

## **AVALIAÇÃO DE DESTREZA E DAS PROJEÇÕES DO CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS A1B-ETA- HADCM3 PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO**

*Gabriela Ayane Chagas Felipe Santiago<sup>1</sup>, Angélica Giarolla<sup>2</sup>, Celso Von Randow<sup>3</sup>, Rômulo Simões  
Cezar Menezes<sup>4</sup>, Jean Pierre Henry Balbaud Ometto<sup>5</sup>, Ranyére Silva Nóbrega<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pe, Brasil, email: [gabriela\\_ayane@hotmail.com](mailto:gabriela_ayane@hotmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil, email: [angelica.giarolla@inpe.br](mailto:angelica.giarolla@inpe.br)

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil, email: [celso.vonrandow@inpe.br](mailto:celso.vonrandow@inpe.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil, email: [rmenezes@ufpe.br](mailto:rmenezes@ufpe.br)

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, sp, brasil, email: [jeanometto@gmail.com](mailto:jeanometto@gmail.com)

<sup>6</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil, email: [ranyere.nobrega@ufpe.br](mailto:ranyere.nobrega@ufpe.br)

*Artigo recebido em 07/03/2016 e aceito em 11/06/2016*

### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar destreza das projeções do clima “presente” (1960-1990), do modelo Eta-HadCM3 das temperaturas máxima, média, mínima e precipitação. Avaliou-se mudanças na dinâmica das projeções climáticas para Pernambuco para os períodos de 2010-2040 e 2041-2070. Para a avaliação do desempenho dos cenários climáticos gerados pelo modelo Eta-HadCM3 foi realizada análise de regressão, calculado índice “d” para cada localidade na área de estudo, identificados e corrigidos os erros sistemáticos das projeções. As temperaturas máximas e mínimas apresentaram valores mais precisos, a média e a precipitação apresentaram valores mais exatos, porém a precipitação foi mais comprometida em nível de qualidade das saídas do modelo. Quanto à identificação dos erros, viu-se que a temperatura máxima foi subestimada e a mínima superestimada, mas que depois de corrigidas, os resultados foram satisfatórios. Com relação às projeções, identificou-se que a precipitação apresentou redução nos pontos estudados e as temperaturas apresentaram maiores valores, ambas de forma progressiva. Concluiu-se que as simulações climáticas regionais podem ser empregadas para estudos de mudanças climáticas no estado, porém os erros sistemáticos devem ser considerados, já que são inerentes às imperfeições dos modelos, para que diminuam as incertezas da modelagem em estudos de impactos das mudanças climáticas globais.

*Palavras-chave:* Pernambuco; Modelo Eta; Simulação climática.

### **EVALUATION OF SKILL AND PROJECTIONS OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS A1B-ETA-HADCM3 FOR THE PERNAMBUCO**

#### **ABSTRACT**

The objective of this research was to evaluate the level of skill to projections "present" climate (1960-1990), the Eta-HadCM3 model of maximum temperatures, average, minimum and precipitation. We evaluated changes in the dynamics of climate projections to Pernambuco for the periods 2010-2040 and 2041-2070. For evaluating the performance of climate scenarios generated by the Eta-HadCM3 model regression analysis was performed, calculated index "d" for each location in the study area, identifying and correcting systematic errors of forecasts. The maximum and minimum temperatures were more accurate values, and the average and the precipitation values were more accurate, but the precipitation was more committed to quality level of the model outputs. The

identification of errors, it is seen that the maximum temperature was underestimated and overestimated the minimum, but after the rectification, the results were satisfactory. Regarding projections, it was found that the precipitation decreased in the studied points and temperatures were higher, both progressively. It was concluded that regional climate simulations can be used to study climate change in the state, but the systematic errors must be considered, since they are inherent imperfections of the models, so diminishing the uncertainties of modeling studies of climate change impacts global.

**Keyword:** Pernambuco; Eta model; Climate simulation.

## **INTRODUÇÃO**

Segundo o IPCC-AR5 o aquecimento climático é inequívoco, com muitas das mudanças observadas sem precedentes ao longo de décadas a milênios. O aquecimento da atmosfera e dos oceanos, diminuindo a neve e o gelo, o aumento do nível do mar e crescentes concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, dentre os quais se destacam o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso, representam um desafio sem precedentes para a humanidade (IPCC, 2013). Apesar do crescente número de evidências, vários fóruns e pesquisadores questionam se as mudanças que estamos vivenciando são anomalias devido às variabilidades sazonais do clima, de atividades tectônicas ou mesmo solares (Brunini, 2008). De qualquer forma, é prudente que a comunidade científica busque soluções e medidas mitigatórias para reduzir os possíveis efeitos negativos das adversidades climáticas.

O desenvolvimento e o estudo de cenários de mudanças climáticas em escala regional talvez possa ser, o primeiro passo para o entendimento dos impactos climáticos futuros, direcionado para o fornecimento de informações a ser utilizado para avaliações de vulnerabilidade e para estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas (Marengo et al., 2011). São com as projeções regionais mais apropriadas, que discussões e as estratégias de adaptações para regiões de menor escala serão melhor desenvolvidas e implementadas.

Sabe-se que os modelos numéricos não conseguem reproduzir plenamente a enorme diversidade de fenômenos que influenciam a evolução das condições atmosféricas e, mesmo que os modelos fossem perfeitos, os erros ou falhas inerentes às observações, utilizadas no momento de geração da condição inicial da rodada do modelo, poderiam levar a uma projeção que se distancie da realidade. Dessa forma, métodos estatísticos são utilizados para indicar os índices de erros, a destreza e as possíveis limitações do modelo. Torna-se, portanto, imprescindível o esforço em avaliar os resultados de modelos, já que se espera obter maior confiabilidade na aplicação desses cenários futuros.

O Nordeste do brasileiro tem área de aproximadamente 1.600.000 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 18% do território nacional, dividido em quatro sub-regiões distintas Meio Norte, Sertão, Agreste e Zona da Mata, com grande variabilidade temporal e espacial na precipitação e temperaturas elevadas durante todo ano. A região é afetada por eventos climáticos que

provocam secas severas e enchentes. Segundo projeções científicas, o Nordeste do Brasil é umas das regiões que mais poderá sofrer impactos com as futuras condições climáticas, com aumento no número de eventos extremos, diminuição da precipitação e aumento das temperaturas (Marengo et al., 2009).

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar a destreza das projeções do clima “presente” (1960-1990), do modelo Eta-HadCM3 (40 km) cenário A1B, com o intuito de identificar de forma quantitativa os erros sistemáticos das temperaturas máxima, média e mínima e da precipitação nas simulações desse cenário. Em seguida, avaliou-se as mudanças na dinâmica das projeções climáticas para o estado de Pernambuco para os períodos de 2010-2040 e 2041-2070.

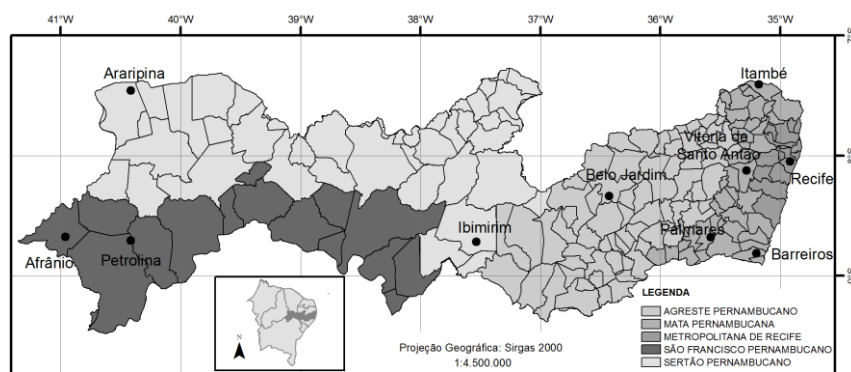
## METODOLOGIA

### Dados Meteorológicos

A área de estudo abrangeu o estado de Pernambuco por ser representativo da região NE Brasileira, no que diz respeito à variabilidade das características climáticas, tipos de solo, cobertura e uso da terra.

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica (mm) de provenientes do banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) de dez postos meteorológicos, conforme apresentado na Figura 1. Dados de temperaturas do ar máxima, média e mínima (°C) também foram utilizados nesse estudo, sendo as temperaturas estimadas para as mesmas localidades, pelo software Estima-T (coordenadas dos postos – APAC e altitude do Brasil relevo - Miranda, 2005) para a série climatológica de 1960 a 1990.

**Figura 1:** Área de estudo - postos pluviométricos utilizados.



### **Modelo Regional Eta-Hadcm3**

O modelo regional Eta-HadCM3, foi derivado do modelo Eta desenvolvido inicialmente pela Universidade de Belgrado, em parceria com o Instituto Hidrometeorológico da antiga Iugoslávia (Mesinger et al., 1988). Posteriormente, foi operacionalizado pelo National Centers for Environmental Prediction – NCEP (Black, 1994) e em 1996, o modelo tornou-se operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (Chou et al., 2011; Marengo et al., 2011).

Mais recentemente, o modelo regional Eta do CPTEC/INPE foi ajustado para realizar integrações de escala de décadas para estudos de mudanças climáticas relacionadas a diferentes níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. A condição de contorno lateral e inferior são geradas pelo modelo HadCM3 do Hadley Centre (assim chamado atualmente de Eta-HadCM3) e as projeções geradas compreendem o cenário A1B do IPCC-AR4 (Ipcc, 2007), com resolução horizontal do modelo de 40 km e resolução vertical de 38 camadas, para toda a América do Sul. Isto significa que as previsões representam valores homogêneos em caixas formadas pela grade horizontal de aproximadamente 40 km x 40 km de cada camada (Chou et al., 2011).

As variáveis extraídas do modelo Eta-HadCM3 foram precipitação pluviométrica (mm) e temperaturas do ar média, máxima e mínima (°C), para as grades que continham as coordenadas dos postos meteorológicos apresentados na Figura 1. Uma das formas de obter o ganho de qualidade das previsões de tempo é através do aperfeiçoamento da técnica “ensemble”, ou seja, a técnica de previsão por conjunto. Dessa forma, foram considerados os cenários 2010-2040 e 2041-2070 nos quatro membros: tratamentos cntrl (membro 1), low (membro 2), midi (membro 3) e high (membro 4). Os membros low, midi e high representam diferentes perturbações na versão ‘operacional’ do modelo (membro cntrl), que causam projeções com, respectivamente, baixa, média e alta elevação da temperatura média no final do século. Com estes diferentes membros, podemos avaliar uma faixa de diferentes cenários de aumento de temperatura média global.

### **Análise estatística**

Para avaliar o desempenho do modelo Eta-HadCM3 foi realizada uma comparação dos valores observados e os simulados, através de análise de regressão, envolvendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o índice “d” (índice de concordância), proposto por Willmott et al. (1981). Foram usados dados independentes de temperatura do ar (máxima, mínima e média) e precipitação no período de 1960-1990 (Picini, 1999; Alencar et al., 2011; Santos et al., 2011; Camparotto et al., 2013).

Quando se relacionam valores simulados com valores observados por análise de regressão pode-se obter informações da precisão e da exatidão que, conjuntamente, indicam a consistência entre os dados estimados com os medidos. A precisão é o grau de variação de resultados de uma medição e tem como base o desvio padrão de uma série de repetições da mesma análise; é dada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). No entanto, o  $R^2$  indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos. O coeficiente de determinação tem um intervalo variando entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 mostram o maior proximidade do comportamento das variáveis (Camparotto et al., 2013).

Por outro lado, o Índice “d” quantifica numericamente a exatidão e refere-se ao grau de conformidade de um valor estimado em relação ao valor verdadeiro ou observado, ou seja, é uma medida de quão bem o modelo estima o afastamento dos dados da média observada. O índice de concordância tem um intervalo variando entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 mostram uma concordância perfeita (Alencar et al., 2011; Camparotto et al., 2013).

Foi organizada uma planilha contendo as variáveis temperatura do ar e precipitação pluvial referentes aos postos meteorológicos e do modelo Eta-HadCM3, de forma a permitir que ambas (observado e simulado) estivessem organizadas no mesmo período, para serem avaliadas pelo teste estatístico.

A aproximação dos valores estimados pelo modelo e observados por determinado método estudado, em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtida pelo índice de concordância (d) (Willmott et al., 1981).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (1)$$

em que:  $P_i$  corresponde ao  $i$ ésimo valor estimado;  $O_i$  o  $i$ ésimo valor observado;  $\bar{O}$  a média dos valores observados e  $n$  o número de observações consideradas no presente estudo.

A interpretação do índice de concordância “d” e coeficiente de determinação revela quatro possíveis situações, onde: a) caso em que o valor de  $R^2$  é alto e o valor de  $d$  também é alto (situação ideal); b) caso em que o valor de  $R^2$  é alto e o valor de  $d$  é baixo (os dados apresentam um bom ajuste, mas são quantitativamente diferentes); c) caso em que o valor de  $R^2$  é baixo e o valor de  $d$  é alto (os dados não apresentam um bom ajuste, mas são quantitativamente iguais em alguns pontos); e d) representa um caso em que o valor de  $R^2$  é baixo e o valor de  $d$  é baixo (pior situação).

### Correção dos erros sistemáticos

Depois de avaliado o desempenho do modelo Eta-HadCM3 das variáveis, estudadas por meio do teste de Willmott et al. (1981) foi possível obter informações da precisão ( $R^2$ ) e da exatidão ( $d$ ). Foram então, corrigidos os erros sistemáticos gerados nas simulações do modelo para cada membro, já que são erros persistentes e que podem ser facilmente encontrados quando comparados valores observados com os valores simulados para o mesmo período.

#### *Precipitação pluvial*

Para a correção dos erros sistemáticos gerados pelo modelo Eta-HadCM3 na variável precipitação, no período de 1960-1990, foi utilizado o método proposto por Hempel et al. (2013) que consiste em uma correção multiplicativa. O fator multiplicativo é gerado por:

$$C = \sum_{i=1}^{m=30} P_i^{WFD} / \sum_{i=1}^{m=30} P_i^{GCM} \quad (2)$$

Onde  $P_i^{WFD}$  é a precipitação mensal anual observada,  $P_{ij}^{GCM}$  é a precipitação mensal anual simulada sem correção e  $i$  é o ano.

Dessa forma, foi criado um fator multiplicativo  $C$  para cada mês. No entanto, com um limite superior de 10, a fim de evitar valores elevados de precipitação. Isso é justificado pelo fato de que um alto valor de  $C$  causa uma discrepância entre o valor simulado pelo modelo e o observado. Depois de terminados os fatores multiplicativos mensais, eles foram usados para corrigir os valores simulados pelo modelo.

A série temporal de precipitação é então:

$$\tilde{P}_{ij}^{GCM} = C \cdot P_{ij}^{GCM} \quad (3)$$

Onde  $\tilde{P}_{ij}^{GCM}$  é a precipitação mensal anual simulada com correção,  $i$  é o ano e  $j$  é o mês.

#### *Temperatura do ar*

Para os dados de temperatura do ar (máxima, média e mínima) foram utilizado o método aplicado por Rezende (2011) e Rodrigues (2011). Para obter os erros sistemáticos (também referidos usando-se o termo em inglês "BIAS") gerados pelo modelo, são comparados os dados observados com os dados presentes gerados pelo modelo. Para isso, a série 1960-1990 (série histórica) foi dividida em dois períodos (1960-1985 e 1986-1990). O primeiro período foi utilizado para encontrar o BIAS do modelo, como mostra a seguinte equação:

$$\text{BIAS} = T_{\text{mensal Eta}} - T_{\text{mensal Obs.}}$$

(4)

Assim, foi criado um valor médio mensal ( $\text{BIAS}_{\text{jan}}$ ;  $\text{BIAS}_{\text{fev}}$  ...  $\text{BIAS}_{\text{dez}}$ ), usado para subtrair do segundo período (1986-1990). A intenção é verificar o quanto os dados gerados pelo modelo diferenciam-se dos dados observados, justificando assim a correção desses erros, e aproximando as simulações do que seria esperado, tendo como base a observação (série histórica). Depois de verificado o desempenho da correção para a série, o método foi estendido para os dados simulados (2010-2040 e 2041-2070).

Para discutirmos se os modelos estão de forma geral representando as características climáticas do estado, é importante avaliar como o modelo Eta-HadCM3 simula o clima presente, a fim de melhor analisarmos seu desempenho para o clima do futuro. Sendo assim, foi feita uma análise da destreza nas simulações do clima presente para todos os membros (cntrl, high, midi e low) e em seguida foram analisadas as projeções climáticas apenas para os membros high, midi e low, já que o cntrl não tem as variáveis de temperatura mínima e máxima.

Embora as análises tenham sido feitas para dez municípios conforme apresentado na Figura 1, foram selecionados cinco municípios, a fim de expor graficamente seus resultados aqui. No entanto, teve-se o cuidado de selecionar um município de cada mesorregião de Pernambuco a fim de mostrar a variabilidade ambiental representada em cada local.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Análise estatística dos dados do clima presente**

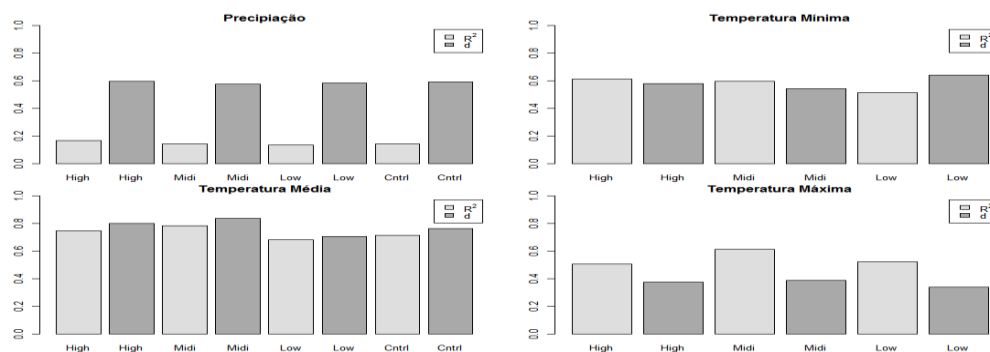
As análises estatística para verificar a precisão e exatidão dos dados projetados pelo modelo Eta-HadCM3 resultante do teste de Willmott e da regressão linear, mostraram, de um modo geral, que as variáveis temperatura (média, máxima, e mínima) e precipitação apresentaram comportamento semelhante nos diferentes membros do modelo (cntrl, high, midi e low) (Figura 2).

Os valores de precipitação projetados foram mais exatos (d) do que precisos ( $R^2$ ), ou seja, o modelo não representou bem a variabilidade da precipitação. Resultado semelhante foi identificado por Ambrizzi et al. (2007), que identificaram que o modelo ETA/CPTEC, para os cenários A2 e B2, apresentou baixo índice de correlação (0,49) em simular o ciclo sazonal da chuva no Nordeste do Brasil. Entretanto, deve-se levar em consideração a complexidade da simulação desta variável, que é influenciada por diferentes fenômenos atmosféricos, além da diferença de escala espacial entre os valores simulados e observados, pois enquanto o modelo

gera uma informação em grades de 40X40 km a estação meteorológica mede a precipitação pontualmente. Valverde e Marengo (2010) apontam que os modelos climáticos globais ainda não conseguem reproduzir com alto grau de confiabilidade o padrão sazonal de precipitação que a climatologia observacional apresenta. Além do mais, considerando-se que toda a técnica de regionalização ou downscaling contém erros derivados do modelo global, que força o modelo regional (Ambrizzi et al., 2007), era de se esperar uma maior dificuldade do modelo em representar espacialmente a precipitação regional.

As temperaturas máxima, média e mínima do ar apresentaram comportamentos diferentes nas simulações quanto à precisão e à exatidão. A temperatura média apresentou os melhores resultados, com coeficiente de determinação e índice de concordância elevados em todos os pontos, a média de precisão foi maior que 0,6 e exatidão maior que 0,7 (Figura 2). Essa variável, de um modo geral, foi a melhor simulada pelo modelo Eta-HadCM3, tanto nos valores médios quando no padrão sazonal.

**Figura 2:** Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do índice de concordância ( $d$ ) para as variáveis precipitação pluvial, temperaturas mínima, máxima e média do ar, avaliados para cada membro do modelo Eta-HadCM3 - High, Midi, Low e Cntrl, para o período de 1960-1990.



## Correção e Validação dos Erros Sistemáticos

### Precipitação pluvial

Quando comparados o período presente simulado (1960-1990), de cada membro, com os dados observados do mesmo período para cada ponto, percebeu-se que os municípios das mesorregiões (Figura 1) do Sertão e do Sertão de São Francisco, de um modo geral, os membros representaram bem o comportamento anual da chuva, tanto nos meses secos quanto nos chuvosos. No entanto, os valores foram subestimados em parte ou em todo o ano.

Em Araripina e Ibimirim, no Sertão, houve uma subestimativa média de 37,4% a 63,4% no período chuvoso, já no período seco, o leste do Sertão (Ibimirim) apresentou superestimativa entre 36,5% e 80,1% nos membros, enquanto que em Araripina houve uma



subestimativa entre 70,5% e 84,9%. Em Afrânio os erros foram maiores que em Petrolina no período chuvoso, com subestimativa máxima no membro high de 40,4% e Petrolina 34,7% (Cntrl).

Na medida em que se aproxima da zona Leste do Estado, a precipitação não foi tão bem representada com relação ao comportamento anual, apresentando período chuvoso antecipado e subestimados, e com os períodos secos também subestimados. Na Zona da Mata a precipitação simulada foi em média de 32,3% menor do que observada nos postos no período chuvoso. Já no Agreste houve maior subestimativa no período seco do que no chuvoso, com redução máxima de 49,6% (seco) e 36% (chuvoso). Enquanto que na RMR houve diminuição no período chuvoso de 45,2% (midi), já no período seco houve um acréscimo de 62% no membro midi e uma redução no outros membros.

De um modo geral, o comportamento das simulações do modelo Eta-HadCM3 para a precipitação de Pernambuco, corrobora as simulações feitas por Chou et al. (2011) que analisando o comportamento do modelo para o tempo presente (1960-1990) identificou que em algumas regiões da América do Sul e incluindo o Nordeste do Brasil os membros apresentavam valores subestimados em relação aos observados.

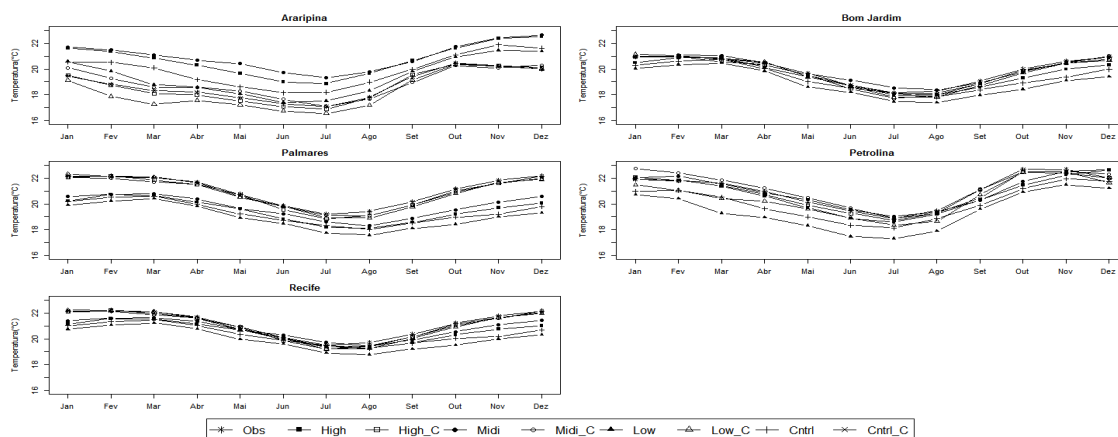
### **Temperatura do ar**

As projeções do clima presente (1960-1990) do modelo Eta-HadCM3 para as temperaturas máxima, média e mínima, apresentaram dinâmica semelhante aos valores observados (climatologia), como visto com os resultados do coeficiente de determinação com valores médios acima de 0,5, para as temperaturas, no entanto com casos de superestimação e subestimação.

Na Figura 3 estão apresentadas as projeções para os membros (cntrl, high, midi e low) antes e após a remoção dos erros sistemáticos, e os valores observados, para o período de 1986 a 1990 (período para validação) para as temperaturas médias.

Os resultados indicam que o modelo tende a superestimar em todos os pontos, com relação aos observados. O membro que mais se aproximaram dos valores observados, antes da correção, foi o midi. Depois das correções todos os membros se aproximaram do valor esperado, no entanto o cntrl, teve o melhor desempenho, justificando assim a importância desse método de correção para evitar propagação dos erros nos cenários futuros, com projeções de valores mais otimistas para esta variável.

**Figura 3:** Comparação entre as temperaturas médias simuladas pelo modelo antes (membro) e após (membro\_C) remoção dos erros sistemáticos e as temperaturas média observadas (Obs), para o período de 1986-1990, segundo os membros de simulação (High, Midi, Low, Cntrl).



Já as temperaturas máximas o modelo tende a subestimar, e as temperaturas mínimas superestimar, em todos os pontos. Depois das correções todos os membros se aproximaram do valor esperado, semelhante as temperaturas médias.

Após as remoções dos erros é possível verificar que as variáveis do modelo apresentam uma melhora significativa, aproximando-se mais dos valores observados. Desta forma infere-se que as projeções apresentarão cenários mais confiáveis.

## Cenários Futuros

### Precipitação pluvial

Nesta etapa foram avaliadas as alterações climáticas projetadas pelo modelo, com as correções de erros sistemáticos. Uma redução da precipitação ocorreu em todos os pontos em ambas as projeções (2010-2040 e 2041-2070), sendo que, de um modo geral, o período seco foi o melhor representado pelas projeções acompanhando a climatologia, no entanto com redução de seus valores. Entre as mesorregiões o decréscimo da chuva foi variável: o Sertão teve uma redução entre 8,2% e 28,2%, o Sertão do São Francisco uma redução entre 9,9% e 27,2%, o Agreste uma redução de 6,4% e 18,6%, a Zona da Mata uma redução entre 3% e 32,8% e a Região Metropolitana do Recife uma redução de 4,7% e 19,4%, para 2010-2040 e 2041-2070, respectivamente.

A variabilidade sazonal pode ser observada na Figura 4. Em Araripina, nos meses de janeiro e fevereiro (início do período chuvoso), as projeções mostram valores acima da climatologia local. Durante o pico de chuva (março), percebe-se uma redução dos valores nas projeções em relação à climatologia, em torno de 42,9 mm (2010-2040) e 97,9 mm (2041-2070). Nos totais anuais, as projeções apresentaram um decréscimo de 8,2% e 0,6%, respectivamente. Para Petrolina, as projeções representaram melhor o comportamento anual da chuva ao longo do ano (diferente de Araripina) seguindo a climatologia, evidenciando assim

apenas mudanças nos valores totais e não no seu comportamento sazonal. Nos totais anuais das projeções houve um decréscimo de 9,9% e 21,55%, para os dois períodos.

Já em Bom Jardim, mesoregião do Agreste, apresentaram valores acima da climatologia no outono e uma acentuada redução nos meses de junho e julho (inverno). Durante os meses de agosto a dezembro as projeções mostraram valores menores que a climatologia, evidenciando assim períodos secos mais severos para essa região. A projeção de 2041-2070 foi mais otimista para essa região, mostrando uma redução menos acentuada que o Sertão de São Francisco, nos totais anuais, com um decréscimo de 13,8%, já 2010-2040 com 6,4% a menos que o esperado.

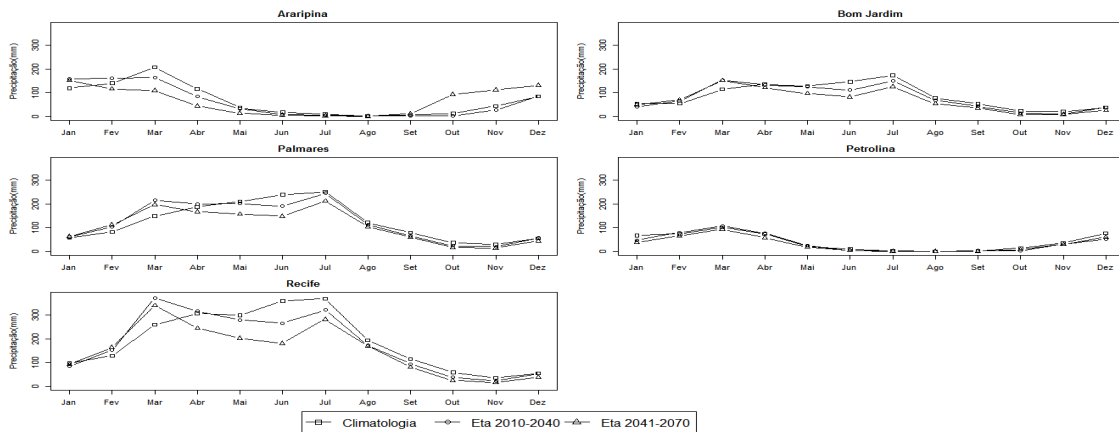
Para Palmares, na Zona da Mata em 2010-2040 no verão e outono mostrou um acréscimo da chuva. As projeções mostraram uma melhor distribuição do período chuvoso com dois picos distintos de chuva, o primeiro em março, que diferentemente da climatologia apresentou um acréscimo de 66,9 mm (2010-2040) e 47,6 mm (2041-2070) do que é esperado e o segundo foi em julho, como a climatologia local, no entanto com uma pequena redução em 2010-2040 e mais acentuada em 2041-2070. Já no período mais seco na primavera e início do verão as projeções apresentaram comportamento semelhante ao da climatologia, mas com redução, evidenciando condições mais severas. Já os totais anuais, em 2010-2040 apresentou comportamento semelhante ao da climatologia, enquanto que em 2041-2070 que houve uma redução, em torno de 13,8%.

O município de Recife, na Região Metropolitana, as projeções mostraram que os meses de fevereiro, março, abril foram mais chuvosos que a climatologia, a partir de final do outono até o início do verão percebe-se um decréscimo na precipitação projetada em relação à climatologia. Os meses de junho e julho (os meses mais chuvosos) foram os mais afetados, com uma redução de 94,5 mm e 47,6 mm (2010-2040) e 178,8 mm e 86,7 mm (2041-2070). Com relação aos totais anuais dos cenários mostraram uma redução de 4,7% e 19,4% respectivamente.

### **Temperatura do ar**

As simulações futuras das variáveis de temperatura máxima, média e mínima, apresentam o comportamento anual semelhante em todos os pontos estudados, no entanto, com aumento nos valores, como é de se esperar. Sendo assim, assume-se que, com as simulações feitas pelo modelo Eta-HadCM3, as próximas décadas apresentarão temperaturas mais elevadas, mas com o ciclo anual semelhante à climatologia observada.

**Figura 4:** Ciclo anual de precipitação (mm): climatologia (observada 1960-1990) e projeção para o futuro (A1B) do modelo Eta-HadCM3 para 2010-2040 e 2041-2070.

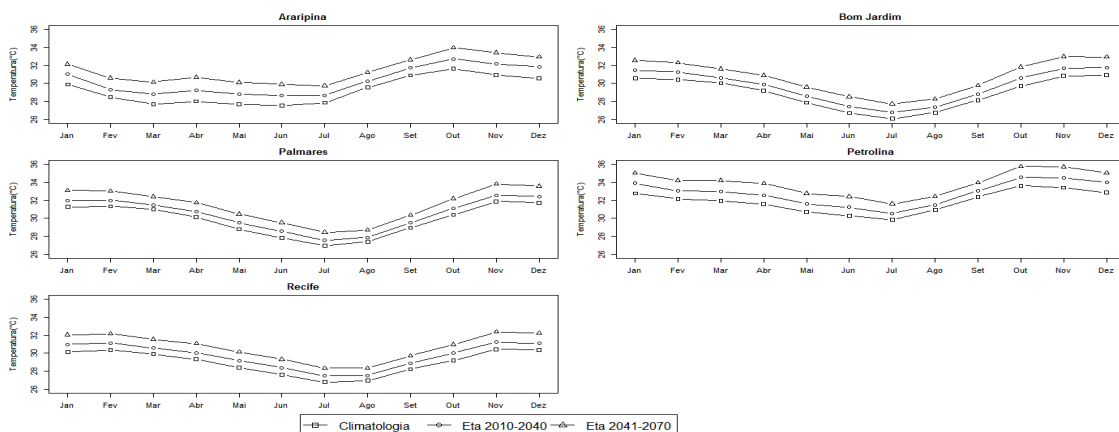


Tais resultados também foram encontrados por Marengo et al. (2009), que analisando mudanças climáticas futuras para a América do Sul, identificou elevação das temperaturas durante todo o ano, para o cenário A2 (emissão elevada) em vários modelos para o Nordeste do Brasil. As projeções mostram que no modelo Eta CCS, no outono houve uma aquecimento de cerca de 2-3°C, o RegCM3 com cerca de 4°C, enquanto o HadRM3P mostra intenso aquecimento no início do verão, em cerca de 4°C.

Nas temperaturas máximas (Figura 5) o aquecimento estar em média de 0,78°C (2010-2040) e 1,83°C (2041-2070). O Sertão e o Sertão de São Francisco tiveram maior aquecimento que as outras regiões, as estações de verão e outono foram as mais afetadas. Nas outras regiões as estações mais afetadas foram o verão e a primavera.

Em Araripina a elevação no verão foi de 1-2°C (2010-2040/ 2041-2070) e de 1-3° no outono. Já em Petrolina a elevação no verão e outono foi de 1-2°C para ambas as projeções. Em Bom Jardim, Palmares e Recife aquecimento foi de 1-2°C no verão e primavera.

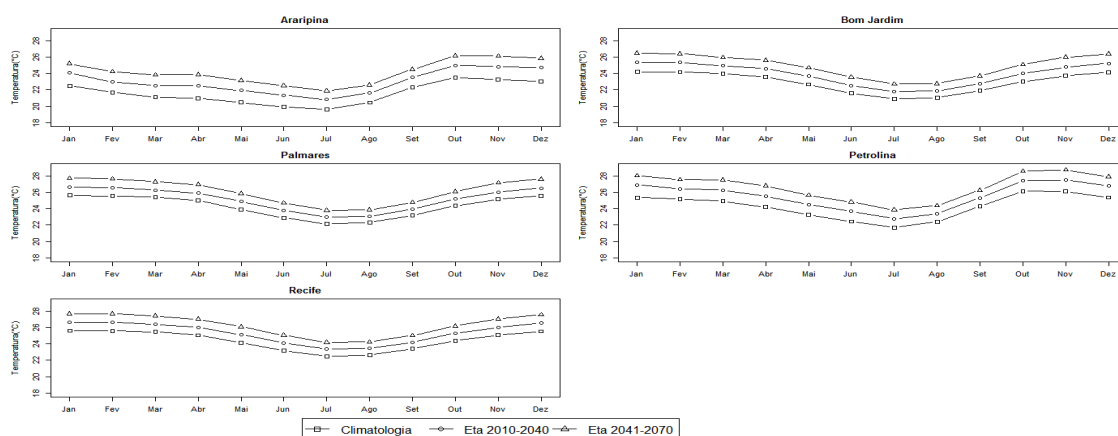
**Figura 5:** Ciclo anual de temperatura máxima (°C): climatologia (observada 1960-1990) e projeção para o futuro (A1B) do modelo Eta-HadCM3 para 2010-2040 e 2041-2070.



Nas temperaturas médias (Figura 6) o aquecimento está em média de 1,03°C (2010-2040) e 2,12°C (2041-2070). O Sertão e o Sertão de São Francisco tiveram maior aquecimento que as outras regiões, no entanto, as estações mais afetadas foram o verão e o outono. Nas outras regiões as estações mais afetadas também foram o verão e o outono.

Em Araripina e Petrolina a elevação no verão e outono foi de 1-3°C (2010-2040/ 2041-2070). Em Bom Jardim, Palmares e Recife aquecimento foi de 1-2°C no verão, outono e primavera.

**Figura 6:** Ciclo anual de temperatura média (°C): climatologia (observada 1960-1990) e projeção para o futuro (A1B) do modelo Eta-HadCM3 para 2010-2040 e 2041-2070.



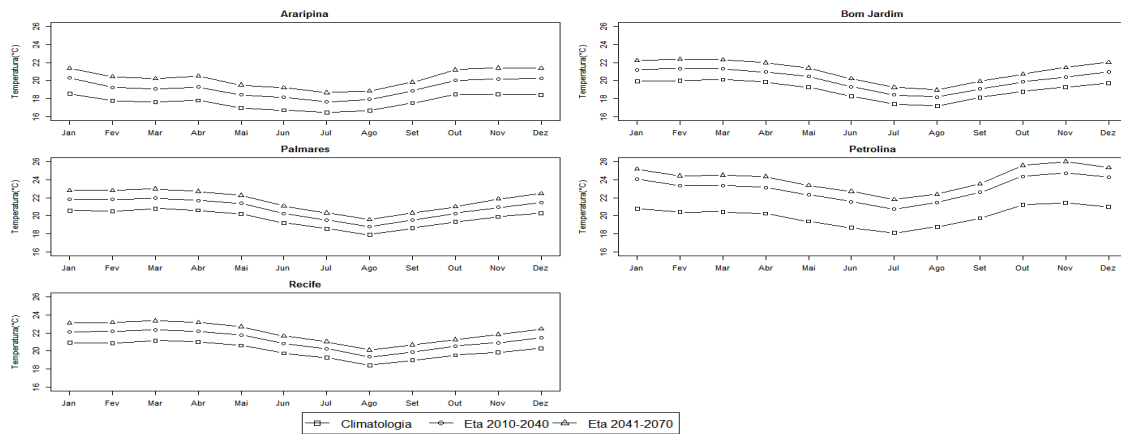
Nas temperaturas mínimas (Figura 7) o aquecimento estar em média de 1,34°C (2010-2040) e 2,41°C (2041-2070). Assim como as máximas o Sertão e o Sertão de São Francisco tiveram maior aquecimento que as outras regiões, no entanto, as estações mais afetadas foram o verão e a primavera. Nas outras regiões as estações mais afetadas foram o verão e o outono. Em Araripina a elevação no verão e primavera foi de 2-3°C (2010-2040/ 2041-2070). Já em Petrolina a elevação no verão e primavera foi de 3-4°C para ambas as projeções. Em Bom Jardim, Palmares e Recife aquecimento foi de 1-2°C no verão e outono.

De um modo geral, com relação aos cenários futuros, identificou-se que a precipitação apresentou redução progressiva em todos os pontos estudados. E as temperaturas apresentaram maiores valores, ou seja, um aquecimento, também de forma progressiva. No entanto com o mesmo comportamento anual. Desta forma espera-se que o período de 2041-2070, possivelmente, apresentará condições mais severas, com acentuadas reduções na precipitação e temperaturas mais elevadas em todas as mesorregiões do estado.

Apesar de apresentar reduções de precipitação abaixo de 10% em 2010-2040, a mesorregião do Sertão de São Francisco foi mais afetada. Já em 2041-2070 foi a Zona da Mata com uma redução de 32,8% seguida do Sertão com 28,2%. Isso possivelmente implicará em

questões econômicas, como na agropecuária (ciclos agrícolas, alimentação dos animais e etc.) e no abastecimento de água para a população, que em anos secos já convive com a escassez da água.

**Figura 7:** Ciclo anual de temperatura mínima (°C): climatologia (observada 1960-1990) e projeção para o futuro (A1B) do modelo Eta-HadCM3 para 2010-2040 e 2041-2070



Com aumento das temperaturas, observa-se que no Sertão e Sertão de São Francisco, as máximas apresentaram um acréscimo de 1 a 2°C, mais evidente no verão e outono, assim como as médias, com aumento de 1 a 3°C. Já as mínimas, mostraram um aumento mais significativo, no verão e na primavera, com acréscimo médio em torno de 2 a 3°C no Sertão e 3 a 4°C no Sertão de São Francisco. Nas outras mesorregiões as mudanças mostraram um comportamento médio semelhante com um acréscimo de 1 a 2°C em todas as temperaturas, no entanto as máximas foram mais evidentes no verão e primavera, enquanto que as médias e mínimas no verão e outono.

## CONCLUSÕES

As análises de avaliação da destreza do modelo, para o clima presente, mostraram que de acordo com o índice de concordância (d) e com o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) a variável temperatura média apresentou os melhores valores (exatidão e precisão), seguida das variáveis, temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação. No geral, os diferentes membros mostraram resultados semelhantes para as variáveis, em que as temperaturas máximas e mínimas apresentaram melhores valores de R<sup>2</sup> (precisão), ou seja, o comportamento anual foi mais próximo dos dados observados do que os valores mensais individualmente. Já a temperatura média e a precipitação apresentaram melhores valores de 'd' (exatidão), ou seja, no decorrer da série tiveram valores mensais mais próximos da realidade, que a dinâmica climática anual. Com essa avaliação, foi possível perceber que a precipitação foi a variável mais

comprometida em nível de qualidade das saídas do modelo, em que a simulação apresentou tanto o comportamento e valores distantes dos valores observados.

Com relação às correções das variáveis e a validação as simulações de temperatura máxima estavam subestimadas em todos os casos. A temperatura média foi a variável melhor representada pelo modelo, pois as diferenças entre as simulações e os dados observados foram significativas em apenas alguns dos pontos avaliados. Já a temperatura mínima na maioria dos casos foi superestimada. No entanto, foi observado que depois de corrigidas, ou seja, de utilizar o BIAS para ajustar o modelo, os resultados foram satisfatórios.

Desta forma evidenciamos a importância de se avaliar as simulações do modelo Eta-HadCM3, considerando que foram verificados erros sistemáticos em todas as saídas desta pesquisa, além disso, não foi encontrada conformidade na qualidade dos membros, quando visto cada ponto da análise isoladamente, evidenciando assim, que não há um membro que seja mais fiel as observações que o outro na representação destas variáveis. Concluindo que a correção dos erros através de dados observados permite uma maior confiabilidade na representação dos cenários futuros.

As simulações dos cenários futuros de precipitação e temperatura para os períodos de 2010-2040 e 2041-2070, apresentaram tendências de diminuição e aumento, respectivamente. E ao comparar entre os períodos simulados, o segundo período apresentam aumento destas condições.

A avaliação realizada nesta pesquisa mostra que as simulações climáticas regionais podem ser empregadas para estudos de mudanças climáticas no estado de Pernambuco, mas que, no entanto, os erros sistemáticos devem ser considerados, já que são inerentes às imperfeições dos modelos climáticos, para que diminuam as incertezas associadas à modelagem em estudos de impactos associados às mudanças climáticas globais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa para o desenvolvimento desta pesquisa e ao Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST/INPE) pela disponibilidade dos dados do modelo.

## **REFERÊNCIAS**

- ALENCAR, L. P. de et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v. 19, n. 5, p. 437-449, 2011.
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P.; MARENGO, J.A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L.A.; FERNANDEZ, J.P.R. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3. Brasília: CPTEC/INPE; IAG/ USP; FBDS. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade, 2007. 108p.
- BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, v. 9, p. 265-278, 1994.
- BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: MIRANDA, L. L.D.; VASCONCELOS, A.C M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.
- CAMPAROTTO, L.B. et al. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.17, n. 6, p. 665–671, 2013.
- CHOU S. C.; MARENGO J. A. et al. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs, *Climate Dynamics*, v. 38, p. 635-65, 2011.
- HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamic Discussions*, v.4, p. 49–92, 2013.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. . *Climate change 2007: The physical science basis*. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)> Acesso em: setembro de 2013.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. . *Climate change 2013: The physical science basis*. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WGIAR5\\_SPM\\_brochure\\_en.pdf](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf)> Acesso em: maio de 2014.
- MARENGO J. A. et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, v. 35, p. 1073-1097, 2009.
- MARENGO J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in south America using the eta Cptec/hadcm3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná river basins. *Climate Dynamics*, v. 38, p. 1829-1848, 2011.
- MESINGER, F. et al. The step-mountain 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.



MIRANDA, E. E. (Coord.). *Brasil em relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: abril 2013.

PICINNI, A. G. Agrometeorologia: desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. *Bragantia*, Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.

RESENDE, N. C. et al. Análise da ocorrência da doença ferrugem-do-café em algumas regiões de São Paulo utilizando o modelo Eta/CPTEC 40km - Cenário A1B. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011, GUARAPARI, ES. XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011.

RODRIGUES, D. C. Avaliação da produtividade e da qualidade do café (*Coffea arabica L.*) em algumas regiões do estado de São Paulo segundo o modelo Eta/Cptec 40km sob o cenário de mudanças climáticas A1B. 2011. 51f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SANTOS, R. S. dos et al. Avaliação da relação seca/produtividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 313 - 321, 2011.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 25, n. 1, p. 125-145, 2010.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models, *Physical Geography*, 2, p.184-194, 1981.