UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME-PB

YASMIM CRISTINA LEIROS MEIRA

JOÃO PESSOA
2017

YASMIM CRISTINA LEIROS MEIRA

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME-PB

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Ana Claudia Fernandes Medeiros Braga.

JOÃO PESSOA

2017

M514i Meira, Yasmim Cristina Leiros

Impacto das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Gramame-PB./Yasmim Cristina Leiros Meira. – João Pessoa, 2017.

62f. il.:

Orientador: Prof. Dra. Ana Claudia Fernandes Medeiros Braga

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Mudanças Climáticas 2. Evapotranspiração 3. Demanda de água para irrigação I. Título.

BS/CT/UFPB CDU: 2.ed. 504(043

FOLHA DE APROVAÇÃO

YASMIM CRISTINA LEIROS MEIRA

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 30/11/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - CT/UFPB	APROVADO
Gilson Barbosa Athayde Junior Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - CT/UFPB	APROVADO
Leonardo Vieira Soares Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - CT/UFPB	APROVADO

Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

“Be the change you want to see in the world”.

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais, Joelson e Cristina, que são os meus maiores exemplos de pessoas íntegras, por sempre acreditarem no meu sucesso e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos. Por me incentivar com as palavras certas sem deixar que eu desistisse dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Priscilla e Joelson, meus primos Rayana e Rodrigo e ao meu cunhado Rafael por estarem sempre ao meu lado me apoiando com muita paciência e proporcionando-me boas risadas mesmo nos dias mais estressantes. Vocês são o verdadeiro significado de família.

Ao meu amado avô, Antônio Leiros, uma das melhores pessoas que eu conheço e por nunca medir esforços para atender a todos os meus chamados.

A minha orientadora, Ana Cláudia, por aceitar me orientar de bom grado e por toda paciência, atenção e dedicação que teve comigo durante esse processo. Sempre muito serena e educada, passando a sensação de calmaria que se é necessário ter durante a construção de um TCC. Se tornando um exemplo de pessoa e de profissional, honrando da melhor maneira possível à profissão de educadora.

A minha querida amiga de infância, Raíssa Cardoso, por mesmo depois de todos esses anos sempre está presente na minha vida, disposta a ajudar no que for necessário, o que não foi diferente durante o processo de construção desse trabalho.

As minhas queridas amigas e companheiras de curso, Júlia Lessa por sempre encontrar as palavras certas tanto nos momentos fáceis como também nos mais difíceis. A Thaís Cordeiro, por nos contagiar com a sua leveza e alegria, e a Larissa Maia por transbordar sua positividade em todos os momentos e por muitas vezes acreditar mais em mim do que eu mesma. Vocês tornaram essa jornada mais leve e divertida.

Por fim, a Deus por todas as oportunidades a mim concedidas e por sempre me deixar arrodeada de pessoas especiais.

RESUMO

As mudanças climáticas é um tema cada vez mais recorrente nos dias de hoje, porque os impactos que elas produzem nos recursos hídricos podem ser sentidos com mais intensidade nos últimos anos e se refletem diretamente nos seres humanos e nas suas atividades. Sendo assim, realizar projeções de mudanças climáticas permitirá entender como as variáveis do clima irão se comportar com o passar dos anos, o que é de fundamental importância, pois as medidas mitigadoras precisam ser tomadas por parte dos governantes e também servirão de alerta para a população. O presente trabalho visa analisar os impactos produzidos pelas mudanças climáticas nas demandas de água para irrigação da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Gramame. Primeiramente foram avaliadas as alterações na variável temperatura, pois ela é fundamental no cálculo da evapotranspiração. Em seguida, as demandas de água foram calculadas a partir dela. O método de Thornthwaite foi o escolhido para realizar as estimativas da evapotranspiração de referência. Com base nesses valores, foi calculado a evapotranspiração de toda cultura da cana-de-açúcar que está distribuída na bacia hidrográfica, logo foi possível saber a quantidade de água necessária que a cultura necessita para sobreviver, e assim foi observado como a demanda de água para irrigação foi afetada pelas mudanças climáticas. Para que fosse possível observar o impacto das mudanças na temperatura, foram utilizados dois cenários proposto pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), o RCP 4.5 (cenário de estabilização) e o RCP 8.5 (cenário mais pessimista), e três Modelos de Circulação Regional (MCRs). São eles: o ICHEC-EC-EARTH-RCA4, MPI-ESM-LR-RCA4 e MPI-ESM-LR-REMO2009. O estudo também foi divido em três períodos de tempo, 2006-2037,2038-2069,2070-2100. A partir dos resultados encontrados, o modelo MPI-ESM-LR-REMO2009 foi o que melhor representou o clima atual. E os modelos projetaram aumentos médios de 0.04°C no primeiro período de tempo, 0.48°C no segundo período de tempo e 0.97°C no terceiro período de tempo. Por fim, a demanda de água para irrigação apresenta um pequeno crescimento, quando tratamos de um futuro próximo, com o aumento da temperatura causado pelas mudanças climáticas. Quando tratamos de um futuro mais distante, o aumento da temperatura pode ser sentido com maior intensidade. No município de João Pessoa, por exemplo, os modelos projetaram aumentos médios da demanda de 423 m³/ano no primeiro período de tempo, 5.658 m³/ano no segundo e 17.611 m³/ano no terceiro.

Palavras chaves: Mudanças climáticas, evapotranspiração, demanda de água para irrigação.

ABSTRACT

Nowadays, climate change is a more frequently discussed topic, because the impacts that they produce on water resources can be felt more intensively in recent years, and these impacts are directly reflect on humans and their activities. Therefore, projecting climate change will allow us to understand how climate variables will behave over the years. These projections are important because the mitigating measures taken by the government are based on them, and will also alert the population. The objective of this work is to analyze the impacts produced by the climatic changes on the demands of water for irrigation of sugarcane in the hydrographic basin of Gramame river. First, the changes in the temperature were evaluated, since it is fundamental in the calculation of evapotranspiration, then, the water demands were calculated. The Thornthwaite method was chosen to carry out the estimates of reference evapotranspiration, and based on these values, the evapotranspiration of all sugarcane cultivation that is distributed in the hydrographic basin was calculated and it was possible to determine the amount of water needed by the crop to survive, and how the demand for irrigation water has been affected by climate change. To observe the impact of changes in temperature, two scenarios proposed by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) were used. These were: the RCP 4.5 (stabilization scenario), the RCP 8.5 (most pessimistic scenario), and three Regional Circulation Models (RCMs). These three are: the ICHEC-EC-EARTH-RCA4, MPI-ESM-LR-RCA4 and MPI-ESM-LR-REMO20. The study was also divided into three time periods, 2006-2037, 2038-2069, 2070-2100. From the results found, the model MPI-ESM-LR-REMO2009 best represented the current climate. The models projected average increases of 0.04 ° C in the first period of time, 0.48 ° C in the second period of time and 0.97 ° C in the third period of time. Finally, the demand for water for irrigation shows little growth when we look at the near future with the increase in temperature caused by climate change. When we deal with a more distant future, the increase in temperature can be felt with greater intensity. Na example of this, is the city of João Pessoa the models projected average demand increases of 423 m³ per year in the first period of time, 5,658 m³ per year in the second and 15,674m³ per year in the third.

Keywords: Climate Change. Evapotranspiration. Water demand for irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do fluxo de dados em modelo de previsão numérica de tempo. 8
Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame. 13
Figura 3 - Comparação entre os modelos. 24
Figura 4 - Comportamento das incertezas apresentadas pelos modelos. 25
Figura 5 - Média das anomalias para os três modelos. 27
Figura 6 - Comportamento mensal das anomalias fornecidas pelos três modelos. 29
Figura 7 - Média anual da evapotranspiração da cana-de-açúcar. 34
Figura 8 - Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de João Pessoa. 36
Figura 9 - Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de Alhandra. 37
Figura 10 - Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de Santa Rita. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Contribuição dos relatórios publicados pelo IPCC. 6
Tabela 2. Percentual de área dos municípios inseridos na bacia do rio Gramame. 12
Tabela 3- Área plantada de cana-de-açúcar. 14
Tabela 4- Temperatura média compensada do município de João Pessoa (°C). 14
Tabela 5- Características dos modelos utilizados. 16
Tabela 6- Fator de correção (Fc) do método de Thornthwaite (UNESCO,1982). 20
Tabela 7- Médias anuais das temperaturas simuladas e observada. 23
Tabela 8- Incertezas contidas nos modelos. 24
Tabela 9-Anomalias de temperaturas referentes ao MCR ICHEC-EC-EARTH-RCA4. 26
Tabela 10 - Anomalias de temperaturas referentes ao MCR MPI-ESM-LR-RCA4. 26
Tabela 11-Anomalias de temperaturas referentes ao MCR MPI-ESM-LR-REMO2009. 26
Tabela 12 - Média anual das temperaturas futuras corrigidas. 30
Tabela 13- Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO ICHEC/RCA4). 31
Tabela 14- Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO MPI/RCA4). 31
Tabela 15 - Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO MPI/REMO2009). 31
Tabela 16- Temperaturas máximas e mínimas durante o ano (CENÁRIO RCP 4.5). 32
Tabela 17- Temperaturas máximas e mínimas durante o ano (CENÁRIO RCP 8.5). 32
Tabela 18- Demanda hídrica total da bacia hidrográfica do rio Gramame. 40

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS 4

2.1 Objetivo Geral 4

2.2 Objetivos Específicos 4

3. REVISÃO DE LITERATURA 5

3.1 Mudanças climáticas 5

3.2 Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola 9

4. METODOLOGIA 12

4.1 Área de estudo e Base de dados 12

4.2 Modelos climáticos 15

4.3 Demanda de água para irrigação 18

4.3.1 Evapotranspiração de referência (Eto) 18

4.3.2 Coeficiente de cultura (Kc) 20

4.3.3 Cálculo da demanda hídrica da cultura 22

5. RESULTADOS 23

5.1 Comportamento dos modelos 23

5.2 Anomalias das temperaturas futuras 26

5.3 Correção da temperatura futura 30

5.4 Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar 32

6.CONCLUSÕES 41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

APÊNDICES 49

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios enfrentados nesse século, não só pelo Brasil, mas pelo mundo, são as mudanças climáticas. Esse tema precisa ser cada vez mais abordado e estudado tendo em vista que está diretamente ligado ao desenvolvimento dos países, que dependem das variáveis climáticas e de como elas se distribuem no espaço (SAE, 2015). Desse modo, mesmo que os países ainda não possuam noção da grandeza dos impactos dessas mudanças é de fundamental importância que comecem a se preparar para recebê-las, de modo que elas causem os menores impactos possíveis, seja para população, meio ambientes ou na economia.

Segundo o projeto Brasil 2040 (SAE, 2015), variação da órbita terrestre, erupções vulcânicas e alterações na radiação solar são processos naturais responsáveis pela mudança no clima da Terra com o passar dos anos. Como dito, esse é um processo natural e conhecido como variabilidade climática. É importante entender que a Terra recebe a radiação solar, absorvendo-a, e emite calor no espaço. Os gases que estão presentes na atmosfera absorvem parte desse calor e os redistribui através das circulações atmosféricas e oceânicas. Esse processo é o conhecido efeito estufa, que possui grande importância, pois ele é o responsável pela manutenção da temperatura média mundial.

Esse fato explica o porquê da preocupação que vem aumentando nos últimos anos com as emissões de gases de efeito estufa, devido ao crescimento econômico e populacional. O aumento desses gases gera o aquecimento do sistema climático que é composto pela atmosfera, superfície terrestre, geleiras, calotas polares, oceanos e outros corpos de água e os seres vivos (SAE, 2015). De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação emitido pelo IPCC no ano de 2014, o aquecimento do sistema climático é real, e desde os anos 1950, muitas das mudanças observadas não têm precedentes em décadas ou milênios (JURAS, 2013).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) foi criado em 1988 pelos governos visando à propagação de informações técnicas e científicas sobre as mudanças climáticas, além de fornecer suporte a trabalhos de avaliações do clima. Ele é responsável por disponibilizar periodicamente Relatórios de Avaliação (ARs) e elaborar cenários de mudanças climáticas, no intuito de contribuir no planejamento e tomada de decisões (FIGUEIREDO, 2017).

No seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5), afirma que a média global de temperatura da terra e do oceano calculada por uma tendência linear mostra aumento de 0,85

°C no período 1880–2012. O aumento total entre a média do período 1850–1900 e do período 2003–2012 é 0,78 °C. Mudanças em muitos eventos extremos de tempo e clima têm sido observadas desde 1950. É muito provável que o número de dias e noites frios tenha diminuído e o número de dias e noites quentes tenha aumentado em escala global.

O aumento das temperaturas traz consequências não somente para natureza, como também para o homem, podendo afetar sua saúde e consequentemente qualidade de vida. Isso porque climas mais quentes provocados pelo aquecimento global tendem a aumentar o número de doenças tropicais, como dengue, malária, disenteria (sendo as duas últimas extremamente sensíveis às condições climáticas) (MARENGO, 2006).

As mudanças climáticas interferem nos mais variados setores como: infraestrutura urbana, de transporte e áreas costeiras, na agricultura e nos recursos hídricos, os quais, influenciam na economia e consequentemente no desenvolvimento do país. Elas são uma preocupação real, sendo assim, já existem estudos que comprovam e mostram como as mudanças climáticas interferem nesses setores, que é o caso do "Brasil 2040: Resumo Executivo" desenvolvido pela Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE, 2015).

As variáveis hidrológicas sentem com maior intensidade os impactos nas mudanças climáticas, consequentemente elas são afetadas com o aumento da temperatura global. Este aumento pode ser responsável por alterações nas quantidades de chuva, evapotranspiração e vazão escoada nas bacias hidrográficas. Sendo assim, é de suma importância a determinação dos impactos sobre essas variáveis para a gestão de recursos hídricos, tendo em vista que as variáveis hidrológicas alteram a quantidade de água disponível nas bacias hidrográficas (PITA, 2011).

O aumento da temperatura pode interferir nas demandas hídricas que podem ser maiores em cenários de climas mais quentes, as demandas de irrigação, por exemplo, são diretamente influenciadas pela evapotranspiração. A evapotranspiração pode ser entendida como a maneira que a água presente na superfície terrestre passa para atmosfera no estado de vapor, possuindo um papel fundamental no ciclo hidrológico global. Esse processo engloba a evaporação da água de superfície livre, como lagoas, rios, represas, etc.; dos solos, da vegetação úmida que capturou água durante as chuvas e, por fim, da transpiração dos vegetais (SENTELHAS, 2009).

Através do cálculo da evapotranspiração será possível saber a quantidade de água que é demandada para a cultura sobreviver, água essa proveniente da irrigação. Realizando projeções do cálculo da evapotranspiração para dois cenários futuros de mudanças climáticas,

será possível observar como elas afetam a demanda de água para irrigação, pois para o cenário mais otimista no qual as mudanças climáticas irão se estabilizar demandará menor quantidade de água, enquanto que o cenário mais catastrófico irá demandar maior quantidade de água. A determinação do aumento da demanda pode impactar a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica e acirrar os conflitos pelo uso da água.

O aumento da demanda por água na irrigação pode trazer diversas consequências, como o aumento de conflitos pelo uso de água com outros setores usuários e causar pressão nos reservatórios de água ao ponto deles não conseguirem suprir a demanda, pois somando o aumento da demanda com as alterações nos regimes pluviométricos isso tende a ocorrer.

Sendo assim, é cada vez mais urgente a realização de estudos que informem as tendências futuras do comportamento do sistema climático e dos impactos que podem resultar das mudanças climáticas. Esse tipo de estudo ajuda no planejamento de políticas de adaptação a essas mudanças e de mitigação dos seus efeitos (SAE, 2015).

O presente trabalho foi aplicado à bacia hidrográfica do Rio Gramame, que é uma bacia fortemente antropizada, onde existe o desmatamento excessivo nas margens dos rios, principalmente nas nascentes, e do açude Gramame-Mamuaba provocando assoreamento e alterações no regime dos cursos de água com propensão a intermitência dos rios. O seu principal uso de terra é para o cultivo de cana-de-açúcar e abacaxi (Silva et. al, 2002). Além de apresentar conflitos pelo uso de água e ser responsável por cerca de 70% do sistema de abastecimento d’água da chamada Grande João Pessoa (AESA, 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos causados pelas mudanças climáticas na demanda de água para a irrigação da cana-de-açúcar.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as incertezas existentes na temperatura simulada pelos modelos atmosféricos na bacia no clima atual;
- Avaliar as projeções de temperatura para o clima futuro na bacia;
- Avaliar os impactos na demanda de água para irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Mudanças climáticas

Mudança climática é definida como uma mudança no estado do clima, direta ou indiretamente atribuída às atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global, e que ocorrem em adição à variabilidade climática natural observada em períodos de tempo comparáveis (IPCC, 2014b). Nas últimas décadas essas mudanças vêm causando impactos sobre os sistemas naturais e humanos, em todos os continentes e oceanos. Por exemplo, mudanças na distribuição pluviométrica e no degelo de muitas regiões estão alterando os sistemas hidrológicos, as quais afetam os recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade (cheias e secas) (IPCC, 2014a). Sendo assim, estudos que provocam o entendimento acerca dos processos que interferem no clima do planeta, como é o caso do realizado por Krol et al (2006) e Krol & Bronstert (2007), são cada vez mais comuns e vem evoluindo ao longo dos anos, tornando-se mais eficazes.

Desde a década de 1980, a problemática das mudanças climáticas vem ganhando um espaço cada vez maior tanto nas discussões da população em geral como também dentro das comunidades cientificas (FIGUEIREDO, 2017), isso porque elas afetam os mais diversos setores da sociedade, como os recursos hídricos, por exemplo, que estão diretamente ligados com o bem-estar da população, tendo em vista que as mudanças climáticas podem alterar a disponibilidade de água afetando o abastecimento humano e a produção agrícola.

É nesse contexto que no ano de 1988, a Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criou o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O IPCC é formado por uma rede internacional de especialistas cujo papel é avaliar de forma abrangente, objetiva, aberta e transparente as informações científicas, técnicas e socioeconômicas consideradas importantes para entender o risco das mudanças climáticas induzidas pelo homem, seus potenciais impactos e as opções para adaptações e mitigação (JURAS, 2013).

Também é responsável pela divulgação de Relatórios de Avaliações (ARs, sigla em inglês) periodicamente, e além dos ARs, o IPCC também elabora cenários de mudanças climáticas objetivando contribuir no planejamento e na tomada de decisão pelos Estados. Até o momento, foram publicados cinco Relatórios de Avaliações (ARs) pelo IPCC, onde na Tabela 1 podemos observar os impactos/relevância de cada um deles.

Tabela 1-Contribuição dos relatórios publicados pelo IPCC.

Relatório	Ano de Publicação	Relevância
Primeiro Relatório Científico (FAR)	1990	Foi a base científica para os trabalhos realizados na Convenção sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas em 1992 no Rio de Janeiro.
Segundo Relatório Científico (SAR)	1996	Forneceu as bases para as negociações-chaves que levaram à adoção do Protocolo de Kyoto, em 1997.
Terceiro Relatório Científico (TAR)	2001	Concluiu que as recentes mudanças climáticas já estão afetando os sistemas físicos (clima, recursos hídricos) e biológicos (ecossistemas, saúde, humana, cidades).
Quarto Relatório Científico (AR4)	2007	Confirma que o Planeta está aquecendo e que este aquecimento e a elevação do nível do mar continuarão por muitos séculos, mesmo se as concentrações dos gases de efeito estufa fossem estabilizadas.
Quinto Relatório Científico (AR5)	2013	Utilizado como base para as pesquisas mais recentes.

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Os relatórios de avaliação são elaborados com bases nos cenários também gerados pelo IPCC. Esses cenários para mudanças climáticas foram criados com objetivo de representar as principais forças, processos e impactos (físicos, ecológicos e econômicos) que possuem influência sobre o sistema climático. Para cada premissa de evolução desses elementos, tem-se a previsão de um determinado comportamento que influencia de forma direta na mudança do clima futuro e nas consequências que isso acarretará para o meio ambiente (ESCARIÃO, 2009).

Um total de quatro cenários foi utilizado pelos estudos publicados pelo IPCC, sendo eles: *Scientific Assessment* (SA90), IPCC *Scenarios* 92 (IS92), *Special Report Emission Scenarios* (SRES) e, mais recentemente, os *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Os RCPs, na língua portuguesa denominado de Trajetórias de Concentração Representativa, são cenários expressos em W/m² e definidos como conjuntos consistentes de projeções dos componentes da forçante radiativa (a mudança no equilíbrio entre a radiação de entrada e saída para a atmosfera causada principalmente por alterações na composição atmosférica) que se destinam a servir como entrada para a modelagem climática (IPCC, 2013).

Os RCPs são divididos em quatro cenários e são identificados por sua forçante radioativa no ano 2100 em relação a 1759. O primeiro cenário, RCP 2.6, representa um cenário de mitigação rigoroso cujo sua forçante radioativa possui um nível muito baixo de 2,6 W/m²; os cenários intermediários, RCP 4.5 e RCP 6.0, são de estabilização com forçantes

radioativas de 4.5 W/m² e 8.5 W/m² respectivamente; e por fim, o RCP 8.5 representa um cenário mais extremista com altas emissões de CO_2, com forçante radioativa de 8.5W/m². Esses RCPs foram desenvolvidos usando Modelos de Avaliação Integrados (IAMs), que incluem componentes econômicos, demográficos, energéticos e climáticos (BRAGA et. al, 2015).

A simulação dos cenários é realizada através de modelos atmosféricos que simulam o comportamento da atmosfera. Segundo Fernandes (2009) "Nesses modelos, a atmosfera é representada por um sistema complexo de equações matemáticas nas quais, baseados nas leis físicas da atmosfera, é simulado o estado futuro da atmosfera a partir de condições iniciais específicas".

Os Modelos Atmosféricos de Circulação são classificados em dois tipos: os globais e regionais. A principal diferença entre ambos, é que os Modelos Atmosféricos de Circulação Global (MCGs) simulam o comportamento de todo o globo terrestre e são capazes de representar o comportamento de fenômenos de grande escala. Logo sua resolução espacial é maior, sendo na ordem de centenas de quilômetro, portanto, possuem uma resolução grosseira para avaliação de impactos, como por exemplo, uma bacia hidrográfica.

Sendo assim, para obtenção de dados em uma escala mais detalhada que a fornecida pelo MCG, é necessário aumentar a resolução espacial do mesmo na área de interesse, tornando possível a representação de características e processos atmosféricos de menor escala. Para isso utilizam-se técnicas de *downscaling*, ou seja, redução de escala da grade (SAE, 2015).

Segundo Figueiredo (2017) existem vários métodos de *downscaling* disponíveis, destacando-se duas abordagens: a dinâmica e a estatística, que são utilizadas para converter saídas de MCG em variáveis meteorológicas adequadas para estudos do impacto das mudanças climáticas. O *downscaling* dinâmico é realizado com os modelos de circulação regional.

Os Modelos Atmosféricos de Circulação Regional (MCRs) são utilizados quando o interesse é por informações mais detalhadas, ou seja, ele simula o comportamento da atmosfera para uma área especifica ou delimitada. Portanto, possuem resolução na ordem de poucas dezenas de quilômetros.

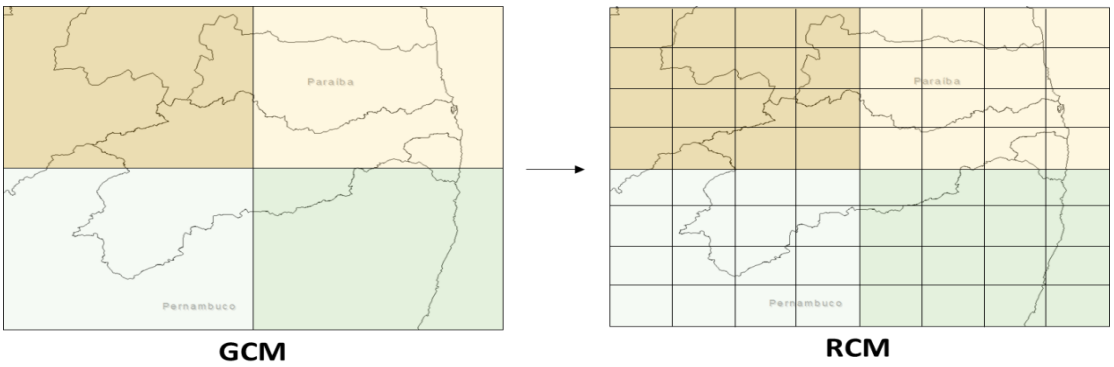
Os MCRs são simulados utilizando as condições de contorno dos MCGs, pois para fazer previsões de um estado futuro da atmosfera, por exemplo, a previsão quantitativa de precipitação utilizando os MCRs, os mesmos serão executados com as condições iniciais que

descrevem o estado atual em que a atmosfera se encontra, e como condições de contorno, utilizarão as projeções fornecidas pelos MCGs em escala maior (Nobre, et al., 2001; Druyan, et al., 2002; Sun, et al., 2005). É possível visualizar isso na Figura 1.

Krol et al. (2006) e Krol & Bronstert (2007) aplicaram o Modelo Regional Integrado para o semiárido nordestino, usando observações diárias de longo prazo, com um cenário constante, ou seja, sem mudança climática combinados com tendências climáticas de dois Modelos de Circulação Global, ECHAM4 (Roeckner et al., 1996) e HadCM2 (Johns et al., 1997). Foi verificado pelos autores que as projeções de mudanças na precipitação sobre a região, no período de tempo de 2070 – 2090 comparada a 1961 – 1990, divergiram sendo menos 50% para ECHAM4 e mais 21% para HadCM2.

As mudanças climáticas interferem nas variáveis climáticas, em especial nas precipitações e temperaturas, podendo alterar seus valores médios (aumento ou diminuição) e os padrões de distribuição espacial e temporal destas variáveis. Assim, a umidade do solo, evaporação, evapotranspiração e a geração de escoamento superficial que dependem da interação das variáveis climáticas podem assumir no futuro valores diferentes dos valores médios históricos utilizados em projetos e no gerenciamento de recursos hídricos.

Figura 1-Representação esquemática do fluxo de dados em modelo de previsão numérica de tempo.



Fonte: Figueiredo (2017).

3.2 Impacto das mudanças climáticas no setor agrícola

Sabendo que a agricultura é uma atividade que depende bastante dos fatores climáticos, as mudanças no clima tendem a afetar a produção agrícola de diversas maneiras, por exemplo: através das mudanças na severidade dos eventos extremos, no número de graus-dia de crescimento devido às alterações na temperatura do ar, modificações na ocorrência e severidade de pragas e doenças, dentre outros. Logo, o aumento da temperatura e alterações nos regimes de chuvas poderão provocar grandes perdas nas safras de grão e alterar a geografia da produção agrícola brasileira, o que colocará em risco a segurança alimentar do país (AGROSMART, 2016).

Tendo em vista que no Brasil o suprimento hídrico utilizado durante o cultivo é quase em sua totalidade advinda das chuvas (SAE, 2015), a demanda de água para irrigação tende a aumentar com o passar dos anos. Uma vez que a utilização da irrigação será a melhor alternativa para que as culturas continuem vivas durante os períodos de estiagem, que estão cada vez mais frequentes devido as alterações nos regimes pluviométricos causados pelas mudanças no clima.

Além disso, de acordo com Soares [19--?], as áreas que apresentam clima com características áridas ou semi-áridas, a irrigação é essencial pois a chuva (na maior parte das vezes) não é o suficiente para que as culturas possam se desenvolver bem. Já nas regiões úmidas e que só em determinadas épocas do ano apresentam déficit hídrico, a irrigação pode ser necessária para manter o padrão da produtividade elevado.

Segundo Teodoro et al. (2013), estudos que relacionam o consumo de água pela cultura e o uso de recursos hídricos para a irrigação vem-se tornando cada vez mais frequentes, uma vez que a irrigação é um fator que possui grande influência na produtividade agrícola e no custo de produção da cana-de-açúcar. Deve-se estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) quando se deseja suprir as necessidades hídricas das plantas. Logo, para que as plantas consigam suprir suas necessidades hídricas, ou seja, atinjam o seu potencial de evapotranspiração, é necessário que o teor de umidade do solo esteja igual ou próximo da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD). (Pereira et al., 2002; Allen et al., 2005).

Schlenker et al. (2007), analisando o impacto da mudança climática na agricultura irrigada na Califórnia concluíram que, para climas moderados e se aplicando uma escala geográfica mais detalhada, apesar da possibilidade de pequeno aumento na precipitação anual,

o escoamento superficial irá sofrer decréscimo com esse aumento durante a maior parte da estação de cultivo, já que a maioria da precipitação se dará em forma de chuva e não de neve. A neve derreterá mais cedo do que se é esperado e consequentemente no período onde a demanda por água para irrigação for maior, a disponibilidade da mesma não será suficiente. Sendo assim, os rios e os sistemas de água subterrânea serão mais pressionados.

De acordo com ANA (2016), nas ultimas décadas a área irrigada vem se estendendo a taxas superiores a área plantada total. Somando essa expansão a alterações no padrão de precipitações, causadas pelas mudanças climáticas, em determinadas regiões pode acarretar no aumento da necessidade de irrigação complementar. Em regiões que já sofrem ou tendem a sofrer com a escassez de água, o que acarretará na limitação da retirada da mesma, poderão ser vitimas de conflitos de interesses. Isso porque em situações de cenários críticos de disponibilidade hídrica, a tendência é o aumento dos conflitos entre a irrigação e outros usos de água. Sendo assim, em períodos críticos serão necessárias medidas para manter as prioridades legais e ajustar os interesses dos diferentes usuários.

Ainda de acordo com ANA (2016), é importante salientar que apesar da tendência futura de aumento da demanda de água para irrigação causada pelas mudanças climáticas, a agricultura irrigada possui boa capacidade de adaptação aos cenários mais críticos. Em virtude da diversidade de técnicas de irrigação poupadoras existentes e da possibilidade, ainda que limitada, de alteração para cultivos com menor demanda de água.

A demanda de água para irrigação também é uma variável que é bastante afetada pelas mudanças climáticas, principalmente pela temperatura e precipitação aliadas às características físico-hidráulicas do solo. Essa demanda, quando sofre aumento nos períodos de estiagem em locais com pouca disponibilidade hídrica, por exemplo, podem prejudicar regiões que possuem sua economia voltada para agricultura (Silva, 2016).

De acordo com Bates et al. (2008), 80% das áreas cultivadas no mundo não são irrigadas, ou seja, dependem exclusivamente da água que precipita. Logo, o desequilíbrio nos regimes de precipitação pode afetar negativamente a produção agrícola não só do país mais também do mundo. Consequentemente, a falta de precipitação irá fazer com que a demanda por água irrigada aumente causando mais pressão nos reservatórios que abastecem as cidades, pois além do abastecimento humano também será necessário aumentar a quantidade de água destinada para irrigação.

No entanto, áreas que dependem de irrigação são naturalmente áreas que possuem menor disponibilidade hídrica ou que são mais propensas as secas, como regiões semiáridas.

Conforme Melo (2015), temperaturas mais elevadas e maiores variabilidade temporal da precipitação podem causar maiores demandas de água para irrigação. O que iria piorar a situação nesses locais e aumentar os conflitos por água.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo e Base de dados

A bacia do Rio Gramame está localizada entre as latitudes 7°11’ e 7°23’ Sul e as longitudes de 34°38’ e 35°10’ Oeste. Ela situa-se na região do Litoral Sul do estado da Paraíba próximo a capital do estado, João Pessoa. A área da bacia passa por 7 municípios, são eles: Alhandra, Conde, Cruz do Espirito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel do Taipu e Pedras de Fogo. O percentual da área de cada município dentro da bacia é apresentado na Tabela 2. Ela é responsável por cerca de 70% abastecimento de água da chamada grande João Pessoa, composta pelos municípios de Bayeux, Cabedelo e Santa Rita. Possui área drenada de 589,1 km² e o seu principal curso d’água é o rio Gramame, que apresenta extensão de 54,3km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa.

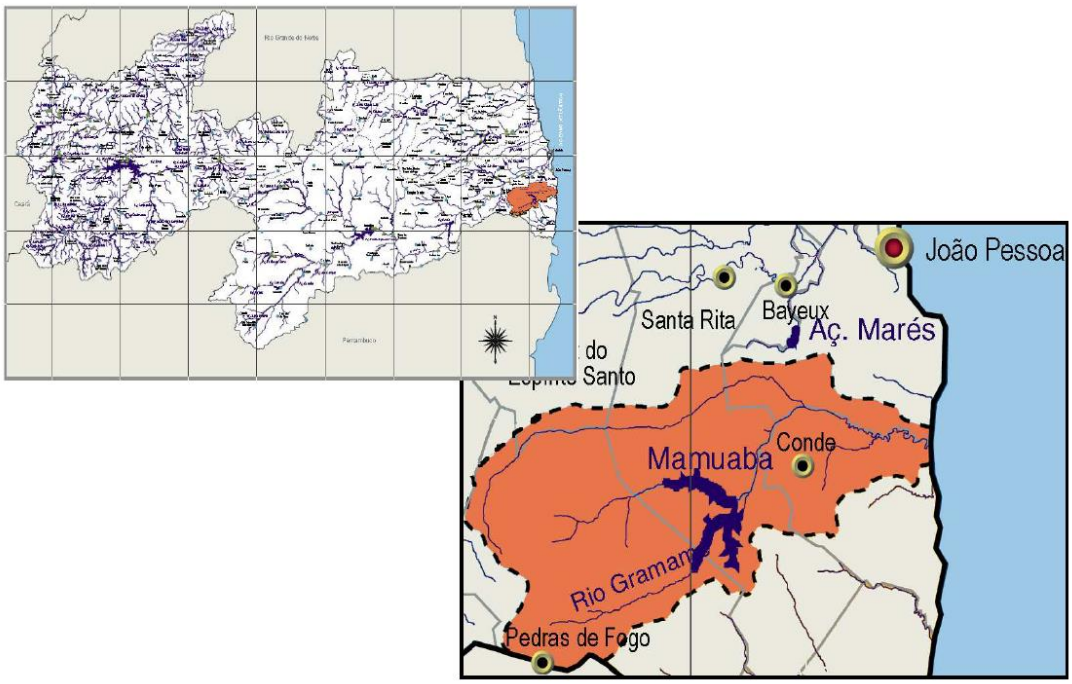
É uma área marcada por muita degradação ambiental em função da extensa área de plantio de cana-de-açúcar e devido aos elevados índices de assoreamento do rio principal, causados pelas atividades industriais (FONSECA 2008).

Tabela 2. Percentual de área dos municípios inseridos na bacia do rio Gramame.

% DAS ARÉAS QUE ESTÃO DENTRO DA BACIA	
MUNICÍPIO	**ÁREA DENTRO DA BACIA (%)**
ALHANDRA	10.9
CONDE	15.1
CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	2.3
JOÃO PESSOA	9.3
PEDRAS DE FOGO	44.8
SANTA RITA	17.6
SÃO MIGUEL DE TAIPU	0.1

Fonte: Autoria própria.

Figura 2-Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame.



Fonte: PERH,2006.

De acordo com Fonseca (2008), quando se trata da cobertura vegetal da bacia do rio Gramame, a sua foi bastante devastada para atender à demanda das indústrias de mineração, panificação e olarias, com fornos a lenha. Além disso, a instalação de loteamentos devido ao crescimento imobiliário também tem contribuído para devastação da vegetação, pois para instalações de tais loteamentos ocorre a derrubada da mata nativa. As atividades agrícolas também contribuem para o desmatamento da área, são elas o cultivo de abacaxi, coco, inhame, mandioca e principalmente cana-de-açúcar.

Ainda segundo o autor, com relação às APPs, ou seja, áreas de preservação permanente que estão localizadas ao redor do reservatório observa-se a falta de vegetação nativa. A presença de vegetação nativa é de fundamental importância, pois é ela é quem da suporte de proteção e conservação das margens. O reservatório principal da bacia, Gramame-Mamuaba, é desprovido dessa mata nativa.

A região onde a bacia está localizada, que é uma região litorânea, sofre com períodos de estiagem, geralmente nos meses de setembro a fevereiro, ou seja, aproximadamente 6 meses. O período chuvoso contribui, em média, com cerca de 76% do total anual precipitado (SEMARH, 2000).

Segundo Câmara (2003), o Estado da Paraíba se caracteriza por elevada radiação solar e grande número de horas de insolação, devido a sua proximidade com o Equador. Essas características ocasiona um clima quente com temperatura média anual de 26 °C e poucas variações intra-anuais.

Os valores de área plantada de cana- de- açúcar utilizada para cada município analisado são referentes à Produção Agrícola Municipal- Lavoura Temporária, fornecidos pelo IBGE e podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3- Área plantada de cana-de-açúcar.

Município	Cana de Açúcar (Área Plantada em Hectares)
Alhandra	3150
Conde	500
Cruz do Espírito Santo	6400
João Pessoa	70
Pedras de Fogo	18000
Santa Rita	18000
São Miguel de Taipu	145

Fonte: IBGE, 2014.

Os valores das temperaturas médias mensais observadas utilizadas para os cálculos necessários foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), esses valores são referentes à temperatura média compensada dos anos de 1961 a 1990 no município de João Pessoa (Tabela 4).

Tabela 4- Temperatura média compensada do município de João Pessoa (°C).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
João Pessoa	27.1	27.2	27.0	26.7	26.0	25.2	24.2	24.3	25.1	26.3	26.7	26.9	26.1

Fonte: INMET, 2009.

Por fim, os dados das projeções de temperatura foram fornecidos do Projeto BRAMAR[1], que é um projeto de pesquisa de cooperação entre o Brasil e Alemanha que visa melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido do nordeste brasileiro. Como os modelos atmosféricos demandam maior atenção, tendo em vista que eles possuem várias especificações, o item 4.2 foi criado para comentar apenas sobre seus dados que foram utilizados no decorrer deste trabalho.

4.2 Modelos climáticos

É através da modelagem climática que se torna possível desenvolver estudos que possam estimar como as mudanças climáticas irão afetar as variáveis, como a precipitação e temperatura, do nosso planeta. Para os cálculos das demandas hídricas, foram escolhidos três MCRs que tornaram possível alcançar os objetivos propostos pelo presente trabalho. Um MCR é simulado com as condições de contorno de um MCG, já que é utilizada a técnica de *downscaling dinâmico* (quando se tem interesse de obter resultados em maior escala e resolução). Sendo assim, os MCGs utilizados foram: (a)MPI-ESM-LR, que forneceu as condições de contorno aos modelos regionais RCA4 e REMO2009; e, (b) ICHEC-EC-EARTH que forneceu as condições de contorno ao modelo regional RCA4. Na Tabela 5 podemos observar suas principais características.

[1] Estratégia e Tecnologias para mitigação da escassez de água no nordeste do Brasil: Reuso de Água, Gerenciamento de Recarga de Aquíferos e Gestão integrada dos Recursos hídricos.

Tabela 5- Características dos modelos utilizados.

Modelo		Instituto	Grid (Lat x Lon)	Cenários	Período
EC-EARTH-RCA4	GCM	Irish Center for High-End Computing (ICHEC), EC-EARTH Consortium (boundary conditions)	0,44° × 0,44°	Historical	1951-2005
	EC-EARTH			RCP 4.5	2006-2100
	RCM	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Rossby Centre			
	RCA4			RCP 8.5	2006-2100
MPI-ESM-LR-REMO2009	GCM	Max Planck Institute for Meteorology – MPI (boundary conditions)	0,44° × 0,44°	Historical	1950-2005
	MPI-ESM-LR			RCP 4.5	2006-2100
	RCM	Climate Service Center (CSC), Helmholtz-Zentrum Geesthacht			
	REMO2009			RCP 8.5	2006-2100
MPI-ESM-LR-RCA4	GCM	Max Planck Institute for Meteorology – MPI (boundary conditions)	0,44° × 0,44°	Historical	1951-2005
	MPI-ESM-LR			RCP 4.5	2006-2100
	RCM	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Rossby Centre			
	RCA4			RCP 8.5	2006-2100

Fonte: BRAGA et al., 2015.

Foram selecionados dois cenários RCPs desenvolvidos pelo IPCC para a realização das projeções apresentadas no presente trabalho. São eles o RCP 4.5 que é considerado um cenário de estabilização, onde o aumento da radiação se estabilizaria antes do ano de 2100 e essa estabilização seria alcançada com a diminuição nas emissões dos gases de efeito estufa. A sua força radioativa equivale a 4.5 W/m². Enquanto que o RCP 8.5 é o cenário mais pessimista, caracterizado por um aumento constante na taxa de radiação provocada pelo crescimento nas emissões dos gases de feito estufa e em uma concentração maior. Sua força radioativa é de 8.5 W/m².

Os dois cenários escolhidos abrangem uma realidade de emissões intermediárias e outra mais pessimista, pois se as preocupações forem levadas a sério e as medidas certas forem tomadas por parte dos governantes, conseguiremos atingir um cenário de estabilização (RCP 4.5). Porém, se nada for feito os impactos causados pelos gases de efeito estufa continuaram se agravando e atingiremos o cenário mais extremo (RCP 8.5).

Os dados foram originalmente obtidos do pelo Coordinated Regional Climate Downscaling (CORDEX), mas foram extraídos do formato original através de um script elaborado pelo projeto BRAMAR (é pós-processamento dos dados). O script permitia que fosse feito um recorte para uma área desejada, dentro da área abrangida pela simulação original do modelo (América do Sul). Isso fornecia dados de temperatura em pontos da grade do modelo atmosférico. Para o presente trabalho, foi selecionado o ponto de grade mais próximo à cidade de João Pessoa.

Os modelos utilizados simulam as temperaturas diárias para os intervalos de anos de 1951-2005 e 2006-2100. Porém, eles foram avaliados no modo clima, ou seja, com os valores médios mensais de quatro intervalos tempo, são eles: 1961-1990, 2006-2037, 2038-2069 e 2070-2100.

Sabendo que esses modelos simulam a temperatura para o clima atual (1951-2005) e futuro (2006-2100), e com o objetivo de saber se eles conseguem simular a mesma de maneira satisfatória, foi realizada a seguinte comparação: o INMET disponibiliza as médias mensais das temperaturas observadas nos anos de 1961 a 1990. Sendo assim, foi pego os valores médios das temperaturas desses anos fornecidas pelo projeto BRAMAR, que transformou em médias mensais os valores diários das temperaturas simuladas e fornecidas pelos modelos, possibilitando comparar os valores médios das temperaturas reais observadas com as simuladas para o mesmo intervalo de tempo.

A inabilidade do modelo atmosférico em simular o clima atual, gera erros que são chamados sistemáticos, ou seja, erros que são inerentes à própria simulação e que precisam ser atenuados para que as informações possam ser utilizadas sem propagar erros na utilização dos dados. Desta forma, foram avaliadas as temperaturas simuladas pelos modelos regionais ICHEC-EC-EARTH-RCA4, MPI-ESM-LR-RCA4 e MPI-ESM-LR-REMO2009 para o clima presente (através da comparação com a temperatura observada), onde foi possível avaliar as incertezas existentes no processo.

Para diminuir essas incertezas, foi feita uma correção nos dados de temperatura futura com base no método Delta que considera a anomalia da temperatura. A correção pode ser

entendida sendo a temperatura observada acrescida do aumento da temperatura fornecida pelo modelo (clima futuro menos o clima atual). A diferença entre as temperaturas do clima futuro e do clima atual é chamada de anomalia.

No presente trabalho, as anomalias de temperatura foram divididas em três intervalos de tempo para diminuir ainda mais as incertezas e ter melhor representação: Δ1= 2006-2037, Δ2= 2038-2069, Δ3= 2017- 2100.

A correção pelo método Delta é dada por:

$$T_{f,corr} = T_{obs} + \Delta T \quad (Equação\ 1)$$

Onde: $T_{fut,corr}$ é a temperatura futura corrigida em graus Celsius;

T_{obs} é a temperatura observada em graus Celsius;

ΔT são os valores de anomalias da temperatura graus Celsius.

Os dados de temperatura são médias mensais e a avaliação das alterações na temperatura foi feita com base em planilhas eletrônicas e gráficos de distribuição temporal futura. E para cada modelo, foram utilizados dois cenários propostos pelo IPCC com características de emissões dos GEE diferentes, sendo eles o RCP 4.5 e 8.5.

Sendo assim, para cada modelo (ICHEC-EC-EARTH-RCA4, MPI-ESM-LR-RCA4 e MPI-ESM-LR-REMO2009) foram feitas projeções das temperaturas futuras, para os dois cenários do IPCC (RCP 4.5 e RCP 8.5) e para três intervalos de tempo (2006-2037, 2038-2069, 2017- 2100). Obtendo um conjunto de seis temperaturas futuras para cada modelo, totalizando 18 temperaturas futuras para os três modelos.

Com essas projeções de temperaturas futuras corrigidas foi calculado a evapotranspiração de referência, e por fim, calculou-se a evapotranspiração da cultura escolhida para poder saber a demanda hídrica que a mesma necessita para sobreviver.

4.3 Demanda de água para irrigação

4.3.1 Evapotranspiração de referência (Eto)

Para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação, é preciso que seja determinado à quantidade de água que cada cultura necessita, este é o principal parâmetro para se obter sucesso no desenvolvimento da cultura. Assim, é necessário realizar o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na evapotranspiração e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes que ocorre a quantificação dessa água (Bernardo, 1995).

Evapotranspiração pode ser definida como o conjunto evaporação da água de superfícies livres e do solo somada a perda de água das plantas por transpiração, ambas os processos ocorrendo simultaneamente (Porto, 2000). Sendo assim, ela representa o consumo de água de uma cultura. Esse termo foi utilizado no inicio da década de 40, por Thornthwaite, para expressar que os processos citados (evaporação da água nos solos e transpiração das plantas) ocorrem ao mesmo tempo.

De acordo Doorenbos & Pruitt (1977), o termo evapotranspiração de referência (ETo) foi definido como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. É importante saber que no caso da ETo, a evapotranspiração é função das variáveis meteorológicas, portanto ela pode ser considerada uma variável meteorológica que expressa o potencial de evapotranspiração para as condições meteorológicas vigentes.

O método escolhido para realizar a estimativa da evapotranspiração de referência foi o de Thornthwaite, a escolha foi baseada nos dados climáticos que estavam disponíveis na região de estudo e os disponíveis pelos modelos atmosféricos. A equação de Warren Thornthwaite é uma das mais antigas expressões de estimativas da evapotranspiração, embora não seja uma das mais precisas, já que é um método empírico que se baseia apenas na temperatura média do ar e é uma expressão das de mais fácil aplicação.

Como foi desenvolvido para condições de clima úmido é comum que ele subestime a ETo em condições de clima seco. Apesar dessa limitação, é um método bastante empregado para fins climatológicos, na escala mensal. Esse método parte de uma evapotranspiração padrão (ETp), a qual considera a evapotranspiração para um mês de 30 dias e com 12h de brilho solar. A formulação do método é dada pela Equação 2:

$$ET_o = F_c \times 16 \times \left(10 \times \frac{T}{I}\right)^a \quad (Equação\ 2)$$

Onde: ETo é a evapotranspiração de referência (mm/mês);

Fc é o fator de correção em função da latitude e mês do ano (Tabela 6);

a = 6,75 . 10^7 . I^3 – 7,71 . 10^5 . I^2 + 0,01791 . I + 0,492 (mm/mês);

I é o índice anual de calor, correspondente à soma de doze índices mensais;

T é a temperatura estimada para cada mês (°C).

O índice anual de calor é calculado pela Equação (3):

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (Equação\ 3)$$

Onde T é a temperatura estimada para cada mês.

Tabela 6- Fator de correção (Fc) do método de Thornthwaite (UNESCO,1982).

latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10 N	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5 N	1,00	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,02	0,94	1,04	1,01	1,01	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5 S	1,04	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10 S	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15 S	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20 S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
25 S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
30 S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
35 S	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
40 S	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1,00	1,15	1,20	1,29

Após estimar as temperaturas, as mesmas foram utilizadas para realizar o cálculo da evapotranspiração de referência para cada modelo utilizando a Equação 2. Obtendo 18 ETo para os três modelos. Em seguida, a ETo foi utilizada para calcular a demanda hídrica que a cultura de cana-de-açúcar necessita para sobrevier e por fim poder observar os impactos das mudanças climáticas nessa cultura.

O objetivo de realizar esses cálculos para três tipos de modelos diferentes é poder comparar os resultados e observar a interferência de cada um dos modelos selecionados no cálculo da evapotranspiração.

4.3.2 Coeficiente de cultura (Kc)

A demanda hídrica das plantas está diretamente relacionada com o balanço hídrico de radiação e de energia a superfície da cultura, isso porque esse balanço é quem governa tal demanda. É através dele que é possível conhecer a partição de energia disponível em fluxo de calor sensível e latente (Asseng & Hsiao, 2000; Shen et al., 2004).

Esta partição de energia é alcançada através de métodos micrometeorológicos (Steduto et al., 1998; Todd et al., 2000;Gavilán & Berengena, 2007; Teixeira et al., 2008), que geram informações sobre a evapotranspiração da cultura (ETc) e posteriormente, utilizando a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referencia, é possível obter o coeficiente da cultura (Kc) que será utilizado no manejo de irrigação (Miranda et al., 2006; Teixeira et al., 2007; Kjaersgaard et al., 2008).

De acordo com Medeiros et al. (2004), o Kc é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado. O Kc pode ser entendido como um método de racionalização da irrigação, pois ele estabelece a quantidade correta e o momento certo que se deve aplicar a água, levando em consideração o método de irrigação utilizado na área. Sendo assim, a utilização do Kc correto acarreta na diminuição dos custos e do impacto ambiental (SATURINO, 2017).

O mesmo sofre influencia de indicadores biológicos e fatores físicos, segundo Vila Nova (2001) os indicadores biológicos são: área foliar, estrutura da planta (sistema radicular e parte aérea), cobertura do vegetal do solo e a transpiração. Enquanto que os fatores físicos são: do tipo de solo (BERGAMASCHI, 1999), do método de irrigação, estágio de desenvolvimento da cultura, do arranjo das plantas e dos fatores climáticos reinantes (MAIA; MORAIS, 2008).

Sabendo que o kc varia de acordo com a cobertura do solo, recomenda-se que ele seja determinado seguindo as fases do ciclo da cultura, pois a porcentagem da área coberta tende a crescer com o desenvolvimento das plantas (ABID, 2017; BERGAMASCHI, 1999), e segundo Alburquerque (2010) o ciclo para a determinação de cultura de plantas anuais é dividido em quatro fases, sendo elas:

1. Estágio inicial (cobertura do solo < 10%);
2. Estágio de desenvolvimento vegetativo (de 10% a 80% da cobertura do solo);
3. Estágio de florescimento ou reprodutivo (até a maturação, máximo de cobertura do solo);
4. Estágio de maturação.

Sendo assim, pode-se afirmar que é de fundamental importância conhecer as necessidades hídricas das culturas para poder manejar de forma correta a aplicação da irrigação. O coeficiente de cultura é um dos parâmetros que podem ser determinados para auxiliar no planejamento da atividade (MAIA; MORAIS, 2008).

No presente trabalho o valor de Kc utilizado foi 0,75. Esse valor é encontrado na literatura como o Kc médio de todas as fases do ciclo fenológico da cultura de cana-de-açúcar. Foi utilizado um único valor médio, pois era inviável medir em campo os valores referentes às fases do ciclo fenológico da cana de açúcar, o que seria o ideal.

4.3.3 Cálculo da demanda hídrica da cultura

Sabendo que é através do cálculo da evapotranspiração que podemos obter o consumo necessário de água que uma cultura necessita para sobreviver. A cultura escolhida para calcular o seu consumo foi a de cana-de-açúcar nos município de Alhandra, Conde, Cruz do Espirito Santo, João Pessoa, Pedras de Fogo, Santa Rita e São Miguel de Taipu, pois é a cultura predominante na bacia e permite uma avaliação consistente sobre a pressão que o aumento da temperatura pode causar sobre a demanda hídrica de uma cultura na bacia do Rio Gramame. É através da ETo que torna-se possível estimar o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) e é esse cálculo que irá fornecer a demanda hídrica que a cana de açúcar necessita para se manter viva. A estimativa é realizada a partir da Equação 4:

$$ET_C = K_c \times ET_o \times A_p \quad (Equação\ 4)$$

Onde:

ET_c é a evapotranspiração da cultura dada em mm/mês;

ET_o é a evapotranspiração de referencia dada em mm/mês;

K_c é o coeficiente da cultura;

Ap é a área plantada em hectares.

Para melhor compreensão dos resultados, é conveniente transformar os resultados de mm/ mês para em m³/ mês. Logo é necessário possuir os valores de áreas plantadas, que podem ser visualizados na Tabela 3 fornecida pelo IBGE (2014).

A estimativa da demanda hídrica da cana-de-açúcar foi calculada para as temperaturas simuladas pelos três modelos de circulação regional, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, e em cada cenário a demanda hídrica foi calculada para os três intervalos de tempo diferentes (2006-2037, 2037-2069, 2070-2100).

5. RESULTADOS

5.1 Comportamento dos modelos

De acordo com a Tabela 7 nota-se que o valor médio anual da temperatura observada é de 26.1°C, o modelo ICHEC/RCA4 estimou o valor de 23.6°C, o MPI/RCA4 24.2°C e o MPI/REMO2009 25.6°C.

Tabela 7- Médias anuais das temperaturas simuladas e observada.

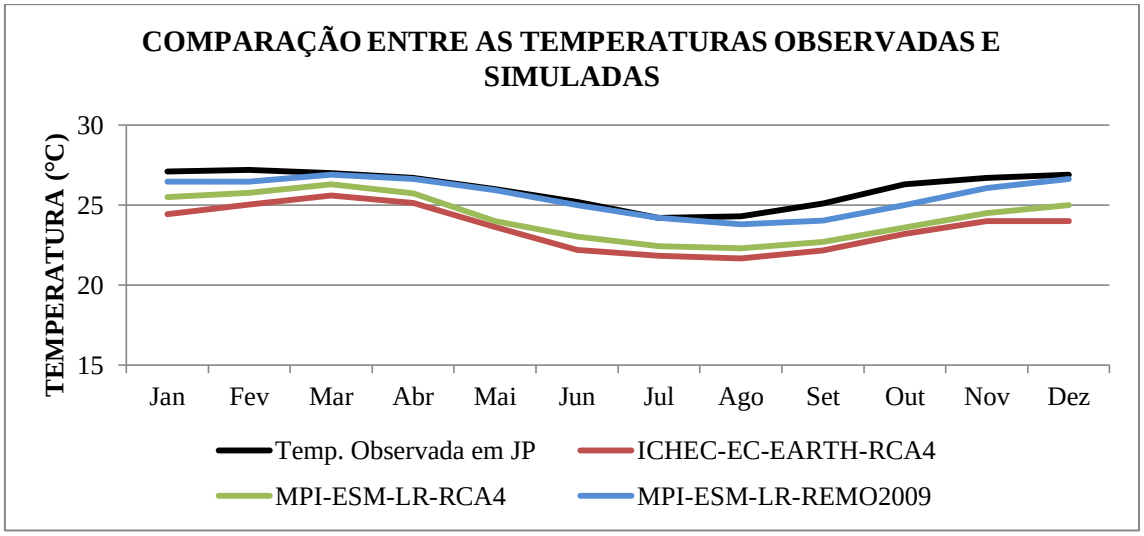
MÉDIAS ANUAIS DAS TEMPERATURAS SIMULADAS E OBSERVADA (°C)	
Temp. observada em JP	26.1
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	23.6
MPI-ESM-LR-RCA4	24.2
MPI-ESM-LR-REMO2009	25.6

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os três modelos subestimam a temperatura real e o MPI/REMO2009 é o modelo que mais se aproxima da realidade diferindo da mesma em apenas 0,5 °C. Enquanto que o MPI/RCA4 difere em 1.9 °C e o ICHEC/RCA4 em 2.5°C o que não é um valor muito alto, sendo assim, o modelo ICHEC/RCA4 ainda consegue representar o clima atual razoavelmente bem.

Ao comparar as temperaturas médias mensais observadas fornecidas pelo INMET (Tabela 4) com as simuladas pelos três modelos para o período de tempo de 1961 a 1990 (Figura 3), comprovamos o que foi dito acima. Os três modelos simulam bem o clima atual, tendo que vista que as temperaturas apresentadas por eles seguem o mesmo comportamento ao longo dos anos das temperaturas observadas, onde elas são maiores nos meses de janeiro a abril, diminuem no período de maio a agosto e voltam a crescer setembro. Entretanto, como já dito, os três subestimam as temperaturas apresentando valores menores que a real.

Figura 3- Comparação entre os modelos.



Fonte: Autoria própria.

O modelo MPI/REMO2009 é o que mais se aproxima dos valores observados, onde nos meses de março a julho as linhas praticamente se sobrepõem o que significa que as temperaturas são bem simuladas e as incertezas apresentadas por esse modelo durante esse período de tempo é quase nula. Nos meses de agosto a novembro, o modelo já não consegue representar tão bem apresentando incertezas maiores.

O modelo MPI/RCA4 é o segundo melhor a representar o comportamento do clima atual, apresentando maiores incertezas durante do período de maio a dezembro. Por fim temos o modelo ICHEC/RCA4 que apresenta comportamento muito simular ao MPI/RCA4 e é o que apresenta maiores incertezas quando comparado aos valores observados.

No entanto, as temperaturas mensais simuladas apresentam viés de subestimação quando comparadas aos valores observados. A Tabela 8 mostra a diferença entre os valores simulados pelos modelos e os valores médios observados mensais. Na base anual, o modelo ICHEC/RCA4 subestima em média -2,5°C, o modelo MPI/RCA4 subestima -1,8°C e o modelo MPI/REMO2009 -0,5°C, o que demonstra que as incertezas do modelo MPI/REMO2009 foram as menores.

Tabela 8- Incertezas contidas nos modelos.

INCERTEZAS APRESENTADAS PELOS MODELOS (°C)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	-2.7	-2.2	-1.4	-1.6	-2.4	-3.0	-2.4	-2.6	-2.9	-3.1	-2.7	-2.9	-2.5
MPI-ESM-LR-RCA4	-1.6	-1.4	-0.7	-1.0	-2.0	-2.2	-1.8	-2.0	-2.4	-2.7	-2.2	-1.9	-1.8
MPI-ESM-LR-REMO2009	-0.6	-0.7	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.5	-1.1	-1.3	-0.6	-0.3	-0.5

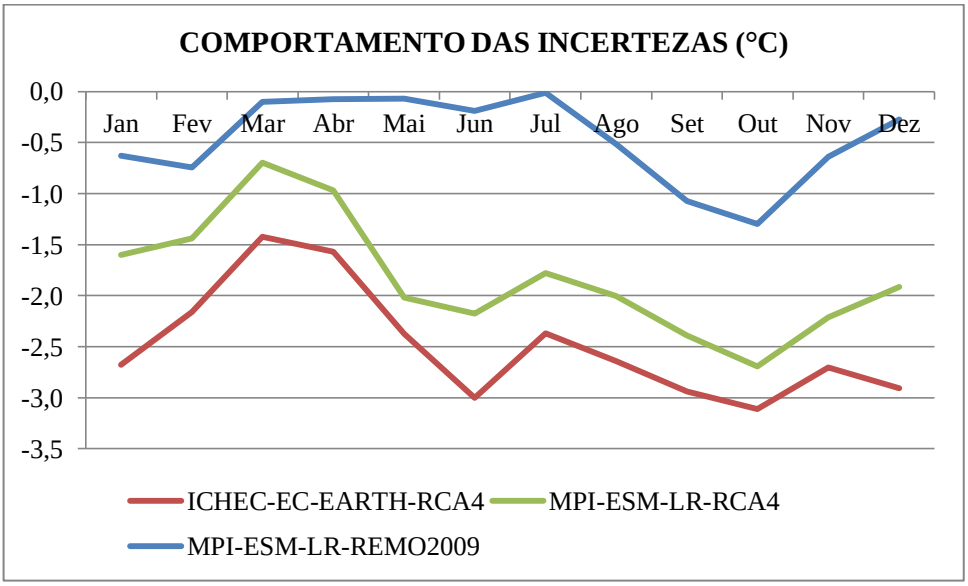
Fonte: Autoria própria.

Os modelos tiveram mais dificuldades de simular o mês de outubro, com incertezas de -3,1°C para o ICHEC/RCA4, -2,7 °C para o MPI/RCA4 e -1,3°C para o MPI/REMO2009. Enquanto que tiveram mais facilidade para simular o mês de março, com -1.4 para ICHEC/RCA4, -0.7 para o MPI/RCA4 e -0.1 para o MPI/REMO2009.

Através dos valores encontrados na Tabela 8 confirmamos o que foi dito acima, o modelo MPI/REMO2009 apresenta valores muito baixos de incertezas, onde no mês de julho chega a ser zero, o que quer dizer que o modelo conseguiu simular as condições reais perfeitamente bem. Os valores encontrados nos meses de março a junho são praticamente insignificantes e os de agosto a fevereiro, apesar de serem maiores quando comparados aos outros meses, ainda são pequenos. Portanto, o modelo MPI/REMO2009 é o que melhor simula o clima atual e de maneira bastante satisfatória.

Ao contrário do MPI/REMO2009, temos o ICHEC/RCA4 que não conseguiu representar bem a realidade, apesar de seguir o comportamento do clima atual ele apresenta grandes incertezas, como por exemplo, no mês de outubro que ela chega a ser -3,1 °C. O modelo MPI/RCA4 ficou no meio termo quando comparado aos outros dois. Na Figura 4 é possível observar o comportamento dessas incertezas para cada modelo.

Figura 4- Comportamento das incertezas apresentadas pelos modelos.



Fonte: Autoria própria.

5.2 Anomalias das temperaturas futuras

Sabe-se que as anomalias das temperaturas são a diferença entre dois períodos de tempo, no nosso caso, é a diferença entre as temperaturas futuras simuladas e as do clima passado simuladas. Elas representam o crescimento das temperaturas causadas pelo aumento das emissões dos gases do efeito estufa, ou seja, o quanto a temperatura cresceu de um intervalo de tempo a outro. Seus valores estão dispostos na Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11.

Tabela 9-Anomalias de temperaturas referentes ao MCR ICHEC-EC-EARTH-RCA4.

Intervalo de tempo/Cenário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Δ1-RCP4.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8
Δ2 -RCP4.5	1.3	1.5	1.4	1.2	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.4	1.5
Δ3 -RCP4.5	1.8	1.8	1.9	1.7	1.6	1.8	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9
Δ1-RCP8.5	0.8	0.9	0.9	0.7	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
Δ2 -RCP8.5	1.8	1.9	1.8	1.9	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.9	1.9
Δ3 -RCP8.5	3.3	3.4	3.3	3.1	2.9	3.2	3	2.9	2.9	3	3.2	3.3

Fonte: CORDEX, 2017.

Tabela 10 - Anomalias de temperaturas referentes ao MCR MPI-ESM-LR-RCA4.

Intervalo de tempo/Cenário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Δ1 -RCP4.5	1	1	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1
Δ2 -RCP4.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.5
Δ3 -RCP4.5	1.9	2	2	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.9
Δ1 -RCP8.5	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	1
Δ2 -RCP8.5	2.1	2.2	2.2	2.1	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8	2
Δ3 -RCP8.5	3.7	3.8	3.8	3.7	3.5	3.3	3.1	3	3	3.2	3.4	3.7

Fonte: CORDEX, 2017.

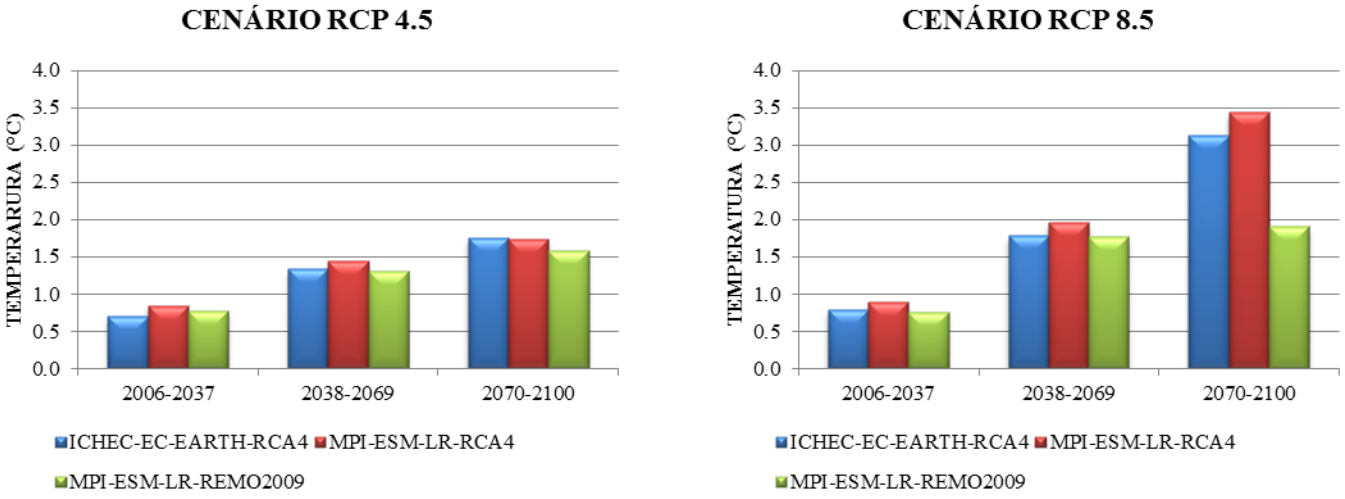
Tabela 11-Anomalias de temperaturas referentes ao MCR MPI-ESM-LR-REMO2009.

Intervalo de tempo/Cenário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Δ1-RCP4.5	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Δ2 -RCP4.5	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
Δ3 -RCP4.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7
Δ1-RCP8.5	0.8	0.9	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8
Δ2 -RCP8.5	1.8	1.8	1.8	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9
Δ3 -RCP8.5	2.7	3.2	2.7	1.5	0.5	0.3	0.3	0.7	1.4	2.5	3.7	3.3

Fonte: CORDEX, 2017.

O comportamento das anomalias para os dois cenários estudado (RCP 4.5 e RCP 8.5) pode ser observado na Figura 5.

Figura 5- Média das anomalias para os três modelos.



Fonte: Autoria própria.

Ao comparar as médias das anomalias em ambos os cenários, para o primeiro período de tempo que equivale aos anos de 2006 a 2037, a diferença de crescimento de temperatura entre os cenários é praticamente nula, o que indica que nesse período de tempo, os dois cenários geraram o mesmo impacto de mudanças climáticas. Para o segundo período, 2038 a 2069, já é possível observar uma diferença mais significativa e é no terceiro intervalo de tempo (2070 a 2100) que nota-se uma grande diferença entre ambos os cenários. O que mostra que o aumento da temperatura será sentido com maior intensidade em um futuro mais distante.

Comparando ambos os cenários também é possível perceber que se as emissões dos gases do efeito estufa forem controladas (RCP 4.5), o aumento da temperatura não será tão intensa com o passar dos anos. Porém, se esse controle não for feito, o aumento da mesma será sentida com grande intensidade (RCP 8.5).

Em relação ao comportamento dos modelos, a diferença entre eles não é significante. Com exceção do modelo MPI/REMO2009 que no cenário RCP 8.5 e no período de tempo 2070 a 2100, apresentou valores baixos em relação aos dois outros modelos. Se observarmos a Tabela 11 onde estão os valores das anomalias de temperatura apresentadas por ele, notamos que no geral em ele apresenta valores menores quando comparados aos outros modelos,

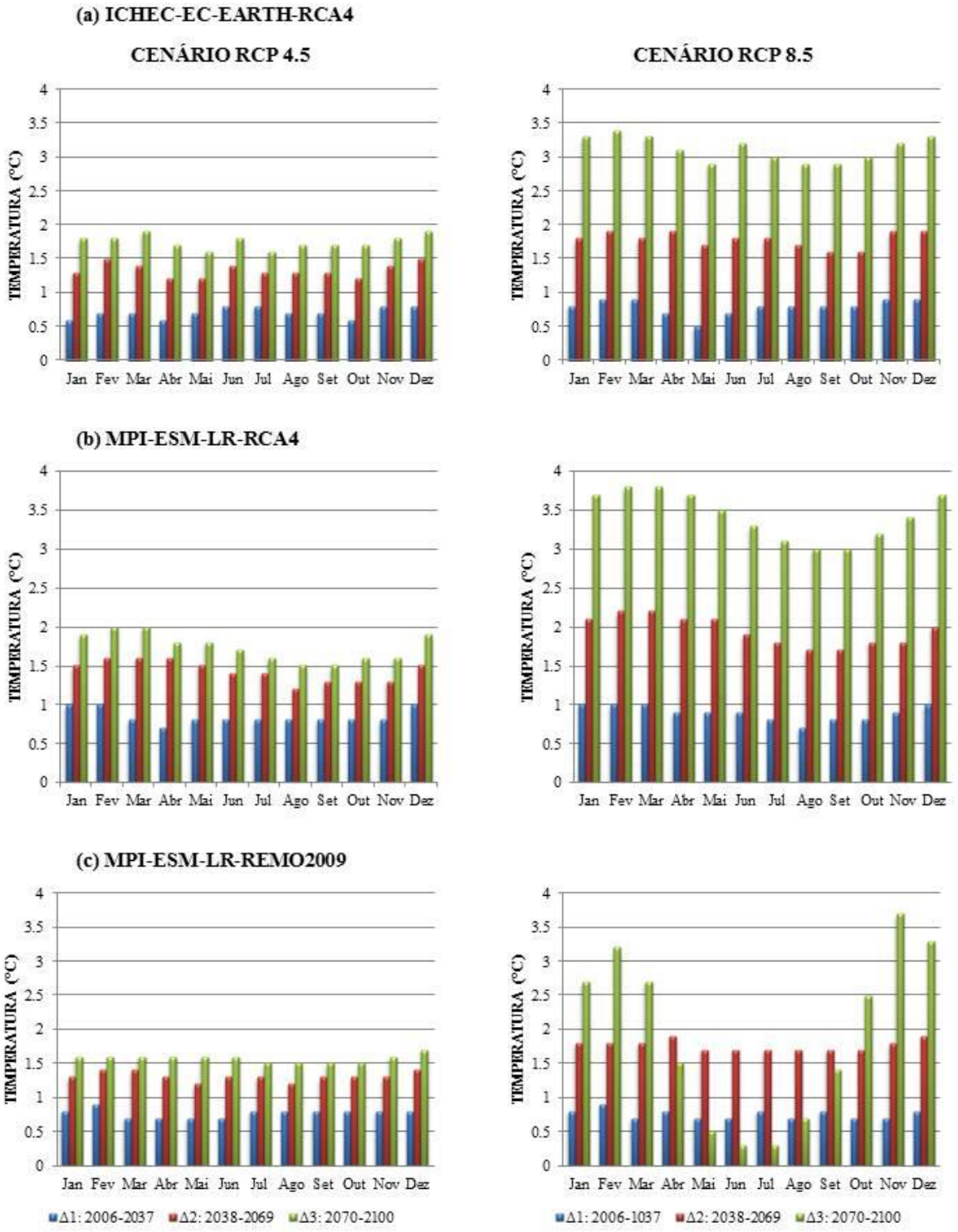
destacando os valores referentes aos meses de abril a setembro. Foram esses valores que causaram o decaimento visto no gráfico do cenário RCP 8.5.

A Figura 6 mostra o comportamento mensal das anomalias dos três modelos para ambos os cenários. Analisando as anomalias de temperatura mensalmente, é possível observar que elas não seguem um padrão de comportamento em nenhum dos cenários. No cenário RCP 4.5, nos modelos ICHEC/RCA4 e principalmente o MPI/REMO2009, suas anomalias não apresentam praticamente nenhuma variação durante todo o ano, o MPI/RCA4 apresenta uma leve variação reduzindo as temperaturas nos meses de abril a setembro voltando a aumentar em outubro. No cenário RCP 8.5 os modelos ICHEC/RCA4 e MPI/RCA4 seguem sem apresentar grandes variações de temperatura durante os meses. Enquanto que no MPI/REMO2009 em função dos baixos valores das anomalias, os meses de abril a setembro apresentam uma queda.

Ao comparar o cenário RCP 4.5 com o RCP 8.5, o crescimento das temperaturas é evidente, sendo quase o dobro de um cenário para outro no período de 2070 a 2100. O que são dados alarmantes para o futuro e confirmam que o aumento nas emissões dos gases do efeito estufa realmente interfere no aumento da temperatura, sendo assim, medidas mitigadoras de redução das emissões desses gases devem ser tomadas o mais rápido possível para que esse cenário (RCP 8.5) não se torne realidade.

Em ambos os cenários se nota variações entre os intervalos de tempo, ou seja, há um crescimento da temperatura quando se compara o primeiro período de tempo (2007-2037) com o segundo (2038-2069) e segundo com o terceiro (2070-2100). Porém, ao comparar o primeiro e o segundo período de tempo do cenário RCP 4.5 com o do RCP 8.5, eles não apresentam aumentos significativos nas temperaturas. Enquanto que para o último intervalo de tempo é notório esse aumento, com exceção dos meses de abril a setembro representados pelo modelo MPI/REMO2009 que apresenta uma diminuição desses valores.

Figura 6- Comportamento mensal das anomalias fornecidas pelos três modelos.



Fonte: Autoria própria.

5.3 Correção da temperatura futura

Para evitar o acúmulo das incertezas nas temperaturas futuras simuladas pelos modelos que serão utilizadas para os cálculos das evapotranspirações de referência e da cultura, foi preciso fazer correções das mesmas utilizando as anomalias de temperatura obtidas no CORDEX e que estão dispostas na Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11. Dessa maneira, foram obtidos os novos valores de temperaturas futuras corrigidas que podem ser encontradas na Tabela 12

Tabela 12 - Média anual das temperaturas futuras corrigidas.

MÉDIA ANUAL DAS TEMPERATURAS						
MODELOS	CENÁRIO RCP 4.5			CENÁRIO RCP 8.5		
	Tf 2006-2037(°C)	Tf 2038-2069(°C)	Tf 2070-2100(°C)	Tf 2006-2037(°C)	Tf 2038-2069(°C)	Tf 2070-2100(°C)
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	26.77	27.39	27.81	26.85	27.84	29.19
MPI-ESM-LR-RCA4	26.9	27.49	27.8	26.95	28.01	29.49
MPI-ESM-LR-REMO2009	26.83	27.37	27.63	26.82	27.83	27.96

Fonte: Autoria própria.

Ao observar os valores das temperaturas médias corrigidas para os anos futuros, nota-se que elas possuem mesmo comportamento das anomalias médias de temperatura discutidas acima. O que é natural, tendo em vista que as correções dessas temperaturas futuras foram realizadas com os valores das anomalias encontrados nas Tabelas 9, 10 e 11.

Ao comparar as temperaturas médias apresentadas pelos três modelos, a diferença entre elas é mínima, comprovando que os modelos se comportam de maneira similar, com exceção mais uma vez da última média de temperatura (27,96°C) apresentada pelo modelo MPI/REMO2009, que estão de acordo com os gráficos das médias das anomalias.

Nas Tabelas 13,14 e 15 estão dispostas as temperaturas futuras corrigidas de todos os meses para ambos os cenários.

Tabela 13- Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO ICHEC/RCA4).

MODELO ICHEC-EC-EARTH-RCA4												
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 4.5 (°C)												
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
2006-2037	27.7	27.9	27.7	27.3	26.7	26	25	25	25.8	26.9	27.5	27.7
2038-2069	28.4	28.7	28.4	27.9	27.2	26.6	25.5	25.6	26.4	27.5	28.1	28.4
2070-2100	28.9	29	28.9	28.4	27.6	27	25.8	26	26.8	28	28.5	28.8
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 8.5 (°C)												
2006-2037	27.9	28.1	27.9	27.4	26.5	25.9	25	25.1	25.9	27.1	27.6	27.8
2038-2069	28.9	29.1	28.8	28.6	27.7	27	26	26	26.7	27.9	28.6	28.8
2070-2100	30.4	30.6	30.3	29.8	28.9	28.4	27.2	27.2	28	29.3	29.9	30.2

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14- Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO MPI/RCA4).

MODELO MPI-ESM-LR-RCA4												
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 4.5 (°C)												
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
2006-2037	28.1	28.2	27.8	27.4	26.8	26	25	25.1	25.9	27.1	27.5	27.9
2038-2069	28.6	28.8	28.6	28.3	27.5	26.6	25.6	25.5	26.4	27.6	28	28.4
2070-2100	29	29.2	29	28.5	27.8	26.9	25.8	25.8	26.6	27.9	28.3	28.8
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 8.5 (°C)												
2006-2037	28.1	28.2	28	27.6	26.9	26.1	25	25	25.9	27.1	27.6	27.9
2038-2069	29.2	29.4	29.2	28.8	28.1	27.1	26	26	26.8	28.1	28.5	28.9
2070-2100	30.8	31	30.8	30.4	29.5	28.5	27.3	27.3	28.1	29.5	30.1	30.6

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 - Temperaturas futuras mensais corrigidas (MODELO MPI/REMO2009).

MODELO MPI-ESM-LR-REMO2009												
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 4.5 (°C)												
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
2006-2037	27.9	28.1	27.7	27.4	26.7	25.9	25	25.1	25.9	27.1	27.5	27.7
2038-2069	28.4	28.6	28.4	28	27.2	26.5	25.5	25.5	26.4	27.6	28	28.3
2070-2100	28.7	28.8	28.6	28.3	27.6	26.8	25.7	25.8	26.6	27.8	28.3	28.6
TEMPERATURAS FUTURAS PARA O CENÁRIO RCP 8.5 (°C)												
2006-2037	27.9	28.1	27.7	27.5	26.7	25.9	25	25	25.9	27	27.4	27.7
2038-2069	28.9	29	28.8	28.6	27.7	26.9	25.9	26	26.8	28	28.5	28.8
2070-2100	29.8	30.4	29.7	28.2	26.5	25.5	24.5	25	26.5	28.8	30.4	30.2

Fonte: Autoria própria

Analisando mensalmente os valores das temperaturas futuras corrigidas para cada cenário, observamos que não existe muita variação da mesma durante o ano para ambos os cenários. É possível observar na Tabela 16 as variações entre as temperaturas máximas e mínimas estimadas por cada modelo e para os três intervalos de tempo.

Tabela 16- Temperaturas máximas e mínimas durante o ano (CENÁRIO RCP 4.5).

TEMPERATURAS MÁXIMAS E MINIMAS (°C) - CENÁRIO RCP 4.5						
MODELOS	2006-2037		2038-2069		2070-2100	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	27.9	25	28.7	25.5	29	25.8
MPI-ESM-LR-RCA4	28.2	25	28.8	25.5	29.2	25.8
MPI-ESM-LR-REMO2009	28.1	25	28.6	25.5	28.8	25.7

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17- Temperaturas máximas e mínimas durante o ano (CENÁRIO RCP 8.5).

TEMPERATURAS MÁXIMAS E MINIMAS (°C) - CENÁRIO RCP 8.5						
MODELOS	2006-2037		2038-2069		2070-2100	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	28.1	25	29.1	26	30.6	27.2
MPI-ESM-LR-RCA4	28.2	25	29.4	26	31	27.3
MPI-ESM-LR-REMO2009	28.1	25	29	25.9	30.4	24.5

Fonte: Autoria própria.

As temperaturas máximas e mínimas citadas acima ocorrem nos meses de fevereiro (máxima) e nos meses de julho e agosto (mínima). Os modelos mais uma vez apresentam valores similares e com pouca diferença entre eles. Portanto, esse comportamento de poucas alterações nas temperaturas ao longo do ano também condiz com os das anomalias apresentados na Figura 6. A redução dos valores de anomalias dos meses de abril a setembro que aconteceu com o modelo MPI/REMO2009 também está explicita nessa tabela, variando a temperatura de 30.4 a 24.5 °C, a qual é considerada uma grande variação quando comparada aos outros dois modelos.

5.4 Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar

Discutiremos agora o comportamento dos modelos em relação à evapotranspiração da cultura de cana de açúcar, ou seja, será possível observar o aumento da quantidade de água que será demandada pela cultura mensalmente.

Os municípios estudados foram: João Pessoa, Alhandra, Conde, Cruz do Espirito Santo, Pedras de Fogo, Santa Rira e São Miguel de Taipu. Porém, apresentaremos agora os resultados referentes aos municípios de João Pessoa, Alhandra e Santa Rita, pois João Pessoa

possui menor área plantada de cana-de-açúcar, Santa Rita maior e Alhandra apresenta área intermediária. Os resultados referentes aos outros municípios podem ser observados nos apêndices.

Os cálculos das evapotranspirações dependem das temperaturas, tendo em vista que na região Nordeste do Brasil, onde os sete municípios estão inseridos, possui uma temperatura em média de 26°C e sem muitas variações intra-anuais, a temperatura ao longo dos meses do ano não sofre muita variação, pois as estações do ano nessa região não são bem definidas. Comportamento que pode ser confirmado observando os valores máximos e mínimos das temperaturas futuras corrigidas apresentadas na Tabela 16 e Tabela 17 para os cenários RCP 4.5 e 8.5 respectivamente.

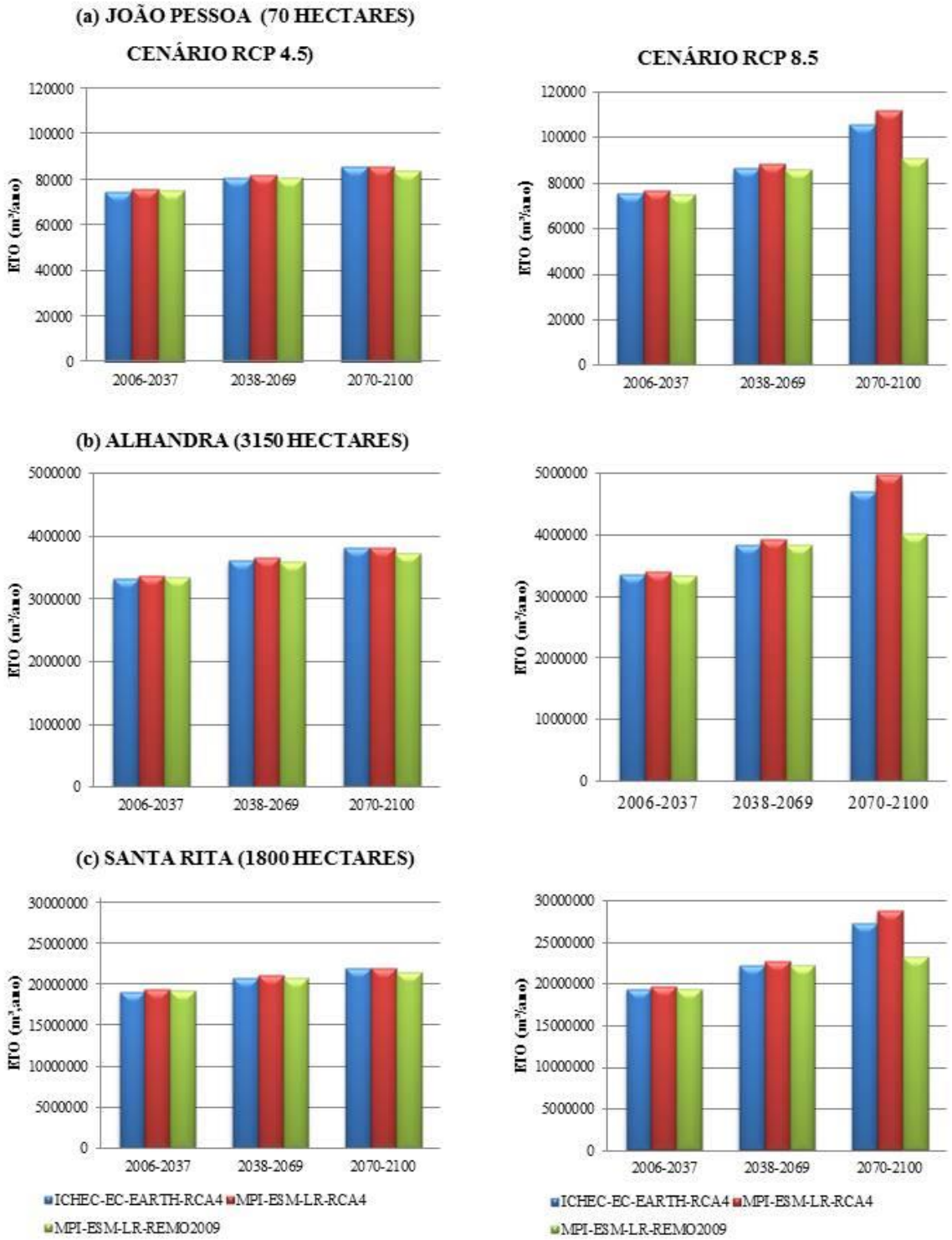
A variação mais notória que ocorre entre os municípios é a quantidade água que cada um demanda, os municípios que possuem maior área plantada de cana-de-açúcar, como é o caso de Santa Rita com 18000 hectares, demanda uma quantidade de água maior que os outros. Enquanto que João Pessoa, com apenas 70 hectares de área plantada, demanda a menor quantidade.

Comparando as demandas hídricas de cada município para cada um dos cenários analisados, fica claro que o aumento na temperatura devido às mudanças climáticas realmente interfere na quantidade de água que é demandada pela cultura de cana-de-açúcar.

No geral, para o primeiro intervalo de tempo, 2006 a 2037, a variação da demanda de água para ambos os cenários não é muito grande. Isso pode ser explicado pelo fato de ser um período de tempo ainda muito recente, onde as mudanças climáticas não são sentidas com tanta intensidade. A partir do segundo intervalo que vai de 2038 a 2069, já podemos observar uma diferença maior entre os dois cenários, e por fim, no intervalo de tempo de 2070 a 2100, a quantidade de água demanda para cenário RCP 8.5 é consideravelmente maior do que a demandada para o cenário RCP 4.5.

Esse comportamento confirma que com o passar dos anos, se medidas mitigadoras que visem à diminuição da emissão dos chamados gases do efeito estufa não forem tomadas, as mudanças climáticas poderão ser sentidas com maior intensidade. Na Figura 7 pode-se observar o que foi dito acima.

Figura 7- Média anual da evapotranspiração da cana-de-açúcar.

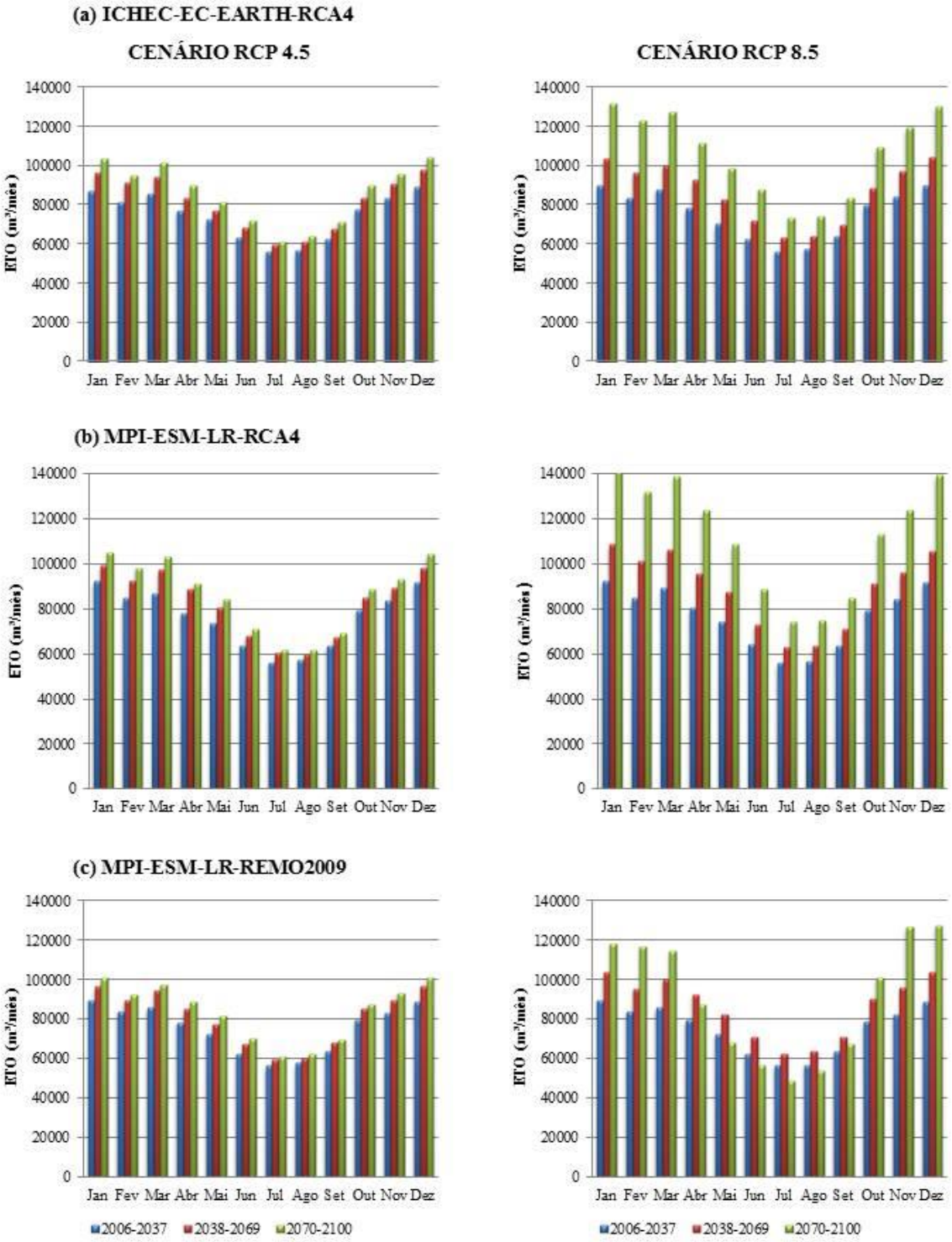


Fonte: Autoria própria.

No último intervalo de tempo, 2070 a 2100, do cenário RCP 8.5 acontece grandes variações de demandas hídricas de um modelo para outro, esse fato ocorreu mais uma vez devido à redução dos valores das anomalias referentes aos meses de abril a setembro. Esses valores interferiram em todas as etapas de cálculo (correção das temperaturas futuras, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura) gerando essa redução na demanda hídrica.

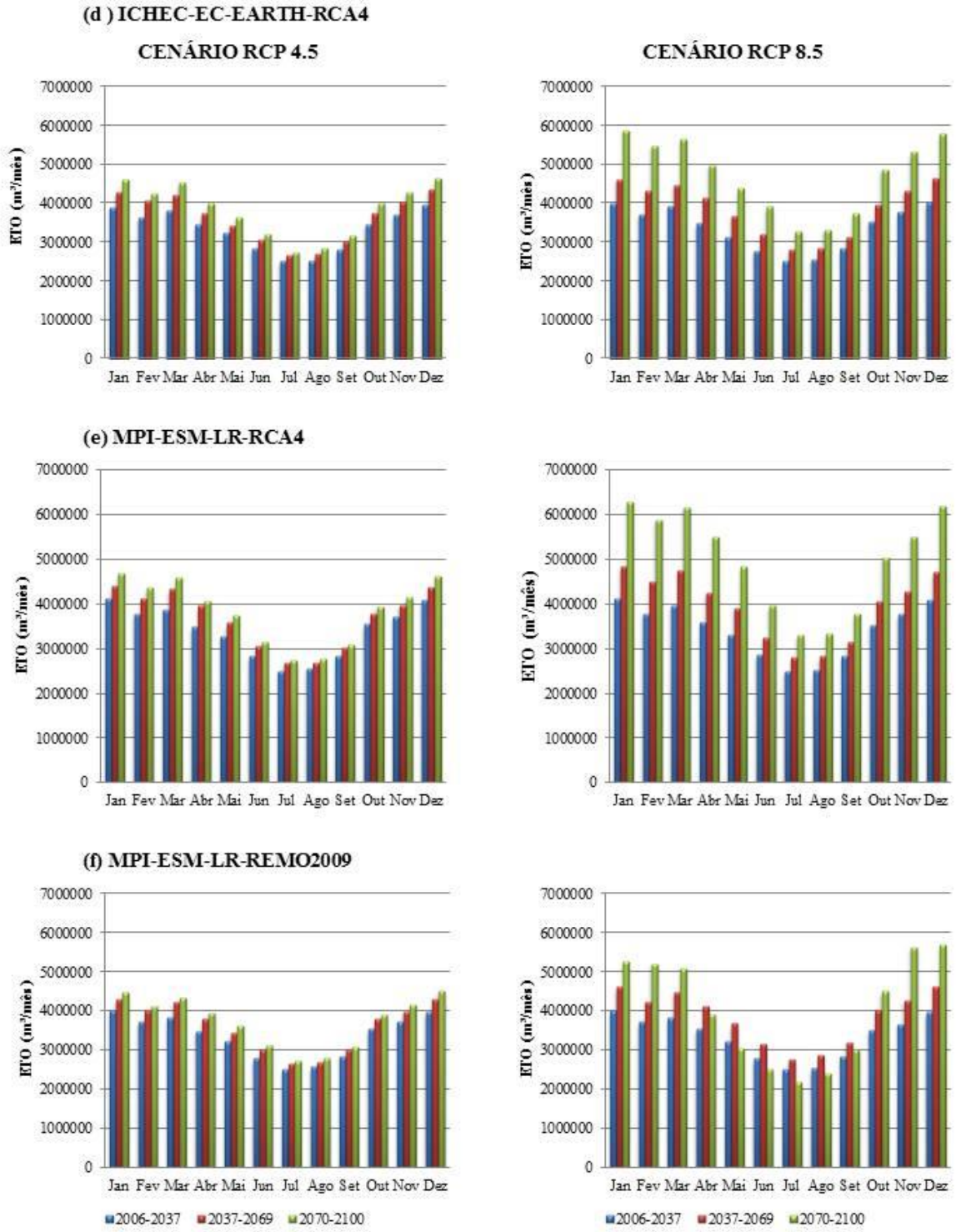
Na Figura 8, Figura 9, Figura 10 mostraremos o comportamento mais detalhado da evapotranspiração da cana-de-açúcar, ou seja, sua demanda de água mensal.

Figura 8- Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de João Pessoa (70hectares).



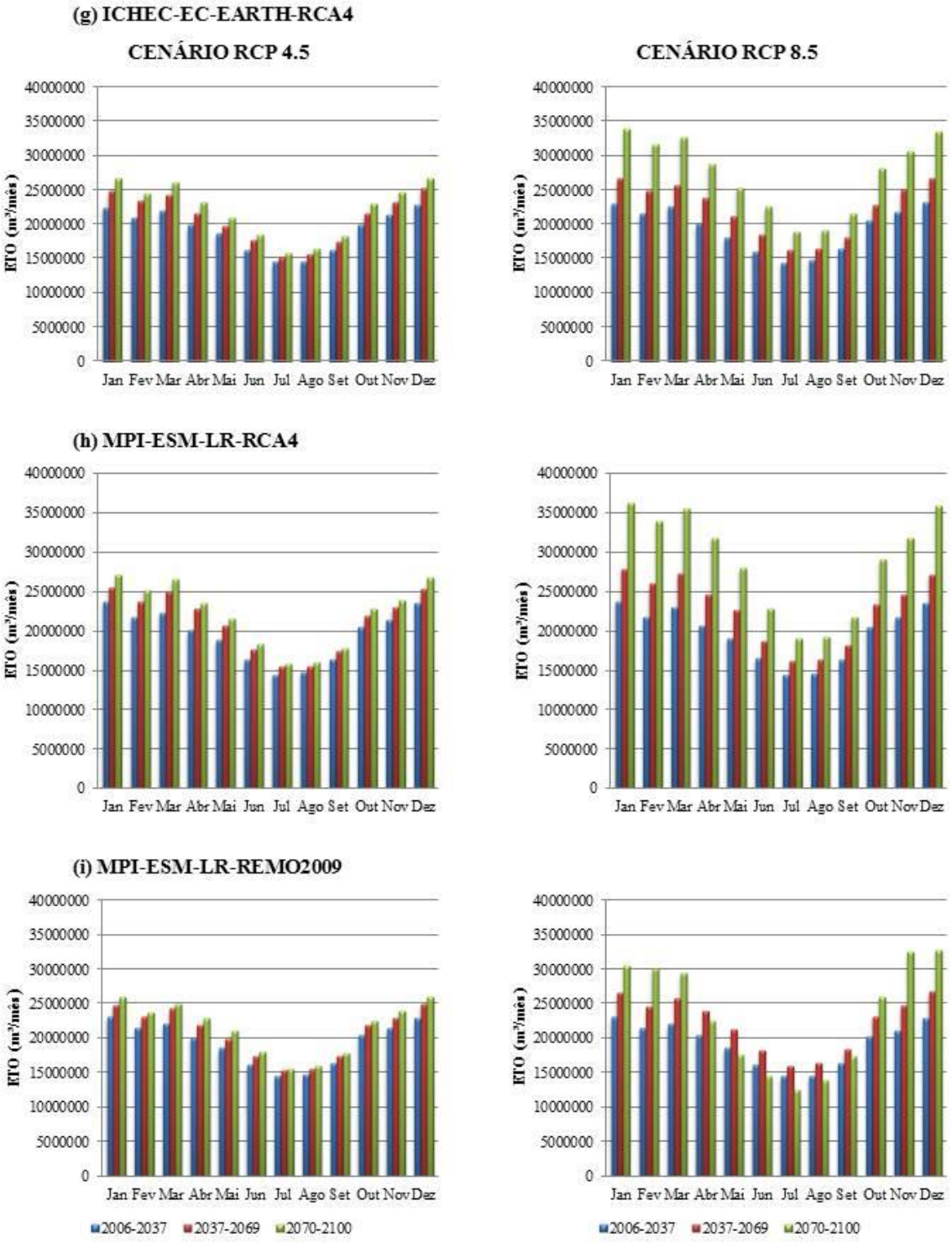
Fonte: Autoria própria.

Figura 9-Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de Alhandra (3150hectares).



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Demanda hídrica mensal da cana-de-açúcar no município de Santa Rita (1800hectares).



Fonte: Autoria própria.

É possível observar que os três municípios, João Pessoa, Alhandra e Santa Rita, possuem um comportamento semelhante. Nos meses de maio, junho, julho e agosto a quantidade de água demandada pela cana-de-açúcar sofre uma queda, isso porque esses meses são considerados chuvosos.

Sendo assim, esse comportamento é o esperado tendo em vista que a água oriunda das chuvas é suficiente ou praticamente suficiente para suprir as necessidades da cultura, diminuindo a quantidade de água demandada para irrigação. No mês de setembro a demanda volta a aumentar tendo em vista que esse mês é marcado pelo inicio do período de estiagem, logo, com a falta de chuva a necessidade de utilização da irrigação volta a crescer, demandando mais água.

O cenário RCP 8.5 do modelo MPI/REMO2009 foi o único que apresentou o comportamento diferente dos outros, ocorrendo diminuição na demanda de água nos meses de abril a setembro. Esse comportamento é reflexo das anomalias, como já explicado anteriormente.

Quando comparados os cenário RCP 4.5 e o RCP 8.5, é notório o aumento da demanda por água principalmente para último intervalo de tempo, comprovando que as mudanças na temperatura e precipitação, afetam a quantidade de água que será destinada para irrigação. Podendo sobrecarregar, no caso do cenário mais extremo, os mananciais responsáveis por destinar a água para irrigação.

Por fim, a maneira como os modelos se comportaram para estimar a evapotranspiração da cana-de-açúcar condiz com o comportamento observado das anomalias futuras e também das temperaturas futuras corrigidas. Caracterizado, de maneira geral, por pouca diferença entre os modelos e as alterações serão sentidas com mais intensidade no último período de tempo.

A partir dos valores encontrados na Tabela 18, pode-se confirmar que a demanda hídrica total da cana-de-açúcar na bacia irá aumentar, principalmente em um futuro mais distante, quando se compara os dois cenários.

Tabela 18- Demanda hídrica total da bacia hidrográfica do rio Gramame.

SOMATÓRIO DA DEMANDA HÍDRICA ANUAL NA BACIA (m³/ano)			
MODELOS	**CENÁRIO RCP 4.5**		
	2006-2037	**2038-2069**	**2070-2100**
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	49104484.1	53410121.8	56648579.5
MPI-ESM-LR-RCA4	50022378.2	54196263.5	56659290.8
MPI-ESM-LR-REMO2009	49550750.0	53231492.5	55238149.5
MODELOS	**CENÁRIO RCP 8.5**		
	2006-2037	**2038-2069**	**2070-2100**
ICHEC-EC-EARTH-RCA4	49691520.6	56900960.4	69914211.0
MPI-ESM-LR-RCA4	50376114.1	58375429.4	73801151.0
MPI-ESM-LR-REMO2009	49448207.1	56771066.4	59723049.6

Fonte: Autoria própria.

Como estratégia simples para diminuir a emissão desses gases a nível local, podemos citar a criação de políticas públicas de incentivo ao uso dos transportes públicos e a melhora dos mesmos, tendo em vista que os automóveis são grandes fontes de emissões de CO_2.

6. CONCLUSÕES

Ao avaliar as temperaturas simuladas pelos três modelos para saber se eles conseguem representar a realidade de maneira satisfatória, comparando as temperaturas observadas com as passadas simuladas, conclui-se que os todos eles apresentaram resultados satisfatórios simulando bem as temperaturas. Destacando o MPI/REMO2009 que foi o que mais se aproximou da realidade e o ICHEAC/RCA4 que foi o que menos se aproximou das condições mais próximas ao clima atual.

Sabe-se que nenhum modelo consegue representar perfeitamente as condições reais, sendo assim, esses modelos apresentaram incertezas, que foram minimizadas com a correção aplicada. Nas temperaturas corrigidas projetadas para o clima futuro, para o cenário RCP 4.5 não houve grandes variações com o passar dos anos. Porém para o cenário RCP 8.5, é possível observar o crescimento dessas temperaturas, isso porque as emissões dos gases do efeito estufa tendem a aumentar com os anos. Comparando ambos os cenários, o primeiro período de tempo não apresentou uma diferença entre os dois, porém no segundo e no terceiro período de tempo essa diferença pôde ser vista.

Em relação à demanda de água que a cultura da cana-de-açúcar necessita para irrigação, ao comparar os dois cenários propostos pelo IPCC, nota-se a diferença que o aumento da temperatura causa nessa demanda e que será sentida com maior intensidade em um futuro mais distante (representado no presente trabalho pelos anos de 2070 a 2100).

Ao comparar ambos os cenários, fica claro que se medidas de mitigação e redução das emissões dos gases do efeito estufa forem elaboradas e colocadas em prática, o setor agrícola mais precisamente a irrigação, não sentirá com muita intensidade os impactos do aumento da temperatura. Porém, se nada for feito e as emissões desses gases continuarem a crescer com o passar dos anos, será atingindo um cenário catastrófico onde esse setor sofrerá bastante, tendendo a intensificar os conflitos pelos usos de água, pois a pressão sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame aumentará, já que a mesma terá que demandar mais água para irrigação.

Ao finalizar o presente estudo, fica comprovado através dos cálculos da evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar para ambos os cenários, que a demanda de água para irrigação aumentará com o crescimento das temperaturas causado pelas mudanças climáticas. Sendo assim, a bacia hidrográfica do rio Gramame ficará sobrecarregada e os

municípios que possuem maior área plantada como é o caso de Santa Rita e Pedras de Fogo, serão os mais afetados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM (Brasil). **Kc Coeficiente de cultura: Evapotranspiração da cultura**. Disponível em: < http://www.abid.org.br/kc/cultura.html >. Acesso em: 20 set. 2017.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/litoral-sul/>. Acesso em 09 nov. 2017.

AGROSMART: Cultivo Inteligente. Disponível em: < https://www.agrosmart.com.br/blog/impacto-mudancas-climaticas-na-agricultura/ >. Acesso em 08 nov. 2017.

ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira de**. Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 24 p. (Embrapa. Circular técnica, 136).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimatingevaporation from soil and application extensions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.131, p.1-13, 2005. Dispinível em: <http://dx.doi.org/10.1061/ (ASCE)0733-9437(2005)131:1(2)>. Acesso em 20 set. 2017.

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: Avaliações e Diretrizes para adaptação**. Brasília, 2016.

ASSENG, S., HSIAO, T. C. **Canopy CO2 assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting**. Field Crops Research, v.67, p.191-206, 2000.

BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. P. (eds). **Climate Change and Water Technical Paper of the Intergovernmental Panel on climate Change.** IPCC Secretariat, Geneva, 2008, 210 p.

BERGAMASCHI, Homero et al. **Agrometeorologia aplicada á irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1999. 130 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV,1995. 657p.

BRAGA A.C.F.M; BRAGA C. F.C; GALVÃO, C.O. BRAMAR - Strategies and Technologies for Water Scarcity Mitigation in Northeast of Brazil: Water Reuse, Managed Aquifer Recharge and Integrated Water Resources Management. Relatório D102. Atividade 02– Definição de cenários de mudanças climáticas e avaliação de impactos baseados em modelagem matemática. WP1 - "Cenários Econômicos e de Mudanças Climáticas". 11p. 2015.

CÂMARA, Ana Carolina Farias Coêlho. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio**

Gramame (PB). 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment. Disponível em: < http://cordex.org/ >. Acesso em 10 set. 2017.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.

DRUYAN, L. M., FULAKEZA, M., LONERGAN, P. 2002. **Dynamic downscaling of seasonal climate predictions over Brazil.** J. Climate, v.15, no.23, p.3411-3426.

ESCARIÃO, R. D. **Influência do modelo na resposta hidrológica a cenários de mudanças climáticas.** Tese (Doutorado em Engenharia Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 212 p., 2009

FERNANDES, R. O. **Avaliação de simulações de precipitação e vazão por um modelo atmosféricos em bacias do semiárido brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 125 p., 2009.

FIGUEIREDO, Emanuella Almeida. **Avaliação da precipitação simulada pelo modelo global MPI-ESM-LR e pelo modelo regional MPI-ESM-LR-RCA4 na bacia hidrográfica do rio Paraíba.** 2017. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

FILGUEIRAS, H. J. A.; SILVA-NETO. Estimativa do consumo de água para irrigação na bacia hidrográfica do rio Gramame; in: **Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. Organizadores: Tarcisio Cabral Silva, Marie Bernard Passerat de Silans e Carmem Lúcia Moreira Gadelha. Ed. Universitária/UFPB. João Pessoa, 2002.

FONSECA, Francisco. **Efeito do turismo na demanda d'água da bacia do rio Gramame**: **Estudo de caso**, 2008. 143p; Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. **Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment**. Irrigation Science, v.25, p.127-140, 2007.

IBGE, Produção Agrícola Municipal 2014. Rio de Janeiro. IBGE, 2015. Disponível em: http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=250060&idtema=149&search=paraiba|alhandra|producao-agricola-municipal-lavoura-temporaria-2014 >. Acesso em: 01 set. 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2009. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 / Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF : INMET, 2009. 465 p.

IPCC (2014a) **Climate Change 2014: Synthesis Report – Summary for Policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2014b) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers.** Cambridge: Cambridge University Press.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, United States of America. p. 1585, 2013. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5ALLFINAL.pdf> Acesso em: 06 nov. 2017.

JURAS, I. A. G. M. **Mudanças do Clima: Principais conclusões do 5° Relatório do IPCC.** Brasília, 2013.

KJAERSGAARD, J. H., PLAUBORG, F., MOLLERUP, M.; PETERSEN, C. T., HANSEN, S. **Crop coefficients for winter wheat in a sub-humid climate regime.** Agricultural Water Management, v.95, p.918- 924, 2008.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. **Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resources usage in semi-arid Northeast Brazil**. Environmental Modelling & Software, v.22, p.259-268, 2007.

KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. **Integrated modeling of climate change, water, soil, agricultural and socialeconomic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil**. Journal of Hydrology, v.328, p.417-431, 2006.

MAIA, Celsemy Eleutério; MORAIS, Elís Regina Costa de. **Coeficiente de cultura do meloeiro irrigado com água salina estimado por modelo matemático**. Ciências Rurais, Santa Maria, v. 38, n. 5, p.1273-1278, 2008.

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.** Brasília: MMA, 2006.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. **Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: Erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo**. Acta Scientiarum, v.26, p.513-519, 2004.

MELO, Tirzah Moreira. **Avaliação estocástica dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura na região noroeste do Estado Rio Grande do Sul.** 2015. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

MIRANDA, F. R.; GONDIM, R. S.; COSTA, C. A. G. **Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.)**. Agricultural Water Management, v.82, p.237– 246, 2006.

NOBRE, P., MOURA, A. D., SUN, L. 2001. **Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI.** Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 82, n. 12, p. 2787-2796.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas). Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PITA, Rodolfo Fernandes Queiroga. **Influências das mudanças climáticas no cálculo da evapotranspiração no semi-árido da Paraíba.** 2011. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PERH-PB (2006) – Plano Estadual de Recursos Hídricos: resumo executivo e atlas. Governo do Estado da Paraíba/ SECTMA/ AESA. Consórcio TC/BR – Concremat. Brasília-DF. 112P.

PORTO, R. L., FILHO, K. Z., SILVA, R. M., DOURADO, S. S. **Apostila de Hidrologia Aplicada.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD – 307 Hidrologia Aplicada, 2000.

SATURINO, Helvecil Mattana. (Brasil). **Kc Coeficiente de cultura**. Disponível em: <http:// www.abid.org.br/kc/index.html >. Acesso em: 20 set. 2017.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W. M.; FISHER, A. C. **Water availability, degree days and the potential impact of climate change on irrigated agriculture in California**. Climatic Change, v.81, p.19-38, 2007.

SAE - SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATEGICOS. **Brasil 2040: Resumo Executivo**. Brasília, 2015.

SEMARH. Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Paraíba: SEMARH, 2000. Convênio SEMARH/SCIENTEC.

SENTELHAS, P. C., ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia Agrícola – Evapotranspiração – Definições e conceitos**. ESALQ/USP São Paulo, 2009.

SHEN, Y.; ZHANG, Y.; KONDOH, A.; TANG, C.; CHEN, J.; XIAS, J.; SAKLLRA, Y.; LIU, C.; SUN, H. **Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. Hydrological Processes**, v.18, p.2223-2234, 2004.

SILVA, Kayoma Karpinski. **Impactos das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação na bacia hidrográfica do rio Ijuí, RS.** 2016. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SILVA, T.C.; SILANS, A. P.; FILHO, L.A.P.; PAIVA, A. E. D; BILLIB,M.; BOOCHS, P. **Planejamento de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, uma Bacia Litorânea do Nordeste Brasileiro**. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, p.121-134, 2002.

SILVA, Samara Fernanda da. **Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento de água de Salvador frente a cenário de mudanças climáticas.**2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SOARES, Rogério Augusto Bremm. **Irrigação em cana-de-açúcar.** Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/316257447/Irrigacao-Em-Cana>. Acesso em: 10 out. 2017.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. **Maize canopies under two soil water regimes. I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux, and canopy conductance.** Agricultural and Forest Meteorology, v.89, p.169–184, 1998.

SUN, L., MONCUNILL, D. F., LI, H., MOURA, A. D., SOUZA FILHO, F. A. 2005. **Climate downscaling over Nordeste, Brazil, using the NCEP RSM97**. Journal of Climate. Vol 18, p. 551-567.

TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. **Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. Irriga, v.18, p.387-401, 2013. Disponível em:<http:// dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p387>. Acesso em: 20 set 2017.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. **Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil.** Agricultural Water Management, v.94, p.31-42, 2007.

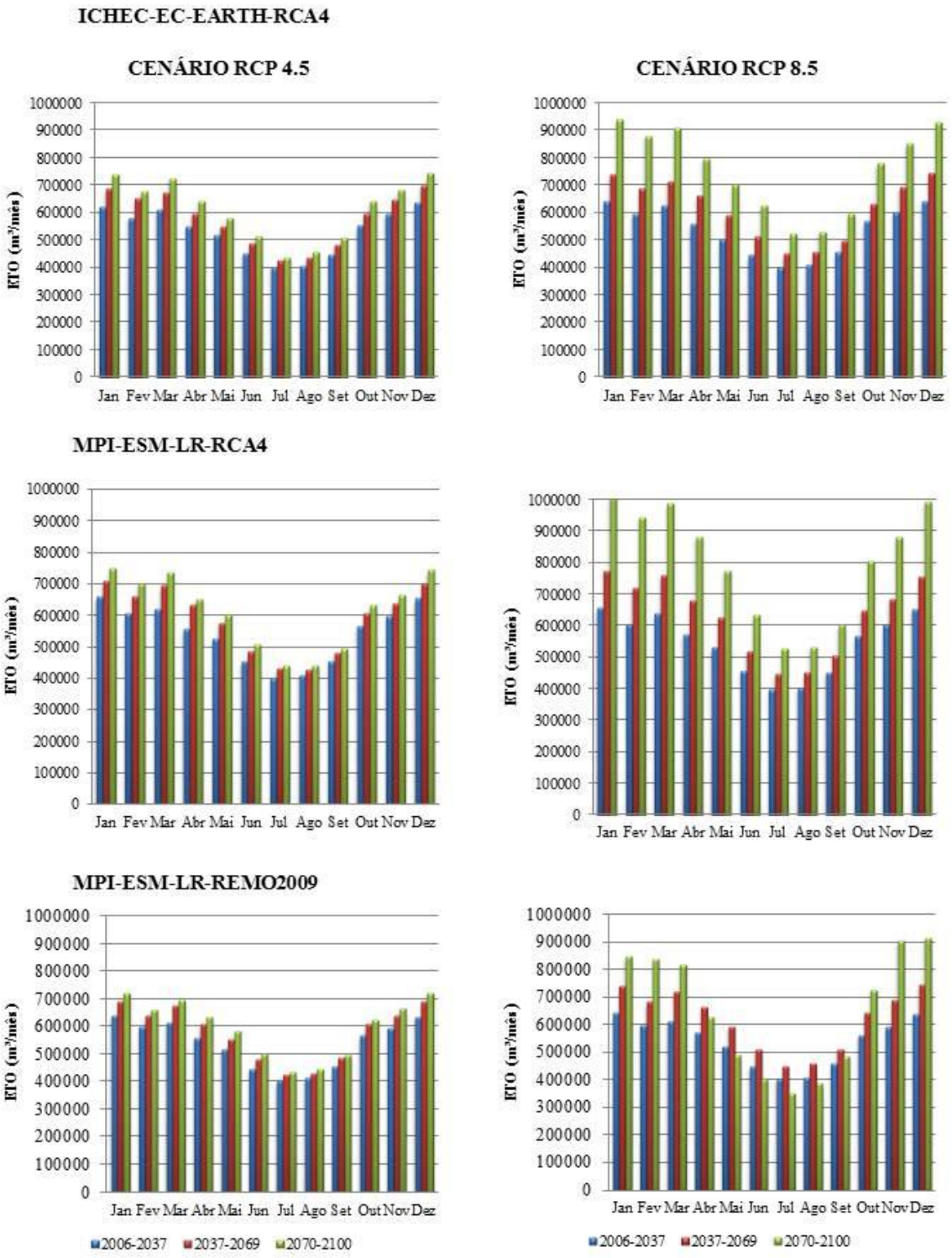
TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. ; MOURA, M. S. B. SOARES, J. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. **Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil.** Agricultural and Forest Meteorology, v.148, p.1524-1537, 2008.

TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. **The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment.** Agricultural and Forest Meteorology, v.103, p.335–348, 2000.

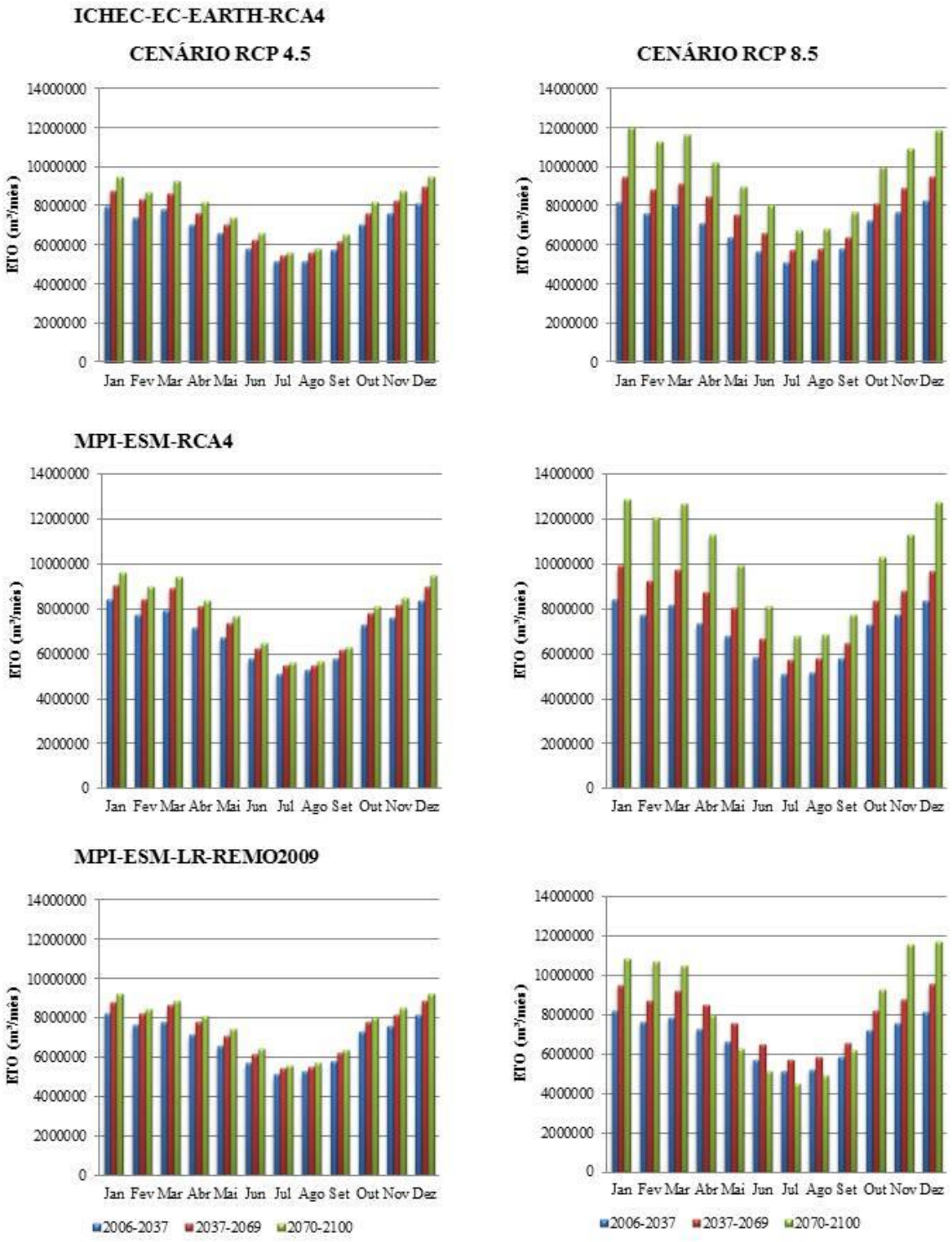
VILA NOVA, N. A. et al. **Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas**. 2. ed. Vitória - Es: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001.

APÊNDICES

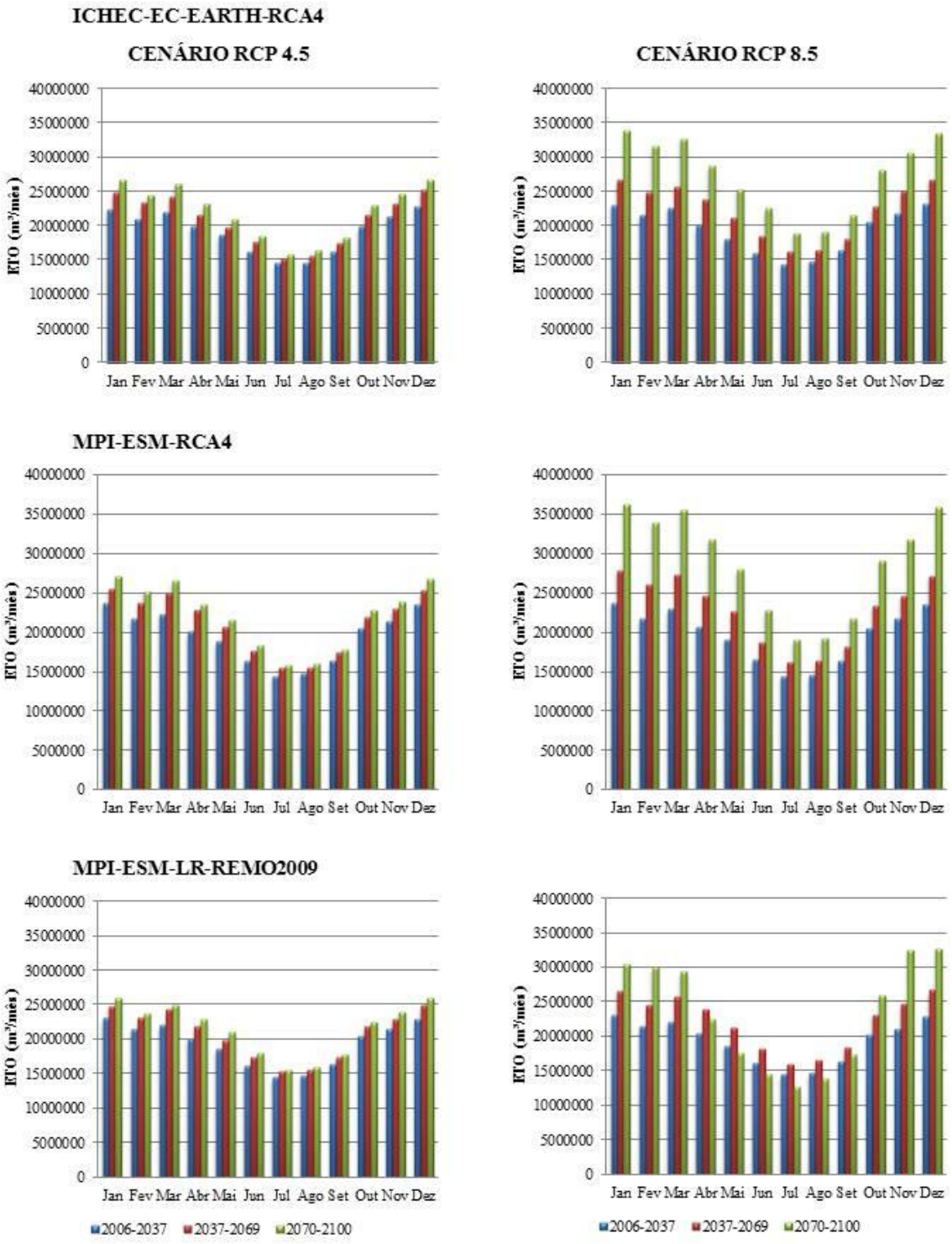
APÊNDICE A - Média mensal da evapotranspiração da cultura no município do Conde.



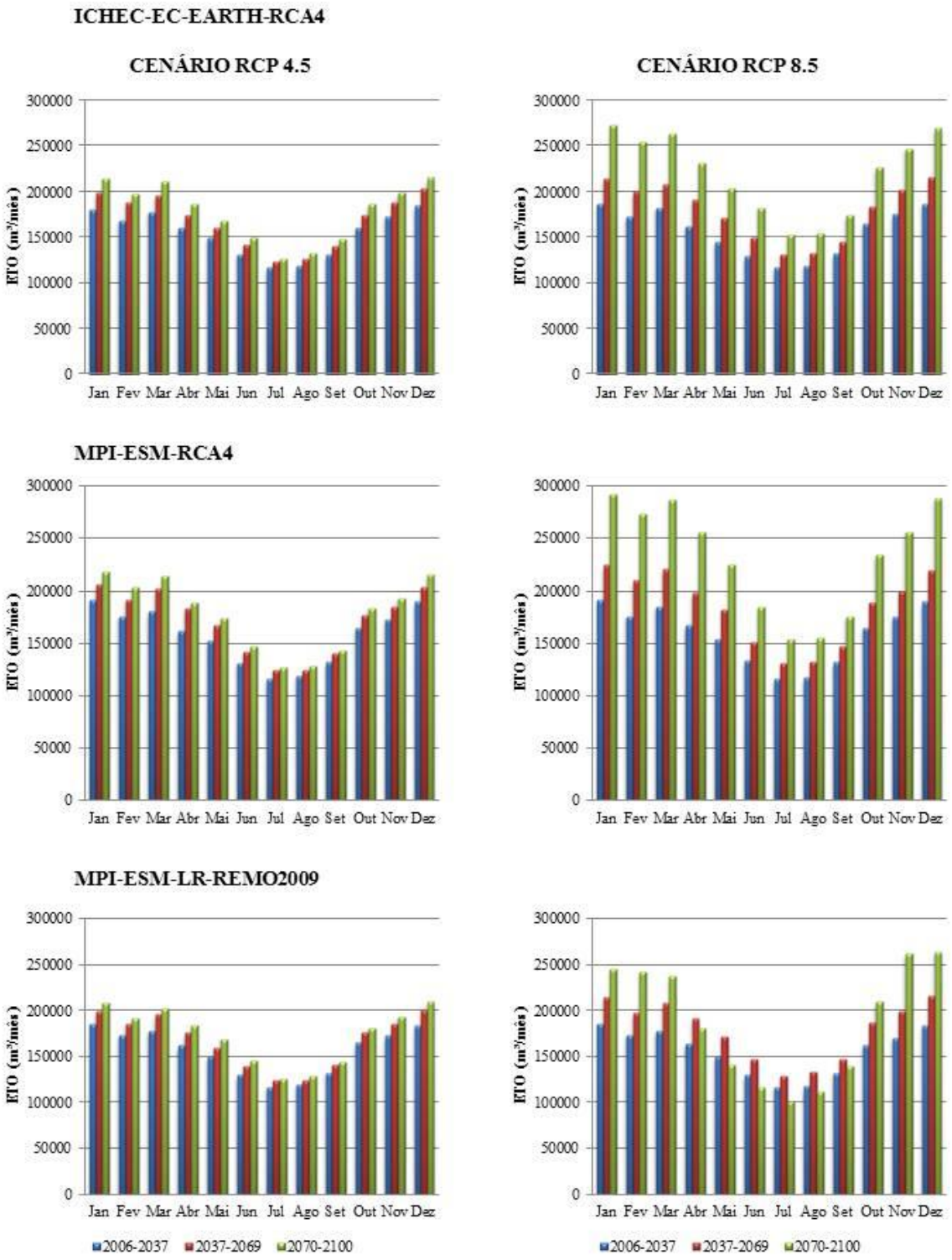
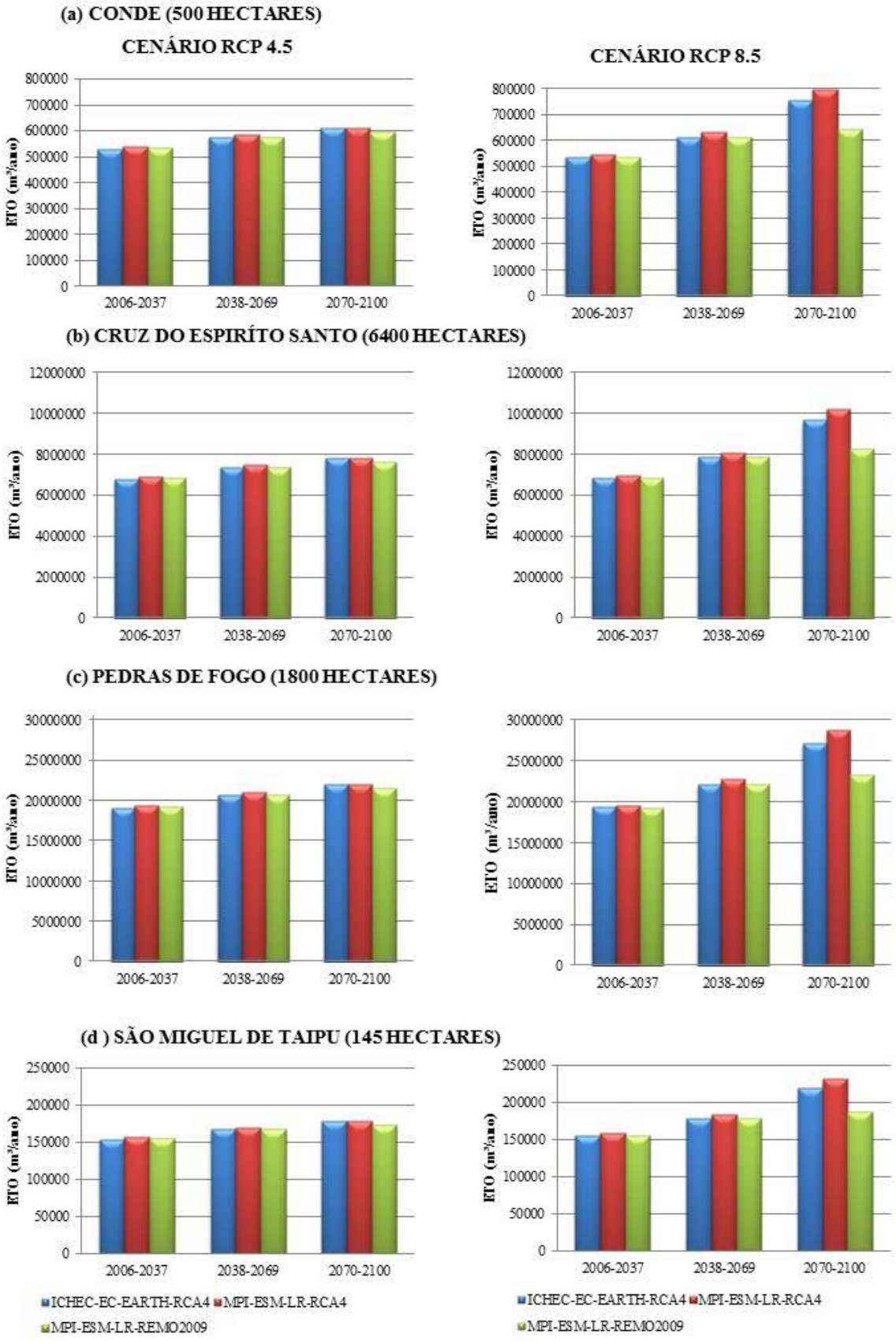
APÊNDICE B - Média mensal da evapotranspiração da cultura no município de Cruz do Espírito Santo.



APÊNDICE C - Média mensal da evapotranspiração da cultura no município de Pedras de Fogo.



APÊNDICE D - Média mensal da evapotranspiração da cultura no município de São Miguel do Taipu.



APÊNDICE E - Média anual da evapotranspiração da cultura.