

**UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**Emprego de modelos climáticos (CCCma e GFDL) como ferramenta para o  
zoneamento de cana-de-açúcar (*Saccharum*) no estado do Rio de Janeiro,  
Brasil**

**Iris Cristiane Magistrali**

**2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**EMPREGO DE MODELOS CLIMÁTICOS (CCCma e GFDL) COMO  
FERRAMENTA PARA O ZONEAMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
(*Saccharum*) NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

**IRIS CRISTIANE MAGISTRALI**

*Sob a orientação do Professor*

**Rafael Coll Delgado**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Me      Magistrali, Iris Cristiane , 29/04/1986-  
Emprego de modelos climáticos (CCCma e GFDL) como  
ferramenta para o zoneamento de cana-de-açúcar  
(Saccharum) no estado do Rio de Janeiro, Brasil /  
Iris Cristiane Magistrali. - 2017.  
80 f.

Orientador: Rafael Coll Delgado.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Ciências Ambientais e Florestais, 2017.

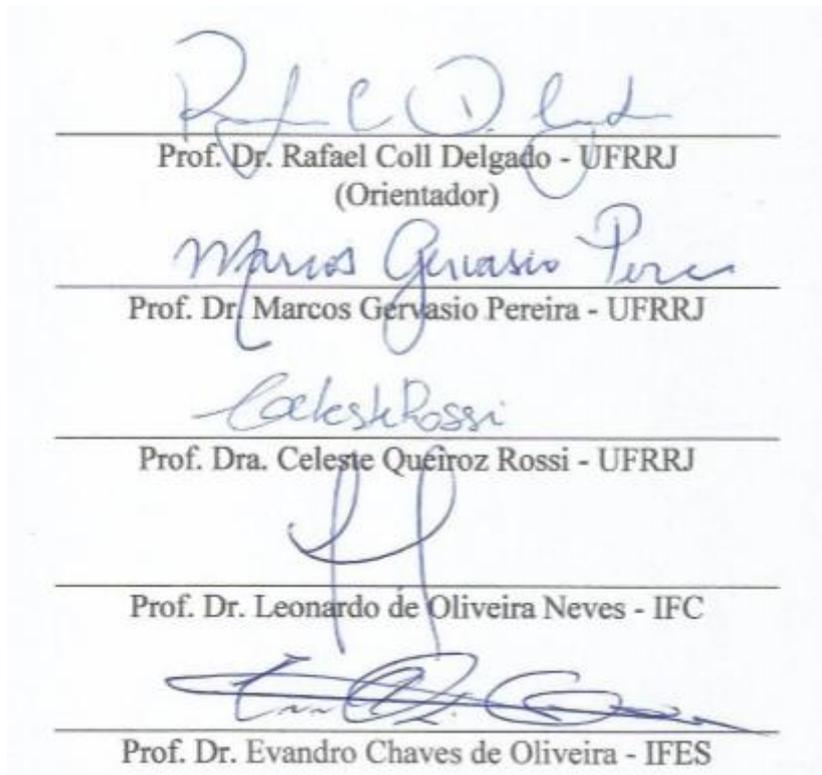
1. Agricultura. 2. Geoestatística. 3. Modelagem  
numérica climática. 4. Sensoriamento remoto. I. Coll  
Delgado, Rafael , 22/05/1978-, orient. II  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Ciências Ambientais e Florestais III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**IRIS CRISTIANE MAGISTRALI**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

**TESE APROVADA EM: 20/02/2017**



Prof. Dr. Rafael Coll Delgado - UFRRJ  
(Orientador)

Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira - UFRRJ

Prof. Dra. Celeste Queiroz Rossi - UFRRJ

Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Neves - IFC

Prof. Dr. Evandro Chaves de Oliveira - IFES

*A Deus e a minha família*  
**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois somente com sua presença infinita em minha vida foi possível vencer mais esta etapa.

Aos meus pais Jurema dos Santos e Moacir Magistrali pelo apoio aos estudos, exemplo de vida e amor aos filhos. Também agradeço ao meu irmão Paulo R. Magistrali e minha cunhada Janice Ferreira

Ao meu namorado Gilsonley Lopes dos Santos pelo carinho, atenção, amor e por estar presente nos bons e nos momentos difíceis.

Ao meu orientador prof. Rafael Coll Delgado pela confiança, paciência, atenção, amizade e ensinamentos, você foi imprescindível para a realização desse trabalho. Agradeço imensamente por toda sua compreensão e dedicação, pelo seu papel fundamental não só como orientador, mas como grande incentivador, meu eterno agradecimento.

A todos da minha família, em especial a minha avó Maria Luiza, por entender todos esses anos de ausência.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de estudo e toda a estrutura oferecida para minha formação acadêmica.

Aos amigos que fiz na Rural em especial à Karla Baldini e Patricia Tavares e as amigas da república das “amadoras” Nathália L. Mendes, Celeste Rossi. As amigas Laura Neves e Taizi Silva, ao querido Andrew Milli nosso estimado vizinho. Muito obrigada.

A minha amiga Kelly Hipler e minha afilhada Lais Hipler que mesmo de longe sempre mandaram energias positivas.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais pelos momentos de descontração e amizade. Aos professores do PPGCAF em especial, ao prof. Marcos Gervasio Pereira, pela amizade, profissionalismo e dedicação ao curso.

Aos pesquisadores Flávio Barbosa Justino, Marine Grossi da Universidade Federal de Viçosa pela disponibilidade em ceder os dados dos modelos CCCma e GFDL para a elaboração do presente trabalho. Ao prof. Rafael Ávila Rodrigues pelas contribuições e sugestões desde a qualificação

Aos colegas do LSRACA - Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada.

Aos membros da Banca examinadora pela disponibilidade e sugestões no presente trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro e a todos que por falha da memória não foram citados, que contribuíram para minha formação acadêmica e realização desse trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Iris Cristiane Magistrali nasceu no dia 29 de Abril de 1986 na cidade de Xanxerê, estado de Santa Catarina, filha de Moacir Magistrali e Jurema dos Santos. Em 2004 ingressou no curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Oeste de Santa Catarina, concluindo em agosto de 2008. Em agosto de 2010 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, concluindo em julho de 2012. De Agosto de 2012 a Março de 2013 foi professora substituta no Instituto Federal Catarinense – IFC em Rio do Sul, ministrando aulas nos cursos Técnicos em Agricultura e Floresta. Em março de 2013 ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, submetendo-se a defesa da tese em fevereiro de 2017.

## RESUMO GERAL

MAGISTRALI, Iris Cristiane. **Emprego de modelos climáticos (CCCma e GFDL) como ferramenta para o zoneamento de cana-de-açúcar (*Saccharum*) no estado do Rio de Janeiro, Brasil.** 2017. 96 p. Tese de Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2017.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tem publicado relatórios sobre questões ligadas as alterações no clima global. Em função disso, a aptidão climática de diversas culturas agrícolas em diferentes regiões do mundo pode sofrer alterações. A cana-de-açúcar é uma espécie agrícola importante e, é cultivada em várias regiões do mundo, principalmente para a geração de açúcar e etanol. Diante disso, existe a necessidade de estudos que avaliem as consequências das mudanças climáticas nessa cultura em cenários futuros. Portanto, o presente trabalho tem como objetivos: 1) avaliar o desempenho de dois modelos climáticos CCCma (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis) e GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) no período “baseline” (1961-2000), e no cenário futuro A1B (2046-2065); 2) elaborar o zoneamento da cana-de-açúcar para o Estado do Rio de Janeiro em função do cenário de emissão A1B considerado intermediário. Para a avaliação do desempenho dos modelos foi utilizada análise estatística descritiva e interpolação espacial (Krigagem e Co-Krigagem ordinária) para as variáveis temperatura e chuva. Para a etapa da elaboração do zoneamento agroclimático procedeu-se o cálculo dos balanços hídricos da cultura, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Baseados nos mapas temáticos reclassificados de deficiência hídrica e temperatura elaborou-se o zoneamento. Utilizou-se imagens provenientes do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para a altimetria, e, mapa de uso e cobertura do solo. Os resultados referentes as medidas descritivas nos diferentes pontos do modelo, mostraram que a média da chuva variou de 1118,02 mm à 1447,47 mm, para o modelo CCCma. Entretanto, para o modelo GFDL a média da chuva foi inferior ao CCCma, variando de 804,82 mm à 1013,72 mm. As médias de temperatura apresentaram comportamento semelhante e apresentaram pouca oscilação durante o ano, se comparada a chuva. Para o modelo CCCma a temperatura média mínima foi de 21,02 °C e a máxima de 22,99 °C. Para o modelo GFDL temperatura média mínima foi de 20,62 °C e a máxima de 23,47 °C. O modelo CCCma apresentou os dados mais próximos aos dados de reanálise do *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOOA), sendo que o modelo GFDL subestimou a maioria dos dados de chuva e temperatura. A chuva média dos dados do NOAA variou entre a mínima e máxima de 947,74 mm à 1689,77 mm, respectivamente, e a temperatura média mínima e máxima de 19,62 °C e 21,62 °C, respectivamente. Através da geostatística, foi possível constatar que tanto para o cenário passado quanto o futuro, o modelo transitivo exponencial apresentou na maioria dos casos o menor grau de dependência espacial (GDE), sendo portanto, considerado o melhor. Ao comparar o GDE dos dois modelos climáticos, verifica-se que o CCCma apresentou o melhor desempenho geostatístico. Devido ao altos valores de GDE não foi possível interpolar os dados do modelo GFDL referente a temperatura para o cenário futuro. Através do produto MCD12Q1 foi possível registrar diferenças relevantes em relação a chuva e a temperatura. Áreas urbanas em geral apresentam menores quantidades de chuvas e maiores temperaturas se comparadas à áreas com ocorrência de floresta. Em relação ao zoneamento os resultados mostraram que tanto para as condições do passado, quanto para projeções futuras, não há restrição hídrica para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. A temperatura apresentou um aumento no cenário futuro adotado e consequentemente expansão de áreas aptas ao cultivo. Praticamente todo o estado apresenta áreas aptas em relação a topografia, exceto as regiões serranas. Através do zoneamento final,

foi possível constatar que no cenário futuro adotado haverá uma expansão da cana-de-açúcar em torno de 58%, podendo esse resultado estar aliado ao aumento da temperatura.

**Palavras-chave:** Agricultura, geoestatística, modelagem numérica climática, sensoriamento remoto.

## GENERAL ABSTRACT

MAGISTRALI, Iris Cristiane. **Use of climate models (CCCma and GFDL) as a tool for sugarcane zoning (*Saccharum*) in the state of Rio de Janeiro, Brazil.** 2017. 96 p. Doctoral Thesis in Environmental Science and Forestry. Institute of Forestry, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has published reports on issues related to global climate changes. As a result, the climatic suitability of various agricultural crops in different regions of the world may change. Sugarcane is an important agricultural species and it is grown in several regions of the world, mainly for the generation of sugar and ethanol. Given this, there is a need for studies that assess the consequences of climate change in this crop in future scenarios. Therefore, the present work has as objectives: 1) to evaluate the performance of two climatic models CCCma (Canadian Center for Climate Modeling and Analysis) and GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) in the baseline period (1961-2000), and in the Future scenario A1B (2046-2065); 2) to elaborate the zoning of sugarcane for the State of Rio de Janeiro due to the A1B scenario considered intermediate. For the evaluation of the models performance, descriptive statistical analysis and spatial interpolation (Kriging and Co- Kriging ordinary) was used based on temperature and rainfall variables in water balance of the crop for the elaboration of agro climatic zoning, calculated by Thornthwaite & Mather's (1955) method. The zoning was elaborated based on the reclassified thematic maps of water deficit and temperature. We used images from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) radar for altimetry, and map of use and ground cover. The results referring to the descriptive measures in the different points of the model showed the average rainfall ranged from 1118.02 mm to 1447.47 mm for the CCCma model. However, for the GFDL model average rainfall was lower than the CCCma, ranging from 804.82 mm to 1013.72 mm. The temperature averages presented similar behaviour and presented little oscillation during the year, when compared with the rainfall. For the CCCma model, the minimum average temperature was 21.02 °C and the maximum was 22.99 °C. For the GFDL model, the mean minimum temperature was 20.62 °C and the maximum was 23.47 °C. The CCCma model presented the data closest to the National Oceanic & Atmospheric Administration (NOOA) reanalysis data, and the GFDL model underestimated most rainfall and temperature data. The average rainfall of the NOAA data ranged from a minimum to a maximum of 947.74 mm at 1689.77 mm, respectively, and the minimum and maximum average temperature of 19.62 °C and 21.62 °C, respectively. Through geostatistics, it was possible to verify that, for the past and future scenarios, the exponential transitive model presented in the majority of cases the least degree of spatial dependence (GDE), being therefore considered the best. When comparing the GDE of the two climate models, noticed that the CCCma presented the best geostatistical performance. Due to the high GDE values, it was not possible to interpolate the GFDL model data regarding temperature for the future scenario. Through the product MCD12Q1, it was possible to register relevant differences in rainfall and temperature. Urban areas in general have lower amounts of rainfall and higher temperatures compared to areas with forest occurrence. In relation to the zoning, the results showed that for the past conditions, as well as for future projections, there is no water restriction for the development of the sugarcane crop. The temperature showed an increase in the future scenario adopted and, consequently, expansion of areas suitable for cultivation.

**Keywords:** Agriculture, geostatistics, climatic numerical modeling, remote sensing.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição dos modelos de circulação geral da atmosfera utilizados. ....	10
<b>Tabela 2.</b> Conversão dos dados para o sistema nacional de medidas. ....	10
<b>Tabela 3.</b> Aquisição de pontos de grade do modelo, estado do Rio de Janeiro.....	11
<b>Tabela 4.</b> Classificação do Uso e Cobertura da Terra (Tipo 1) oriunda do produto MCD12Q1. .....	15
<b>Tabela 5.</b> Classificação das zonas de aptidão de acordo com temperatura da cana-de-açúcar. .....	17
<b>Tabela 6.</b> Uso e ocupação do solo no estado do Rio de Janeiro. ....	17
<b>Tabela 7.</b> Medidas descritivas de chuva (mm) do modelo CCCma no período de 1961 à 2000. .....	19
<b>Tabela 8.</b> Medidas descritivas de temperatura média do ar (C°) do modelo CCCma no período de 1961 à 2000. ....	20
<b>Tabela 9.</b> Medidas descritivas de chuva (mm) do modelo GFDL no período de 1961 à 2000. .....	21
<b>Tabela 10.</b> Medidas descritivas da temperatura (C°) do modelo GFDL no período de 1961 à 2000.....	22
<b>Tabela 11.</b> Medidas descritivas de chuva (mm) dados obtidos através do NOAA no período de 1961 à 2000.....	23
<b>Tabela 12.</b> Medidas descritivas de temperatura (°C) dados obtidos através do NOAA no período de 1961 à 2000.....	23
<b>Tabela 13.</b> Teste de média chuva (mm) pelo teste Tukey, 5% para o cenário passado (1961- 2000). ....	25
<b>Tabela 14.</b> Temperatura (°C) pelo teste Kruskal Wallis, 5% para o cenário passado (1961- 2000). ....	25
<b>Tabela 15.</b> Desempenho dos modelos globais atmosféricos para chuva.....	26
<b>Tabela 16.</b> Desempenho dos modelos globais atmosféricos para temperatura .....	27
<b>Tabela 17.</b> Modelos CCCma e GFDL para a variável chuva (mm).....	29
<b>Tabela 18.</b> Modelos CCCma e GFDL para a variável temperatura (mm). ....	36
<b>Tabela 19.</b> Áreas aptas e inaptas para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro pelo modelo CCCma para o cenário passado e futuro. ....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Número de perdas em bilhões em eventos entre os anos de 1980 e 2015.....	4
<b>Figura 2.</b> Pontos de grade dos modelos no estado do Rio de Janeiro. ....	9
<b>Figura 3.</b> Fluxograma de todas etapas desenvolvidas na validação dos modelos. ....	13
<b>Figura 4.</b> Distribuição das estações meteorológicas do estado do Rio de Janeiro.u.....	16
<b>Figura 5.</b> Fluxograma mostrando as etapas necessárias para a obtenção dos mapas finais de zoneamento para a cultura da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro.....	18
<b>Figura 6.</b> Regime médio de chuva registrados pelo modelo CCCma durante os anos de 1961-2000 para Angra dos Reis - RJ. ....	20
<b>Figura 7.</b> Temperatura média registrada pelo modelo CCCma durante os anos de 1961-2000 para Angra dos Reis- RJ.....	21
<b>Figura 8.</b> Erro Padrão da Estimativa da variável chuva para o modelo CCCma.....	26
<b>Figura 9.</b> Erro Padrão da Estimativa para a variável chuva do modelo GFDL. ....	27
<b>Figura 10.</b> Erro Padrão da Estimativa para o modelo CCCma, variável temperatura. ....	28
<b>Figura 11.</b> Erro Padrão da Estimativa para o modelo GFDL, variável temperatura. ....	28
<b>Figura 12.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo.....	30
<b>Figura 13.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo .....	30
<b>Figura 14.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo .....	31
<b>Figura 15.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma utilizando o modelo transitivo exponencial para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo .....	32
<b>Figura 16.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo .....	32
<b>Figura 17.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo.....	33
<b>Figura 18.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo .....	34
<b>Figura 19.</b> Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo .....	35
<b>Figura 20.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo .....	36

<b>Figura 21.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo .....	37
<b>Figura 22.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo .....	38
<b>Figura 23.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo .....	38
<b>Figura 24.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo .....	39
<b>Figura 25.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo exponencial. ....	39
<b>Figura 26.</b> Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo gaussiano. High = alto; Low = baixo .....	40
<b>Figura 27.</b> Desvio de precipitação para o modelo CCCma. ....	41
<b>Figura 28.</b> Desvio de precipitação para o modelo GFDL. ....	41
<b>Figura 29.</b> Desvio de temperatura para o modelo CCCma. ....	42
<b>Figura 30.</b> Desvio de temperatura para o modelo GFDL. ....	42
<b>Figura 31.</b> Uso e ocupação do solo e distribuição da chuva no cenário passado para o modelo CCCma através do sensor MODIS para o ano de 2013. ....	44
<b>Figura 32.</b> Uso e ocupação do solo e distribuição da chuva no cenário passado para o modelo GFDL através do sensor MODIS para o ano de 2013. ....	44
<b>Figura 33.</b> Uso e ocupação do solo e distribuição da temperatura no cenário passado para o modelo CCCma através do sensor MODIS para o ano de 2013. ....	45
<b>Figura 34.</b> Uso e ocupação do solo e distribuição da temperatura no cenário passado para o modelo GFDL através do sensor MODIS para o ano de 2013. ....	45
<b>Figura 35.</b> Balanço Hídrico para Angra dos Reis - RJ para o período de 1961 à 2000. ....	46
<b>Figura 36.</b> Balanço Hídrico para Angra dos Reis - RJ para o período de 2046 a 2065. ....	47
<b>Figura 37.</b> Deficiência Hídrica anual (mm) cenário passado. High = alto; Low = baixo. ....	48
<b>Figura 38.</b> Deficiência Hídrica anual (mm) cenário futuro. High = alto; Low = baixo. ....	49
<b>Figura 39.</b> Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar para cenário futuro. Fit = Apto. ....	50
<b>Figura 40.</b> Mapa de temperatura (°C) para o estado do Rio de Janeiro para o cenário passado. Fit = Apto; Unfit = inapto. ....	51
<b>Figura 41.</b> Mapa de temperatura (°C) para o estado do Rio de Janeiro (futuro). Fit = Apto. .	51
<b>Figura 42.</b> Tendência da temperatura (°C) no estado do Rio de Janeiro, de 2046 à 2065. ....	53
<b>Figura 43.</b> Zoneamento através do uso de SRTM passado e futuro. Fit = Apto; Unfit = inapto. ....	54
<b>Figura 44.</b> Mapa de uso e ocupação do solo (passado e futuro). Fit = Apto; Unfit = inapto. .	55
<b>Figura 45.</b> Zoneamento final da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro para o cenário passado. Fit = Apto; Unfit = inapto. ....	56

**Figura 46.** Zoneamento final da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro para o cenário futuro. Fit = Apto; Unfit = inapto..... 56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
<b>3.1 Cenários climáticos do IPCC .....</b>	<b>2</b>
<b>3.1.1 Eventos extremos associados ao clima .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Modelos de Circulação Geral (MCGs) .....</b>	<b>4</b>
<b>3.4. Geoestatística.....</b>	<b>5</b>
<b>3.5 Cana-de-açúcar .....</b>	<b>6</b>
<b>3.6 Zoneamento .....</b>	<b>7</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Área de estudo .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Aquisição de Dados dos Modelos .....</b>	<b>9</b>
<b>5.2.1 Aquisição dos dados de chuva e temperatura.....</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Análise dos dados .....</b>	<b>10</b>
<b>4.3.1 Estatística descritiva .....</b>	<b>10</b>
<b>4.3.2 Testes estatísticos .....</b>	<b>12</b>
<b>4.4 Análise Espacial dos modelos.....</b>	<b>12</b>
<b>4.4.1 Modelo Esférico .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4.2 Modelo Exponencial .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4.3 Modelo Gaussiano.....</b>	<b>13</b>
<b>4.5 Análise dos Dados.....</b>	<b>14</b>
<b>4.5.1 Grau de dependência espacial dos modelos .....</b>	<b>14</b>
<b>4.6 Uso e Ocupação do Solo .....</b>	<b>14</b>

<b>4.7 Zoneamento da Cana-de-açúcar</b> .....	<b>15</b>
<b>4.7.1 Balanço hídrico</b> .....	<b>16</b>
<b>4.7.2 Altimetria</b> .....	<b>17</b>
<b>4.7.3 Vegetação</b> .....	<b>17</b>
<b>4.7.4 Espacialização do zoneamento</b> .....	<b>18</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1 Análise Descritiva</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.1 Modelo CCCma e GFDL</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.2 NOAA</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2 Teste de Médias</b> .....	<b>24</b>
<b>5.3 Coeficiente de WILLMOTT</b> .....	<b>25</b>
<b>5.4 Geoestatística</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4.1 Variável chuva em cenários passado e futuro para os modelos CCCma e GFDL</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4.2 Variável temperatura em cenários passado e futuro para os modelos CCCma e GFDL</b> .....	<b>35</b>
<b>5.5 Uso e cobertura do Solo</b> .....	<b>43</b>
<b>5.6 Zoneamento</b> .....	<b>46</b>
<b>5.6.1 Deficiência hídrica</b> .....	<b>46</b>
<b>5.6.2 Temperatura</b> .....	<b>50</b>
<b>5.6.3 Altimetria</b> .....	<b>53</b>
<b>5.6.4 Uso e cobertura do solo</b> .....	<b>54</b>
<b>5.6.5 Área apta ao cultivo de cana-de-Açúcar no estado do Rio de Janeiro</b> .....	<b>55</b>
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>59</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>60</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Projeções e estudos dos modelos de mudanças climáticas são realizadas por instituições integrante do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU). Em geral, na sua maioria, os Modelos de Circulação Global (MCGs) simulam processos na escala global ou continental em detalhe e provêm uma representação de precisão razoável da média climática planetária (DIBIKE e COULIBALY, 2005), embora alguns sejam incapazes de representar características locais.

Existem diferentes cenários para a elaboração dos relatórios (AR5), os quais são chamados de RCPs (*Representative Concentration Pathways*) e estão sendo usados como entrada para modelagem climática e química atmosférica. Recebem seus nomes de acordo com os níveis das forçantes radiativas que representam, por exemplo, RCP-X implica em um cenário cuja forçante radiativa de estabilização ou de pico no final do século XXI corresponde a  $X \text{ W.m}^{-2}$  (TAYLOR et al., 2012). Para o IPCC-AR5 os cenários são: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP2.6. O 5º Relatório de Avaliação (AR5) foi lançado em quatro partes (entre setembro de 2013 e novembro de 2014) e coloca maior ênfase na avaliação dos aspectos socioeconômicos das alterações climáticas e suas implicações para o desenvolvimento sustentável. Além disso, apresenta maiores detalhes sobre a mudança do nível do mar, ciclo do carbono e fenômenos climáticos (IPCC, 2015).

Nos últimos anos têm-se desenvolvido vários MCGs acoplado oceano-atmosfera com o objetivo de se prever as alterações no clima futuro, de acordo com determinados cenários pré-definidos. De maneira geral, os modelos utilizados para avaliar as projeções das mudanças climáticas apresentam muito mais detalhes biológicos e químicos que suas versões anteriores. Os modelos referidos podem incluir componentes que simulam dados da atmosfera, oceano, terra, e o gelo do mar, sendo que alguns centros também estão incluindo o ciclo do carbono (HIBBARD et al., 2007).

Os MCGs têm sido utilizados em uma ampla gama de trabalhos nas mais diferentes áreas do conhecimento. Entretanto, nos últimos anos tem sido empregado em trabalhos que envolvem modelos de nicho ecológico. Além disso, inúmeros estudos têm simulado os efeitos de mudanças climáticas na distribuição de espécies (THUILLER et al., 2005; PARRA-OLEA et al., 2005; HIJMANS e GRAHAM, 2006).

Atualmente, grandes projetos de investigações como *Coupled Modelling Intercomparison Project* (CMIP5: <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) e o *Paleoclimate Modelling Intercomparison Project* (PMIP3: <http://pmip3.lsce.ipsl.fr/>) visam padronizar e coordenar os experimentos climáticos envolvendo múltiplos grupos de pesquisadores ao redor do mundo. Apesar da padronização de condições básicas adotadas nos experimentos, cada modelo de circulação tem suas particularidades (VARELA et al., 2015).

Além disso, na tentativa de utilizar a saída de (MCGs) vários autores utilizaram a geoestatística como uma das formas de avaliação e compreensão dos fenômenos das mais diversas áreas de conhecimento e sua correlação a alguns eventos, principalmente os climáticos (GONDIM et al., 2009; MELO et al., 2015; SANTANA et al., 2015; DELGADO et al., 2014). Poucos são os estudos realizados de geoestatística existentes na literatura, no estado do Rio de Janeiro, nas escalas espacial e temporal. E ainda, usando os cenários futuros adotados pelo IPCC, não existem trabalhos científicos para região. Baseado no exposto, o objetivo do presente projeto é avaliar o desempenho de dois modelos climáticos CCCma (*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*) e GFDL (*Geophysical Fluid Dynamic Laboratory*) no período “baseline” (1961-2000), por meio dos métodos de interpolação espacial (Krigagem e Co-Krigagem ordinária) e propor um zoneamento de *Saccharum* para o cenário futuro A1B do IPCC (2046 a 2065).

## **2 OBJETIVO GERAL**

- Avaliar o desempenho de dois modelos climáticos CCCma (*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*) e GFDL (*Geophysical Fluid Dynamic Laboratory*) no período “baseline” (1961-2000), por meio dos métodos de interpolação espacial (Krigagem e Co-Krigagem ordinária) e propor um modelo espacial que melhor represente as características fisiográficas do estado do Rio de Janeiro para o cenário futuro A1B do IPCC (2046-2065) com vistas ao zoneamento da *Saccharum*.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Converter dados de temperatura do ar e chuva para o sistema nacional de medidas;
- Transformar dados de temperatura diária (máxima e mínima) e chuva diária em dados mensais e anuais.
- Comparar através da estatística descritiva os dados observados de temperatura do ar e chuva das estações meteorológicas convencionais e a saída dos modelos CCCma e GFDL;
- Originar um mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2013 e associar com dados de chuva e temperatura para os dois modelos (CCCma e GFDL) para o cenário passado.
- Validar espacialmente através de técnicas de geostatística, qual ou quais modelos espaciais podem ser utilizados para interpolação dos modelos CCCma e GFDL para o estado do Rio de Janeiro;
- Realizar o zoneamento de áreas cultivadas de cana-de-açúcar para o cenário futuro A1B do IPCC (2046 a 2065) no estado do Rio de Janeiro.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Cenários climáticos do IPCC**

Nos últimos anos houve um interesse crescente no termo “mudança climática”, o qual tem sido alvo de muita especulação por parte da mídia. O *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (IPCC) criado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) foi criado a fim de fornecer informações sobre as mudanças climáticas futuras.

O IPCC (2016) prevê um aumento da temperatura global previsto para o próximo século. As emissões de gases de efeito de estufa aumentaram desde a era pré-industrial, impulsionado principalmente pelo crescimento econômico e populacional.

Dessa forma, os impactos associados às mudanças climáticas serão sentidos em todo o globo e, provavelmente, terão implicações profundas para a população. Portanto, tornam-se necessários trabalhos sobre os possíveis impactos do clima da região e os riscos das mudanças climáticas regionais associadas aos diversos níveis de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). Essas informações podem ser úteis para a tomada de decisão e na formulação de estratégias de mitigação e planejamento de adaptação aos efeitos adversos das mudanças climáticas.

Os cenários de emissão simulam possíveis impactos futuros decorrentes de substâncias que têm um efeito radiativo potencial (GEE, aerossóis) e características como a demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações (IPCC, 2001a, b). Existem diferentes cenários entre eles A1, A2, B1 e B2.

O cenário A1 é aquele onde a globalização é dominante, sendo o crescimento econômico rápido e o crescimento populacional pequeno com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Os temas subjacentes principais são: a convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental. Há três cenários: A1B (cenário de estabilização), A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo uso de combustível fóssil).

O cenário A2 descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características são: um crescimento populacional alto, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido;

O cenário B1 descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais, a sustentabilidade ambiental e social e inclui esforços combinados para o desenvolvimento de tecnologia rápida;

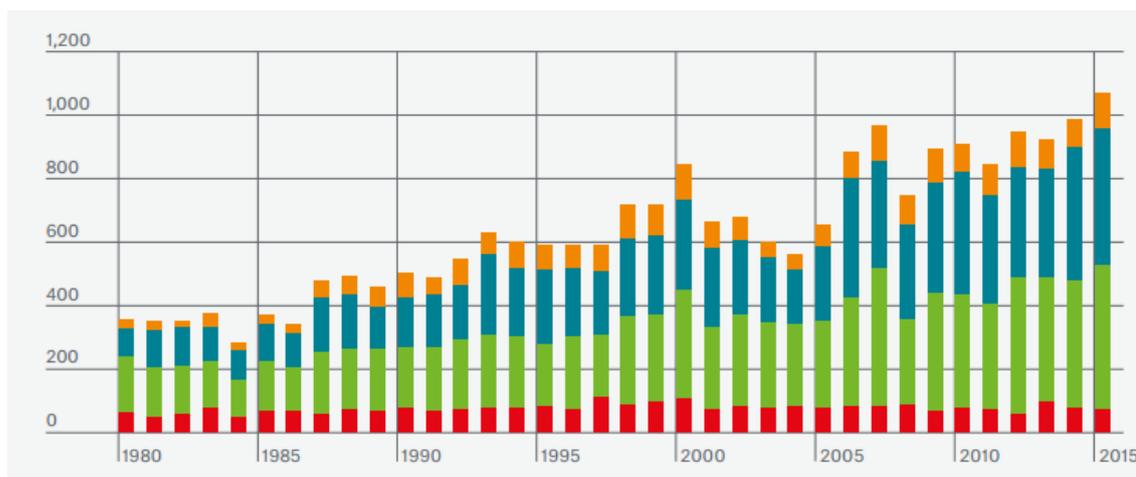
O cenário B2 descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais, a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais (IPCC, 2001a, b).

Conforme menciona Marengo et al. (2007) os impactos das mudanças climáticas dependem principalmente do cenário de emissão e da área afetada. Atualmente, estão sendo realizados diferentes estudos sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas, especialmente na Amazônia. No último século, observaram-se algumas consequências do aquecimento como o derretimento de geleiras nos polos e o aumento do nível do mar. Há uma tendência de aquecimento generalizada, em grandes centros como São Paulo e Rio de Janeiro, esse aquecimento pode ser agravado em função da urbanização (MARENGO et al., 2007).

### **3.1.1 Eventos extremos associados ao clima**

Nos últimos anos percebe-se um aumento na frequência e intensidade de muitos eventos climáticos entre eles pode-se destacar: ondas de calor e de frio, tempestades, tsunamis, secas, enchentes, furacões e tornados. Esses eventos extremos têm afetado diferentes partes do planeta produzindo consideráveis perdas econômicas e de vida (Figura 1).

Ao longo dos anos perdas econômicas e humanas em decorrência de eventos climáticos têm sido cada vez mais comuns. Para se ter uma ideia entre os anos de 1980 e 2014, cerca de 850.000 mil pessoas perderam a vida como resultado de condições meteorológicas relacionadas às catástrofes naturais em todo o mundo. Destes, 62% (527.000 mil) viviam com menos de 3 dólares por dia, sendo considerados entre as pessoas mais pobres do mundo de acordo com o Banco Mundial (MUNICH RE, 2015).



**Figura 1.** Número de perdas em bilhões em eventos entre os anos de 1980 e 2015.

Fonte: MUNICH RE, 2015

■ Eventos geofísicos: terremotos, tsunamis, atividade vulcânica;

■ Eventos meteorológicos: tempestade tropical, tempestade extratropical, tempestade conectiva, tempestade local.

■ Eventos hidrológicos: movimentos de massa, enchente.

■ Eventos climatológicos: temperaturas extremas, secas, fogos selvagens.

Na América do Sul no ano de 2015 houve enchentes, tempestades e uma série de terremotos menores e um forte terremoto no Chile, o qual desencadeou ondas de tsunami tirando muitas vidas e perdas econômicas (MUNICH RE, 2015).

Entre os anos de 2010 e 2011 mais de mil pessoas morreram nos desastres em Angra dos Reis e na Região Serrana do Rio de Janeiro. As enchentes e deslizamentos de terras que ocorreram em janeiro de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro, atingindo sete cidades foi considerado um dos maiores eventos de movimentos de massa generalizados do Brasil (DOURADO et al., 2012).

Além disso, alguns tipos de eventos meteorológicos extremos também podem causar, de forma direta, epidemias de doenças infecciosas, principalmente em aglomerações urbanas brasileiras, durante as chuvas de verão; como a leptospirose, por exemplo, que é uma doença de veiculação hídrica disseminada pela água das inundações, em regiões onde a coleta de lixo é precária e os roedores de esgoto são abundantes (CONFALONIERI, 2003).

Um possível aumento no número de eventos extremos climáticos, pode acarretar em maior vulnerabilidade, e, fragilidade das populações e dos ecossistemas a estas mudanças. Desta forma, se o desenvolvimento do Brasil continuar seguindo esse ritmo todos os setores são altamente frágeis às mudanças climáticas. Entretanto, o setor agrícola, devido a sua forte dependência ao clima e a necessidade cada vez maior da produção de alimentos, tem sido objeto de muitos estudos e preocupações em praticamente todo o mundo (SANTOS et al., 2011).

### 3.2 Modelos de Circulação Geral (MCGs)

Os modelos climáticos sejam eles globais ou regionais tem sido utilizados em diferentes partes do mundo. Uma ampla gama desses modelos tem sido empregados principalmente para representar os processos e fenômenos críticos em estudos das mudanças climáticas (CHOU et al., 2014).

Existem inúmeros modelos oriundos de diferentes partes do mundo, as quais apresentam características físicas e químicas intrínsecas de cada modelo. Em geral, os modelos apresentam componentes da atmosfera, oceano, superfície terrestre e gelo. Para avaliar cenários de mudanças climáticas os modelos utilizam as forçantes externas que podem mudar com em escala temporal, as quais incluem os Gases de Efeito Estufa e aerossóis (GEE) (XIN et al., 2013).

No Brasil especificamente tem se destacado o uso de modelos atmosféricos globais do INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e do modelo regional Eta (CHOU et al., 2014). Além disso, foi elaborado juntamente com agências estrangeiras o Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre BESM (*Brazilian Earth System Model*), o qual tem como principal objetivo de gerar cenários de mudanças climáticas com perspectiva brasileira (NOBRE et al., 2013).

Trabalhos abordando a temática de projeções futuras utilizando os modelos CCCma e GFDL foram realizados no Brasil (VALVERDE e MARENGO, 2006; MARENGO, 2007; COLLICCHIO, 2008, GROSSI, et al., 2013).

O modelo CCCma (*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*) possui resolução de grade em superfície de  $3.7^\circ \times 3.7^\circ$  e 10 níveis verticais. A componente oceânica tem uma resolução de  $1.8^\circ \times 1.8^\circ$  e 29 níveis verticais. Esse modelo tem sido utilizado em inúmeros trabalhos entre eles: simulações do clima no último máximo glacial (VETTORETTI et al., 2000)

O modelo CCCma prevê componentes de vento horizontal, temperatura, vapor de água e água condensada. O esquema de turbulência contém uma equação de prognóstico para a energia cinética (ABDELLA e McFARLANE, 1997).

O modelo GFDL (*Geophysical Fluid Dynamic Laboratory*) foi criado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) em 1995 (KURIHARA et al., 1998). O modelo GFDL possui a componente atmosférica com uma resolução de  $2.5^\circ$  longitude e  $2^\circ$  latitude, com 24 níveis verticais. A componente oceânica apresenta uma resolução de  $1^\circ$  em latitude-longitude, passando a ter uma resolução maior ao Norte de  $30^\circ$ . Esta componente apresenta 50 níveis verticais no oceano, e não tem ajuste de fluxos.

O modelo GFDL tem sido amplamente utilizado para estudar uma variedade de fenômenos, tanto na atmosfera como no oceano em especial para projeções de mudanças climáticas (YIN, 2005; LU et al., 2007). Trabalhos utilizando o modelo GFDL estão sendo realizados no Brasil. Na Amazônia Legal para o cenário A2 foi registrado um aquecimento que chega a  $3^\circ \text{C}$  (MARENGO et al., 2007).

Collicchio (2008) ao avaliar o impacto de mudanças climáticas para a cana-de-açúcar no Estado do Tocantins utilizando o modelo GFDL encontrou um aumento da temperatura média anual e redução acentuada de chuvas. De acordo com o autor mesmo no cenário mais otimista ocorreu redução das áreas com possibilidade de cultivo da cultura com irrigação de salvamento.

### **3.4. Geoestatística**

Modelos estatísticos e matemáticos têm sido utilizados para explicar o comportamento de fenômenos que ocorrem na natureza. Dentre as inúmeras técnicas estatísticas empregadas destaca-se a geoestatística (SARTORI et al., 2010).

Krigagem é o nome genérico aplicado pelos geoestatísticos para a família de algoritmos de regressão e mínimos quadrados generalizados (GOOVAERTS, 1977). É um processo no qual estima valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (LANDIM, 2006).

Entre os métodos matemáticos de interpolação mais utilizados na literatura para espacialização dos elementos climáticos na elaboração dos zoneamentos agroclimáticos são a Krigagem e a Co-Krigagem. Esses métodos apresentam melhores eficácias em comparação aos demais interpoladores (MELLO et al., 2003; CASTRO et al., 2010a).

Nas últimas décadas a análise espacial surge como uma das formas de avaliação e compreensão dos fenômenos das mais diversas áreas de conhecimento. A técnica consiste em um estudo quantitativo de fenômenos que são possíveis de serem localizados no espaço, e como característica básica possui sempre uma referência espacial ou geográfica (SANTOS e RAIÁ JÚNIOR, 2006).

A interpolação de dados espaciais consiste em estimar uma variável numérica qualquer, em uma determinada posição geográfica, em que não existe esta informação. Para realizar esta tarefa é necessário que exista na região de interesse pontos amostrais, nos quais a variável foi medida (XAVIER et al., 2010). Nesse sentido, a interpolação pressupõe que, em média, valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (DIODATO e CECCARELLI, 2005).

Ultimamente, a geoestatística vem sendo utilizada para testar o desempenho de modelos de circulação global (MCGs). Delgado et al. (2014) avaliaram o modelo HadRM3 para o estado do Acre, e concluíram que as técnicas geoestatísticas foram satisfatórias. Justino et al. (2013) também utilizaram técnicas de geoestatística para simulações climáticas com o modelo HadRM3 para culturas do milho e da soja.

### 3.5 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertencente ao gênero *Saccharum* é a principal fonte para a produção de açúcar e a cultura mais importante para a produção de energia, bem como seus derivados, o etanol e fibras (MORAIS et al., 2015). Historicamente a cana-de-açúcar é um dos produtos agrícolas que vem sendo cultivado desde a época da colonização do Brasil. Seu cultivo iniciou nos séculos XVI e XVII devido as condições propícias de solo e clima, sendo um marco importante na economia colonial (ARRUDA, 1996). É uma planta perene em sua forma natural, pertencente à família Poaceae, originada de diferentes locais, Nova Guiné, Índia, China, Japão e África (MATSUOKA et al., 2005).

Nos últimos anos, o cultivo da cana de açúcar atingiu novas fronteiras agrícolas sendo que atualmente a mesma ocupa 9.0747 mil hectares (CONAB, 2013). A expansão tem sido impulsionada pelo uso do álcool combustível em substituição à gasolina no Brasil e em outros países, bem como pela expectativa de aumento das exportações de açúcar em função da redução de políticas de proteção adotadas por países da União Européia (MORAES, 2007). O Brasil lidera o ranking mundial na produção de cana-de-açúcar. Essa cultura está presente em mais de 100 países, com destaque para a Índia, China e Tailândia (OECD, 2015).

A cana-de-açúcar é considerada uma *commodity* do comércio primário dos países que a produzem em função de ser altamente produtiva utilizar eficazmente insumos agrícolas (água, fertilizantes, mão de obra). Além disso, pode ser processada localmente em produtos de valor agregado como açúcar, melaço, etanol e energia, todos passíveis de armazenamento e transporte (MOORE et al., 2014). Além disso, a cana-de-açúcar pode ser utilizada in natura, sob a forma de forragem para alimentação animal. Seus resíduos como o bagaço pode ser queimado nas caldeiras e servir como combustível e o vinhoto ser transformado em adubo (CAPUTO et al., 2008).

Recentemente, o zoneamento agroecológico identificou cerca de 1,5 milhão de hectares com aptidão ao cultivo canavieiro, no Rio Grande do Sul (MANZATTO et al., 2010). Uma boa produtividade no cultivo da cana-de-açúcar pode estar relacionada principalmente as práticas de plantio, levando em consideração fatores como: escolha da área e do cultivar,

sanidade da muda, época de plantio, preparo do solo adequado, profundidade de plantio, cobertura dos toletes e distribuição de gemas no sulco (JADOSKI et al., 2010).

Para a safra de 2021 existem estimativas de um aumento na produção de (oleaginosas, grãos brutos, arroz, trigo, cana de açúcar e algodão), juntos essas culturas devem alcançar 69,4 milhões de hectares, 20% a mais do que a área média usada durante os três anos de 2012 à 2014, representando uma taxa de crescimento de cerca de 1,5% ao ano. A expansão desta área é principalmente impulsionada pelo aumento esperado de 37% na terra destinada para a produção de cana de açúcar. Esse aumento é em função principalmente da expansão do etanol (OECD, 2015).

É esperada uma expansão da cana-de-açúcar na região Centro Oeste do Brasil, onde a expansão dessa cultura tem ocorrido de forma expressiva sobre áreas de Cerrado nativo principalmente nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (CASTRO et al., 2010b; PEREIRA, 2007).

Ao trabalhar com o modelo MIROC (*Model for interdisciplinary Research on Climate*) Bombardi e Carvalho (2008) sugerem uma maior probabilidade ocorrência de eventos extremos (secos ou úmidos) na região Centro-Oeste. Marin e Nassif (2013) ressaltam que a fragilidade climática é importante em culturas de ciclos longos, as quais estão mais expostas aos riscos climáticos, como é o caso da cana-de-açúcar. Considerando o quarto relatório do IPCC no que se refere as previsões de temperatura do ar e admitindo que o regime de chuvas fosse mantido Marin et al. (2007) fizeram previsões para o estado de São Paulo para cana-de-açúcar. Os autores concluíram que com aumento de 1,8°C e 2,9°C, áreas do norte e noroeste passariam a apresentar alguma restrição, indicando a possibilidade de migração da cultura para o sul do estado. Porém, admitindo-se o cenário pessimista com elevação de 4,0°C, cerca de 80% da área do estado passaria a ter algum tipo de restrição devido a deficiência hídrica. Resultado similar foi encontrado por Collicchio (2008), o qual sugeriu que não haverá restrição térmica para o cultivo no estado do Tocantins para os modelos GFDL e HadCM<sub>3</sub>. Entretanto, em função das elevadas deficiências hídricas observadas será necessário utilizar irrigação de salvamento, suplementar ou plena, na estação da seca.

Na literatura existem estudos sobre a assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (POOTER e NAVAS, 2003; WAND et al., 1999). Estudos revelam que um aumento na concentração de CO<sub>2</sub> pode acarretar em aumentos nos incrementos de biomassa e altura em plantas (AINSWORTH e LONG, 2005; WAND et al., 1999) e em área foliar (AIDAR et al., 2002). Ainda não foi determinado um padrão geral de respostas para plantas C<sub>4</sub> (AINSWORTH e LONG, 2005). Por possuírem metabolismo fotossintético C<sub>4</sub> alguns trabalhos mencionam que a cana-de-açúcar pode apresentar aumento de crescimento em altas concentrações de CO<sub>2</sub>. De Souza (2007) registrou para essa cultura maior acúmulo de matéria seca em plantas submetidas a um elevado CO<sub>2</sub>, sendo estas, em média 40% maiores do que as controle. Vu et al (2006) ao analisarem a massa fresca dos tecidos, também concluíram que após 15 meses de cultivo, a parte aérea foi 44% superior em plantas cultivadas em níveis elevados de CO<sub>2</sub>.

Considerando que a cana-de-açúcar ocupa uma área extensa e uma importante parcela de economia no Brasil, se faz necessário investigar como essa cultura irá responder as mudanças climáticas e aumento de concentrações de CO<sub>2</sub>.

### **3.6 Zoneamento**

O zoneamento consiste em separar “zonar” de acordo com características específicas de um determinado atributo. Nesse sentido, existem inúmeros tipos de zoneamento de acordo com o que se deseja obter, dentre alguns pode-se citar:

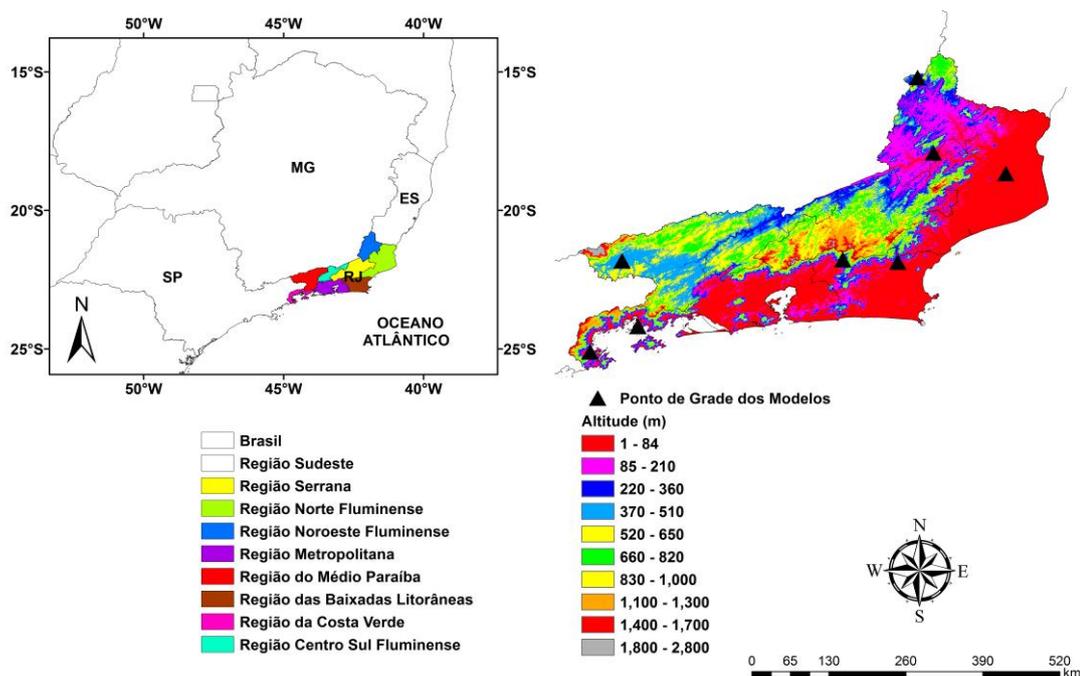
- ✓ Zoneamento ambiental: Pode ser definido como um instrumento estratégico de planejamento, e apresenta como requisito básico a inserção da variável ambiental nos diferentes momentos do processo de tomada de decisão (MONTAÑO et al., 2007). Esse tipo de zoneamento foi elencado como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981, e posteriormente foi substituído para zoneamento ecológico-econômico pelo decreto federal nº 4.297/2002.
- ✓ Zoneamento agroecológico: Esse tipo de zoneamento corresponde à identificação de uma espécie vegetal, caracterização e delineamento cartográfico de unidades ambientais reconhecíveis na paisagem natural, classificadas em função de sua aptidão para o cultivo sustentável de tal espécie (RAMALHO FILHO e MOTTA, 2010).
- ✓ Zoneamento de risco climático: é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos, reduzindo as perdas na produção através do desenvolvimento dos estudos de regionalização dos sinistros climáticos (ROSSETTI, 2001).
- ✓ Zoneamento urbano: define de forma específica as zonas para receber residências, indústrias e comércio, como forma de equilibrar a cidade, respeitando as características de cada lugar, as necessidades dos habitantes e os potenciais de cada cidade (DORNELES, 2010).

Desta forma, salienta-se que zoneamento pode ser definido de acordo com a destinação que a área em específico irá receber, ou seja, a limitação do território poderá ser urbana, industrial, ambiental, comercial, turística, conforme a necessidade de cada localidade em específico.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio de Janeiro, este situa-se na região Sudeste do Brasil, entre as latitudes 20° 45' 54" e 23° 21' 57" S e as longitudes 40° 57' 59" e 44° 53' 18" W, com uma área de 43.696,054 km<sup>2</sup>. Faz divisa com o nordeste com o Espírito Santo, norte e noroeste com Minas Gerais, Sudoeste com São Paulo e com o Oceano Atlântico a sul e leste. Possui extensa faixa litorânea, com aproximadamente 635 km de extensão, banhada pelo Oceano Atlântico. Os pontos dos modelos coincidem com os seguintes municípios: Angra dos Reis, Cachoeiras de Macacu, Cambuci, Campos dos Goytacazes, Casimiro de Abreu, Paraty, Porciúncula e Resende, conforme (Figura 2).



**Figura 2.** Pontos de grade dos modelos no estado do Rio de Janeiro.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atualmente, o estado está dividido geopoliticamente em 92 municípios, inserido em oito regiões de Governo (Região Serrana, Região Norte Fluminense, Região Noroeste Fluminense, Região Metropolitana, Região do Médio Paraíba, Região das Baixadas Litorâneas, Região da Costa Verde e Região Centro Sul Fluminense).

Ocupando a região Sudeste do Brasil, o estado está totalmente inserido na Mata Atlântica, com importantes fragmentos de floresta (RIZZINI, 1997). O Estado do Rio de Janeiro apresenta relevo acidentado, o uso e ocupação do solo são constituídos principalmente por pastagens, ocupação urbana e alguns tipos de agricultura, de acordo com cada região (CRUZ et al., 2009).

Devido ao relevo complexo, a altitude e os fatores continentalidade/maritimidade, o Estado do Rio de Janeiro apresenta diferentes padrões climáticos (ANDRÉ et al., 2008). Outro fator que contribui para a sua diversidade climática é a atuação dos sistemas sinóticos (Sistemas Frontais – SF, Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS), principalmente quando interagem com o relevo (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2014). Além disso, a disposição das Serras do Mar e da Mantiqueira apresenta-se quase perpendicular ao escoamento, provocando aumento da chuva a barlavento das montanhas (ANDRÉ et al., 2008; ZERI et al., 2011).

## 4.2 Aquisição de Dados dos Modelos

No presente trabalho foram utilizados um conjunto de dados diários de chuva e temperatura do ar extraídos das simulações dos modelos globais acoplados oceano-atmosfera CCCma (*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*) e GFDL (*Geophysical Fluid Dynamic Laboratory*), no período de 1961 a 2000 “baseline” considerado cenário passado e simulações futuras de 2046 a 2065, considerado cenário futuro. O cenário escolhido foi o cenário futuro A1B (intermediário), o qual considera (720 ppm). Este cenário considera um equilíbrio entre os combustíveis fósseis e outras fontes de energia, e em função disso, pode ser

considerado como um cenário intermediário entre os cenários de alta emissão A2 (pessimista) e baixa emissão B2 (otimista) (MARENGO, 2007).

Os dados foram cedidos pela equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa - UFV, o qual obteve os dados em cooperação com o IPCC. Devido as diferentes resoluções (Tabela 1) que cada modelo apresenta os mesmos foram interpolados para apresentar a mesma resolução espacial. Desta forma, após a interpolação os dois modelos passaram a ter resolução de  $1^\circ \times 1^\circ$  conforme

**Tabela 1.** Descrição dos modelos de circulação geral da atmosfera utilizados.

Modelo	Centro de Modelagem	Resolução Latitude Longitude
CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	2.8° x 2.8°
GFDL	Geophysical Fluid Dynamic Laboratory	2.5° x 2.5°

As seguintes variáveis meteorológicas foram utilizadas como condições iniciais do modelo: chuva ( $\text{Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e temperatura (K). Portanto, as variáveis utilizadas foram submetidas a transformação dos dados, respeitando o sistema nacional de medidas conforme (Tabela 2).

**Tabela 2.** Conversão dos dados para o sistema nacional de medidas.

Variável	Conversão	Fórmula
Precipitação	( $\text{Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) / (mm.dia-1)	$\text{Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1} \times 86400$
Temperatura	Kelvin (K) / Celsius ( $^\circ\text{C}$ )	$^\circ\text{C} = \text{K} - 273,15$

### 5.2.1 Aquisição dos dados de chuva e temperatura

Optou-se por não utilizar os dados da Normal Climatológica, pois os dados disponíveis de chuva e temperatura disponíveis são para o período (1961-1990), portanto, não é compatível com o período dos dados do presente obtidos através dos modelos (1961-2000), além disso existem somente dados de chuva e temperatura para dois pontos de grade (Angra dos Reis e Resende).

Dessa forma, os dados de chuva e temperatura foram obtidos através do *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOOA) para o período (1961-2000), disponíveis no site <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>. Os dados foram baixados para cada ponto de grade inserindo a latitude e longitude e a variável de interesse. Os dados disponíveis no site são uma reanálise e envolvem dados de superfície e satélites (KALNAY et al., 1996).

## 4.3 Análise dos dados

### 4.3.1 Estatística descritiva

Utilizou-se a temperatura média do ar e a chuva extraídas dos Modelos para o clima presente e, os dados disponibilizados pela NOAA. As médias mensais e anuais do período de

1961 a 2000 da grade dos modelos e das estações meteorológicas convencionais (EMCs) foram georreferenciadas em função da latitude e longitude (°) com auxílio do software ArcGIS 10.2, em seguida foram selecionados as EMCs e os pontos de grade de cada modelo para compor a área amostral (Tabela 3). A área amostral foi delimitada de forma a coincidir com o maior número das EMCs.

**Tabela 3.** Aquisição de pontos de grade do modelo, estado do Rio de Janeiro.

<b>Municípios</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
Angra dos Reis	-23.01	-44.32	6.00
Cachoeiras de Macacu	-22.46	-42.65	57.00
Cambuci	-21.58	-41.91	35.00
Campos dos Goytacazes	-21.75	-41.32	13.00
Casimiro de Abreu	-22.48	-42.20	17.00
Paraty	-23.22	-44.71	5.00
Porciuncula	-20.96	-42.04	190.00
Resende	-22.47	-44.45	407.00

Posteriormente, foram utilizados parâmetros estatísticos para efeito de comparação entre os valores anuais obtidos pelo NOAA e estimados para cada modelo conforme metodologia empregada por Santana et al. (2015). O desempenho dos modelos foi verificado por meio das seguintes medidas estatísticas: coeficiente de determinação, e correlação linear simples ( $r^2$  e  $r$ ), erro padrão da estimativa (EPE), o erro absoluto médio (MAE, siga em inglês) e o índice de concordância (d) de Willmott (1981). As medidas estatísticas são dadas pelas seguintes equações:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

Em que, o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) o qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total.

$$r = \frac{\sum O_i P_i}{\sqrt{\sum O_i^2} \sqrt{\sum P_i^2}} \quad (2)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

O índice de concordância de Willmott, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985), varia de zero a um, sendo zero, nenhuma concordância e um, concordância perfeita. O índice de concordância de Willmott é dado por:

$$d = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (4)$$

Em que,  $O_i$  valor observado na  $i$ -ésima observação, média dos valores observados na  $i$ -ésima observação e  $n$  o número de amostras e  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $P_i$  é o valor estimado na  $i$ -ésima observação.

#### 4.3.2 Testes estatísticos

As variáveis temperatura média e chuva foram submetidos a análise de normalidade (Teste de Shapiro Wilk, 5%), e homogeneidade da variância dos erros (Teste de Levene, 5%). Para as variáveis que atenderam os pressupostos estatísticos (chuva) foi utilizado o teste Tukey (5%). Quando não atendidos os pressupostos estatísticos (temperatura) foi utilizado o teste de Kruskal Wallis (5%). Os testes estatísticos para comparar a diferença entre as médias foram realizados no programa R versão 3.2 (TEAM, 2016).

#### 4.4 Análise Espacial dos modelos

Utilizou-se o método de interpolação Krigagem Ordinária (KO), no software ArcGIS versão 10.2 para as variáveis temperatura e chuva. Além dos oito pontos do modelo para o Estado do Rio de Janeiro foram utilizadas informações das variáveis chuva e temperatura através de dados do INMET disponíveis (Apêndice A), a fim de melhorar a interpolação dos dados e do efeito de borda. Esse procedimento foi adotado para avaliação do desempenho dos modelos somente para dados do presente, visto que não existem dados do futuro disponíveis para interpolar.

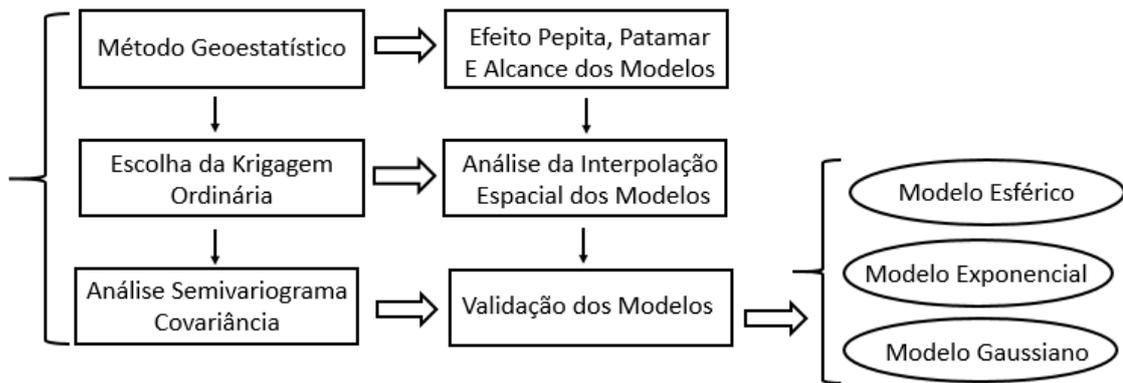
O método de interpolação pode fornecer estimativas melhores com relação aos termos de interpolação, isso está associado a duas premissas básicas: não tendencionalidade do estimador e variância mínima das estimativas (THOMPSON, 1992; VIEIRA, 2000).

Os valores da cota  $z$  são estimados através de coordenadas espaciais  $(x_j, y_j)$  não observadas, sem a necessidade de se conhecer a média estacionária  $(\mu)$ , a partir de uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. O estimador de KO é dado pela equação 6, conforme Felgueiras (2001):

$$z(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^{n(j)} \lambda_i(x_j, y_j) * z(x_i, y_i) \quad (5)$$

Em que,  $z$  é a cota na posição  $(x_j, y_j)$  e  $\lambda_i(x_j, y_j)$ , o ponderador da KO, para a cota especificada.

O método de krigagem tem a vantagem de otimizar a variável interpolada e tem sido utilizado em trabalhos de mudanças climáticas (JUSTINO et al., 2013; DELGADO et al., 2014). As etapas realizadas durante avaliação da geoestatística realizadas no ArcGIS 10.2 podem ser observadas na (Figura 3). Adotou-se a ferramenta de análise espacial *Geostatistical Analyst* do ArcGIS 10.2 para os seguintes modelos transitivos matemáticos (Esférico, Exponencial, Gaussiano).



**Figura 3.** Fluxograma de todas etapas desenvolvidas na validação dos modelos.

#### 4.4.1 Modelo Esférico

O modelo esférico é um dos mais utilizado e é baseado na equação normalizada abaixo:

$$S_{ph}(|h|) = \begin{cases} 0 & ,|h|=0 \\ 1.5\left(\frac{|h|}{a}\right) - 0.5\left(\frac{|h|}{a}\right)^3 & ,0 < |h| \leq a \\ 1 & ,|h| > a \end{cases} \quad (6)$$

#### 4.4.2 Modelo Exponencial

Esse modelo atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro “a” é definido como o alcance prático e “h” distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). A equação normalizada é dada por:

$$Exp(|h|) = \begin{cases} 0 & ,|h|=0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) & ,|h| \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

#### 4.4.3 Modelo Gaussiano

É um modelo utilizado para modelar fenômenos extremamente contínuos, sendo similar ao modelo exponencial. Outra característica é seu comportamento parabólico próximo à origem (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), sendo dado por:

$$\text{Gau}(|h|) = \begin{cases} 0 & , |h|=0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) & , |h| \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

## 4.5 Análise dos Dados

### 4.5.1 Grau de dependência espacial dos modelos

Os valores foram então espacializados utilizando o módulo *Geostatistical Analyst* do software ArcGIS, versão 10.2, da ESRI. Para análise e escolha do melhor modelo adotou-se a metodologia proposta por Cambardella et al. (1994), ou seja, o modelo que melhor se ajusta ao semivariograma experimental, sendo utilizado o Grau de Dependência Espacial (GDE, %) e os erros atribuídos a cada modelo. O GDE é dado pela seguinte equação:

$$\text{GDE} = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad (9)$$

Em que,  $C_0$  = intercepto ou efeito pepita e  $C_0 + C$  = patamar

O critério que permite classificar o grau de dependência espacial são os seguintes: dependência espacial forte ( $\text{GDE} \leq 25\%$ ), dependência espacial moderada ( $25\% < \text{GDE} \leq 75\%$ ) e dependência espacial fraca ( $\text{GDE} > 75\%$ ) (CAMBARDELLA et al., 1994). Dessa forma, o ajuste dos semivariogramas possibilita definir os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), do alcance (A) e do patamar ( $C + C_0$ ).

## 4.6 Uso e Ocupação do Solo

Para realizar o uso e cobertura do solo e os parâmetros físicos da vegetação utilizaram-se os produtos do sensor MODIS. O pré-processamento dos produtos MODIS foi realizado no MRT (*MODIS Reprojection Tool*) com o objetivo de transformá-los do formato HDF (*Hierarchical Data Format*) para GEOTIFF. O MRT também foi utilizado para alterar o sistema de projeção Sinusoidal de UTM (*Universal Transverse Mercator*) para WGS 84 (*World Geodetic System*). O algoritmo que processa o produto MCD12Q1 (V005 Global 500 m *Land Cover Type Product*) é a árvore de decisão supervisionada. A resolução espacial deste produto é de 500 m (STRAHLER, 1999; ATAÍDE, 2012; LP DAAC, 2016) e o ano escolhido foi o mais recente de 2013. Ele contém cinco tipos de classificação, que descrevem as propriedades da cobertura da superfície derivadas de observações do sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA durante um ano. O primeiro esquema de cobertura de

superfície identifica dezessete classes definidas pelo Programa Internacional Biosfera - Geosfera (*International Geosphere-Biosphere Programme* - IGBP), que inclui onze classes de vegetação natural, três classes de lotes urbanizados e três classes de solo não vegetado, conforme (Tabela 4).

**Tabela 4.** Classificação do Uso e Cobertura da Terra (Tipo 1) oriunda do produto MCD12Q1.

<b>Classificação</b>	<b>IGBP (Tipo 1)</b>
0	Água
1	Floresta
2	Floresta Ombrófila
3	Floresta Decídua
4	Floresta Ombrófila Decídua
5	Floresta Mista
6	Mata Densa
7	Clareira
8	Savanas Arbóreas
9	Savanas
10	Gramado
11	Pântano
12	Cultivo
13	Urbano com construções
14	Mosaico de cultivo e vegetação natural
15	Neve e gelo
16	Solo exposto
254	Sem classificação
255	Valor nulo

Esse tipo de classificação inclui os seguintes classificadores, derivados de um método de classificação conhecido como árvore de decisão supervisionada:

- Tipo 1: Esquema de classificação de vegetação global do IGBP;
- Tipo 2: Esquema adotado pela Universidade de Maryland (UMD);
- Tipo 3: Esquema derivado da razão entre Índice de Área Foliar (IAF) e Radiação fotossinteticamente ativa (FPAR) derivado do sensor MODIS.

Utilizou-se a classificação do Tipo 1 porque é a classificação mais completa e de interesse neste trabalho (ATAÍDE, 2012). O software ArcGIS versão 10.2 foi utilizado para a organização do banco de dados e confecção dos mapas temáticos. Adicionou-se os rasters das imagens do MODIS, do Estado do Rio de Janeiro e das variáveis meteorológicas dos modelos CCCma e GFDL foi elaborado o recorte das imagens do MODIS, a fim de representar o estado. Por fim, fez-se a junção do mapa da temperatura do ar e chuva sobrepostos ao produto de uso e cobertura do solo MCD12Q1.

#### **4.7 Zoneamento da Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é uma gramínea semi-perene, é altamente dependente de condições físicas e químicas dos solos, sendo que nos dois primeiros anos de implantação da cultura

relaciona-se a características dos horizontes superficiais do solo e do tipo de manejo empregado (calagem e adubações) (MANZATTO et al., 2009).

Os índices utilizados para delimitar as regiões de aptidão da cana-de-açúcar foi definido por meio de revisão de literatura, considerando as características e exigências da espécie.

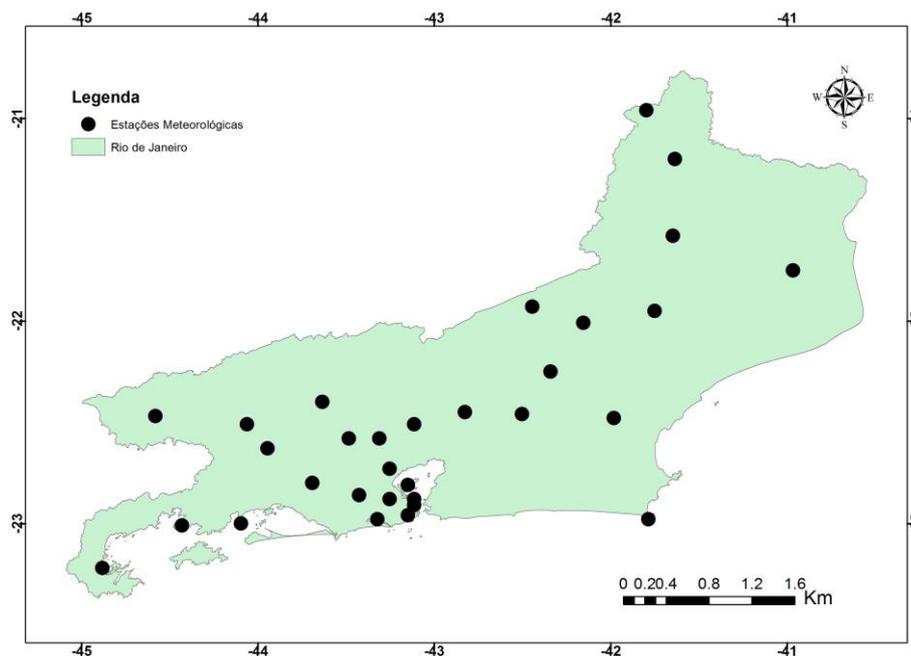
Para o zoneamento foram utilizados os dados de temperatura e chuva somente do modelo CCCma (cenário passado e futuro) e o melhor modelo (exponencial) definido anteriormente na geoestatística. O modelo GFDL não foi considerado devido a inconsciência da interpolação dos dados e o GDE com forte dependência espacial e efeito pepita puro.

#### 4.7.1 Balanço hídrico

O cálculo de balanço hídrico procura mensurar os diferentes estágios do ciclo hidrológico, por meio das variações de precipitação, temperatura e capacidade de armazenamento de água no solo. Thornthwaite e Matther (1955) desenvolveram o balanço hídrico sem a necessidade de medições diretas das condições do solo (PEREIRA, 2005).

A determinação da evapotranspiração foi realizada através do método de Thornthwaite e Matther (1955), que estima a evapotranspiração potencial (ETp). O método utiliza como parâmetro de entrada a temperatura e chuva média mensal dos 12 meses do ano a fim de calcular a deficiência hídrica.

Primeiramente calculou-se o balanço hídrico para os oito pontos de grade do modelo CCCma (Apêndice B). A fim de melhorar a interpolação dos dados além dos oito pontos de grade do modelo também foram utilizados dados de chuva e temperatura de 23 estações do Rio de Janeiro provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia INMET (Figura 4).



**Figura 4.** Distribuição das estações meteorológicas do estado do Rio de Janeiro.

Em relação à exigência térmica da cultura da cana-de-açúcar utilizou-se os trabalhos de Doorenbos e Kassam (1994), Magalhães (1987), Barbieri e Villa Nova (1977) para delimitar a temperatura máxima e mínima requerida pela cultura no Estado conforme a

(Tabela 5). Desta forma, a partir do mapa de temperatura média e deficiência hídrica anual foi possível definir as áreas aptas ao cultivo da cultura.

**Tabela 5.** Classificação das zonas de aptidão de acordo com temperatura da cana-de-açúcar.

Temperatura °C	Condição
10 à 20	Inapta
22 à 39	Apta
Acima de 40	Inapta

#### 4.7.2 Altimetria

Para o presente trabalho a informação de altitude foi gerada com base em imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Os dados foram obtidos através do site <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Para o estado do Rio de Janeiro selecionou-se as cenas W42 S18, W42 S22, W46 S18 e W46 S22. Cada cena representa uma área de 6 graus de longitude e 4 graus de latitude e estão disponíveis em formato raster apresentando resolução de 90 metros. Em função disso, através do uso do ArcGIS 10.2 as cenas foram unidas e recortadas, agrupando as diferentes cenas em uma única camada de informação para o Estado.

A cana-de-açúcar ocorre preferencialmente em altitudes que variam do nível do mar até 1.000 m (MAGALHÃES, 1987). Além disso, o sistema de colheita é em sua grande maioria mecanizado evitando-se áreas declivosas. Desta forma, para o zoneamento da variável altimetria foram consideradas áreas aptas até 1200 m para o estado do Rio de Janeiro.

#### 4.7.3 Vegetação

Utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo do INEA (Instituto Estadual do Ambiente) sendo consideradas as seguintes áreas como aptas e inaptas a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro (Tabela 6). A classe correspondente a afloramento rochoso não foi considerada apta ao cultivo de cana-de-açúcar devido às características intrínsecas desses ambientes. Além disso, de acordo com Meirelles et al. (1999) esses ambientes apresentam espécies endêmicas, além de serem um ecossistema frágil. Os ambientes classificados como: dunas, florestas, mangue, restinga, salinas e vegetação secundária em estágio inicial, além de áreas úmidas não foram consideradas devido à importância ecológica desses ambientes, fragilidade de alguns ecossistemas como é o caso da restinga e por infringir o Código Florestal vigente (Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012). Desta forma, nesses ambientes existe restrição legal não sendo permitido o cultivo da cana-de-açúcar e, portanto, essas áreas não foram consideradas no zoneamento.

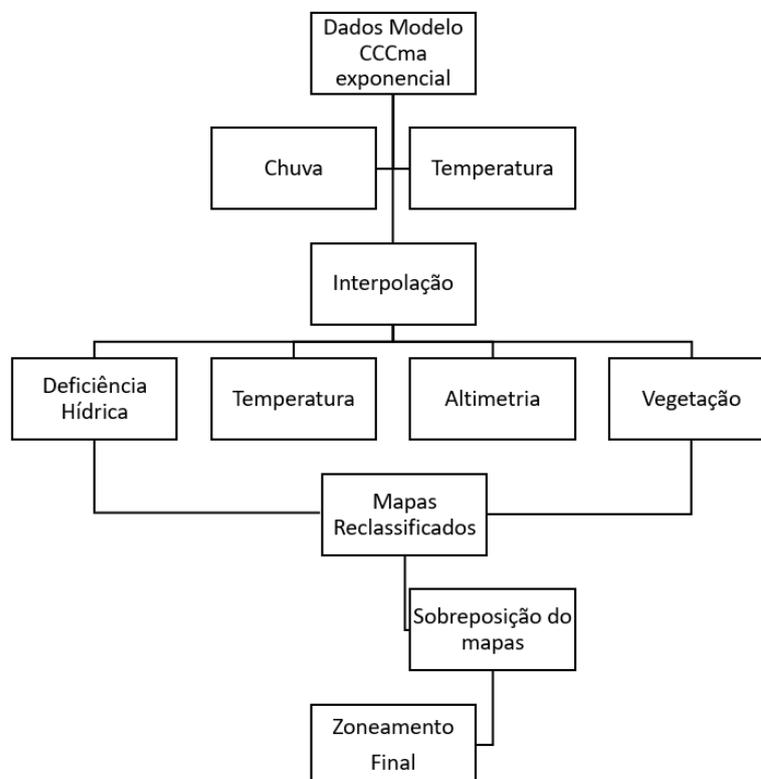
**Tabela 6.** Uso e ocupação do solo no estado do Rio de Janeiro.

Uso e ocupação	Condição
Afloramento Rochoso	Inapto
Agricultura	Apto
Agricultura (café)	Apto
Agricultura (cana)	Apto
Agricultura (citros-coco)	Apto
Comunidade Relíquia	Inapto
Dunas	Inapto
Floresta	Inapto

Uso e ocupação	Condição
Mangue	Inapto
Ocupação Urbana de Alta Densidade	Inapto
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	Inapto
Pastagem	Apto
Pastagem em Várzea	Inapto
Reflorestamento	Inapto
Restinga	Inapto
Salinas	Inapto
Solo Exposto	Apto
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	Inapto
Água	Inapto
Áreas úmidas	Inapto

#### 4.7.4 Espacialização do zoneamento

Através da sobreposição das camadas de informação referentes à: deficiência hídrica, altitude, temperatura e vegetação foi realizado o zoneamento, o qual consiste na sobreposição de todas as camadas. O procedimento gera zonas homogêneas para as camadas de informação sobreposta. A espacialização do zoneamento foi realizado utilizando o ArcGIS 10.2 utilizando a opção: *Spatial Analyst – Reclassify – Raster Calculator*. O fluxograma apresentado na (Figura 5) mostra um esquema das etapas envolvidas para a obtenção dos mapas finais do zoneamento para a cultura da cana-de-açúcar.



**Figura 5.** Fluxograma mostrando as etapas necessárias para a obtenção dos mapas finais de zoneamento para a cultura da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise Descritiva

#### 5.1.1 Modelo CCCma e GFDL

Os dados referentes a chuva (Tabela 7) e temperatura (Tabela 8) mostram as medidas descritivas entre elas: médias, erro padrão, desvio padrão, variância, curtose, assimetria e valores máximos e mínimos para cada município avaliado para o modelo CCCma. Observa-se que a média da chuva se mantém constante em praticamente todos os pontos de grade do modelo variando de uma mínima de 1118,02 mm (Porciuncula) à 1447,47 mm (Paraty). A topografia do estado exerce uma influência no regime de chuvas, sendo que os pontos de grade referentes a Paraty e Angra dos Reis por estarem próximos do nível do mar apresentam uma quantidade maior de chuva. Por outro lado, nas regiões Norte e Noroeste há uma grande baixada a sotavento da Serra do Mar, o que segundo André et al. (2008) favorece a compressão na baixa troposfera e das penetrações de escoamento do Sudoeste, sendo estes os principais mecanismos de formação de chuva na região e, portanto, justificando o mecanismo de baixo regime de chuvas nessas regiões.

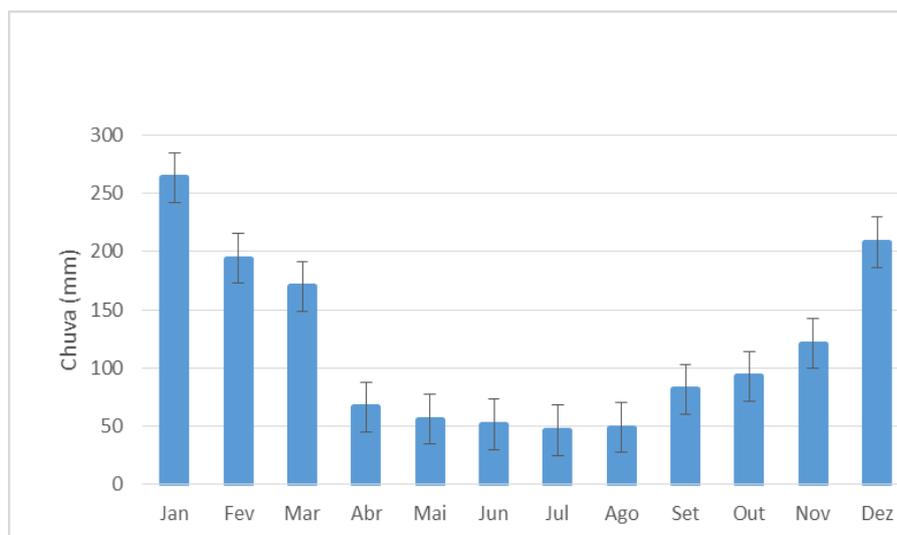
**Tabela 7.** Medidas descritivas de chuva (mm) do modelo CCCma no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	1400,53	1312,25	1195,33	1218,06	1247,26	1447,47	1118,02	1404,28
Erro padrão	32,11	30,22	34,02	30,59	31,75	33,90	34,44	30,60
Desvio padrão	203,11	191,13	215,15	193,48	200,82	214,39	217,84	193,54
Variância	41254,22	36528,90	46290,46	37434,79	40326,72	45961,31	47454,50	37459,38
Curtose	0,03	0,25	-0,53	-0,62	-0,23	-0,35	-0,56	0,41
Assimetria	0,05	0,27	0,23	0,17	0,26	0,06	0,21	0,32
Mínimo	938,82	920,16	815,36	863,35	876,01	981,07	696,73	994,64
Máximo	1857,43	1820,08	1659,66	1599,95	1713,24	1904,43	1554,51	1940,28

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

Os valores registrados de chuva estão próximos aos mencionados por Araújo et al. (2009), o qual encontraram uma média de 1200 mm.ano<sup>-1</sup> para o estado do Rio de Janeiro. Pode-se notar que a variância foi extremamente alta em todos os municípios analisados, indicando uma alta variabilidade nos dados, ou seja, alguns meses apresentam baixa pluviosidade, enquanto outros apresentam alta.

As altas variabilidades dos atributos conforme mencionaram Morettin e Tolo (1987) podem estar relacionadas com variações sazonais e podem interferir nos resultados quando se compara médias. Nesse sentido, quando considera-se a média climatológica de 1961 à 2000 para o modelo CCCma o comportamento de regime de chuvas ao longo do ano é praticamente o mesmo para todos os pontos de grade avaliados. Desta forma, durante os meses de abril à setembro (seco) e de outubro a março (chuvoso) pode-se constatar menores e maiores quantidades de chuvas, respectivamente (Figura 6).



**Figura 6.** Regime médio de chuva registrados pelo modelo CCCma durante os anos de 1961-2000 para Angra dos Reis - RJ.

O coeficiente de curtose é importante para determinar o grau de achatamento de uma distribuição de frequência de dados em relação a uma distribuição padrão (MOUSINHO et al., 2006). O coeficiente de assimetria (K) caracteriza o quanto a distribuição dos dados se afasta da condição simétrica. O coeficiente de assimetria igual a zero indica distribuição simétrica, menor que zero indica distribuição assimétrica à esquerda e maior que zero a distribuição é assimétrica à direita. Os coeficientes de assimetria variaram de 0,05 à 0,32. Nesse caso, a forma de distribuição dos dados é platicúrtica ( $K < 3$ , curva mais achatada).

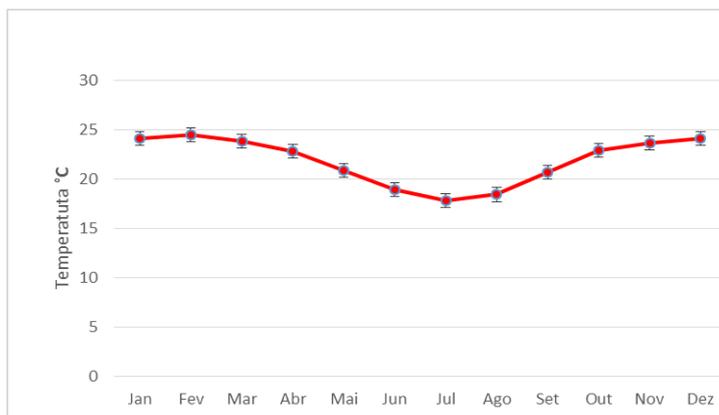
Pode-se observar que a temperatura para o modelo CCCma variou de 21,02 °C (Paraty) a 22,99 °C (Campos dos Goytacazes) (Tabela 8). Entre as variáveis climáticas a temperatura do ar é, de acordo com Medeiros et al. (2005) é aquela que interfere diretamente na fisiologia de plantas e animais, sendo o conhecimento prévio desta variável atmosférica essencial para o planejamento agrícola e estudos de aptidão de cultivos e cultivares a diferentes regiões.

**Tabela 8.** Medidas descritivas de temperatura média do ar (C°) do modelo CCCma no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	21,88	22,17	22,38	22,99	22,94	21,02	22,16	21,32
Erro padrão	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	0,08	0,10	0,08
Desvio padrão	0,45	0,45	0,54	0,42	0,43	0,53	0,61	0,48
Variância	0,20	0,20	0,30	0,18	0,18	0,28	0,37	0,23
Curtose	-0,99	-0,79	-0,35	-0,33	-0,50	-0,97	-0,26	-0,95
Assimetria	-0,35	-0,22	0,16	-0,06	-0,10	-0,25	0,19	-0,29
Mínimo	21,01	21,21	21,28	22,06	22,01	20,06	20,96	20,33
Máximo	22,54	22,98	23,57	23,88	23,80	21,98	23,53	22,12

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

As médias de temperatura apresentaram comportamento semelhante para todos os pontos de grade, apresentaram pouca oscilação durante o ano se comparada a chuva (Figura 7). Desta maneira, para todos os municípios avaliados o erro padrão e a variância foram baixos em relação aos erros registrados para a variável chuva. Isso se deve ao fato de que a essa variável não apresenta grandes sazonalidades no decorrer do ano se mantendo de certa forma constante se comparada com a chuva.



**Figura 7.** Temperatura média registrada pelo modelo CCCma durante os anos de 1961-2000 para Angra dos Reis- RJ.

Os valores de assimetria foram negativos (Tabela 8), com exceção do ponto de grade do modelo referente à Porciuncula, indicando uma distribuição assimétrica à esquerda, ou seja, uma tendência aos dados de não apresentarem distribuição normal.

Para o modelo GFDL os dados referentes as medidas descritivas de chuva e temperatura podem ser observados nas (Tabela 9 e 10), respectivamente. Pode-se verificar que os valores referentes a chuva foram inferiores em relação ao modelo CCCma. Entretanto, a temperatura se manteve constante nos dois modelos. A chuva é a variável climática que apresenta a maior variabilidade no tempo e no espaço (TAMMETS e JAAGUS, 2012). Para os pontos de grade referentes à: Paraty, Porciuncula e Resende as assimetrias foram negativas (inferiores a zero). Ou seja, a maior concentração de dados (chuva) está nos valores mais altos nesses municípios. Nesse caso, a cauda mais longa da distribuição fica à esquerda.

As medidas de temperatura para o modelo GFDL apresentaram pouca oscilação variando entre 20,62 °C à 23,47 °C (Tabela 10). O erro padrão, variância e desvio padrão também foram menores em relação a chuva, ou seja, os dois modelos seguiram a mesma tendência em relação aos erros. Os coeficientes de assimetria variaram de 0,11 à 0,71, ou seja, a forma de distribuição dos dados é platicúrtica ( $K < 3$ , curva mais achatada).

**Tabela 9.** Medidas descritivas de chuva (mm) do modelo GFDL no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	891,69	833,29	855,50	846,25	808,44	1013,72	816,24	804,82
Erro padrão	40,51	41,01	42,87	42,32	39,92	40,74	41,58	34,17
Desvio padrão	256,20	259,37	271,13	267,63	252,45	257,64	262,98	216,08
Variância	65636,30	67272,40	73511,38	71625,24	63730,39	66378,72	69156,35	46691,69
Curtose	0,38	0,58	0,13	0,03	0,79	0,59	-0,30	0,95
Assimetria	0,07	0,07	0,02	0,18	0,27	-0,25	-0,03	-0,21

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Mínimo	260,42	207,97	243,02	301,80	245,40	314,57	257,99	194,50
Máximo	1462,06	1426,81	1469,05	1481,17	1432,25	1581,92	1383,67	1327,45

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

**Tabela 10.** Medidas descritivas da temperatura (C°) do modelo GFDL no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	23,47	22,81	21,65	21,85	22,55	22,77	20,62	22,62
Erro padrão	0,14	0,14	0,13	0,10	0,11	0,15	0,13	0,16
Desvio padrão	0,90	0,88	0,82	0,66	0,68	0,97	0,85	1,02
Variância	0,81	0,77	0,68	0,43	0,47	0,95	0,73	1,05
Curtose	0,21	-0,37	-0,55	-0,76	-0,22	0,07	-0,18	0,29
Assimetria	0,55	0,22	0,24	0,11	0,40	0,64	0,47	0,71
Mínimo	21,68	21,08	20,19	20,64	21,26	20,92	19,07	20,82
Máximo	25,82	24,93	23,59	23,25	24,23	25,17	22,77	25,44

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

### 5.1.2 NOAA

Os resultados referentes as medidas descritivas para os dados obtidos através do NOAA encontram-se na (Tabela 11 e 12). A chuva variou de 947,74 mm à 1689,77 mm. Observam-se altos valores relacionados ao erro padrão e a variância. Esses valores se comportam de maneira semelhante aos dois modelos (CCCma e GFDL).

De modo geral, maiores valores de temperatura podem variar em função da altitude de um determinado local. O estado do Rio de Janeiro possui uma oscilação grande em relação a altitude, com ênfase para maiores altitudes na região serrana conforme Figura 3. De acordo com Martins (1996) a temperatura do ar é influenciada pela altitude e, normalmente, decresce com a elevação da altitude numa proporção de aproximadamente  $1\text{ }^{\circ}\text{C}.100\text{m}^{-1}$ .

No estado do Rio de Janeiro são registradas temperaturas mais baixas em áreas de altitude elevada na Serra dos Órgãos, bem como o maciço do Itatiaia (Serra da Mantiqueira), podendo atingir valores inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  no inverno (RODRIGUES e MELLO, 2012).

No estado do Paraná Fritzsos et al. (2008) também verificaram menores temperaturas em altitudes mais elevadas, localizadas na porção centro sul do estado. A região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a qual compreende as maiores altitudes, também é aquela que apresenta menores temperaturas (BOTH et al., 2010). Para o estado de São Paulo Rodríguez-Lado et al. (2007) concluíram que a temperatura do ar é negativamente correlacionada com aumentos de altitudes. Em altitudes superiores a 1500 metros na serra da Mantiqueira tanto em São Paulo (Campos do Jordão) ou no Rio de Janeiro (Itatiaia) ocorrem no inverno temperaturas mínimas abaixo de zero (SANT'ANA NETO, 2005).

A relação direta da altitude com a temperatura é importante em regiões tropicais e subtropicais, onde uma diferença altitudinal de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no clima, no solo, na vegetação natural e, conseqüentemente, na adaptação das espécies animais e vegetais e na aptidão para vários sistemas de uso da terra (FRITZONS et al., 2008). A temperatura exerce uma grande influência sobre a vegetação,

sendo determinante na diferenciação florística ao longo de gradientes altitudinais (RICHTER, 2000).

**Tabela 11.** Medidas descritivas de chuva (mm) dados obtidos através do NOAA no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	947,74	1689,77	1127,09	1127,09	1689,77	947,74	1127,09	1675,07
Erro padrão	31,11	40,41	30,28	30,28	40,41	31,11	30,28	34,94
Desvio padrão	196,78	255,56	191,52	191,52	255,56	196,78	191,52	220,99
Variância	38722,05	65308,92	36678,82	36678,82	65308,92	38722,05	36678,82	48835,11
Curtose	-0,10	-0,12	-0,79	-0,79	-0,12	-0,10	-0,79	-0,02
Assimetria	0,64	-0,49	-0,05	-0,05	-0,49	0,64	-0,05	-0,56
Mínimo	645,27	1048,94	704,00	704,00	1048,94	645,27	704,00	1109,73
Máximo	1476,29	2129,65	1461,53	1461,53	2129,65	1476,29	1461,53	2067,90

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

**Tabela 12.** Medidas descritivas de temperatura (°C) dados obtidos através do NOAA no período de 1961 à 2000.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Média	19,62	21,67	21,67	21,67	21,67	19,62	20,38	19,62
Erro padrão	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Desvio padrão	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38
Variância	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Curtose	-0,44	1,35	1,35	1,35	1,35	-0,44	1,52	-0,44
Assimetria	-0,42	-0,74	-0,74	-0,74	-0,74	-0,42	-0,26	-0,42
Mínimo	18,82	20,52	20,52	20,52	20,52	18,82	19,22	18,82
Máximo	20,26	22,31	22,31	22,31	22,31	20,26	21,26	20,26

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

Os pontos de grade do modelo correspondentes a região Sul (Angra dos Reis e Paraty) apresentaram maiores valores de precipitação para os modelos avaliados. Nessa região encontram-se uma das maiores porções de mata contínua áreas de Mata Atlântica do estado (ROCHA et al., 2003). Pode-se dizer que configuração do relevo da Serra do Mar (Figura 7) é um dos fatores mais importante na caracterização do clima da região. Dessa forma, sob a influência mais direta do oceano, a região Sul recebe maiores quantidades de chuva (mm.ano<sup>-1</sup>), enquanto maiores distâncias do oceano como por exemplo a região Noroeste e Norte Fluminense (Porciuncula, Cambuci e Campos dos Goytacazes) o clima se torna sazonal, recebendo menores quantidades de chuva.

Dessa maneira, pode-se dizer que a topografia do estado exerce uma significativa influência na chuva. Como pode-se observar na (Figura 2) (vide material e métodos) existem áreas extensas próximas ao nível do mar, a exemplo da baixada litorânea e a região Norte, e áreas montanhosas com altitudes superiores à 1500 metros, a exemplo do Parque Nacional do Itatiaia.

A presença de serras do Mar no estado do Rio de Janeiro é outro fator que exerce um importante papel na distribuição espacial das chuvas, gerando “ilhas” úmidas nas vertentes leste e sudeste e, “ilhas” secas nas vertentes oeste e norte (SANT’ANA NETO, 2005).

Ao longo dessas zonas climáticas observa-se uma diferenciação das formações florestais. Na costa do estado do Rio de Janeiro, dentro do domínio Atlântico ocorre a Mata dos tabuleiros, sendo essa denominação dada em função da topografia apresentar-se plana em grandes extensões, não atingindo altitudes superiores a 200 m (RIZZINI, 1979). Essa mata diferencia-se das formações de Mata Atlântica lato senso por ocuparem uma extensa área de planície ou tabuleiro costeiro, de origem terciária, com suas espécies distribuídas ao longo de um gradiente climático (sentido litoral-interior). Segundo Ruschi (1950) as matas de tabuleiros apresentam pouca vegetação rasteira e ocorrência de espécies epífitas, além de plantas esclerofilas (RIZZINI, 1979). Por sua vez, na região Norte do estado do Rio de Janeiro ocorre outro tipo de formação sendo a Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (IBGE, 2012). Dessa maneira, a diferença entre a altitude nos pontos de grade do modelo, bem como as diferenças das formações florestais podem estar influenciando de maneira expressiva o regime de chuva e temperatura no estado.

## **5.2 Teste de Médias**

Através do teste Tukey foi possível encontrar diferenças significativas entre os modelos (Tabela 13). Os municípios de Cambuci, Campos dos Goytacazes e Porciuncula foram aqueles que apresentaram os valores mais próximos aos dados da NOAA. Portanto, o modelo CCCma foi o melhor para esses municípios. Para os municípios de Cachoeiras de Macacu e Resende apesar de não terem apresentando diferenças significativas, observa-se que os dados do modelo CCCma foram próximos aos obtidos pelo NOAA, sendo que o modelo GFDL subestimou os dados de chuva nesses municípios.

Através do teste de Kruskal Wallis pode-se constatar diferença estatística dos modelos para os dados de temperatura (Tabela 14). Os valores de temperatura observados para os municípios de Cambuci, Campos de Goytacazes, Casimiro de Abreu e Porciuncula aproximaram mais dos valores obtidos pelo NOAA quando estimado com o modelo CCCma. Quanto ao modelo GFDL os valores que mais aproximaram dos obtidos pelo NOAA foram os observados para os municípios Angra dos Reis, Cachoeira de Macacu, Paraty e Resende.

**Tabela 13.** Teste de média chuva (mm) pelo teste Tukey, 5% para o cenário passado (1961-2000).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
CCCma	1400,53a	1312,25b	1195,33a	1218,06a	1247,26b	1447,47a	1118,02a	1404,28b
GFDL	891,69b	833,29c	855,5b	846,25b	808,44c	1013,72b	816,24b	804,82c
NOOA	947,74b	1689,77a	1127,09a	1127,09a	1689,77 <sup>a</sup>	947,74b	1127,09a	1675,07 <sup>a</sup>

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 14.** Temperatura (°C) pelo teste Kruskal Wallis, 5% para o cenário passado (1961-2000).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
CCCma	21,88b	22,17b	22,38a	22,99a	22,94a	21,02b	22,16a	21,32b
GFDL	23,47a	22,81a	21,65b	21,85b	22,55b	22,77a	20,62b	22,62a
NOOA	19,62c	21,67c	21,67b	21,67b	21,67c	19,62c	20,38b	19,62c

Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade de erro.

### 5.3 Coeficiente de WILLMOTT

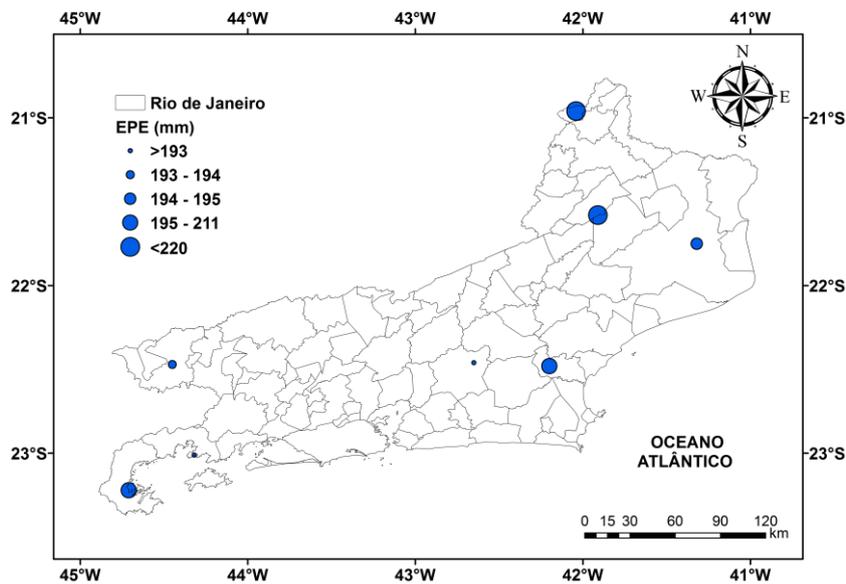
Através da (Tabela 15) observa-se que o coeficiente de determinação foi extremamente baixo, indicando que os modelos explicaram pouco os dados coletados. Os valores dos erros (RMSE e MAE) foram elevados para a variável chuva, isso já era esperado, pois este tipo de dado tem grande sazonalidade no decorrer do ano e implica em uma acentuada dispersão dos dados.

Para a variável chuva, o erro padrão da estimativa apresentou valores altos para os dois modelos estudados (Figura 8 e 9) com destaque para as regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro. Estas duas regiões apresentam menores valores de chuva do estado (tanto na estação seca, quanto na estação chuvosa) (ANDRÉ et al. 2008). Nesses locais, pode estar ocorrendo uma maior variabilidade da precipitação entre as estações seca e chuvosa o que pode contribuir para um maior erro padrão da estimativa.

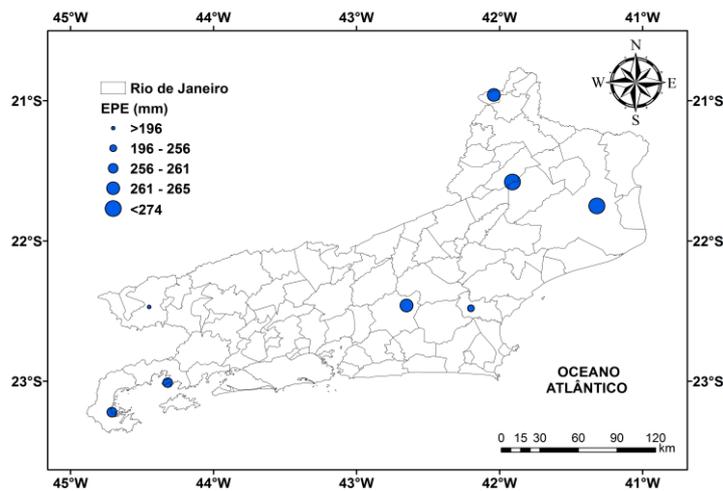
**Tabela 15.** Desempenho dos modelos globais atmosféricos para chuva.

Modelos	Município	r <sup>2</sup>	EPE	d	r
CCCma	M1	0,1244	192,54	0,51	0,35
	M2	0,0109	192,56	0,67	0,10
	M3	0,0159	216,23	0,64	0,13
	M4	0,0113	194,90	0,62	0,11
	M5	0,0048	202,95	0,62	0,07
	M6	0,0593	210,65	0,49	0,24
	M7	0,0050	220,14	0,65	0,07
	M8	0,0210	194,01	0,61	0,14
GFDL	M1	0,0008	259,44	0,63	0,03
	M2	0,0010	262,63	0,44	-0,03
	M3	0,0027	274,31	0,62	-0,05
	M4	0,0045	270,51	0,62	-0,07
	M5	0,0015	255,56	0,43	-0,04
	M6	0,0028	260,65	0,64	0,05
	M7	0,0113	264,91	0,60	-0,11
	M8	0,1987	195,96	0,38	0,45

r<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; EPE = erro padrão da estimativa; d = índice de Willmott; r= coeficiente de correlação. Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.



**Figura 8.** Erro Padrão da Estimativa da variável chuva para o modelo CCCma.



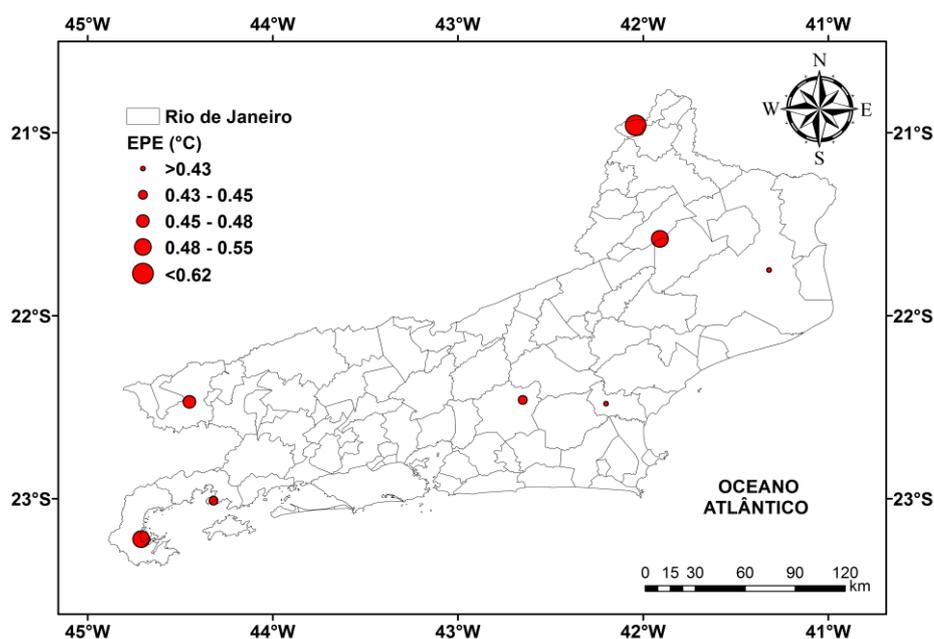
**Figura 9.** Erro Padrão da Estimativa para a variável chuva do modelo GFDL.

Para a variável temperatura o coeficiente de determinação  $r^2$  também foi baixo para os dois modelos (Tabela 16). Porém, a variável temperatura teve valores de erros baixos, se comparados com a variável temperatura (Figura 10 e 11). Além disso, o modelo CCCma apresentou os menores erros quando comparado com GFDL para a variável temperatura. Observa-se que para os dois modelos avaliados o índice de concordância (d) teve um desempenho bom para as duas variáveis. Entretanto, para chuva somente o modelo CCCma apresentou um índice de concordância satisfatório. Castro (2014) ao avaliar o desempenho de vários modelos em cenários futuros constatou que o modelo GFDL, juntamente com NCAR-PCM obtiveram os piores resultados, apresentando portanto, baixo desempenho.

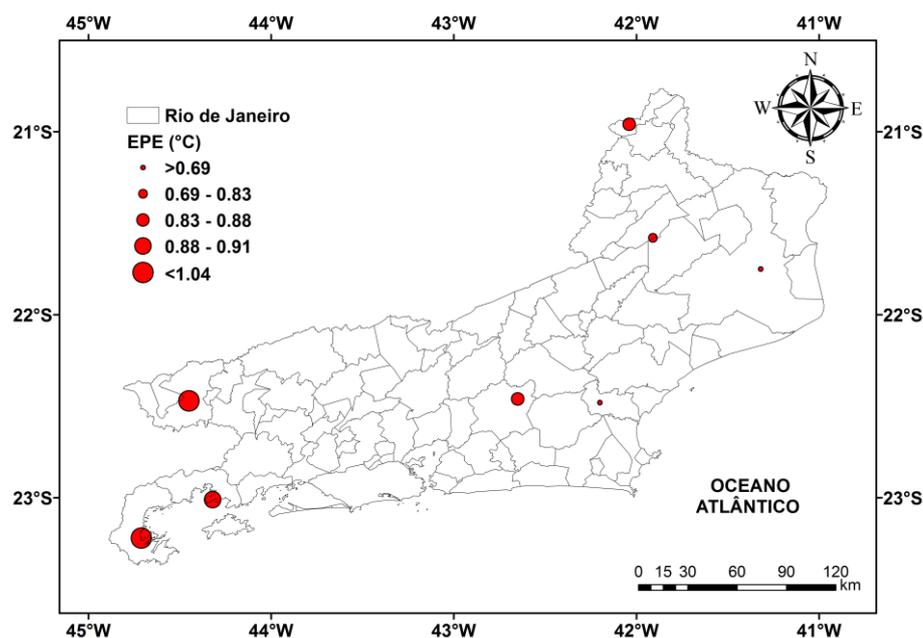
**Tabela 16.** Desempenho dos modelos globais atmosféricos para temperatura

Modelos	Município	$r^2$	EPE	d	r
CCCma	M1	0,0335	0,45	0,26	0,18
	M2	0,0379	0,45	0,63	0,19
	M3	0,0170	0,55	0,56	0,13
	M4	0,0242	0,42	0,38	0,16
	M5	0,0281	0,43	0,39	0,17
	M6	0,0413	0,53	0,39	0,20
	M7	0,0002	0,62	0,31	0,01
	M8	0,0239	0,48	0,34	0,15
GFDL	M1	0,0042	0,91	0,16	-0,06
	M2	0,0110	0,88	0,43	-0,10
	M3	0,0062	0,83	0,55	-0,08
	M4	0,0041	0,67	0,52	-0,06
	M5	0,0000	0,69	0,49	0,01
	M6	0,0078	0,98	0,20	-0,09
	M7	0,0041	0,86	0,48	-0,06
	M8	0,0022	1,04	0,22	-0,05

$r^2$ = coeficiente de determinação; EPE = erro padrão da estimativa; d = índice de Willmott; r= coeficiente de correlação. Município M1= Angra dos Reis; M2 = Cachoeiras de Macacu; M3 =Cambuci; M4 = Campos dos Goytacazes; M5 = Casimiro de Abreu; M6 = Paraty; M7 = Porciuncula; M8 = Resende.



**Figura 10.** Erro Padrão da Estimativa para o modelo CCCma, variável temperatura.



**Figura 11.** Erro Padrão da Estimativa para o modelo GFDL, variável temperatura.

Estudos para avaliar o desempenho de modelos climáticos são importantes, uma vez que em uma mesma região pode ter uma variação muito grande dos resultados, principalmente em cenários futuros. Desta forma, sempre que possível é interessante avaliar o desempenho a fim de aumentar a confiabilidade dos dados. Silveira et al. (2013), avaliando o desempenho de diferentes modelos em relação a variabilidade interanual de precipitação pluviométrica sobre o Nordeste do Brasil, Amazônia e a Bacia do Prata localizado no Sul do Brasil, apontaram o modelo GISS-ER como o melhor na simulação dos dados para a região da Amazônia.

A utilização de modelos gerais de circulação (MCGs) deve ser utilizada com certo critério, pois em um mesmo estado podem haver diferenças entre as variáveis observadas e estimadas pelos modelos. Dessa forma, a escolha de um melhor modelo é uma passo extremamente importante, pois muitos modelos são amplamente utilizados sem nenhum tipo de seleção ou critério. Realizar avaliação de vários modelos para o recorte da área de estudo em que se deseja trabalhar deve ser um dos primeiros passos. Modelos utilizados em nível continental devem ser usados com certo cuidado e se possível testados e validados.

## 5.4 Geoestatística

### 5.4.1 Variável chuva em cenários passado e futuro para os modelos CCCma e GFDL

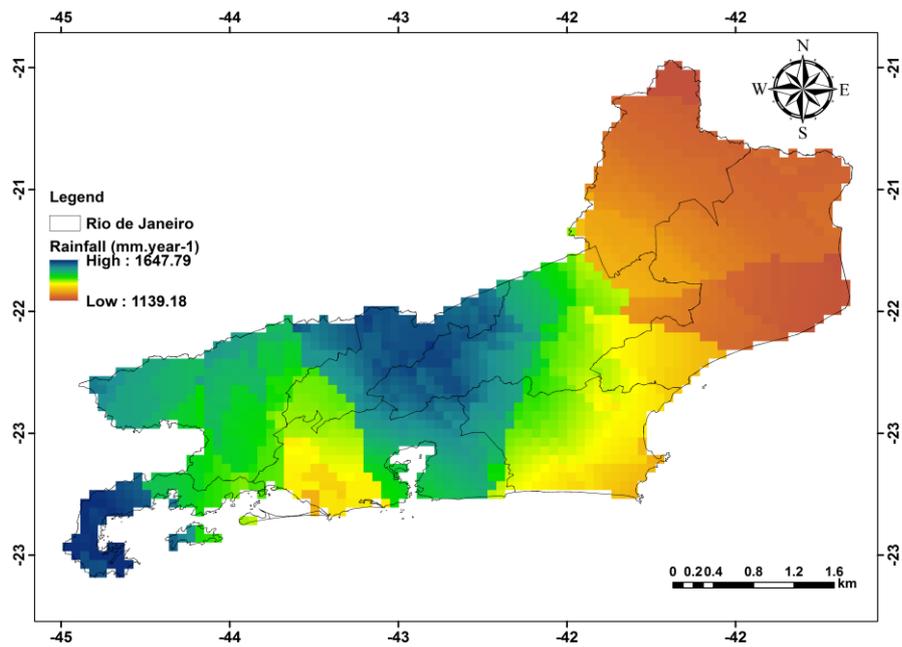
Baseado nos parâmetros geoestatísticos, o modelo transitivo exponencial apresentou o menor Grau de Dependência Espacial (GDE), sendo o valor próximo a 52%. Cambardella et al. (1994) consideraram moderado valores de dependência entre 26 à 75%. Portanto, para a variável chuva no cenário de clima passado (1961-2000) o valor foi consistente para o modelo CCCma (Tabela 17). O erro médio quadrático o (RMSE - *root mean square error*) foi razoável, pois apresentou valores baixos, ou seja próximos de zero (Tabela 17). Através das (Figuras 12, 13 e 14) pode-se observar a análise espacial dos três modelos transitivos utilizados (esférico, exponencial e gaussiano). Nota-se que o modelo transitivo exponencial foi aquele que apresentou melhor desempenho em relação ao cenário passado para o modelo CCCma.

**Tabela 17.** Modelos CCCma e GFDL para a variável chuva (mm).

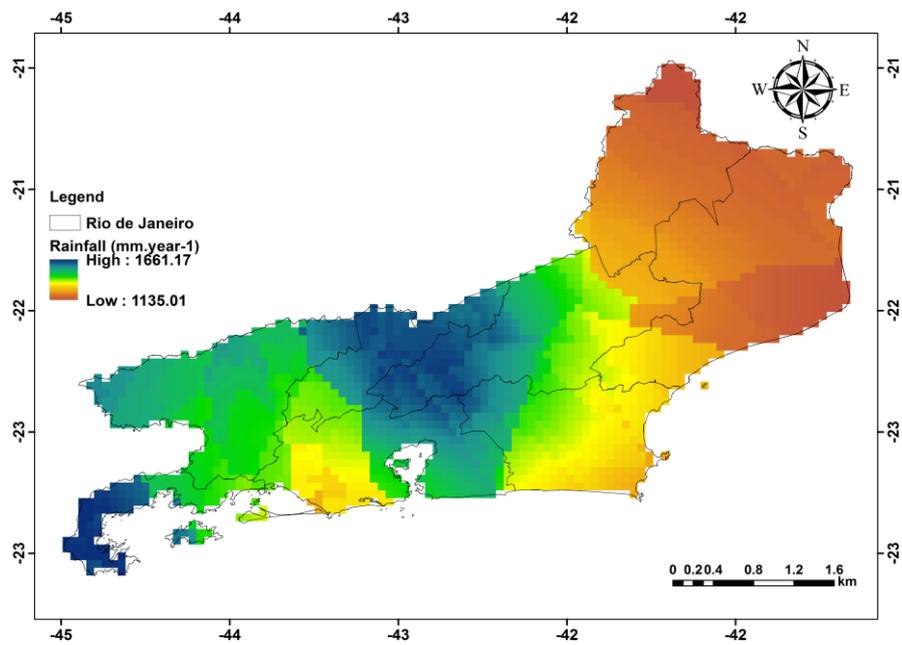
Modelo	Cenário	M. Transitivo	C0	C0+C	A	GDE	RMSE
CCCma	Passado	Esférico	54722.04	98873.5	0.08964	55.34551	0.8300
		Exponencial	53200.88	102958	0.08964	51.6724	0.8227
		Gaussiano	59199.42	100484.7	0.08964	58.91387	0.8369
	Futuro	Esférico	0	28156.61	0.3395	0	0.71
		Exponencial	0	26143.46	0.3395	0	0.63
		Gaussiano	856.89	37467.11	0.3395	2.287046	1.28
GFDL	Passado	Esférico	118742.4	128805.9	0.07181	92.18707	0.8038
		Exponencial	121767.4	129237.7	0.07181	94.21972	0.7999
		Gaussiano	81918.32	139672	0.07181	58.6505	0.8308
	Futuro	Esférico	1090.028	3876.248	0.3395	28.1207	0.9092
		Exponencial	0	4063.16	0.3395	0	0.8333
		Gaussiano	1778.29	3959.96	0.3395	44.90677	0.9588

C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>0</sub>+C = patamar; a = alcance; GDE = Grau de Dependência Espacial; RMSE = Root Mean Square Error; M. Transitivo = Modelo Transitivo.

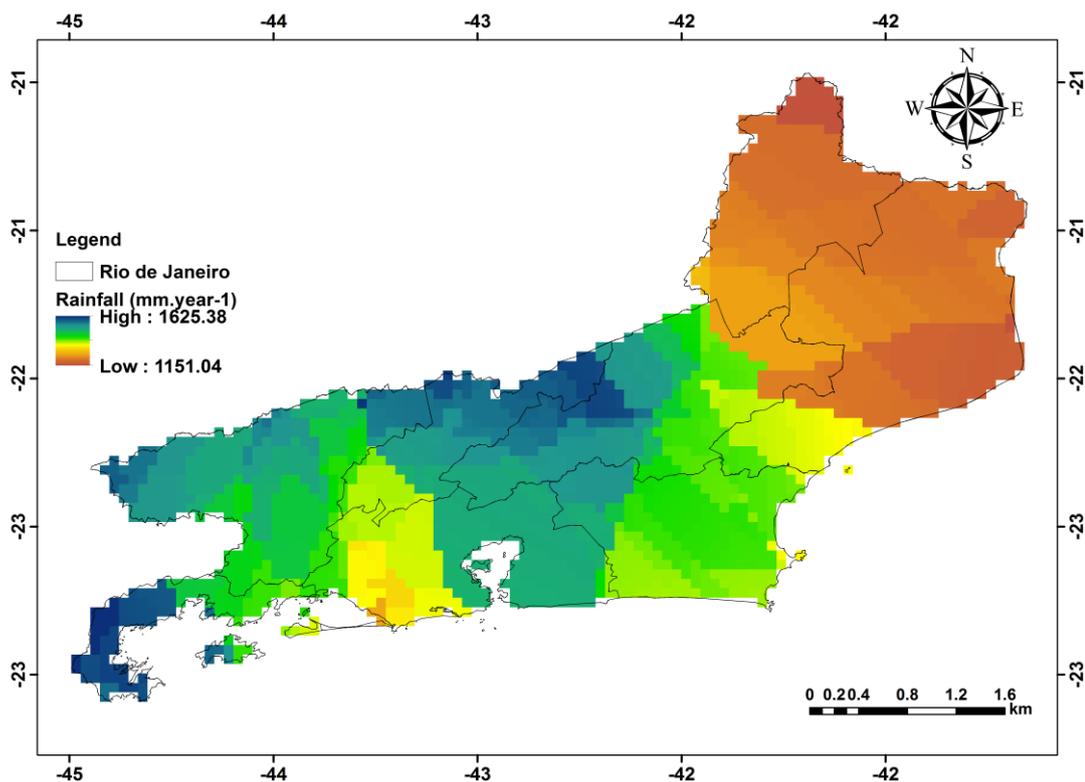
Ao analisar os mapas da análise espacial através do método de Krigagem ordinária para o modelo CCCma (Figuras 12, 13 e 14) pode-se verificar uma tendência decrescente das chuvas da região norte e noroeste em direção ao Sul do estado do Rio de Janeiro. Em geral, nota-se que parte da região Centro Sul Fluminense e região Serrana, juntamente com o Sul do estado apresentam maiores quantidades de chuva para o cenário passado.



**Figura 12.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo

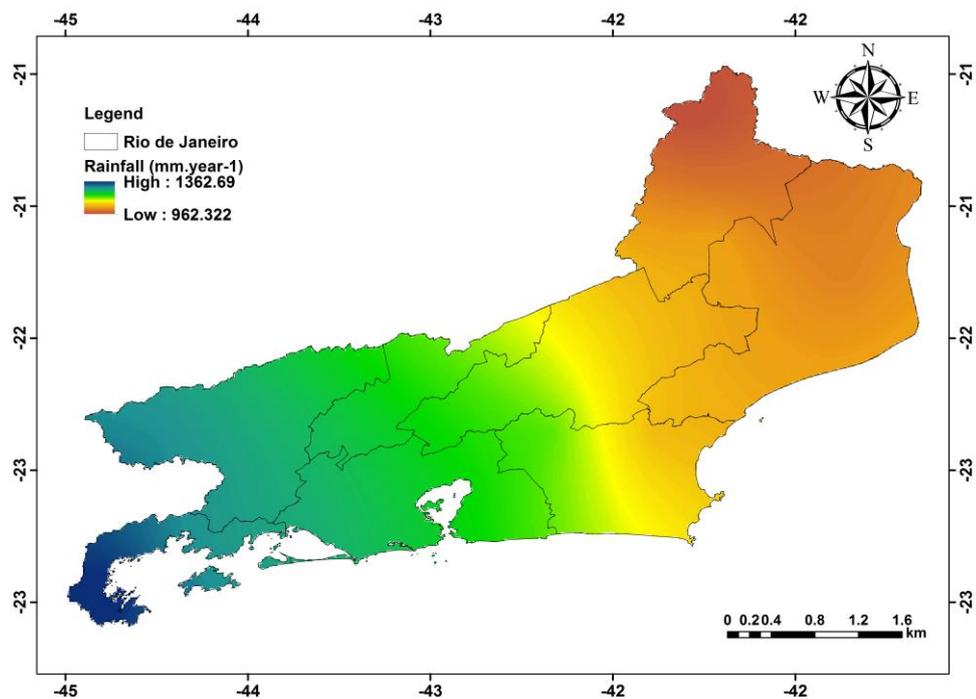


**Figura 13.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo

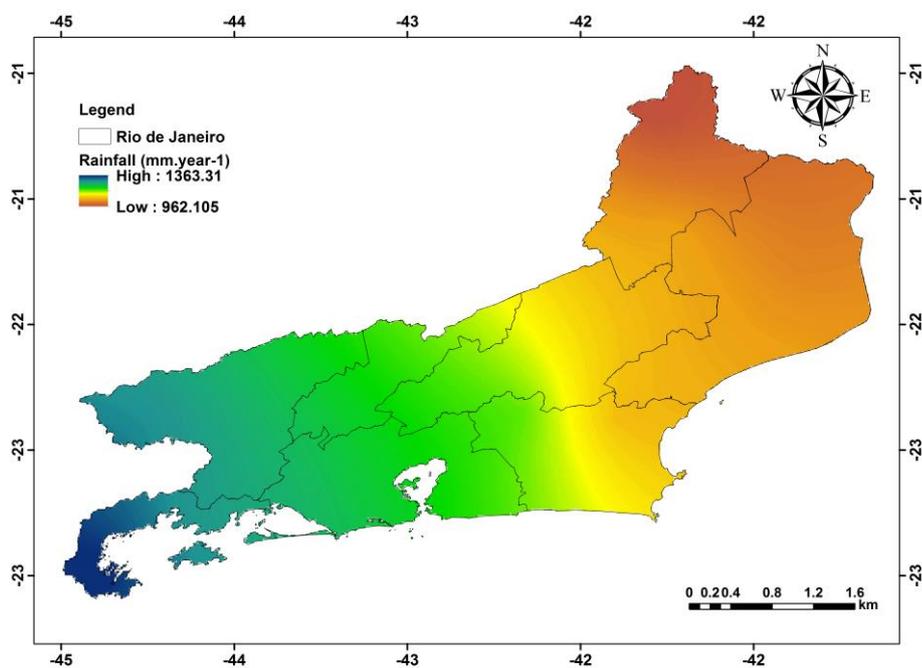


**Figura 14.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo

Ao analisar o modelo CCCma para o cenário futuro (2046 - 2065) quanto a variável chuva, pode-se verificar que o grau de dependência espacial foi extremamente forte, com valores de GDE iguais a zero tanto para o modelo transitivo esférico quanto para o exponencial (Tabela 17). Pode-se observar (Figuras 15 e 16) que o regime de chuvas no futuro também segue a tendência do clima passado, com menores quantidades de chuva na porção norte e nordeste do estado. Essa região no cenário futuro adotado tende a diminuir as chuvas em torno de 18% em relação ao cenário passado. No entanto, a região sul apresenta uma diminuição do regime de chuvas no cenário futuro adotado em torno de 15%. Possivelmente, a proximidade com oceano, além, de áreas com florestas pode estar contribuindo para a região apresentar um valor menor de redução das chuvas do que a região localizada ao norte do estado. No presente estudo, somente foram apresentados os mapas que melhor se ajustavam aos modelos transitivos adotados. Desta maneira, não foram elaborados mapas de Krigagem para valores elevados de GDE.

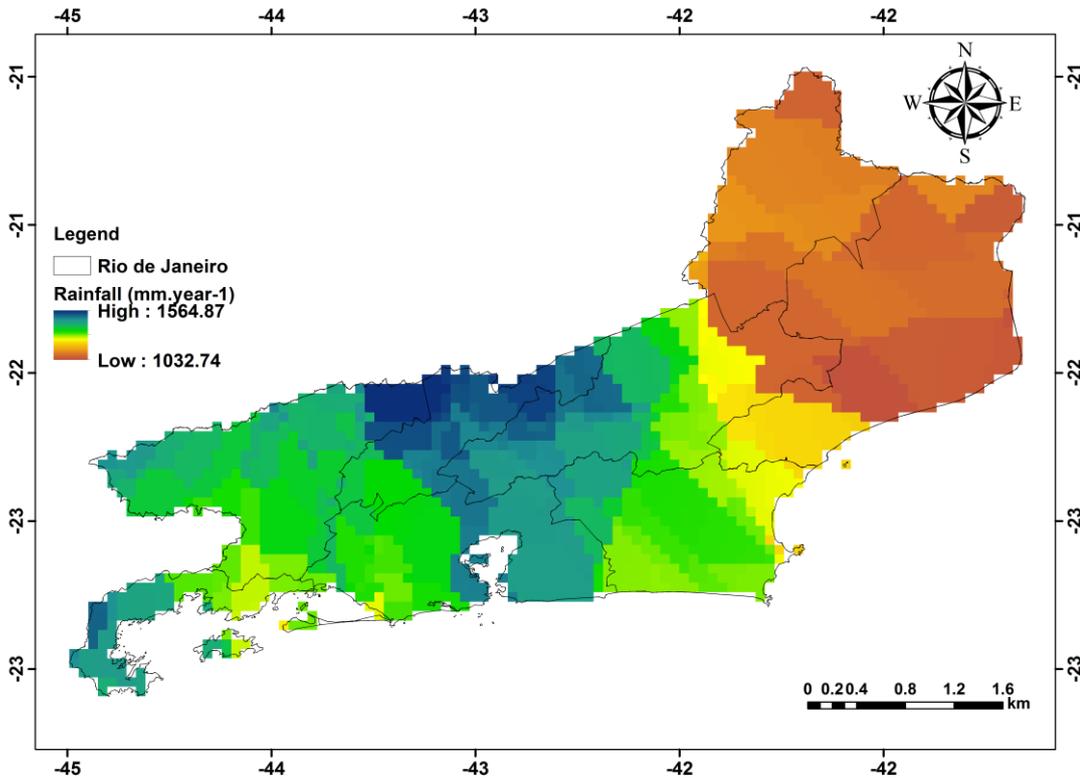


**Figura 15.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma utilizando o modelo transitivo exponencial para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo



**Figura 16.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo

Para o modelo GFDL em relação ao cenário passado (1961-2000), observa-se que para a variável chuva, o GDE para os modelos transitivos esférico e exponencial estão acima de 75% (fraca dependência espacial) (Tabela 17). Por sua vez, o modelo gaussiano foi aquele que apresentou dados de GDE moderado (58.65%), diferindo do modelo CCCma, o qual o modelo transitivo exponencial foi considerado melhor (Figura 17)



**Figura 17.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo gaussiano para o estado do Rio de Janeiro. High = alto; Low = baixo

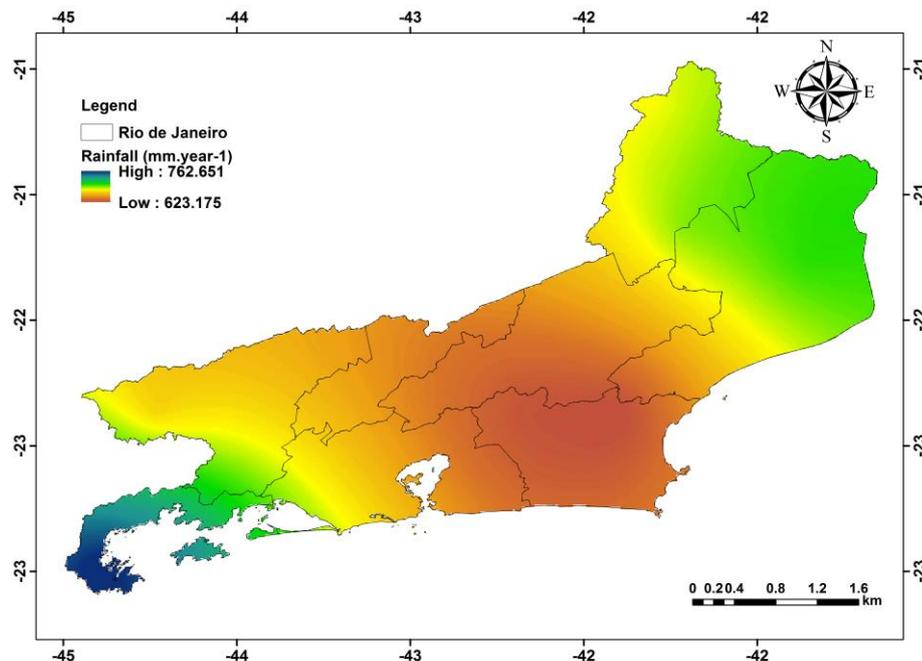
Por sua vez, para o cenário futuro (2046-2065) o modelo transitivo exponencial apresentou forte dependência espacial, sendo o valor de GDE igual a zero, corroborando com os resultados encontrados para o modelo CCCma, onde houve melhor ajuste do modelo exponencial (Tabela 17).

Mello et al. (2008) ao testarem os modelos esférico, exponencial e gaussiano pelos métodos de ajuste da Máxima Verossimilhança (MV) e Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) concluíram que o modelo exponencial se sobressaiu em nove das doze situações analisadas para a variável chuva no estado de Minas Gerais. O modelo exponencial também apresentou forte dependência espacial em relação a erosividade da chuva no estado do Espírito Santo (DE MELLO et al., 2012). O modelo exponencial, também obteve bons ajustes na análise de variabilidade espacial da erosividade causada pelas chuvas no estado do Rio de Janeiro (MONTEBELLER et al., 2007). Porém, Silva et al. (2010) aplicaram os modelos gaussiano e exponencial para modelar a continuidade espacial da erosividade mensal e anual no leste de Minas Gerais (bacia do Rio Doce) e obtiveram adequado desempenho de ambos, porém com superioridade do modelo gaussiano.

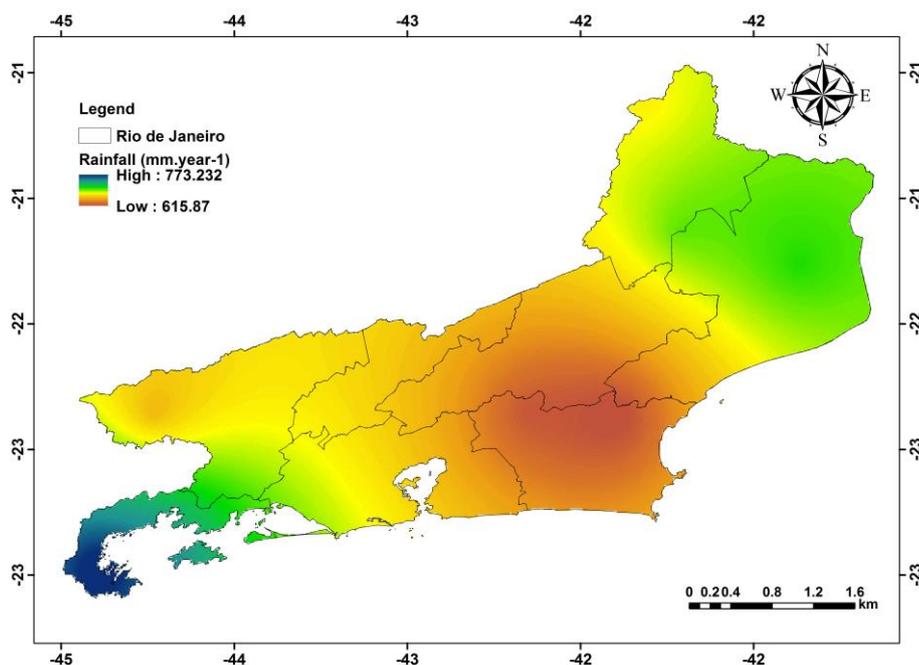
Os mapas resultantes da interpolação dos dados de chuva para o cenário passado (1961-2000) e o cenário futuro (2046-2065) para o modelo GFDL apresentaram comportamento semelhante indicando que a variável chuva diminui no sentido norte/sul do estado do Rio de Janeiro (Figuras 17, 18 e 19). Valores altos de chuva na região sul do estado, segundo André et al. (2008) podem ser explicados pela conformação da costa e a influência sofrida pela alta umidade proveniente do oceano. A configuração do relevo da Serra do Mar atua diretamente no clima do estado. A região sul recebe maiores quantidades de chuva devido a influência mais direta do oceano. Por sua vez, as regiões Norte e Noroeste Fluminense estão localizadas a maiores distância do oceano, recebendo menores quantidade de chuva. Além disso, quantidade maiores de chuva na região Sul do estado, podem estar associada a presença de áreas contínuas de Mata Atlântica (ROCHA et al., 2003)

O modelo GFDL diminuiu drasticamente o regime de chuvas na região norte e sul do estado em 41% e 49%, respectivamente. A subestimativa dos dados de chuva pode estar associada a limitação do próprio modelo em simular dos dados de chuva para a região de estudo. Valverde e Marengo (2010) ao simular cenários futuros para a América Latina também registraram que o modelo GFDL subestimou os dados de chuva na região. Marengo (2007) ao comparar diferentes modelos do IPCC para o Brasil em cenários futuros (A2 e B2), registrou que o GFDL estava entre os quais apresentavam dificuldades em simular a banda chuvosa associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul. O modelo GFDL subestimou consideravelmente a variabilidade das precipitações tropicais no Pacífico Equatorial Central e Ocidental, enquanto o modelo GISS subestimou (DAI, 2006).

Uma das variáveis chaves de grande importância em estudos climáticos é a precipitação. No entanto, ainda é um grande desafio para os modelos climáticos globais simular realisticamente essa variável. A dificuldade é principalmente devido à complexidade da precipitação, como por exemplo: a microfísica de nuvem, convecção cumulus, processos de camada limite planetária, entre outros (DAI, 2006).



**Figura 18.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo



**Figura 19.** Análise Espacial da chuva (mm) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo GFDL utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo

#### 5.4.2 Variável temperatura em cenários passado e futuro para os modelos CCCma e GFDL

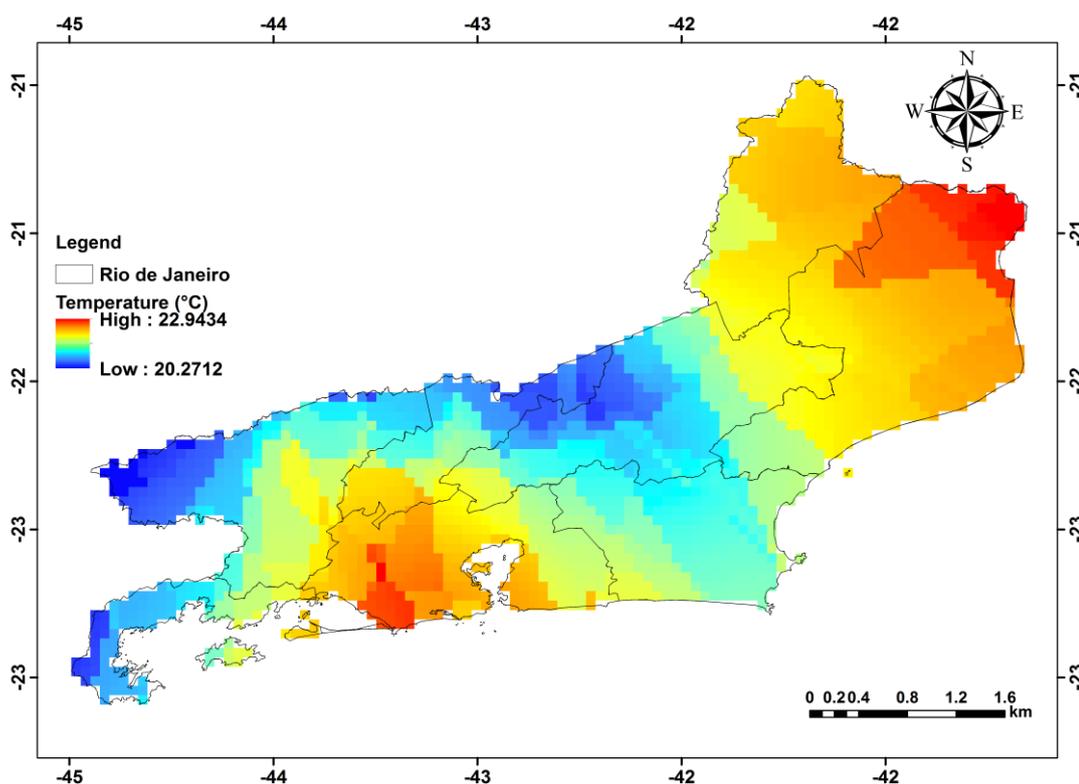
Para o modelo CCCma referente ao cenário passado (1961-2000) considerando-se a variável temperatura, o modelo transitivo exponencial apresentou grau de dependência espacial moderado 69,02%, seguido do modelo esférico que apresentou 69,79% (Tabela 18). Semelhantemente ao ocorrido com a variável chuva, também foram registrados valores razoáveis referentes ao erro médio quadrático o (RMSE - *root mean square error*) (Tabela 18).

A temperatura é superior na região norte e nordeste do estado e parte da região metropolitana (Figura 20 e 21). Por outro lado, a região sul, juntamente com parte da região serrana do são aquelas que apresentam temperaturas mais baixas. Isso pode estar associado ao fator altitudinal, pois são áreas apresentam relevo acentuado e altitudes contrastantes. Menores valores de temperatura também foram registradas em regiões serranas no estado de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CAMPOS, 2011) e no Paraná (CAMPOS, 2011; SILVA et al., 2015).

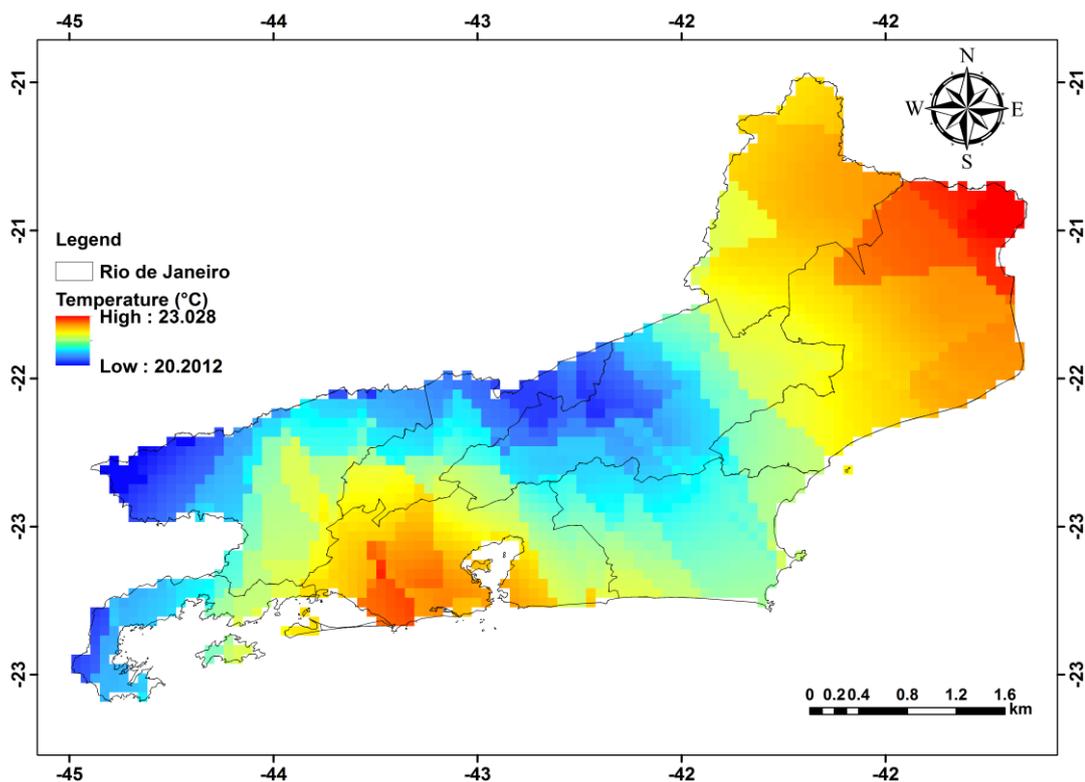
**Tabela 18.** Modelos CCCma e GFDL para a variável temperatura (mm).

Modelo	Cenário	M. Transitivo	C0	C0+C	A	GDE	RMSE
CCCma	Passado	Esférico	3.0044	4.3043	1.2271	69.79997	0.8201
		Exponencial	2.736	3.9637	1.2271	69.02641	0.8158
		Gaussiano	3.2048	4.283	1.2271	74.82606	0.8227
	Futuro	Esférico	0.022	0.552	0.3395	3.985507	1
		Exponencial	0	0.51	0.3395	0	0.92
		Gaussiano	0.1679	0.35	0.3395	45.71429	0.78
GFDL	Passado	Esférico	0.7375	3.5649	0.0571	20.68782	0.8180
		Exponencial	0.6396	3.7457	0.0571	17.07558	0.7874
		Gaussiano	0.8846	3.7288	0.0571	23.72345	0.8331
	Futuro	Esférico	-	-	-	-	-
		Exponencial	-	-	-	-	-
		Gaussiano	-	-	-	-	-

C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>0</sub>+C = patamar; a = alcance; GDE = Grau de Dependência Espacial; RMSE = Root Mean Square Error; M. Transitivo = Modelo Transitivo; - = o modelo não foi interpolado



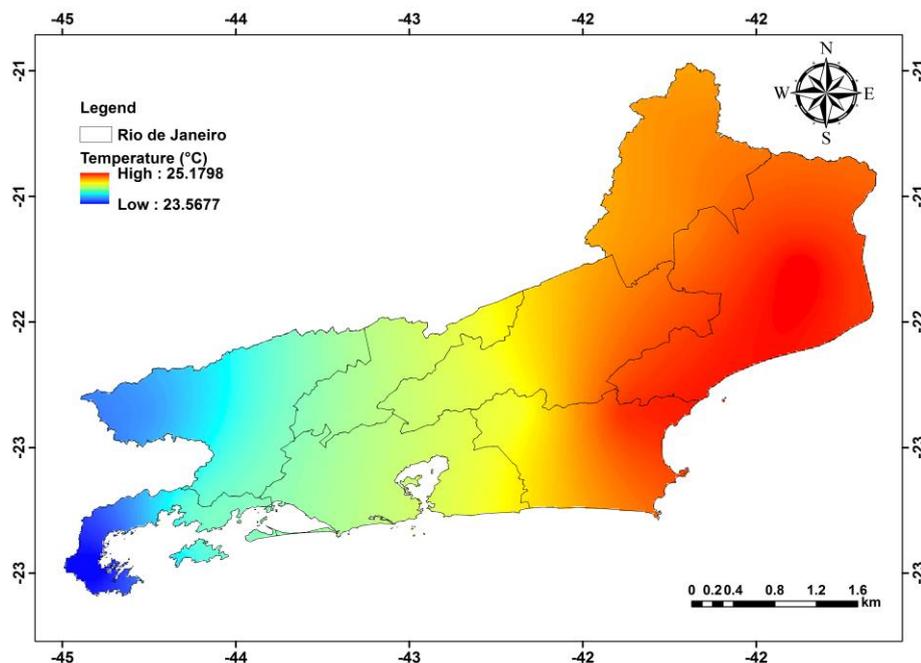
**Figura 20.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo



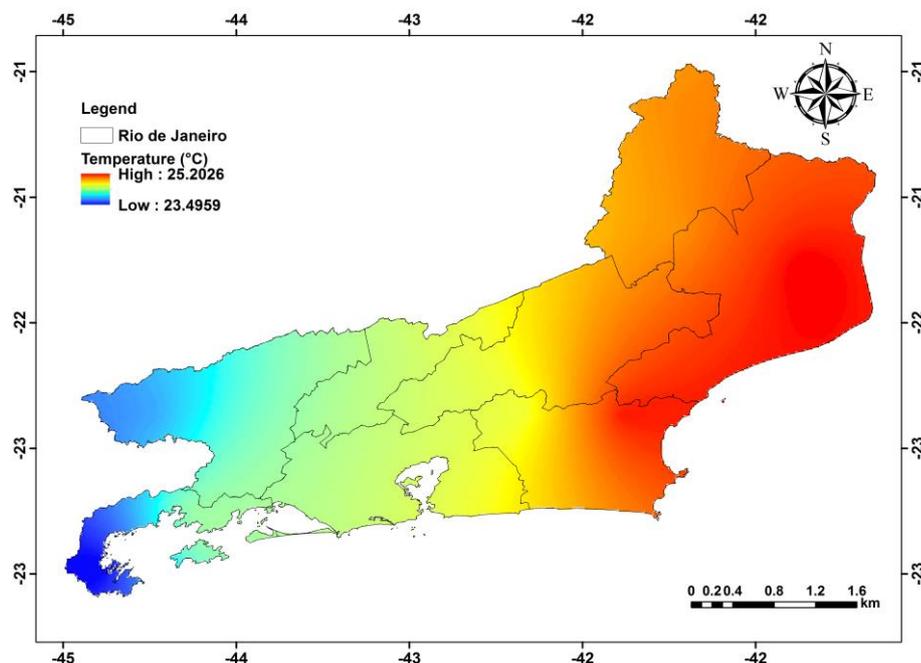
**Figura 21.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo

Ao analisar o modelo CCCma para o cenário futuro (2046 - 2065) para a variável temperatura, pode-se verificar que o grau de dependência espacial foi extremamente forte, com valor de GDE igual a zero para o modelo transitivo exponencial (Tabela 18). Houve uma elevação da temperatura em nas regiões norte e nordeste (Figuras 15 e 16). O modelo CCCma aumentou a temperatura na região norte e sul do Estado em 9% e 13%, respectivamente (Figura 22, 23). Em cenários futuros o aumento da temperatura, pode ocasionar uma elevação na taxa de evapotranspiração (perda da água por evaporação do solo e transpiração das plantas), acarretando deficiência hídrica, resultando em áreas com alto risco climático (ASSAD e PINTO, 2008).

Trabalhos evidenciam que o aumento de temperatura pode se tornar um fator limitante para culturas agrícolas importantes em diferentes regiões do mundo. Em um trabalho realizado nos Estados Unidos, Schlenker e Roberts (2009) mencionam que o aumento de temperatura acarretou em diminuição no rendimento de milho, soja e algodão. Na África há uma redução de -22, -17, -17, -18 e -8% para o milho, sorgo, milhete, amendoim e mandioca, respectivamente (SCHLENKER e LOBELL, 2010).



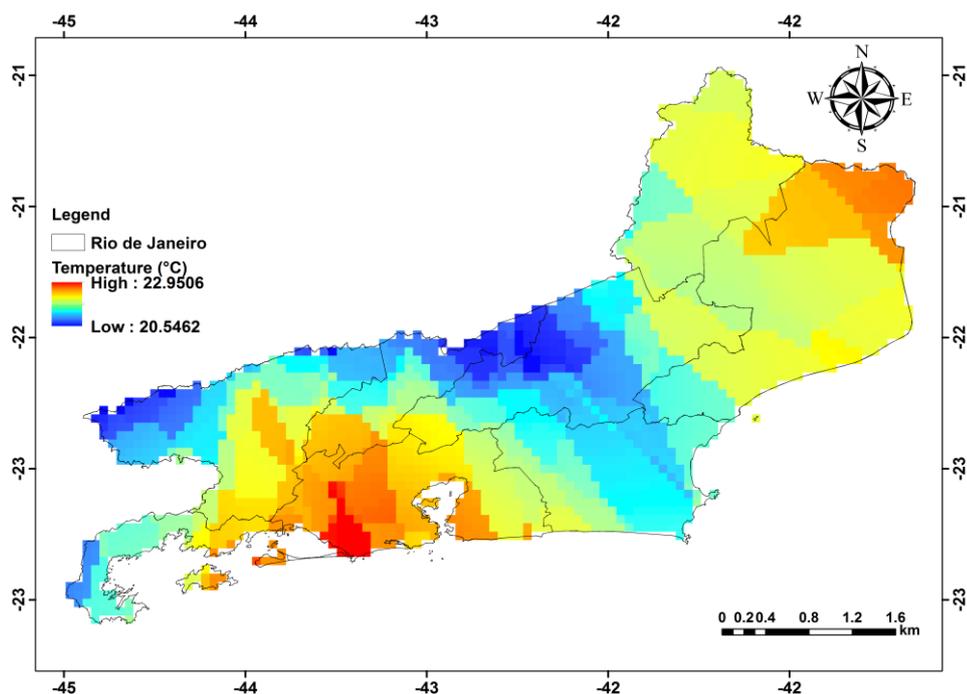
**Figura 22.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo



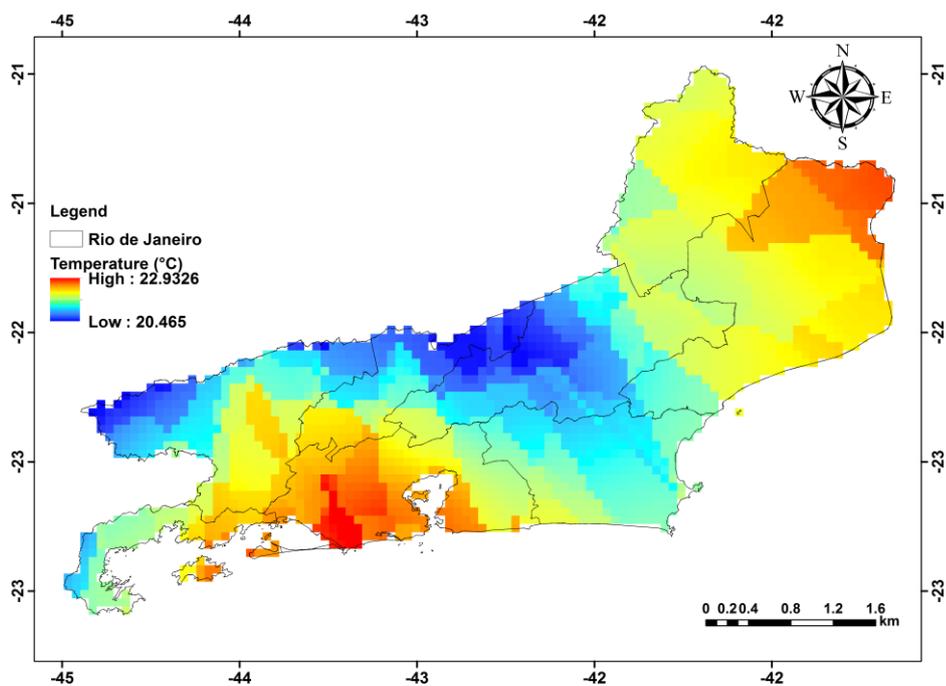
**Figura 23.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário futuro (2046-2065) estimada pelo CCCma, utilizando o modelo transitivo exponencial. High = alto; Low = baixo

Para o modelo GFDL em relação ao cenário passado (1961-2000), observa-se que para a variável temperatura (Tabela 18), o GDE para os modelos transitivos esférico e exponencial estão abaixo de 25% (forte dependência espacial). Entretanto, não foi possível interpolar os dados de temperatura para o cenário futuro, devido a inconsistência dos dados do modelo.

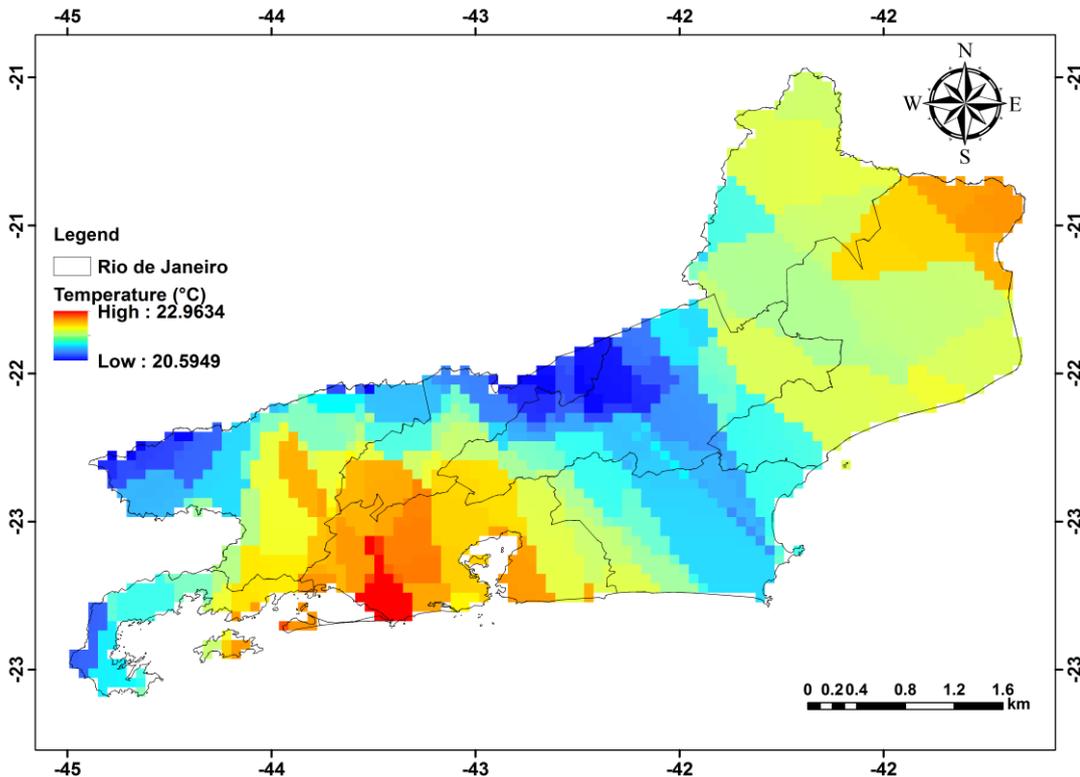
Através das (Figuras 24, 25 e 26) constata-se que houve uma elevação da temperatura em nas regiões norte e nordeste, semelhante ao encontrado para o modelo CCCma.



**Figura 24.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo esférico. High = alto; Low = baixo



**Figura 25.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo exponencial.



**Figura 26.** Análise Espacial da temperatura (C°) do cenário passado (1961-2000) estimada pelo GFDL, utilizando o modelo transitivo gaussiano. High = alto; Low = baixo

Através da análise geoestatística, verifica-se que as variáveis chuva e temperatura apresentaram seus melhores ajustes através do modelo exponencial. Já em relação aos modelos, o CCCma foi mais realístico em relação ao GFDL para o estado do Rio de Janeiro.

Ao comparar os dois modelos, constata-se que o GFDL subestimou os dados de chuva nos cenários passado e futuro em torno de 9% e 35%, respectivamente, para a região norte do estado. Para a região sul o modelo GFDL subestimou em 5% e 43% para o cenário passado e futuro. Sabe-se que muitos fatores podem contribuir para as diferenças nas projeções climáticas quando utiliza-se diferentes modelos. Cayan et al. (2008) registraram diferenças nas parametrizações, sensibilidade e em relação as respostas dos gases de efeito de estufa entre modelos, os quais podem ter contribuído para as diferenças encontradas nas projeções de possíveis mudanças climáticas futuras na Califórnia, Estados Unidos.

Através das (Figuras 27 e 28) pode-se observar que os mapas de desvios apresentaram grande variação para a variável chuva. A chuva apresenta uma amplitude maior de dados justificando o resultado encontrado. Por sua vez, a variável temperatura apresenta menor oscilação e conseqüentemente menores valores de desvio (Figura 29 e 30).

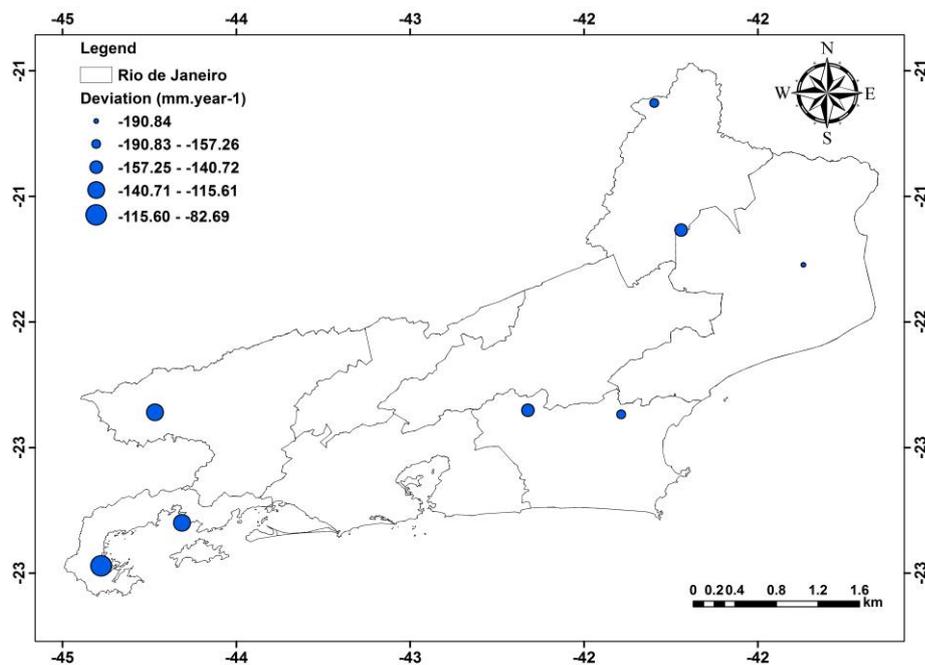


Figura 27. Desvio de precipitação para o modelo CCCma.

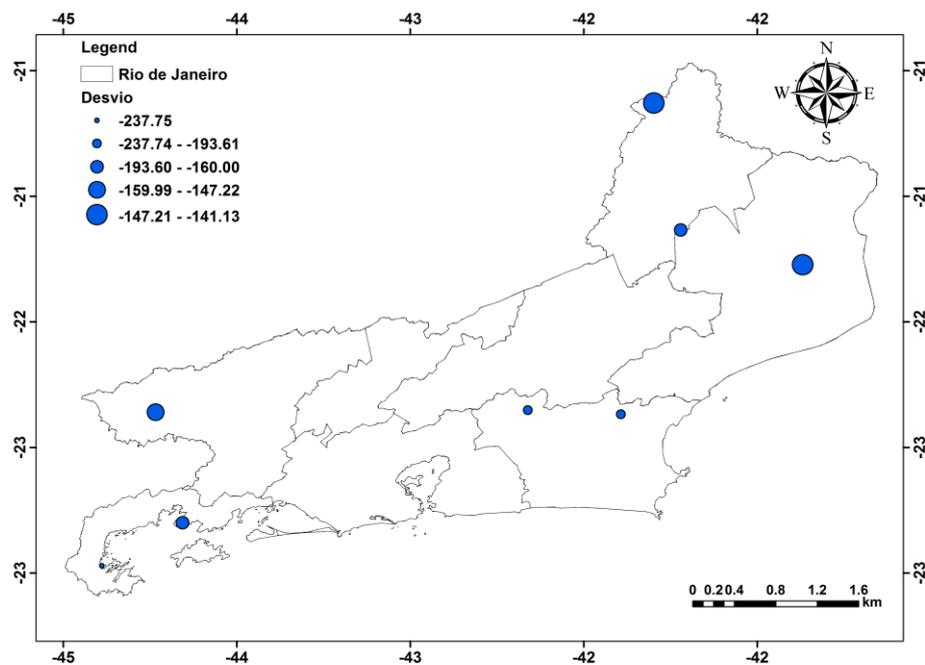
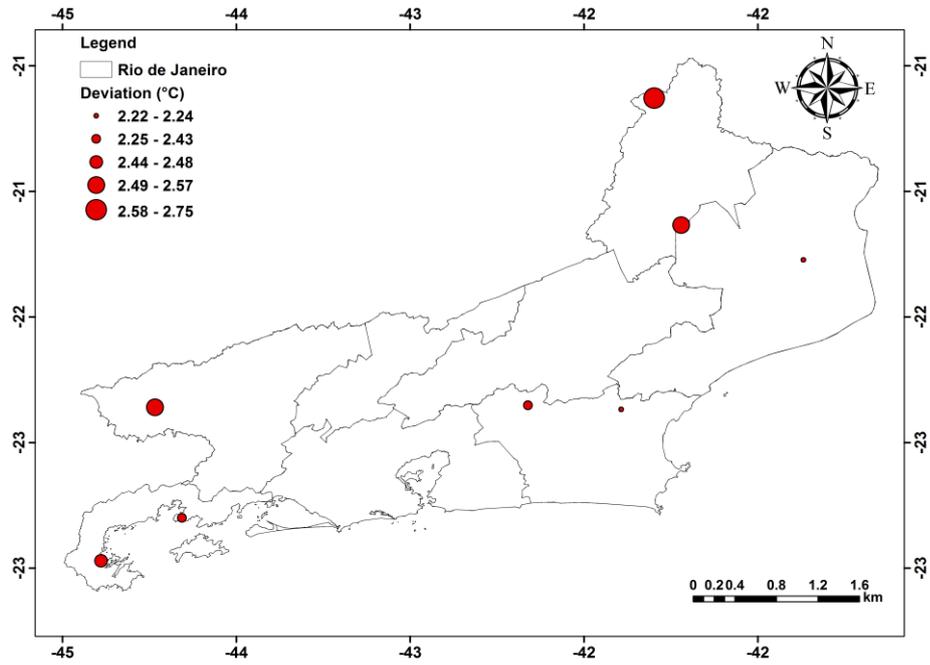
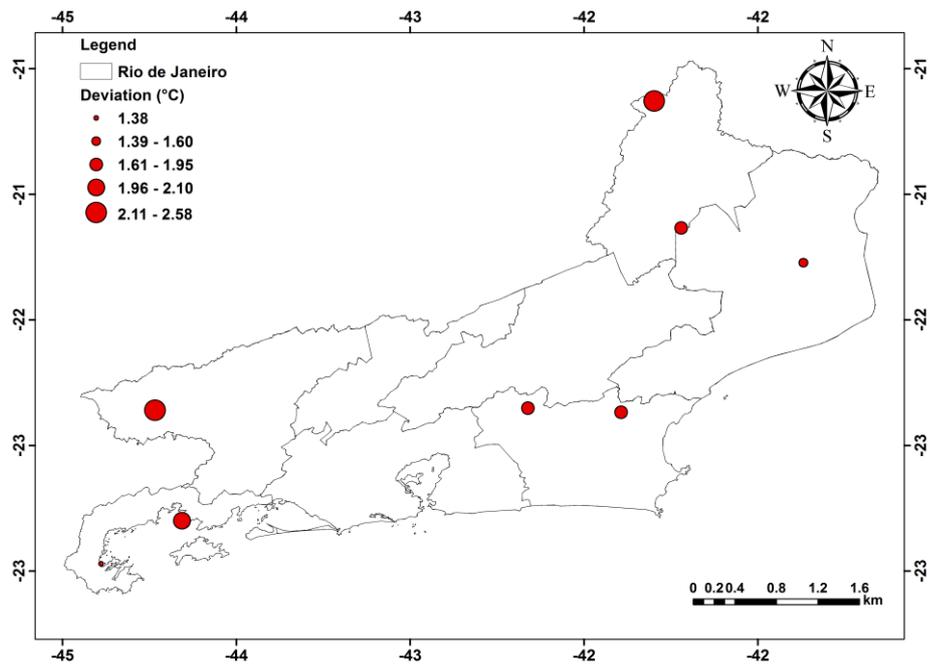


Figura 28. Desvio de precipitação para o modelo GFDL.



**Figura 29.** Desvio de temperatura para o modelo CCCma.



**Figura 30.** Desvio de temperatura para o modelo GFDL.

## 5.5 Uso e cobertura do Solo

Pode-se observar através das (Figuras 31 a 34), as quais apresentam os mapas de uso e cobertura da terra proveniente do produto MCD12Q1 do sensor MODIS composto pelo mosaico das observações das plataformas Aqua e Terra, com resolução espacial nominal de 500 m. Pode-se destacar diferenças marcantes em relação a chuva e a temperatura e seus respectivos uso do solo para o estado.

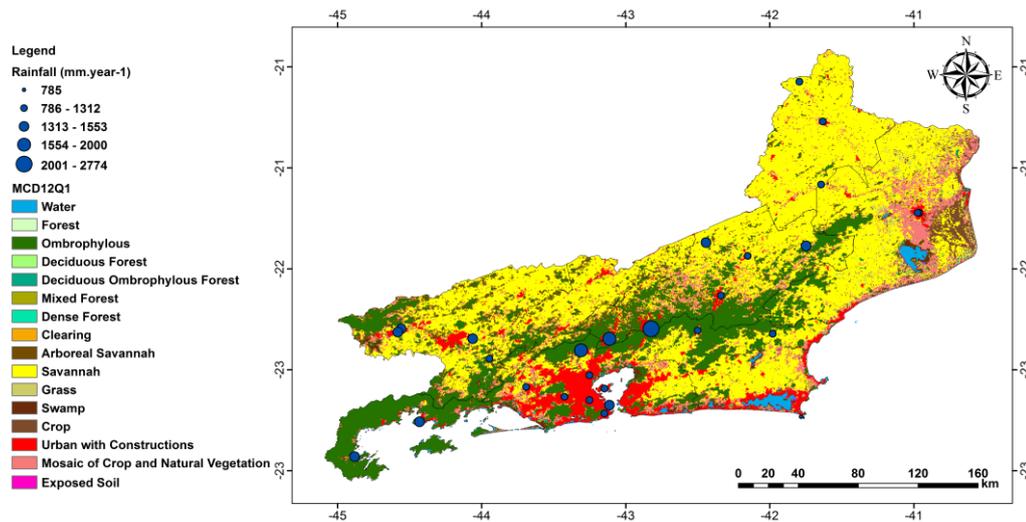
Pode-se observar que a distribuição dos diferentes tipos de cobertura estão intimamente relacionadas com os montantes anuais de chuva e temperatura. Desta forma, áreas com ocorrência de floresta ombrófila estão associadas a maiores quantidades de chuva (Figuras 31 e 32).

Por sua vez, áreas urbanas em geral apresentam menores quantidades de chuvas. Entretanto, o município de Angra dos Reis, localizado no litoral Sul apresenta quantidades de chuva altas. Conforme mencionam Davis e Naghettini (2001) a Serra do Mar constitui uma barreira orográfica de extrema importância para a elevada precipitação registrada nesta região, além da presença de remanescentes vegetais. Montebeller et al. (2007) verificaram que os maiores valores de erosividade foram observados nas regiões Serrana e Baía da Ilha Grande, enquanto os menores são observados nas regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro.

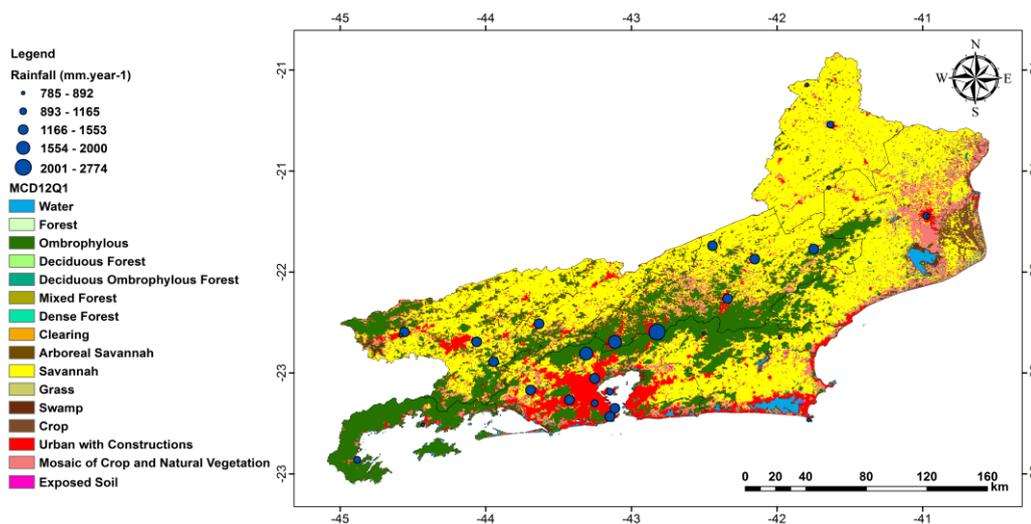
Por sua vez, áreas urbanas apresentam capacidade de infiltração menor se comparada a áreas de florestas. Conseqüentemente o escoamento de água em áreas urbanas aliado à grandes quantidades de lixo pode acarretar em enchentes e alagamentos. Desta forma, na região de Angra dos Reis é muito comum enchentes, principalmente no verão (SALGADO et al., 2007). Segundo os autores além de alta pluviosidade os fatores como vegetação, solos, e características e uso e ocupação da bacia hidrográfica podem estar contribuindo para a intensificação dos eventos de enchentes, especialmente em áreas desprovidas de um planejamento urbano adequado.

Movimentos de massa previstos para o cenário futuro entre o período de 2071 à 2099, indicam que a região Serrana do Rio de Janeiro e seu litoral adjacente merecem atenção devido ao aumento na vulnerabilidade de desastres envolvendo movimentos de massa (DEBORTOLI et al., 2016). Nessa categoria dos movimentos de massa são classificados os processos geológicos-geotécnicos relacionados ao movimento de descida de solos, rochas, detritos e(ou) material orgânico, sob o efeito da gravidade

No Brasil, a formação das grandes regiões metropolitanas vem ocorrendo desde do ano 1970 (BRITO, 2006). A tendência é um aumento expressivo na população, principalmente nas grandes metrópoles. O estado do Rio de Janeiro em especial a zona metropolitana do estado apresenta áreas vulneráveis entre elas: topos de morros, encostas, baixadas e áreas alagáveis ocupadas de maneira irregular. Desta forma, espera-se que esse incremento populacional aliado à um crescimento desordenado de cidades principalmente em áreas de Preservação Permanente, como é o caso do Rio de Janeiro possa potencializar questões ligadas a enchentes.



**Figura 31.** Uso e ocupação do solo e distribuição da chuva no cenário passado para o modelo CCCma através do sensor MODIS para o ano de 2013.

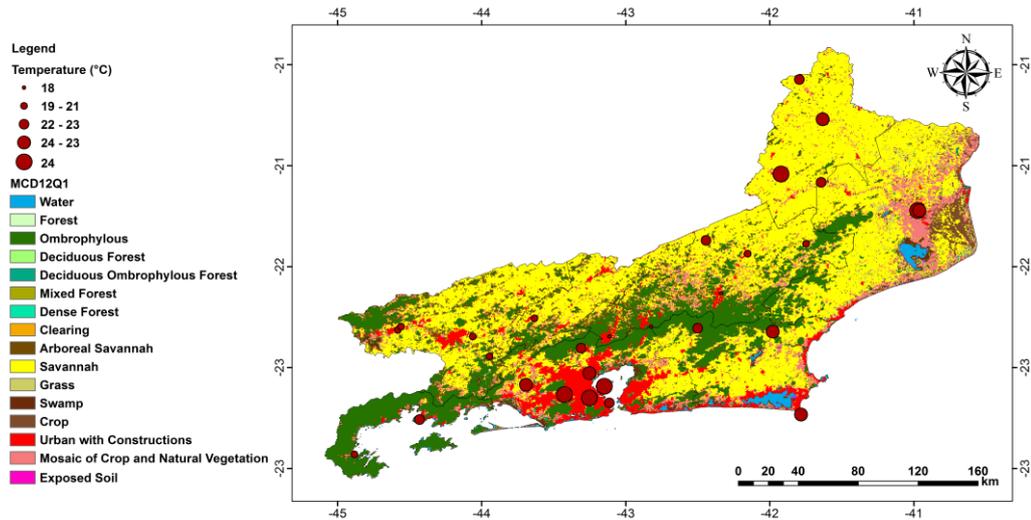


**Figura 32.** Uso e ocupação do solo e distribuição da chuva no cenário passado para o modelo GFDL através do sensor MODIS para o ano de 2013.

Outro fator preocupante em relação a diminuição das chuvas e aumento de temperatura, em especial na cidade do Rio de Janeiro é um aumento no número de incêndios. A expansão de maneira irregular de favelas, principalmente em topo de morro (APP) pode contribuir para gerar um desequilíbrio no ambiente e aumentar o risco de incêndio. Sabe-se que a temperatura do ar é muito importante na origem de incêndios. Além disso, estima-se que as queimadas em regiões tropicais sejam responsáveis por 32% da emissão global de CO<sub>2</sub> (ANDREAE, 1991).

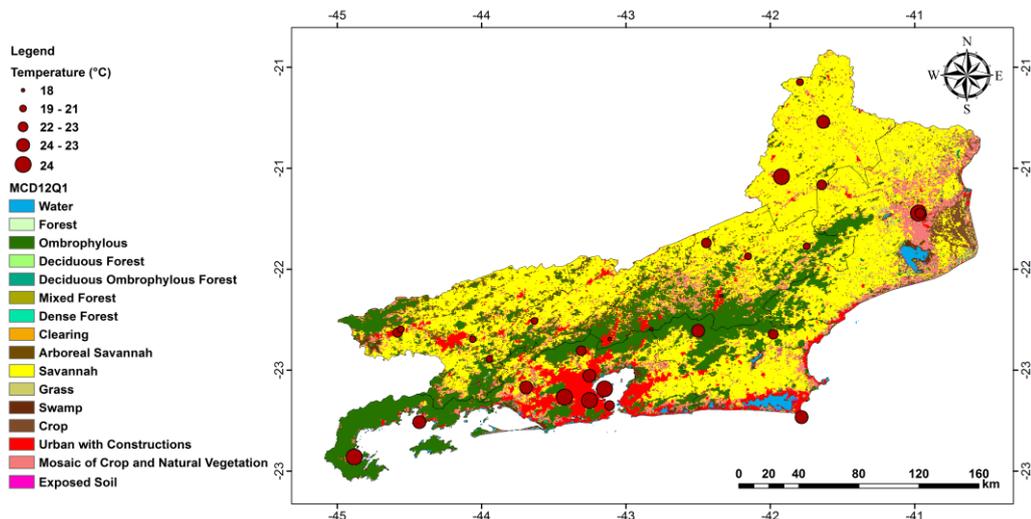
Além disso, áreas com uso e ocupação do solo referente a construções urbanas são aquelas que apresentam maiores temperaturas (Figuras 33 e 34), seguida de áreas ao Norte do estado, as quais abrangem Campos. Esse fato é preocupante, pois a tendência é que no futuro ocorra um aumento de áreas urbanas e diminuição de áreas verdes. Além disso, inúmeros trabalhos tem mostrado significativa redução de biomassa vegetal ao longo do tempo, sendo a

diminuição atribuída as tendências climáticas em particular ao aumento da temperatura e diminuição da precipitação (TCHEBAKOVA et al., 2009; LIU et al., 2013).



**Figura 33.** Uso e ocupação do solo e distribuição da temperatura no cenário passado para o modelo CCCma através do sensor MODIS para o ano de 2013.

Dessa forma, a elevação da temperatura pode ser ainda maior nos grandes centros em função desses locais serem pavimentados ou apresentarem poucas áreas com vegetação nativa. Nesse sentido, vale salientar que devem ser adotadas políticas públicas a fim de preservar parques ou outros remanescentes em áreas urbanas, pois esses ambientes podem de certa forma ajudar a regular a temperatura.



**Figura 34.** Uso e ocupação do solo e distribuição da temperatura no cenário passado para o modelo GFDL através do sensor MODIS para o ano de 2013.

Frischenbrudera e Pellegrino (2006) ao avaliarem estudos de caso de revitalização de áreas verdes no Brasil concluíram que todos os casos estavam relacionados a busca de uma solução viável para enchentes, conservação do solo e perda de prevenção da biodiversidade nas cidades. O estado do Rio de Janeiro é pioneiro no quesito restauração de áreas urbanas sendo o Parque Nacional da Tijuca (PNT) o primeiro a ser restaurado ainda em meados do século XIX (FREITAS et al., 2006). Entretanto, mesmo apresentando parques e reservas o

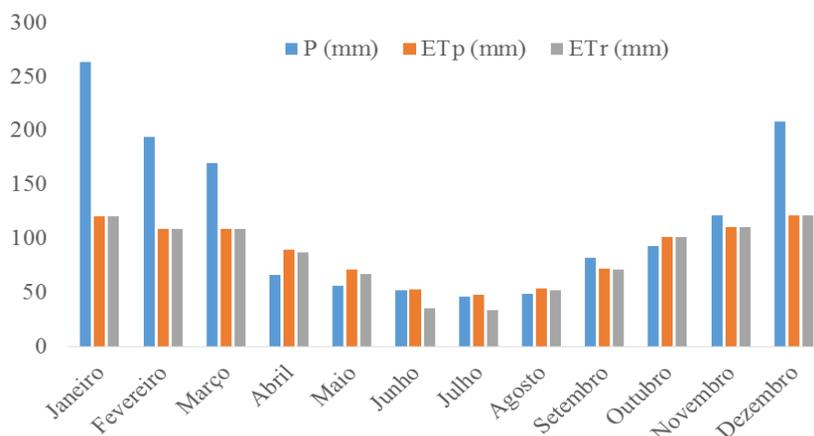
município ainda apresenta problemas devido à ocupação desordenada, principalmente em áreas de APPs.

Nesse sentido, vale a pena ressaltar que instrumentos como o Código Florestal e os planos diretores das cidades em sua grande maioria não são seguidos à risca na maiorias dos municípios brasileiros. Conforme relatou Debortoli et al. (2016) os planos diretores são fundamentais para a correta ocupação e uso da terra, objetivando os princípios de prevenção e precaução contra o risco. Nesse sentido, a fiscalização principalmente nos grandes centros é ineficiente e não há um planejamento territorial. No Brasil, os principais problemas relacionados ao uso e ocupação do solo em áreas urbanas referem-se principalmente ao desmatamento ilegal, adensamento urbano, ocupação em áreas de APP, como por exemplo: em beira de corpos d' água, topos de morro e declividade acima de 45°. Além disso, autorizações e licenças são fornecidas regularmente para construções em áreas consideradas impróprias para a urbanização, e, a falta de fiscalização pelos órgãos competentes.

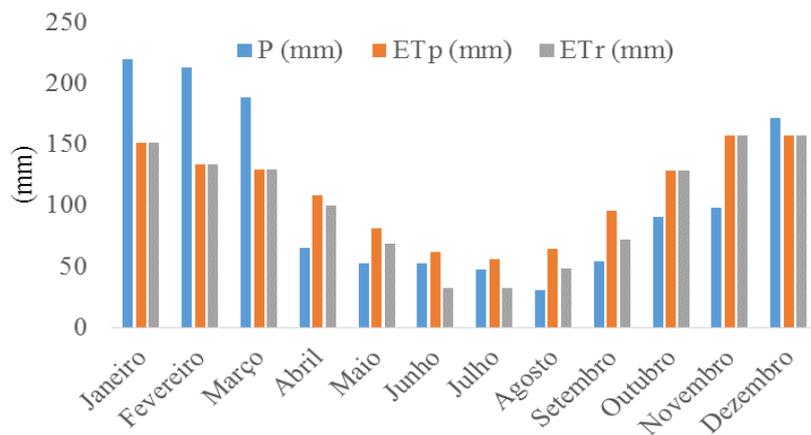
## 5.6 Zoneamento

### 5.6.1 Deficiência hídrica

A deficiência hídrica do Estado foi semelhante para os dados do modelo CCCma nos cenários adotados (passado e futuro), conforme a (Figura 35 e 36). Vale salientar que utilizou-se somente o modelo transitivo exponencial para todas as etapas do zoneamento, definido anteriormente com base na geostatística como o melhor modelo espacial. Observa-se que os valores com menor deficiência hídrica ocorrem na região Sul do estado. O município de Angra dos Reis registrou os menores valores de deficiência hídrica tanto para o cenário passado 18,68 mm quanto para o futuro 77,25 mm.



**Figura 35.** Balanço Hídrico para Angra dos Reis - RJ para o período de 1961 à 2000. P (mm) = precipitação; ETp (mm) = evapotranspiração potencial; ETr (mm) = evapotranspiração real.



**Figura 36.** Balanço Hídrico para Angra dos Reis - RJ para o período de 2046 a 2065.

P (mm) = precipitação; ETp (mm) = evapotranspiração potencial; ETr (mm) = evapotranspiração real.

Em relação ao balanço hídrico para o município de Angra dos Reis, observa-se através da (Figura 35) que a distribuição da chuva foi irregular, a qual evidencia duas estações distintas, sendo uma chuvosa (outubro à março) e seca (abril à setembro). A evapotranspiração potencial (ETP) foi constante ao longo do ano. Por outro lado, a evapotranspiração real (ETR) de certa forma acompanha a trajetória anual das chuvas. O balanço hídrico apresentou um comportamento semelhante ao longo dos anos para as demais localidades (Apêndice C).

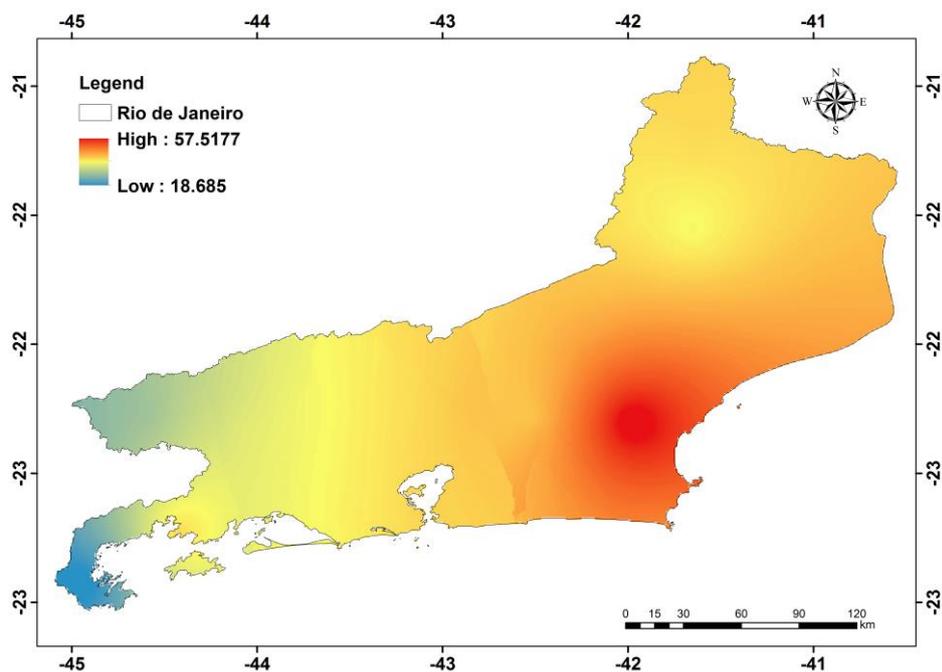
Os valores mais elevados de deficiência hídrica do cenário passado ocorreram na mesorregião das baixadas litorâneas as quais abrangem: Casimiro de Abreu (57,63 mm), Cabo Frio (46,74 mm) (Figura 37). Por sua vez, os valores mais elevados no cenário futuro ocorreram nas mesorregiões das baixadas e norte fluminense as quais abrangem os municípios de Casimiro de Abreu (145,11mm) e Campos dos Goytacazes (140,91mm), respectivamente (Figura 38). Pode-se observar que em ambos os cenários os menores valores deficiência hídrica estão concentrados na região Sul do Estado. Por sua vez, as maiores deficiências hídricas foram encontradas nas regiões Norte e Noroeste do estado, as quais podem estar associada a maiores temperaturas e menores quantidade de chuva.

É extremamente importante definir se há necessidade de irrigação em cenários futuros, pois o aumento de gastos com irrigação, pode encarecer significativamente os custos de produção. A crescente dependência da irrigação para atingir uma produção de alta qualidade conforme Knox et al. (2010), em áreas que atualmente são irrigadas em países da África do Sul poderia ter grandes implicações. Segundo os autores os regimes de irrigação (redes de canalização e redes de canais e equipamentos de aplicação) foram projetados para atender a uma certa demanda, e, projetos visando aumentar tubulações e canais para irrigação seriam antieconômicos. Desta forma, é extremamente necessário conhecer as implicações da irrigação, uma vez que em regiões onde a mesma já é utilizada pode encarecer ainda mais o custo de novas instalações, e, por sua vez, áreas onde não são utilizados, projetos de irrigação podem não compensar o cultivo da cana-de-açúcar.

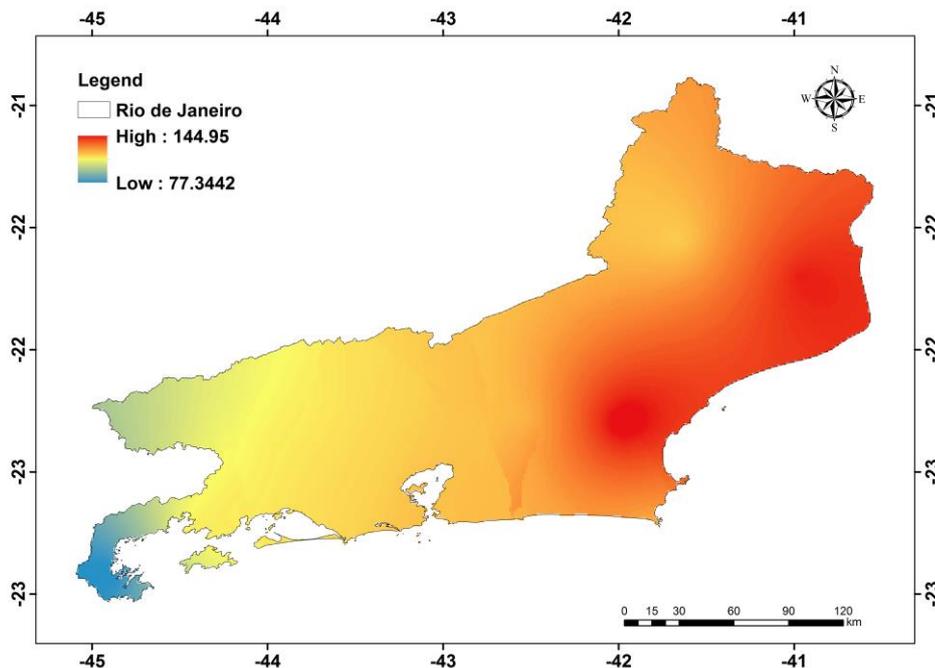
Os efeitos do estresse hídrico e da duração do estresse podem alterar o crescimento da cana-de-açúcar de diferentes maneiras, dependendo do estágio desenvolvimento da cultura. A seca nos estádios de crescimento precoce e médio reduz principalmente a produção de sacarose. Por sua vez, seca moderada na fase de crescimento tardio pode melhorar o teor de sacarose nos talo (ZHAO e LI, 2015). Isso se deve principalmente em função das

necessidades hídricas da cultura que podem variar conforme o estágio de desenvolvimento, sendo em torno de aproximadamente 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Desta forma, durante as fases fenológicas da cana-de-açúcar (germinação, perfilhamento, crescimento elevado e maturação) Gascho (1985), a cultura pode sofrer impacto na produtividade em condições de déficit hídrico (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). Wiedenfeld (2000) observou que a cana-de-açúcar submetida ao estresse hídrico nos terceiro e quarto períodos do seu ciclo, 257 a 272 e 302 a 347 dias após o plantio, respectivamente, teve redução de 8,3 a 15% no rendimento. Marin et al. (2013) atribuíram o menor rendimento da cultura devido ao clima mais seco, e, maiores déficits hídricos de Ilha Solteira em Relação à Piracicaba, São Paulo.



**Figura 37.** Deficiência Hídrica anual (mm) cenário passado. High = alto; Low = baixo.



**Figura 38.** Deficiência Hídrica anual (mm) cenário futuro. High = alto; Low = baixo.

Collichio (2008) encontrou valores de deficiência hídrica elevados para o estado do Tocantins (245 à 587 mm). Através do zoneamento agroclimático o autor registrou condições hídricas satisfatórias (apta) em apenas em 0,1% do estado, sendo 41,7% com aptidão marginal, ou seja, onde é necessária irrigação suplementar ou irrigação de salvamento. Desta forma, infere-se que para o estado do Rio de Janeiro, devido à falta de restrição hídrica no futuro pode levar a um incremento de área plantada de cana-de-açúcar.

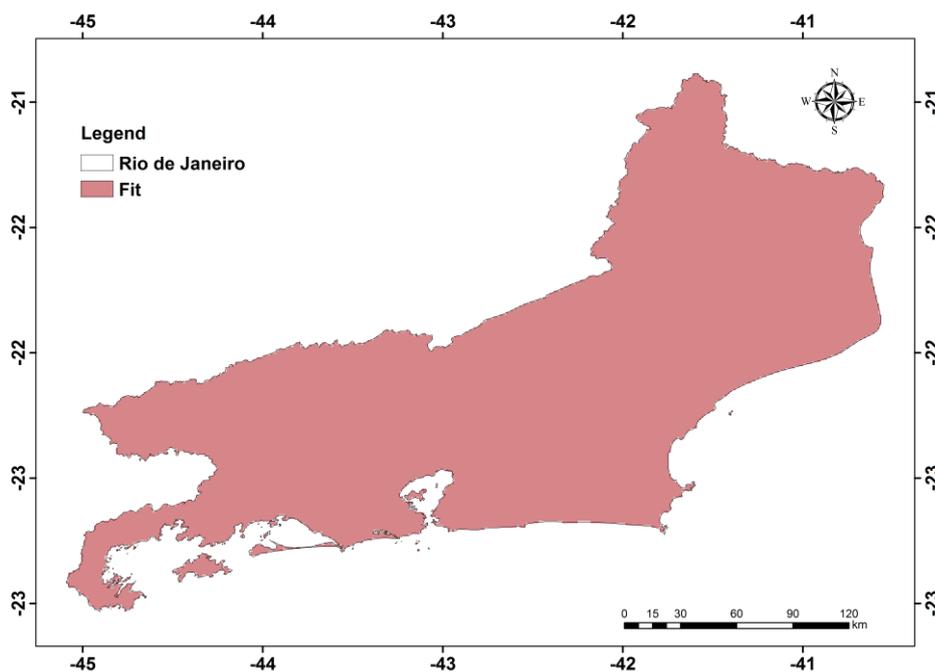
Em locais com deficiência hídrica se faz o uso de irrigação, além disso a irrigação tem aumentado a produtividade de colmos e de teor de açúcar se comparada a áreas não irrigadas (COELHO et al., 2002; BARBOSA, 2005; OLIVEIRA et al., 2011). As irrigações influenciaram na fase inicial de crescimento e no início do máximo desenvolvimento da cultura (DANTAS NETO et al., 2006). Entre os principais fatores da baixa produtividade para o estado de Paraíba Moura et al. (2005) destacaram a baixa pluviosidade e o empobrecimento do solo. Segundo os autores o regime irrigado proporcionou aumento de 25% no comprimento dos colmos em relação ao regime sem irrigação.

Além disso, algumas estratégias tem sido propostas em países como Zimbabué na África, entre elas: variedades tolerantes à seca, investimento de infraestrutura de irrigação, melhorando a eficiência da irrigação e sistemas de drenagem e melhorando práticas culturais e de manejo (CHANDIPOSHA, 2013).

Entretanto, o regime de cultivo com irrigação, em geral encarece a produção da cana-de-açúcar. Desta forma, o estado do Rio de Janeiro possui uma vantagem competitiva em relação a alguns estados, pois atualmente não precisa cultivar sob este sistema. Além disso, apesar do cenário futuro apresentar uma maior deficiência hídrica (Figura 38), principalmente nas regiões de baixadas e Norte do estado, isso não irá limitar o cultivo da cana-de-açúcar no cenário futuro no estado do Rio de Janeiro.

Através da espacialização (Figura 39) dos dados de deficiência hídrica anual no cenário referência (1961 à 2000) e os valores absolutos projetados para o clima futuro (2046 à

2065), pode-se constatar que o estado não possui deficiência hídrica que limite a produção da cana-de-açúcar, sendo todas as áreas consideradas aptas.



**Figura 39.** Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar para cenário futuro. Fit = Apto.

Castro (2014) ao avaliar cenários de mudanças climáticas para a cana-de-açúcar encontrou um aumento da deficiência hídrica, o qual pode chegar a 1000 mm até 2050, enquanto que para a projeção da década de 2080 os resultados podem alcançar os 1200 mm em algumas regiões, que é o caso da região do Nordeste do Brasil. Entretanto, o autor utilizou o cenário A1B, considerado pessimista com elevação de temperatura entre 1,8 °C e 6,4 °C até 2100. Oliveira et al. (2012) registraram que a medida que diminui os percentuais de chuva, as áreas consideradas de médio e baixo risco climático para o plantio de cana vão sendo minimizadas.

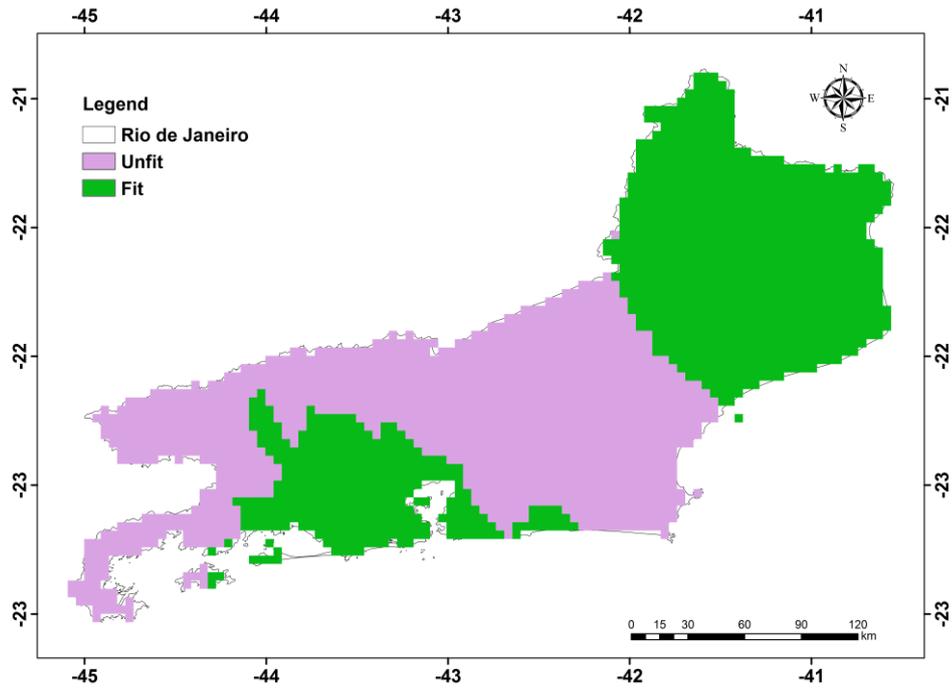
Assad et al. (2008) e Gouvêa et al. (2009) demonstraram que apesar de a cultura da cana-de-açúcar apresentar uma projeção de aumento de área apta ao cultivo, algumas regiões, como o centro-oeste do Brasil, poderiam tornar-se mais dependentes da irrigação complementar.

## 5.6.2 Temperatura

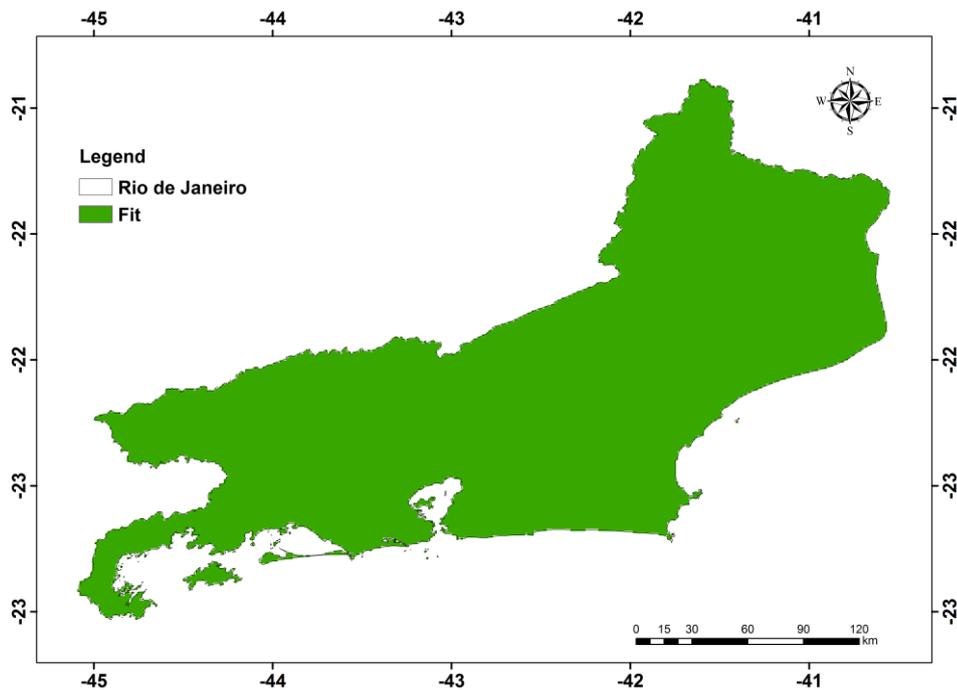
Na (Figura 40) é apresentado o zoneamento através da temperatura para o estado do Rio de Janeiro. Nesta figura, pode-se observar as áreas aptas e inaptas para a cultura da cana-de-açúcar para o cenário passado (1961-2000). Nesse cenário, áreas inaptas concentram-se na porção Sul, juntamente com a região Serrana do estado. Apenas as áreas verdes são consideradas aptas ao cultivo no cenário adotado (Figura 40).

No cenário futuro adotado (2046-2065) haverá um incremento da temperatura média anual para o modelo CCCma, com temperaturas médias que podem variar de 23.49 °C à 25.20 °C. Para o zoneamento do cenário futuro (Figura 41) não foi constatado nenhuma área inapta

para o cultivo da cana-de-açúcar para o Estado. Desta forma, a temperatura não é uma variável limitante para o cultivo da cana-de-açúcar no cenário futuro adotado para o estado do Rio de Janeiro. Portanto, para o estado do Rio de Janeiro a temperatura em cenário futuro poderá ser benéfica, uma vez que não há restrição para nenhuma área do Estado.



**Figura 40.** Mapa de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para o estado do Rio de Janeiro para o cenário passado. Fit = Apto; Unfit = inapto.



**Figura 41.** Mapa de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para o estado do Rio de Janeiro (futuro). Fit = Apto.

Na literatura, pode-se encontrar outros trabalhos relatando que a temperatura pode exercer um efeito positivo no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Marin et al. (2013) constataram que sob cenário de aumento de temperatura, a parte Sul do estado de São Paulo pode se tornar mais adequada para a produção de cana-de-açúcar no futuro. Gouvêa et al. (2009) registraram que o aumento de temperatura de 1, 2 e 3°C resultou, respectivamente, em incrementos de 6,4, 12,1 e 17,0% em relação às condições presentes de temperatura. Corroborando Melo et al. (2007) mencionaram que de um modo geral as mudanças climáticas, em especial a temperatura acarretaram em um efeito benéfico para a cana-de-açúcar, refletindo em uma maior produção de massa seca em colmos em São Paulo.

Estudos realizados em algumas regiões do mundo, em ambientes controlados, e, simulando altas temperatura e concentrações de CO<sub>2</sub>, sugerem que há um benefício no crescimento da cana-de-açúcar e a acumulação de biomassa (SOUZA et al., 2008; VU e ALLEN, 2009a; VU e ALLEN, 2009b). Apesar dos resultados encontrados em ambientes controlados serem importantes para entender os mecanismos fisiológicos de resposta da cana-de-açúcar, tanto em relação ao aumento de temperatura quanto de CO<sub>2</sub>, é difícil a compressão de todas as interações que de CO<sub>2</sub> e os demais fatores climáticos que podem afetar a cultura à campo.

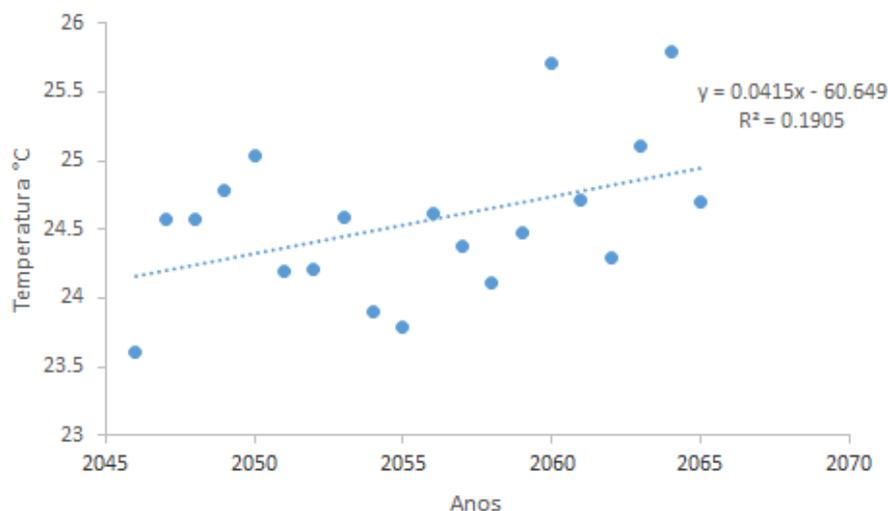
Uma das grandes limitações ao cultivo da cana-de-açúcar na maioria das regiões é a ocorrência de geadas (CHAKRABORTY, et al., 1998). No Brasil, regiões mais frias como é o caso do estado do Rio Grande do Sul, a qual possui aptidão para o cultivo de cana-de-açúcar Manzatto et al. (2010), poderá ter uma expansão da cultura devido ao aumento da temperatura em cenários futuros.

Entretanto, existem inúmeros trabalhos que associam aumentos de temperatura com a diminuição da área disponível para o plantio da cultura. Oliveira et al. (2012) ao avaliarem o zoneamento de cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil, encontraram que aumentos de temperatura de até 5°C, aliados a reduções de chuva poderá reduzir significativamente a área agricultável da cultura. A alta temperatura decorrente das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil aumentará as taxas de evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água disponível nos solos, tornando cada vez mais difícil o plantio da cana-de-açúcar e aumentando consideravelmente a demanda por irrigação (CARVALHO et al., 2015). Os autores mencionam que o rendimento da cana-de-açúcar pode reduzir a valores entre 40 e 70 toneladas por hectare já no ano de 2040, sendo o ano de 2070, considerado o mais crítico.

As condições para o cultivo da cana-de-açúcar são relativamente amplas, sendo que a variável temperatura influencia no crescimento. De acordo com Carvalho et al. (2015) temperaturas favoráveis ao desenvolvimento da cultura podem variar de 25 °C à 33 °C em regiões tropicais e subtropicais. Desta maneira, no presente trabalho pode-se constatar que a temperatura para o cenário passado (Figura 40) limitou mais, tornando algumas áreas inaptas para o estado. Entretanto, a temperatura projetada para cenário futuro está dentro ou próxima do ótimo para a cana-de-açúcar contribuindo para expandir as áreas aptas ao cultivo (Figura 41).

A atividade da cana-de-açúcar conforme mencionaram Carvalho et al. (2015), provavelmente se beneficiará da temperatura do ar, dobrando a área adequada para o cultivo em quase todo o país. De acordo com os autores a cultura poderá ser expandida para áreas da Região Sul, que hoje têm restrições devido à ocorrência de baixas temperaturas e que terá um grande potencial de produção no futuro.

Apesar do coeficiente de determinação  $R^2 = 0.1905$  ser baixo, pode-se observar através da equação linear de regressão uma tendência de aumento na temperatura ao longo dos anos em cenários futuros no estado do Rio de Janeiro (Figura 42).



**Figura 42.** Tendência da temperatura (°C) no estado do Rio de Janeiro, de 2046 à 2065.

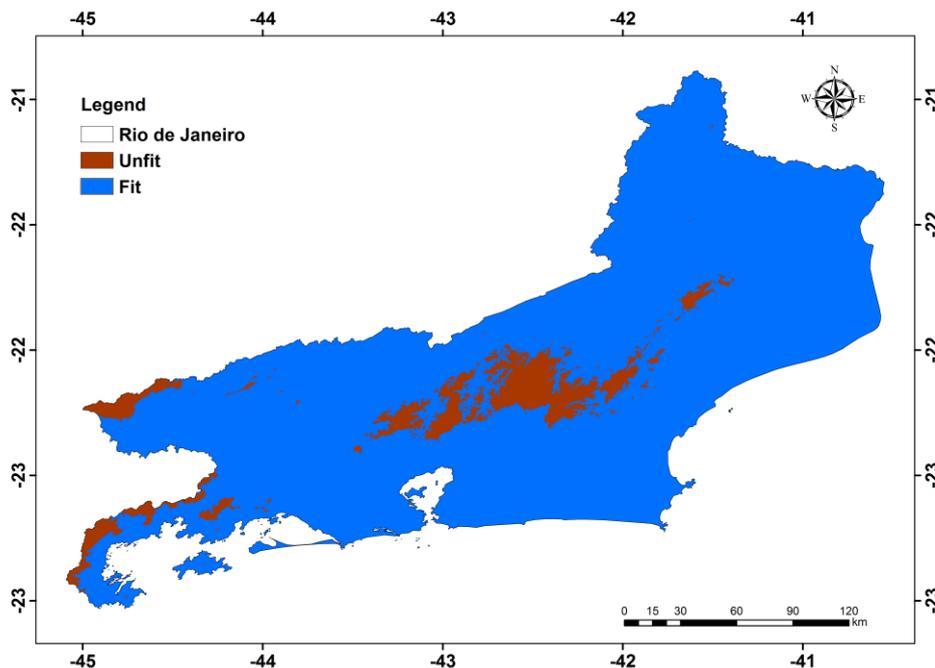
### 5.6.3 Altimetria

Como pode-se observar na (Figura 43), poucas áreas não se encontram aptas para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro. Praticamente todo o estado apresenta área apta para o cultivo dessa espécie. Desta forma, as áreas inaptas são aquelas com altitudes maiores que 1200 m consideradas topos de morro e correspondem principalmente a áreas de florestas nativas, as quais além do fator altitude não podem ter plantio de culturas em função de infringir o Código Florestal.

Collicchio (2008) também registrou alta aptidão agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar para o estado do Tocantins. De acordo com o modelo de elevação digital, a maioria do estado (85 a 90%) apresenta declividade entre 0 e 15%. Desta forma, o relevo favorece a mecanização, sendo que declividade acima de 12% é considerada imprópria para a mecanização. De acordo com Nassar et al. (2008), além do Tocantins, estados como Piauí e Maranhão são regiões promissoras para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, especialmente em áreas de Cerrado.

Pode-se observar através da (Figura 43) que as áreas inaptas correspondem especialmente às regiões: serrana (Parque Nacional da Serra dos Órgãos), sul fluminense (Parque Nacional do Itatiaia, Parque Nacional da Bocaina).

A topografia é importante em áreas com essa cultura, pois dentre os fatores relacionados a modernização da canavicultura, destaca-se a colheita mecanizada (SOUZA et al., 2005). Na colheita mecanizada não há necessidade da “despalha” com fogo, apenas esse fato já representa uma importante contribuição na diminuição da emissão de gases estufa. De fato, uma das preocupações no sistema de colheita é a emissão de gases de efeito estufa, pois a queima de resíduos é uma prática comum em muitos países que cultivam essa espécie (ZHAO e LI, 2015). No Brasil, atualmente, a colheita manual está restrita a áreas pouco significativas, de alta declividade, predominantemente na Região Nordeste (BRAUNBECK e MAGALHÃES, 2010).



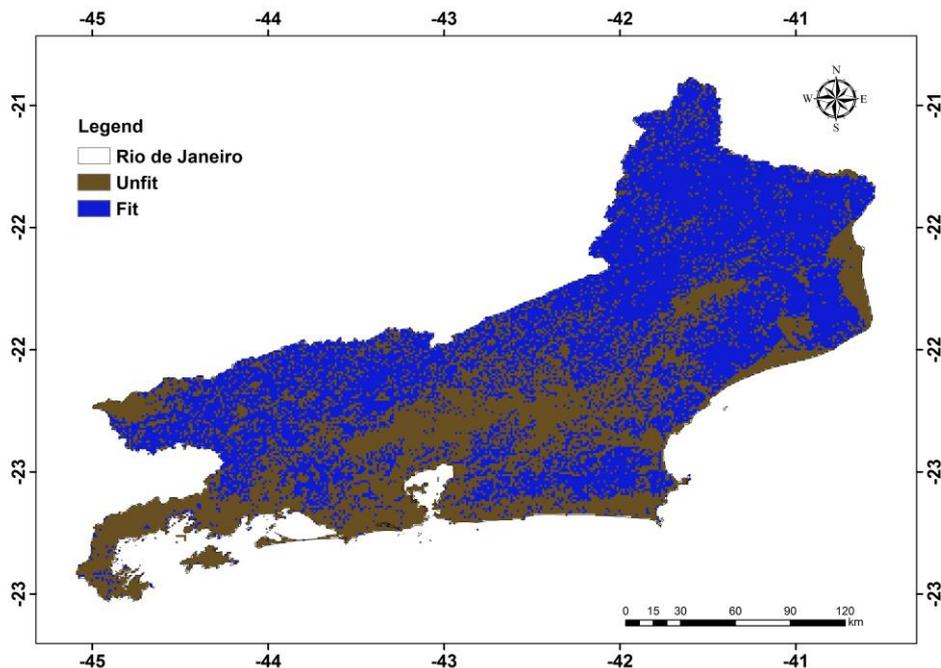
**Figura 43.** Zoneamento através do uso de SRTM passado e futuro. Fit = Apto; Unfit = inapto.

#### 5.6.4 Uso e cobertura do solo

Através da utilização do mapa de uso e ocupação do solo disponibilizado pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente) realizou-se o zoneamento das áreas aptas e inaptas ao cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro. A (Figura 44) mostra de forma geral as áreas disponíveis no estado. Pode-se observar que áreas localizadas mais ao Sul do estado, apesar de não serem atualmente ocupadas com cana-de-açúcar não apresentam restrição quanto ao uso e cobertura do solo.

As áreas consideradas inaptas a cultura podem ser enquadradas em áreas com restrições legais, ou seja, aquelas em que a lei não permite o cultivo da cana-de-açúcar, ou áreas que possuem restrição física, como é o caso de áreas urbanas (Figura 44). Dentre os tipos de ambientes com restrição legal no estado pode-se citar: florestas, dunas, mangues, restingas, áreas úmidas e afloramento rochoso. As áreas declivosas onde encontram-se o conjunto de montanhas e serras no estado, também não apresentam aptidão, sendo portanto indicadas para a conservação e preservação ambiental.

Áreas classificadas como inapropriadas devido ao tipo de uso do solo como é o caso das florestas merecem uma atenção especial. Conforme Allen et al. (2010) as mudanças climáticas podem acarretar em aumentos na mortalidade de árvores e riscos de incêndios no futuro. Dessa forma, áreas ocupadas por florestas na atualidade podem apresentar uma diminuição em cenários futuros tornando-se mais vulnerável. Nesse sentido, a cana-de-açúcar poderia expandir nessas áreas ocupadas anteriormente com florestas. Além disso, a expansão da cana-de-açúcar futuramente poderá compreender áreas do estado do Rio de Janeiro que atualmente são utilizadas na produção agrícola intensiva e semi-intensiva, pastagens e áreas de solo exposto.



**Figura 44.** Mapa de uso e ocupação do solo (passado e futuro). Fit = Apto; Unfit = inapto.

### 5.6.5 Área apta ao cultivo de cana-de-Açúcar no estado do Rio de Janeiro

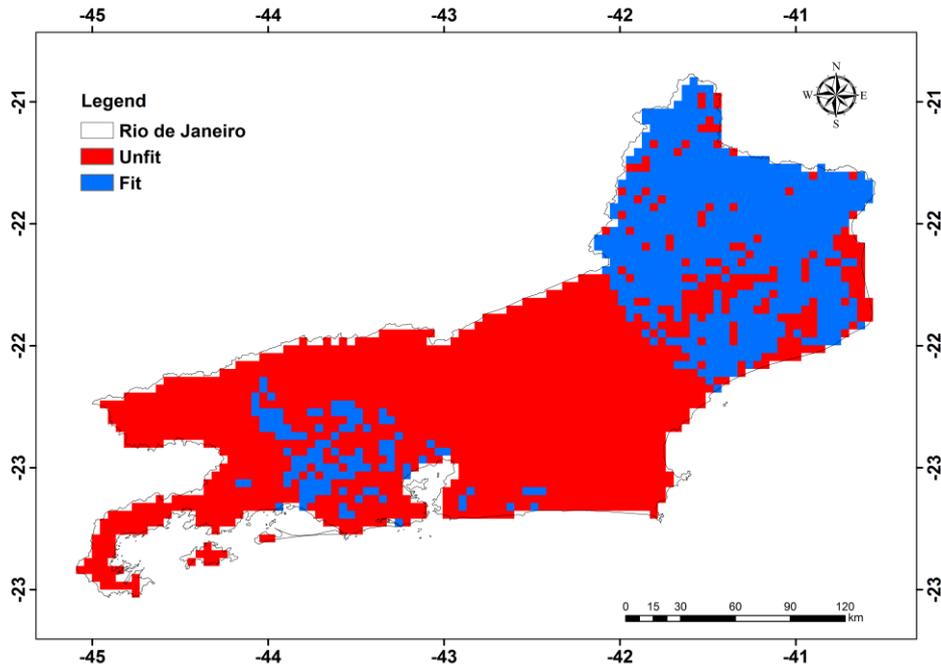
Considerando-se a sobreposição final (deficiência hídrica, temperatura, altimetria e uso e ocupação do solo) foi possível a determinação do zoneamento para o cultivo da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro considerando o cenário passado (Figura 45) e futuro (Figura 46). Nas regiões norte e noroeste do estado, onde a Serra do Mar termina e a Serra da Mantiqueira se distancia e perde altitude, nota-se áreas aptas ao cultivo em ambos os cenários adotados.

Áreas inaptas foram determinadas como sendo aquelas de ocorrência de uma ou mais restrições, dentre elas: topografia, deficiência hídrica, temperatura ou restrição quanto ao uso e ocupação do solo (Figura 45 e Figura 46).

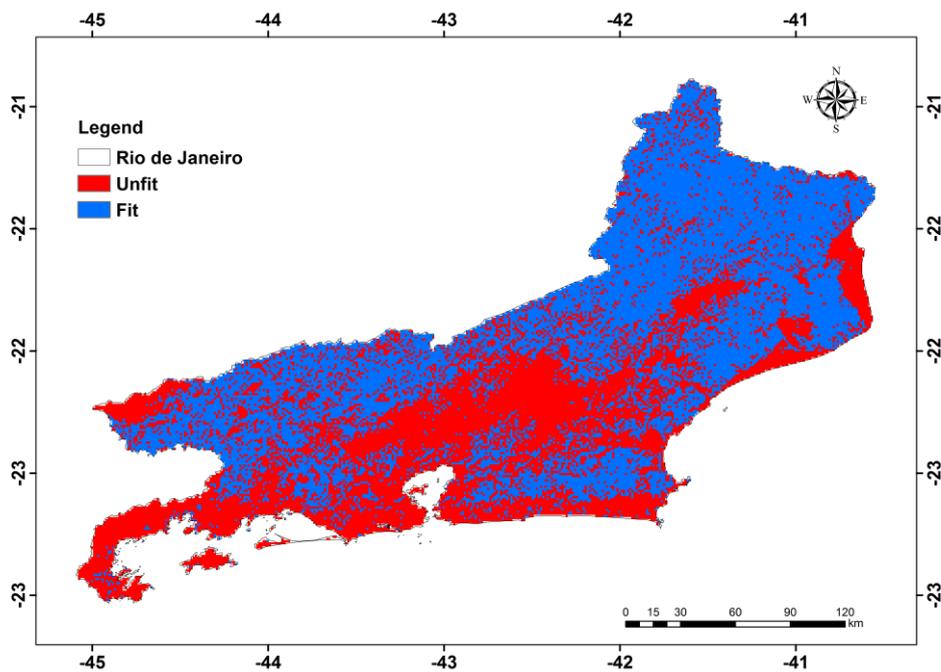
No cenário futuro adotado (Figura 46) percebe-se que há uma expansão da cana-de-açúcar para outras regiões, em especial ao Sul do estado. Isso pode estar aliado ao acréscimo de temperatura encontrado no presente estudo. No zoneamento considerando apenas a variável temperatura foi possível constatar que todo o estado do Rio de Janeiro é apto. Dessa forma, infere-se que a temperatura poderia estar contribuindo para expandir a cultura para outras regiões do Estado. A região Sul do estado, apresenta um histórico de cultivo de cana-de-açúcar, sendo que no século XVIII com a valorização do açúcar no mercado nacional, instalaram-se mais de 250 engenhos. Porém, a partir do século XIX a cultura do café começa a se sobrepor à de cana-de-açúcar (GOMES et al., 2004)

Apesar de uma projeção de aumento de temperatura ser esperada até o ano 2065, isso não implicará em deficiência hídrica para o estado, o que pode estar colaborando dessa forma para a expansão de áreas aptas da cultura. Dessa forma, não havendo restrição hídrica aliada ao aumento de temperatura no estado, pode estar contribuindo para expandir a cultura para outras regiões que anteriormente não era aptas ao cultivo. O fato do estado não apresentar deficiência hídrica no futuro é interessante, pois, os gastos com irrigação podem tornar o

cultivo caro oneroso. Trabalhos realizados em diferentes regiões do Brasil em cenários futuros encontraram deficiência hídrica para o cultivo, sendo que o uso de irrigação se tornará indispensável nessas áreas (CASTRO, 2014; ASSAD et al., 2008; GOUVÊA et al., 2009).



**Figura 45.** Zoneamento final da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro para o cenário passado. Fit = Apto; Unfit = inapto.



**Figura 46.** Zoneamento final da cana-de-açúcar para o estado do Rio de Janeiro para o cenário futuro. Fit = Apto; Unfit = inapto.

Outro aspecto importante a ser avaliado é a distribuição espacial das classes aptas e inaptas (Figura 45 e 46), regiões que no cenário passado apresentavam áreas inaptas para o cultivo da cultura passarão a ser aptas no cenário futuro (Figura 46). Castro (2014) também observou comportamento semelhante para o estado do Amazonas, o qual no cenário referência não apresenta áreas favoráveis para a cultura, porém, com as projeções climáticas centradas nas décadas de 2020, 2050 e 2080, o estado passará a possuir zonas aptas e restritas.

Pode-se observar que o plantio de cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro, basicamente se concentra na região Norte Fluminense (Figura 45). Atualmente, a cultura ocupa uma área de aproximadamente 137 mil hectares, dos quais 91% localizados na região Norte Fluminense, onde se concentra o maior número de indústrias (PESAGRO, 2016). No cenário futuro houve uma expansão da cana-de-açúcar para a região localizada ao Sul do estado. Atualmente, essa região é predominantemente ocupada por pastagem e remanescentes florestais. Nassar et al. (2008) registrou que a expansão da cana-de-açúcar nos estados de Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul ocorreu basicamente em áreas de pastagem, seguida de agricultura.

Considerando a área total do estado do Rio de Janeiro multiplicou-se os valores dos pixels encontrados no zoneamento final a fim de obter as áreas aptas e inaptas em hectares para os dois cenários adotado conforme a (Tabela 19).

**Tabela 19.** Áreas aptas e inaptas para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro pelo modelo CCCma para o cenário passado e futuro.

<b>Modelo CCCma</b>	<b>Apto (ha)</b>	<b>Inapto (ha)</b>	<b>% Apto RJ</b>	<b>%Inapto</b>
Passado	317.100	4.052.500	8%	92%
Futuro	2.889.700	1.479.900	66%	34%

Analisando a (Tabela 19) observa-se que as áreas pertencentes à classe inapta no período passado sofreu uma redução no futuro. A classe apta sofreu alteração com os impactos das mudanças climáticas, ganhando aproximadamente 58% entre o período passado e a projeção futura até a década de 2065. Desta forma, é possível observar que no futuro mais da metade do estado terá condições favoráveis a produção da cana-de-açúcar. Esses resultados podem ser atribuídos ao aumento na média da temperatura global e ausência de deficiência hídrica. Entretanto, Castro (2014) registrou que a maior parte do território da América do Sul se tornou inapto para a cultura da cana-de-açúcar para o ano de 2080. O autor atribuiu a combinação de aumento de temperatura e da deficiência hídrica como as possíveis causas da diminuição das áreas aptas em cenários futuros.

Assad et al. (2008) e Gouvêa et al. (2009) demonstraram que apesar de a cultura da cana-de-açúcar apresentar uma projeção de aumento de área apta ao cultivo, algumas regiões, como o centro-oeste do Brasil, poderiam tornar-se mais dependentes da irrigação complementar. No entanto, para o estado do Rio de Janeiro onde não há deficiência hídrica para o cenário futuro adotado medidas de irrigação complementar não serão necessárias.

Usando os modelos (PRECIS e CSIRO), Marin et al. (2013) relataram que a mudança climática melhorou a eficiência do uso da água da cana-de-açúcar e a produção de cana-de-açúcar para algumas regiões do Brasil. Considerando a projeção de rendimento de cana-de-açúcar para em 2050 poderia ser 15-59% maior do que no nível médio atual.

A cana-de-açúcar tornou-se uma das principais culturas na produção de energia limpa, e, vem aumentando a área cultivada em diferentes partes do mundo. Além disso, a busca por fontes de energia renováveis e menos poluentes beneficia a produção de cana-de-açúcar, já

que o álcool é uma alternativa que pode substituir os combustíveis fósseis (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Apesar do aumento das áreas com essa cultura, uma das preocupações é a emissão de gases de efeito estufa, pois a queima de resíduos antes ou depois da colheita de cana-de-açúcar é uma prática comum em muitos países (ZHAO e LI, 2015). Em Um estudo realizado por Figueiredo et al. (2010), os autores registraram aproximadamente 2,4 toneladas de CO<sub>2</sub> foram liberadas para a atmosfera por safra de cana-de-açúcar. Os principais contribuintes do CO<sub>2</sub> liberado da cana-de-açúcar foram a queima de resíduos (44%), a utilização de fertilizantes sintéticos (20%) e a combustão de combustíveis fósseis (18%).

A projeção futura para o estado do Rio de Janeiro mostra uma potencial expansão da cultura. Deve-se entretanto, salientar que medidas a fim de limitar as queimadas da cana, e, consequentemente diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> devem ser verificadas de acordo com a legislação vigente. No estado do Rio de Janeiro a Lei nº 5990, de 20 de junho de 2011 define que as agroindústrias, produtoras de açúcar e etanol, e demais plantadores de cana-de-açúcar, os quais utilizam a prática de queimada, devem adotar as providências necessárias à eliminação gradativa dessa prática. Segundo a lei em áreas já implantadas e não passíveis de mecanização da colheita fica determinado a eliminação da prática de queimada até o ano de 2024. Outro aspecto importante refere-se a Política Ambiental Brasileira, a qual obriga a elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) para todas as usinas de cana-de-açúcar em funcionamento (NASSAR et al., 2008).

Estudos sobre as mudanças climáticas e culturas agrícolas tem sido amplamente realizados em todo o mundo. Entretanto, certos estudos devem ser usados com critério, pois muitos modelos ainda são inconsistentes. Além disso, a maioria dos modelos não utiliza a interação dos cultivos com dados biológicos como por exemplo ocorrência de pragas e doenças. Fatores tecnológicos como melhoramento genético das espécies agrícolas também não são incorporados pelos modelos.

## 6 CONCLUSÕES

- Os dados referentes as medidas descritivas das variáveis chuva e temperatura mostraram que a chuva apresentou maior oscilação se comparada a temperatura para os dois modelos. O regime de chuva foi maior, e, a temperatura foi ligeiramente menor na região Sul do estado para ambos modelos. Esses resultados podem estar ligados a questões topográficas, presença do oceano e vegetação no estado. O modelo CCCma apresentou os dados mais próximos ao do NOAA, sendo que o modelo GFDL subestimou a maioria dos dados de chuva e temperatura.
- A análise geoestatística, demonstrou que o modelo CCCma foi aquele que apresentou melhores resultados em relação ao grau de dependência espacial para o cenário passado e futuro. Devido a inconsistência dos dados do modelo GFDL, não foi possível interpolar a variável temperatura para o cenário futuro. Analisando o desempenho geral dos modelos transitivos adotados, fica evidente a superioridade do modelo exponencial tanto para o cenário passado, quanto futuro.
- Através do produto MCD12Q1 do sensor MODIS, pode-se registrar diferenças marcantes em relação a chuva e a temperatura e seus respectivos uso do solo para o Estado. Áreas urbanas em geral apresentam menores quantidades de chuvas e maiores temperaturas se comparadas à áreas com ocorrência de floresta.
- O estado do Rio de Janeiro não possui deficiência hídrica em nenhum dos cenários adotados, sendo todo o estado considerado apto ao cultivo da cana-de-açúcar. Em relação a temperatura pode-se observar que no futuro haverá um provável aumento de temperatura e consequentemente uma expansão de áreas aptas ao cultivo. Em relação a topografia, praticamente todo o estado encontra regiões aptas, exceto as regiões serranas que apresentam altitudes superiores a 1200 metros. Foram consideradas áreas inaptas quanto a ocupação do solo, áreas que apresentam restrições legais. Área localizadas ao Sul do estado, apesar de não serem ocupadas atualmente com cana-de-açúcar não apresentam restrição quanto ao tipo de uso.
- Considerando o zoneamento final, percebe-se que houve uma expansão da cana-de-açúcar em torno de 58%, podendo esse resultado estar aliado ao aumento da temperatura.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELLA, K. McFARLANE, N. A new second order turbulence closure scheme for the planetary boundary layer, **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.54, p.1850-1867, 1997.

AIDAR, M. P. M. et al., Effect of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on the establishment of seedlings of jatobá, *Hymenea coubaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Biota Neotropica**, v.2, n.1, p.1-10, 2002.

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. D.; PINHEIRO, F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p.501 - 509, 2008.

ALLEN, C. D. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 660–684, 2010.

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p.501-509, 2008.

ANDREAE, M.O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: Levine, J.S. (Ed). **Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications**. Cambridge MIT Press: London, p.3-121, 1991.

ARAÚJO, M. F. C.; GUIMARÃES, E. C.; CARVALHO, D. F.; ARAÚJO, L. B. Precipitação pluviométrica mensal do Estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 4, p. 90-100, 2009.

ARRUDA, J. J. A. **História: moderna e contemporânea**, São Paulo: Ática, 1996. 472p.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free air-CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. **New Phytologist**, v.165, n.2, p. 351-372, 2005.

ASSAD, E. D. et al. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. 2.ed. Campinas: EMBRAPA, 2008, v.1, 55p.

ATAÍDE, K. R. P. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento orbital**. 2012. 176 f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

BARBOSA, A. B. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas - MG**. 2005. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: Planalsucar, 1977. p. 1-22.

BOTH, G. C. Estimativa e espacialização da temperatura dos meses mais quente e frio do Estado do Rio Grande do Sul. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, p. 168-180, 2010.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. de; Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO<sub>2</sub> usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.1, p.58-72, 2008.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação Tecnológica da Mecanização da Cana-de-Açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord). **Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010, p. 411- 424.

BRITO, F. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 57, p. 221-236, 2006.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, C. G. C. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos no cultivo de pêsego e de nectarina em Santa Catarina**. 2011. 165 f. Tese (Doutor em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

CARVALHO, A. L. de. et al. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable Energy**, v. 78, n.1, p. 26–34, 2015.

CASTRO, F. S. **Cenários de mudanças climáticas para a América do Sul: impacto no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar**. 2014. 100 f. Tese (Doutor em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

CASTRO, F. D. S. et al. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 871-880, 2010a.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BÔRGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 171-191, 2010b.

CAYAN, D. R. et al. Climate change scenarios for the California region. **Climatic Change**, v 87, n. 1, p. 21-42, 2008.

CHAKRABORTY, S. et al. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 27, n. 1, p. 15–35, 1998.

CHANDIPOSHA, M. Potential impact of climate change in sugarcane and mitigation strategies in Zimbabwe. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 23, p. 2814–2818, 2013.

CHOU, S. C. et al. Avaliação de modelos globais e regionais climáticos. In: AMBRIZZI, T.; ARAÚJO, M.. (Org.). **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação

Nacional sobre Mudanças Climáticas. 1ed. Rio de Janeiro: COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014, v. 1, p. 278-319.

CRUZ, C. B. M. et al. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 7789-7796.

COELHO, M. B. et al. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 8., 2002 Recife, **Anais...** Recife: STAB, 2002, p.591-598.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: segundo Levantamento - ago. 2014. Brasília, DF: Conab, v.1, 2013, 18p.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutor em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2003.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A.; BEAUCLAIR, E. G. F.; GAVA, G. J. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v. 67, n.1, p.15-23, 2008.

DAI, A. Precipitation Characteristics in Eighteen Coupled Climate Models. **Journal of Climate**, v.19, n. 18, p. 4605-4630, 2006.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.283-288, 2006.

DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. In: CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, CPRM, 2001. CD-Rom.

DEBORTOLI, N.S.; CAMARINHA, P. I.; RODRIGUES, R. R.; MARENGO, J. Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais no Brasil, no contexto das Mudanças Climáticas. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. C. (Org.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. 1ed. Brasília: MCTI, 2016, v. 1, p. 321-386.

DE MELLO, C. R. et al. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.6, p.1878-1891, 2012.

DE SOUZA, A. P. **A Cana-de-açúcar e as mudanças climáticas: efeitos de uma atmosfera enriquecida em CO<sub>2</sub> sobre o crescimento, desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de *Saccharum ssp.*** 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; LYRA, G. B. Cenários Climáticos da Radiação Solar Global Baseados no Modelo Regional HadRM3 para o Estado do Acre. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 417-428, 2014.

DIODATO, N.; CECCARELLI, M. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, n. 3, p.259-268, 2005.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 307, n.1-4, p.145-163, 2005.

DORNELES, A. C. B. O zoneamento e sua importância como um instrumento de planejamento urbano. **Cadernos da Escola de Direito e Relações Internacionais**, v. 1, n.13, p. 452-467, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. Irrigation and Drainage Paper,33.

DOURADO, F.; ARRAES, T. C.; SILVA, M. F.O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n.2, p. 43-54, 2012.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geostatístico por indicação**. 2001. 212 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; ROMÃO, R.;LA SCALA JR. N. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. **Carbon Balance and Management**, v. 5, n. 3, p. 1-7, 2010.

FREITAS, S. R.; NEVES, C. L.; CHERNICHARO, P. Parque Nacional da Tijuca: palco de duas iniciativas clássicas de restauração da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 4, p. 975-982, 2006.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v.10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FRISCHENBRUDERA, M. T. M. PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 76, n. 1-4, p. 67-78, 2006.

GASCHO, G.J. Water-sugarcane relationships. **Sugar Journal**, v. 48, n.1, p.11-17, 1985.

GONDIM, R. et al. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1657-1664, 2009.

GOMES, L. J.; CARMO, M. S. SANTOS, R. F. Conflitos de interesses em unidades de conservação do município de Parati, estado do Rio de Janeiro. **Informações Econômicas**, v.34, n.6, p. 18-27, 2004.

GOUVÊA, J. R. F.; SENTELHAS, P. C.; GAZZOLA, S. T.; SANTOS, M. C. Climate changes and technological advances: Impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, n.5, p.593-605, 2009.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v.21, n. 59, p.7-20, 2007.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1977. 483 p.

GROSSI, M. C. et al. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 51, n.1, p. 53-64, 2013.

HIBBARD, K. A.; MEEHL, G. A.; COX, P.; FRIEDLINGSTEIN, P. A strategy for climate change stabilization experiments. **Eos Transactions American Geophysical Union**, v. 88, n. 20, p. 217-221, 2007.

HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global Change Biology**, v. 12, n.12, p. 2272-2281, 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema Fitogeográfico Inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. IBGE 2ª ed., Rio de Janeiro, 2012, 271p.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, n.1, p.185-202, 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction To Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561 p., 1989.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 14 Ago, 2015.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report**. Cambridge University Press. 2001a, 873 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em 16 out, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC 2001b: **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability- Contribution of Working Group 2 to**

the IPCC Third Assessment Report. Cambridge University Press. 2001b, 1005 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em 16 out, 2015.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf). Acesso em: 12 de Ago, 2016.

JADOSKI, C. J. et al. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p.169-176, 2010.

JUSTINO, F. et al. Mean and Interannual Variability of Maize and Soybean in Brazil under Global Warming Conditions. **American Journal of Climate Change**, v. 2, n. 4, 237-253, 2013.

KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n.3, p. 437-471, 1996.

KNOX, J. W.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; NIXON, D. J.; MKHWANAZI, M. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 2, p. 63–72, 2010.

KURIHARA, Y.; TULEYA, R. E.; BENDER, M. A. The GFDL Hurricane Prediction System and its performance in the 1995 hurricane season. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 5, p. 1306–1322, 1998.

LANDIM, P. M. B. Sobre estatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LP DAAC – LAND PROCESS DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER <[http://www.lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table/mcd12q1](http://www.lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mcd12q1)> Acesso em: 13 jul. 2016.

LIU, Y. Y. et al. Changing Climate and Overgrazing Are Decimating Mongolian Steppes. **Plos one**, v. 8, n. 2, p. 1-6, 2013.

LU, J.; VECCHI, G. A.; REICHLER, T. Expansion of the Hadley cell under global warming. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n.6, 1-5, 2007.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Coord.) **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 113-118.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. **Embrapa Solos - Boletim de Pesquisa**, v. 110, p. 1-55, 2009. MANZATTO, C.V.; BACA, J.F.M.; PEREIRA, S.E.M.; ASSAD, E.D.; MEIRELLES, M.S.P.; BACA, A.F.M.; NAIME, U.J.; MOTTA, P.A.F. da. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: abordagem metodológica para integração temática de grandes áreas territoriais. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.D.; ANDRADE, A.G. de. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p.193-214.

MARTINS, L. A. **A Temperatura do Ar em Juiz de Fora – MG: Influência do Sítio e da Estrutura Urbana.** 1996. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1996.

MARENGO J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI.** 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. v. 1. 214p.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 2, p.232–239, 2013.

MARIN, F. R. et al. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, v. 117, n. 1-2, p. 227–239, 2013.

MARIN, F. R. et al. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado do São Paulo. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Aracaju, **Anais...** 2007. p. 1-6.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F. AROZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: Editora UFV, p. 205-251, 2005.

MARENGO J. A.; VALVERDE, M. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos de IPCC AR4. **Multiciência**, v. 8, p. 5-28, 2007.

MEIRELLES, S.T.; PIVELLO, V.R.; JOLY, C.A. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the need for its protection. **Environmental Conservation** v. 26, n.1, p. 10-20, 1999.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MELO, L. C. et al. Cenários climáticos futuros para o Paraná: oportunidade para o setor florestal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 1, p. 120-131, 2015.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M. SILVA, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 532-539, 2008.

MELO, S.B.; GALON, L.; SOUZA, E.F.M.; REZENDE, M.L.; RENATO, N.S. Aquecimento global e um estudo da produtividade potencial da cana-de-açúcar para a região de São Paulo. **Caatinga**, v.20, n.1, p.10-17, 2007.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JUNIOR J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n.2, p.247-255, 2005.

MONTAÑO, M. et al. O zoneamento ambiental e a sua importância para a localização de atividades. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, v.1, n. 6, p. 49–64, 2007.

MONTEBELLER, C.A. et al. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 426-435, 2007.

MORAES, M. A. F. D. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. **Economia Aplicada**, v. 11, n. 4, p. 605-619, 2007.

MORAIS, L. K. et al. **Melhoramento genético da cana-de-açúcar**. Documento 200, EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros. 2015, 32p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042764/1/Doc200.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2016.

MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication. In: MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, Biochemistry, and Functional Biology**. Ames: John Wiley & Sons, 2014. p.01-07.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Previsão de séries temporais**. 2 ed. São Paulo: Atual. 1987, 438p.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí. **Revista Irriga**, v. 11, n. 2, p. 178-187, 2006.

MOURA, S. M. V. P. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MUNICH RE. **Topics Geo Natural Catastrophes**. Munich Reinsurance America Company Publications, 76 p. 2015. Disponível em: <https://www.munichre.com/us/property-casualty/knowledge/publications/topics>. Acesso em 31 de maio de 2016.

NASSAR, A. M. et al. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P.; VOOREN, J. V. (Org.). **Sugarcane Ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment**. Holanda: Wageningen Academic Publishers, 2008, p. 63-93.

NOBRE, P. et al. Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. **Journal of Climate**, v. 26, n.17, p. 6716-6732, 2013.

OECD/ **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. OECD Paris, 2015 148p. Disponível em: <http://www.agri-outlook.org/publication/>. Acesso em: 03 de junho de 2016.

OLIVEIRA, S. D.; SILVA, V.P.R.; SANTOS, C.A.C.; SILVA, M.T.; SOUSA, E.P. Os Impactos das alterações climáticas na cana-de-açúcar cultivada em sistema de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n.1, p.170-184, 2012.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C. S.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014.

PARRA-OLEA, G.; MARTINEZ-MEYER, E.; LEONS, G. F. P. Forecasting climate change effects on salamander distribution in the highlands of central Mexico. **Biotropica**, v. 37, n.2, p. 202-208, 2005.

PEREIRA, M. C. **A expansão da cadeia sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul, Dinâmica e Determinantes**. 2007. 152 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Departamento de Economia e Administração. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p.311-313, 2005.

PESAGRO - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:< <http://www.pesagro.rj.gov.br/cana.html> >. Acesso em 03 dez. 2016.

POOTER, H.; NAVAS, M. L. Plant Growth and competition at elevated CO<sub>2</sub>: on winners, losers and functional groups. **New Phytologist**, v. 157, n.2, p. 175-198, 2003.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. Contexto e objetivos do Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. (Org.). **Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, v. 1, p. 19-22.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos**. v.2. Hucitec Edusp, São Paulo, 1979, 474p.

ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; ALVES, M. A. S.; SLUYS, M.V. **A biodiversidade nos grandes remanescentes florestais no Estado do Rio de Janeiro e nas restingas da Mata Atlântica**. Rima Editora, São Carlos, SP. 2003, 146p.

RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z. Fluxos de óxido nitroso em solos com cobertura de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro. **Química Nova**, v.35, n.8, p. 1549- 1553, 2012.

RODRÍGUEZ-LADO, L. et al. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 460- 467, 2007.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.386-399, 2001.

RUSCHI, A. **Fitogeografia do Estado do Espírito Santo. Considerações gerais sobre a distribuição da flora do Estado do Espírito Santo.** Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão, Série Botânica, v.1. p.1:1-353, 1950.

RICHTER, M. A hypothetical framework for testing phytodiversity in mountainous regions: the influence of airstreams and hygrothermic conditions. **Phytocoenologia**, v. 30, n. 3/4, p. 519 - 541, 2000.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 747p, 1997.

SALGADO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; MOURA, J. R. S. Caracterização espaço-temporal da chuva como subsídio à análise de episódios de enchentes no município de Angra dos Reis, RJ. **Geosul**, v. 22, n. 44, p 7-26, 2007.

SANTANA, M. F. et al. Desempenho do Modelo HadRM3 Baseado em Geoestatística para Subsidiar o Zoneamento da Heveicultura na Amazônia. **Nativa**, v. 3, n.2, p. 83-88, 2015.

SANT'ANA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n.1, p. 43-60, 2005.

SANTOS, L.; RAIA JUNIOR, A. A. Análise Espacial de Dados Geográficos: A Utilização da Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA para Identificação de Áreas Críticas de Acidentes de Trânsito no Município de São Carlos (SP). **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 18, n. 35, p. 97- 107, dez. 2006.

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

SARTORI, A. A. C.; SILVA, A. F.; RAMOS, C. M. C.; ZIMBACK, C. R. L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-SP. **Irriga**, v. 15, n. 2. P. 131-139, 2010.

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

SCHLENKER, W.; LOBELL, D. B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2010.

STRAHLER, A. MODIS Website-Algorithms. **MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) versão 5**, 1999. Disponível em: <[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod12.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2013.

SILVA. W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v 30, n. 2, 181-194, 2015.

SILVA, M.A. et al. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.4, p.1029-1039, 2010.

- SILVEIRA, C. S. et al. Avaliação de desempenho dos modelos do cmip5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 317 - 330, 2013.
- SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.
- SOUZA, A. P. et. al. Elevated CO<sub>2</sub> increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant Cell and Environment**, v. 31, n. 8, p. 1116–1127, 2008.
- TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012.
- TAMMETS, T.; JAAGUS, J. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n.3, p. 623-639, 2012.
- TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. <http://www.R-project.org>
- THOMPSON, S.K. **Sampling**. New York, Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1
- TCHEBAKOVA, N. M.; PARFENOVA, E.; SOJA, A. J. The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 4, p. 1-10, 2009.
- THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAUJO, M. B. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 14, n. 4, p. 347-357, 2005.
- VARELA, S.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; TERRIBILE, L. C. A Short Guide to the Climatic Variables of the Last Glacial Maximum for Biogeographers. **Plos One**, v. 10, n.1, p. 1-15, 2015.
- VALVERDE, M.C., MARENGO, J. Desempenho dos modelos climáticos do IPCC em simular a precipitação presente e futura sobre o território brasileiro. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, Florianópolis, Santa Catarina, 2006. I CD-ROM.
- 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**, v.25, n.1, 125 - 145, 2010.

VETTORETTI, G.; PELTIER, W. R.; MCFARLANE, N. A. Global Water Balance and Atmospheric Water Vapor Transport at Last Glacial Maximum: Climate Simulations with the CCCma Atmospheric General Circulation Model. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 37, n.5 p. 695-723, 2000.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; SCHAEFER, G. R. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p.1-54.

VU, J. C. V. et al. Up-regulation of photosynthesis and sucrose metabolism enzymes in Young expanding leaves of sugarcane under elevated growth CO<sub>2</sub>. **Plant Science**, v. 171, n.1, p.123-131, 2006.

VU, J. C. V.; ALLEN Jr. L. H. A. Growth at elevated CO<sub>2</sub> delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C<sub>4</sub> sugarcane. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 2, p. 107–116, 2009a.

VU, J. C. V.; ALLEN Jr. L. H. A. Stem juice production of the C<sub>4</sub> sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO<sub>2</sub> and high temperature. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 11, p. 1141–1151, 2009b.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. S. Módulos em matlab para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 62, p. 67-76, 2010.

YIN, H. A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate. **Geophysical Research Letters**, v.32, n.18, p. 1-4, 2005.

ZHAO, D.; LI, Y. R. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. **International Journal of Agronomy**, v.1, n.1, p. 1-10, 2015.

ZERI, M.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.113, n. 1, p. 139-152, 2011.

WAND, S. J. E.; MIDGLEY, G. F.; JONES, M. H.; CURTIS, P. S. Responses of wild C<sub>4</sub> and C<sub>3</sub> grass (Poaceae) species to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration: a meta-analytic test of current theories and perceptions. **Global Change Biology**, v. 5, n.6, p. 723-741, 1999.

WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management**, v.43, n.2, p.173–182, 2000.

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

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. 5, p.8995-9005, 1985.

XAVIER, A. C. CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. Módulos em Matlab para interpolação espacial pelo método de Krigagem Ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, n. 1, p. 67-76, 2010.

XIN, X, G. et al. Introduction of CMIP5 Experiments Carried out with the Climate System Models of Beijing Climate Center. **Advances in Climate Change Research**, v. 4, n.1, p. 41-49, 2013.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A.** Estações do INMET utilizadas para a interpelação dos dados do presente referente aos modelos CCCma e GFDL.

<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Angra dos Reis	-23.01	-44.32
Cachoeiras de Macacu	-22.46	-42.65
Cambuci	-21.58	-41.91
Campos dos Goytacazes	-21.75	-41.32
Casimiro de Abreu	-22.48	-42.20
Paraty	-23.22	-44.71
Porciuncula	-20.96	-42.04
Resende	-22.47	-44.45
Cachoeiro do Itapemirim	-20.85	-41.10
Linhares	-19.41	-40.06
Vitória	-20.31	-40.31
Avaré	-23.08	-48.90
Campinas	-22.90	-47.08
Campos do Jordão	-22.75	-45.60
Catanduva	-21.11	-48.93
Coop. Agrícola de Cotia	-23.58	-46.88
Franca	-20.58	-47.36
Iguape	-24.71	-47.55
Itapeva	-23.95	-48.88
Jaboticabal	-21.25	-48.30
Lins	-21.80	-49.75
Mogi das Cruzes	-23.51	-46.21
Presidente Prudente	-22.11	-51.38
Santa Rita	-21.66	-47.50
Santos	-23.93	-46.33
São Carlos	-21.96	-47.86
São José dos Campos	-23.21	-43.85
São Paulo - Horto Florestal	-23.45	-46.65
São Paulo (Mir. de Santana)	-23.50	-46.61
São Simão	-21.48	-47.55
Sertãozinho	-21.13	-47.98
Sorocaba	-23.48	-47.43
Taubaté	-23.03	-45.55
Tremembé	-22.96	-45.55
Ubatuba	-23.45	-45.06
Votuporanga	-20.41	-49.98
Araçuaí	-16.83	-42.05
Araxá	-19.60	-46.93
Bambuí	-20.03	-46.00
Barbacena	-21.25	-43.76

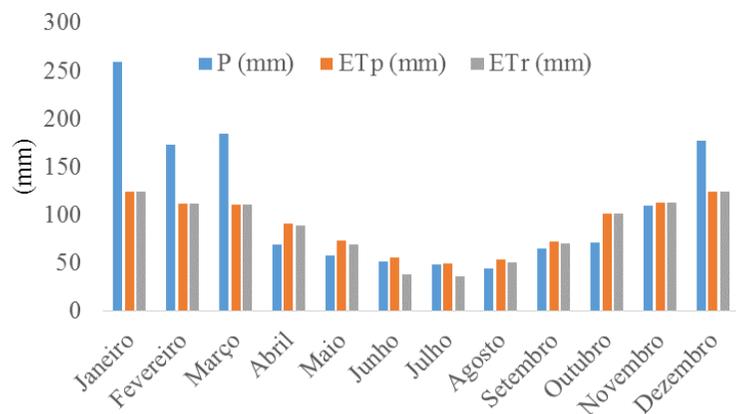
<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Belo Horizonte	-19.93	-43.93
Caldas (P. de Caldas)	-21.91	-46.38
Cambuquira	-21.85	-45.30
Capinópolis	-18.71	-49.55
Caratinga	-19.80	-42.15
Cataguases	-21.38	-42.68
Caxambu	-21.96	-44.93
Conceição do Mato Dentro	-19.01	-43.43
Coronel Pacheco	-21.56	-43.25
Curvelo	-18.75	-44.45
Diamantina	-18.25	-43.60
Espinosa	-14.91	-42.85
Florestal	-19.88	-44.41
Frutal	-20.03	-48.93
Governador Valadares	-18.85	-41.93
Ibirité	-20.01	-44.05
Itamarandiba	-17.85	-42.85
Itambacuri	-18.01	-41.01
Januária	-15.45	-44.36
João Monlevade	-19.83	-43.11
João Pinheiro	-17.70	-46.16
Juiz de Fora	-21.76	-43.35
Lavras	-21.75	-45.00
Lavras-ESAL.	-21.23	-45.00
Machado	-21.65	-45.90
Minas Novas	-17.23	-42.58
Montes Claros	-16.68	-43.83
Oliveira	-20.68	-44.81
Ouro Fino	-22.28	-46.36
Passa Quatro	-22.38	-44.96
Patos de Minas	-18.51	-46.43
Patrocínio	-18.95	-47.00
Pedra Azul	-16.00	-41.28
Pirapora	-17.35	-44.91
Pompeu	-19.21	-45.00
Salinas	-16.16	-42.30
São Francisco	-15.95	-44.86
São João del-Rei	-21.30	-44.26
São Lourenço	-22.10	-45.01
São Sebas. do Paraíso	-20.91	-47.11
Sete Lagoas	-19.46	-44.25
Teófilo Otoni	-17.85	-41.50
Uberaba	-19.73	-47.95
Viçosa	-20.75	-42.85

<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Angra dos Reis	-23.01	-44.31
Araras	-22.51	-43.18
Bangu	-22.86	-43.45
Barreirinha	-22.45	-44.83
Cabo Frio (Alcalis)	-22.98	-42.03
Campos	-21.75	-41.33
Carmo	-21.93	-42.60
Cordeiro	-22.01	-42.35
Ecologia Agrícola	-22.80	-43.68
Engenho de Dentro	-22.88	-43.30
Ilha Guaíba	-23.00	-44.03
Itaperuna	-21.20	-41.90
Jacarepaguá	-22.98	-43.36
Nova Friburgo	-22.25	-42.51
Penha	-22.81	-43.21
Pinheiral	-22.51	-44.00
Piraí	-22.63	-43.90
Resende	-22.45	-44.43
Rio de Janeiro	-22.88	-43.18
Santa Maria Madalena	-21.95	-42.00
Santa Teresa	-22.91	-43.18
Santo Antônio de Pádua	-21.53	-42.15
São Bento (Duque de Caxias)	-22.73	-43.30
Teresópolis - P. Nacional	-22.45	-42.93
Tinguá	-22.58	-43.35
Vassouras	-22.40	-43.63

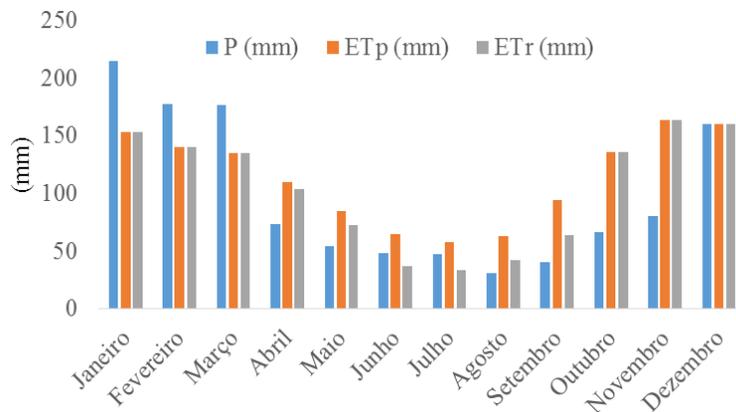
**APÊNDICE B.** Deficiência hídrica para o estado do Rio de Janeiro (presente).

Município	Def (mm)
Paraty	18.66269242
Resende	28.39619896
Pinheiral	34.795452
Ilha Guaíba	35.2314
Piraí	35.646725
Cambuci	36.80202341
Vassouras	37.1677
Ecologia Agrícola	37.187321
Xerém	38.157784
Bangu	38.613594
Tinguá	39.171814
Jacarepaguá	39.174171
São Bento (Duque de Caxias)	39.528706
Engenho de Dentro	39.540722
Itaperuna	39.841454
Jardim Botânico	40.122696
Penha	40.163586
Angra dos Reis	40.16858617
Araras	40.205067
Rio de Janeiro	40.29
Porciuncula	40.2971622
Santa Teresa	40.349443
Teresópolis - P. Nacional	41.812149
Cachoeiras de Macacu	41.93283149
Carmo	42.272518
Campos dos Goytacazes	42.51015228
Santa Maria Madalena	43.746571
Cordeiro	43.991665
Nova Friburgo	44.737972
Cabo Frio (Alcalis)	46.74025
Casimiro de Abreu	57.63342569

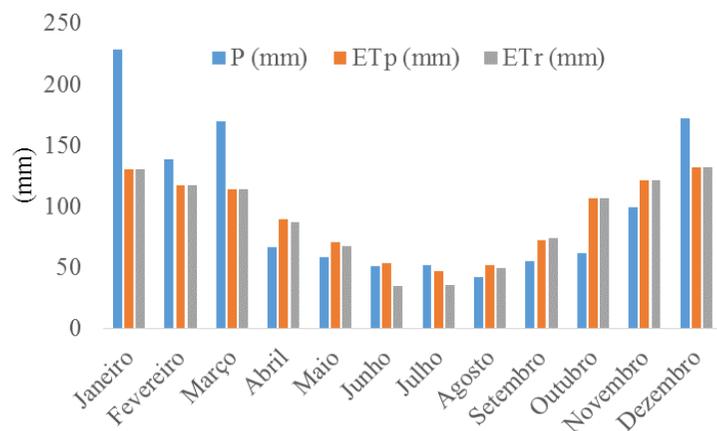
**APÊNDICE C.** Gráficos do Balanço Hídrico para os demais pontos de grade do Rio de Janeiro.



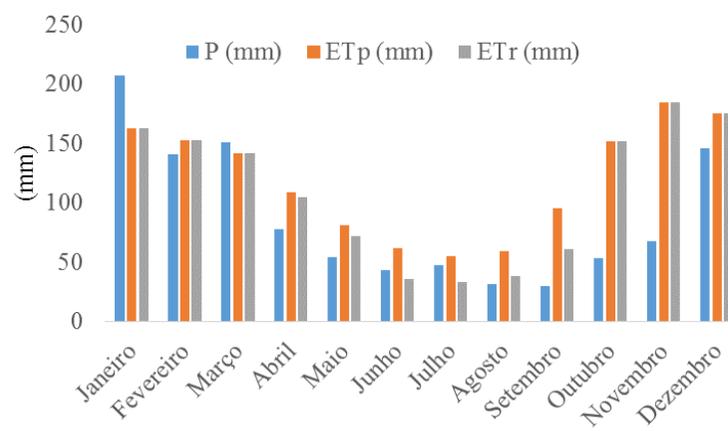
**Gráfico 1.** Cachoeiras de Macacu –RJ para o período de 1961 à 2000.



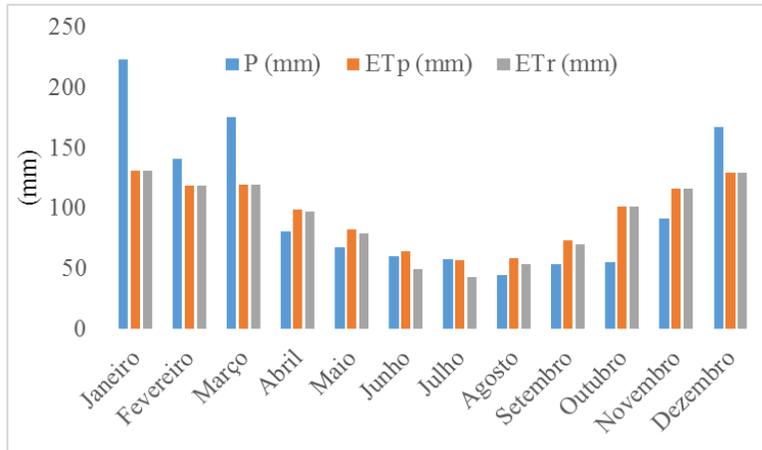
**Gráfico 2.** Cachoeiras de Macacu – RJ para o período de 2046 à 2065



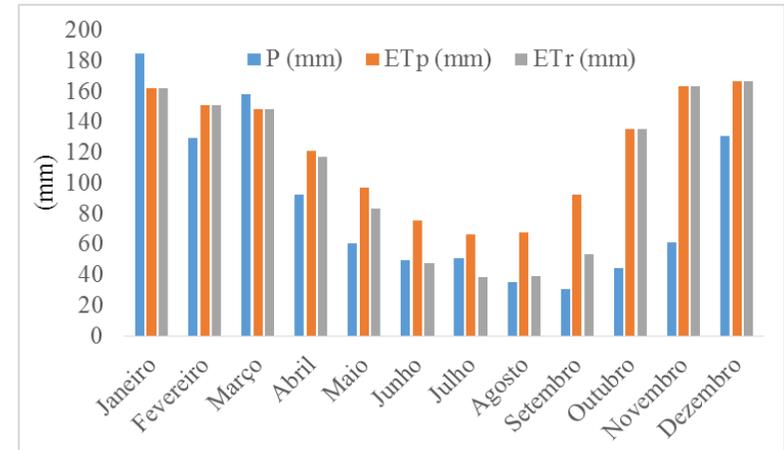
**Gráfico 3.** Cambuci – RJ para o período de 1961 à 2000.



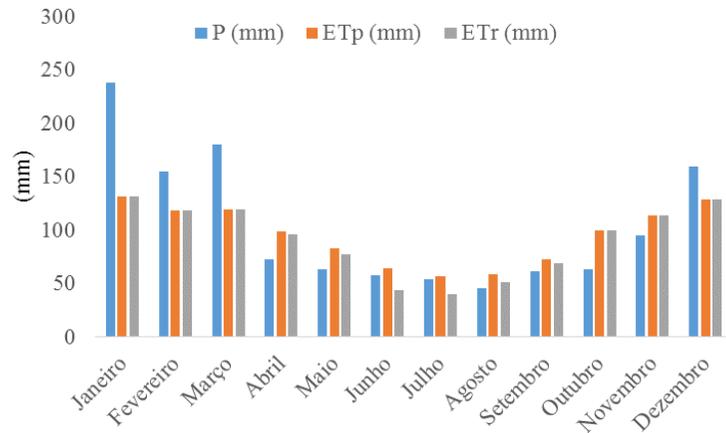
**Gráfico 4.** Cambuci – RJ para o período de 2046 à 2065.



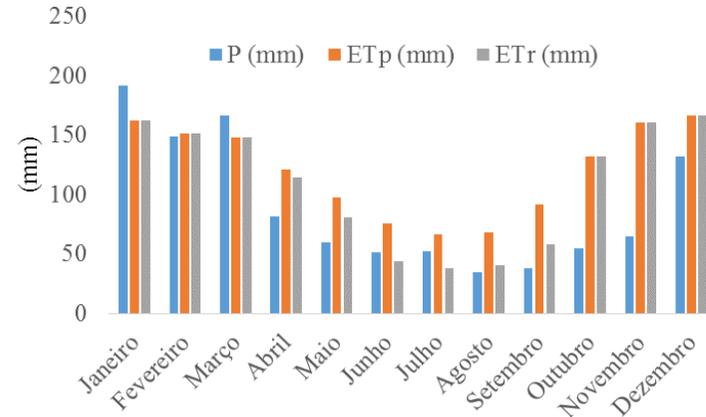
**Gráfico 5.** Campos dos Goytacazes – RJ para o período de 1961 à 2000.



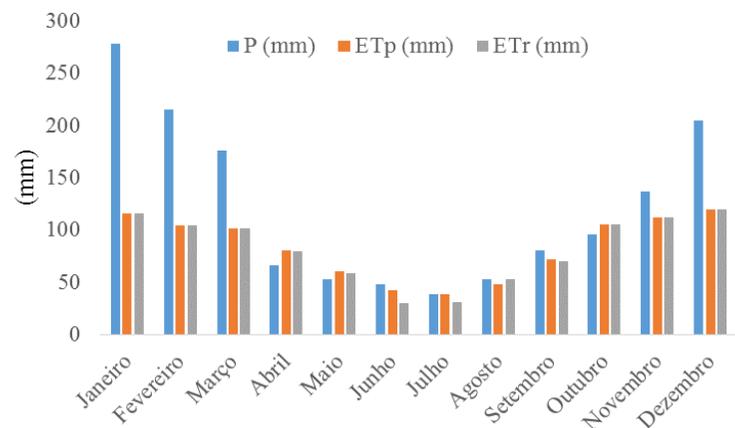
**Gráfico 6.** Campos dos Goytacazes – RJ para o período de 2046 à 2065.



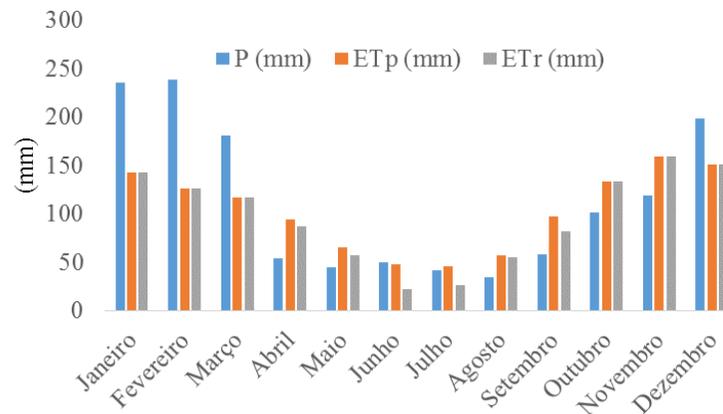
**Gráfico 7.** Casimiro de Abreu – RJ para o período de 1961 à 2000.



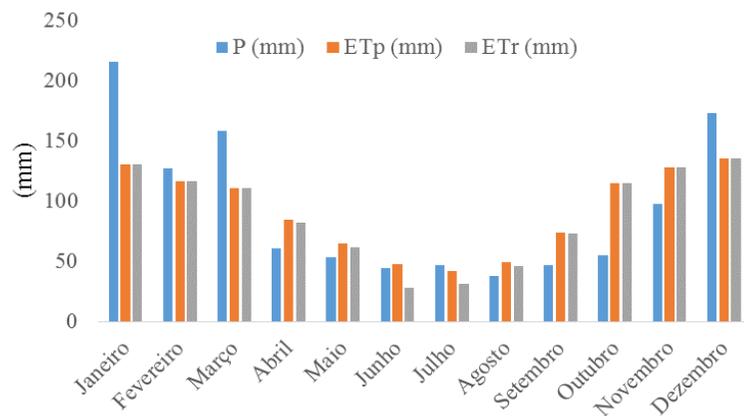
**Gráfico 8.** Casimiro de Abreu – RJ para o período de 2046 à 2065.



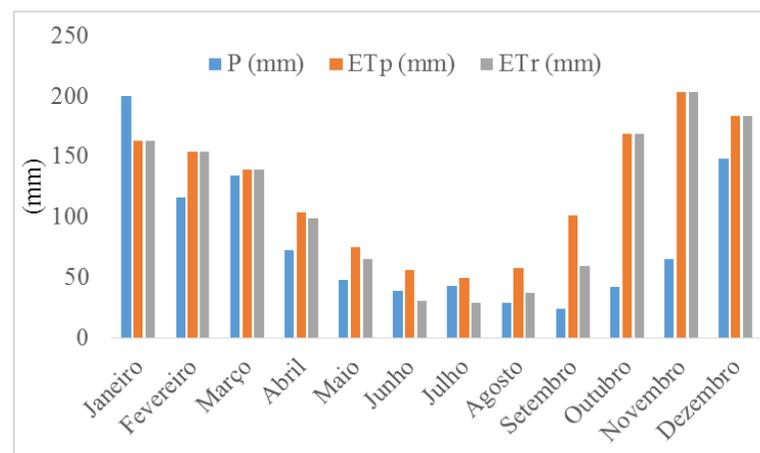
**Gráfico 9.** Paraty – RJ para o período de 1961 à 2000.



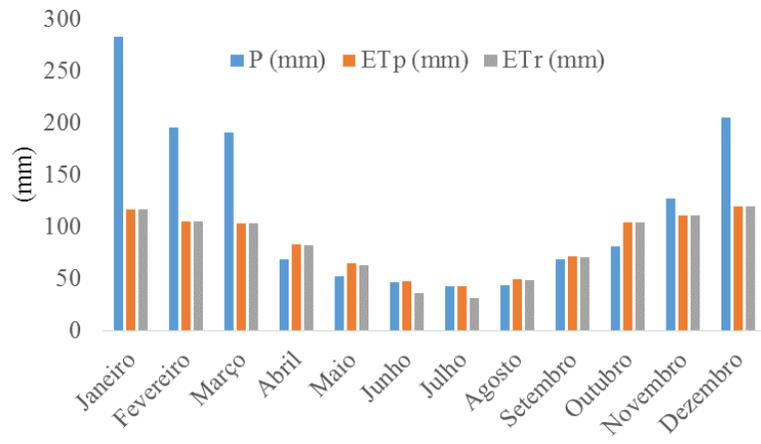
**Gráfico 10.** Paraty – RJ para o período de 2046 à 2065.



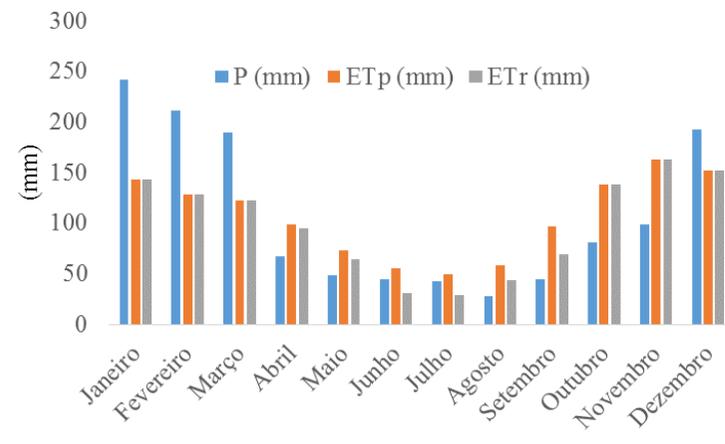
**Gráfico 11.** Porciuncula – RJ para o período de 1961 à 2000.



**Gráfico 12.** Porciuncula – RJ pra o período de 2046 à 2065.



**Gráfico 13.** Resende – RJ para o período de 1961 à 2000.



**Gráfico 14.** Resende – RJ para o período de 20146 à 2065.