-011-0224-4). Acesso: 25 Jan. 2019.
- Thrasher, B. Maurer, E. P. ; Mckellar, C. Duffy, P.B., 2012. Technical Note: Bias correcting climate model simulated dailytemperature extremes with quantile mapping. *Hydrology Earth System Sciences*, [online] 16. Disponível: [http:// 10.5194/hess-16-3309-2012](http://10.5194/hess-16-3309-2012). Acesso: 07 Abr. 2019.
- Vieira, R. M. G.; Dereczynski, C. P.; Chou, S. C.; Gomes, J. L.; Net, A. C. P., 2015. Avaliação das previsões de precipitação do modelo Eta para bacia do rio São Francisco em Minas Gerais, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, [online] 38. Disponível: [http:// 10.11137/2015_2_15_23](http://10.11137/2015_2_15_23). Acesso: 13 Abr. 2019.
- Wanderley, H. S.; Bunhak, A. C. S., 2016. Alteração da precipitação e do número de dias sem chuva na região Sul Fluminense no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [online] 09. Disponível: [http:// 10.5935/1984-2295.20160167](http://10.5935/1984-2295.20160167). Acesso: 23 Mai. 2019.
- Wanderley, H. S.; Fernandes, R. C.; Carvalho, A. L. Aumento das temperaturas extremas na cidade do Rio de Janeiro e o desvio ocasionado durante um evento de El Niño intenso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [online] 12. Disponível: [http:// 10.5935/1984-2295.20160167](http://10.5935/1984-2295.20160167). Acesso: 01 Ago. 2019.
- Willmott, C.J., 1981. On the Validation of Models. *Physical Geography*, 2, 184-194.