

Projeções de demanda hídrica para irrigação do meloeiro no Nordeste brasileiro sob cenários de mudanças climáticas

Rubens Sonsol Gondim

Aline de Holanda Nunes Maia

Sílvia Roberto Medeiros Evangelista

Alfredo José Barreto Luiz

Luís Henrique Bassoi

Fábio Rodrigues de Miranda

Karísia Mara Lima de Oliveira

1. Introdução

Há elevada confiança que o contraste de precipitação média entre regiões secas e úmidas e entre estações secas e úmidas irá aumentar sobre a maior parte do globo terrestre, à medida que a temperatura se eleva. Muitas regiões semiáridas provavelmente, irão experimentar menos precipitação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

A demanda de água para agricultura, particularmente para irrigação, é considerada mais sensível às mudanças climáticas que a demanda industrial e para consumo urbano. Há dois efeitos potenciais em áreas irrigadas: a demanda total de água durante o ciclo da cultura e a época de irrigação. Períodos prolongados sem chuva podem levar ao aumento de demanda, mas esta última, também, pode ser reduzida se houver um aumento da precipitação e consequentemente da umidade do solo (IPCC, 2001).

Apesar da importância do assunto ser um consenso, os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação têm sido pouco estudados no Brasil, principalmente porque os Modelos de Circulação Global, os quais são largamente utilizados para simular cenários climáticos futuros, são geralmente inadequados para gerar projeções de mudanças climáticas em escalas locais. Binder (2006) recomenda maior detalhamento das projeções de mudanças climáticas para a escala de bacia

hidrográfica, que uma vez integradas a modelos hidrológicos, possibilitam o estudo de impactos das mudanças climáticas em recursos hídricos.

O aumento das médias das temperaturas globais do período de 2003-2012 em relação ao período de 1850-1900 foi de 0,78 °C (0,72 °C a 0,86 °C) (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

A agricultura irrigada influencia diretamente a disponibilidade da água numa bacia hidrográfica, especialmente numa região onde essa atividade é intensiva. O conhecimento local sobre o impacto de mudanças climáticas na demanda de água para irrigação fornece diretrizes para o desenvolvimento de políticas que visem a redução de impactos e as vulnerabilidades.

Segundo o IBGE (2013), em 2012 a região Nordeste foi responsável por mais de 87% da área colhida de melão no Brasil, que naquele ano atingiu o total nacional de 22.789 ha. Nessa área foram colhidas quase 550 mil toneladas do produto, gerando mais de 440 milhões de reais de renda aos produtores.

As condições climáticas em parte da região nordeste do Brasil, em determinadas épocas do ano, são caracterizadas por altos níveis de temperatura e radiação solar, o que têm propiciado alta produtividade e a obtenção de frutos de qualidade superior, elevando o *status* da cultura de melão ao nível de produto de exportação. Um dos pontos fundamentais para a sustentabilidade da produção do meloeiro é a exigência de suplementação hídrica. Considerando os riscos de mudanças significativas nos regimes de precipitação pluviométrica preconizados pelas projeções dos modelos climáticos globais ou regionais, o planejamento de medidas preventivas ou mitigadoras é essencial para propiciar segurança hídrica para as regiões produtoras.

O objetivo desta publicação é sintetizar um conjunto de resultados de estudos de impactos de mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação, em regiões produtoras de melão no Nordeste brasileiro, desenvolvidos no âmbito do Projeto CliMelão, liderado pela Embrapa Agroindústria Tropical.

2. Mudanças climáticas: aspectos conceituais

Mudanças climáticas referem-se a um conjunto de alterações no estado do clima, tanto em relação às médias quanto à variabilidade das suas propriedades, e que persistem por períodos extensos, superiores a décadas. Podem ocorrer devido a processos internos ou forçantes externas. Algumas influências externas, tais como radiação solar e vulcanismo, ocorrem naturalmente e contribuem para a variabilidade total do sistema climático. Outras mudanças externas, como composição da atmosfera, que se intensificaram com a revolução industrial, são resultantes das

atividades humanas (antropogênicas). Hegerl et al. (2007) chamam atenção para o fato de que alterações que resultam de forçantes externas antropogênicas se diferenciam das naturais e, como tais, podem ser distinguidas das mudanças e variabilidades naturais que resultam de processos internos do sistema climático. Há portanto, distinção entre forçante de mudança do clima, tais como: natural (radiação solar e vulcanismo) de antropogênica (emissão de gases de efeito estufa, mudança de uso e ocupação do solo), todos externos ao próprio sistema climático

A variabilidade interna das variáveis meteorológicas está presente em todas as escalas de tempo. Processos atmosféricos que geram variabilidade interna são conhecidos por operarem em pequenas escalas de tempo, variando do instantâneo até alguns anos. Componentes como os oceanos e grandes lençóis de gelo tendem a operar em escalas temporais mais longas. Estes componentes produzem variabilidade interna. Adicionalmente a variabilidade interna é também produzida pela combinação de componentes, como por exemplo, o fenômeno *el niño / southern oscillation* (ENSO) (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

Há um razoável consenso entre os cientistas que o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera aumenta a temperatura global (CARTER et al., 2007). Emissões futuras desses gases são produtos de um sistema dinâmico (processo ou conjunto de processos, cuja evolução no tempo é governada por um conjunto determinístico de leis físicas) muito complexo, determinado por forçantes, quais sejam: crescimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas. Cenários climáticos são representações do futuro que são consistentes com hipóteses sobre emissões futuras de gases de efeito estufa e outros poluentes, considerando-se as forçantes que os influenciam (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2000).

A distinção entre os efeitos de influências externas e a variabilidade climática interna requer uma comparação cuidadosa entre as mudanças observadas, resultantes de uma forçante externa (mudanças climáticas forçadas) e aquelas que são esperadas em decorrência da variabilidade interna. Estas expectativas são baseadas na compreensão física do sistema climático. Este entendimento pode ser representado por modelos conceituais ou quantificado via modelos climáticos. Um arranjo de modelos climáticos é utilizado para quantificar expectativas neste sentido, variando de simples modelos de balanço de energia para modelos de complexidade intermediária, até modelos acoplados, tais como combinações de modelos oceânicos e atmosféricos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

3. Modelos de circulação global e regional

Os Modelos de Circulação Global (GCMs) são geralmente utilizados para simular o clima presente e projetar o clima futuro com forçantes de gases de efeito estufa e aerossóis. Para modelagem dos processos, a atmosfera e o oceano são subdivididos em grades de resolução horizontal de 2° a 4° de latitude e longitude com 10 a 20 camadas na vertical. Em geral, a maioria dos GCMs simulam processos na escala global ou continental e provêem uma representação de precisão razoável da média climática planetária (DIBIKE; COULIBALY, 2004a, 2004b, 2005). Por outro lado, os GCMs são incapazes de representar características locais numa resolução adequada para estudos regionalizados de impacto.

Modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e espera-se que sejam capazes de reproduzir características de clima recente e mudança climática passada. Há considerável confiança que Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosféricos provêem estimativas quantitativas aceitáveis das mudanças climáticas futuras, particularmente em escala continentais.

Modelos numéricos representando processos físicos na atmosfera, oceano, criosfera e superfície da terra (Modelos de Circulação Global) são as mais avançadas ferramentas disponíveis para simular a resposta do sistema climático global ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Enquanto modelos mais simples também têm sido utilizados para prover estimativas globais e regionais da resposta do clima, apenas os GCMs, geralmente em conjunto com modelos regionais aninhados (acoplados) ou outros métodos de redução de escala, possuem potencial para fornecer estimativas físicas e geograficamente consistentes de mudanças climáticas regionais (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1994, citado por CARTER et al., 2007).

Os GCMs representam o clima utilizando uma malha de quadrículas tridimensionais sobre o globo com uma resolução horizontal entre 250 km e 600 km, 10 a 20 camadas verticais na atmosfera e algumas vezes 30 camadas nos oceanos. Sua resolução é um tanto grosseira, em relação à escala da maioria dos trabalhos de avaliação de impactos (CARTER et al., 2007).

Além do mais, muitos processos físicos, tais como aqueles relacionados a nuvens, também ocorrem em escalas menores e não podem ser adequadamente modelados pelos GCMs. Por outro lado, suas propriedades conhecidas devem ser estimadas sobre a escala maior, através de técnicas conhecidas como parametrização. Esta é uma fonte de incerteza em simulações do clima futuro baseadas em GCMs. Desta forma, diferentes GCMs podem projetar respostas bem diferentes para uma

mesma forçante, simplesmente por causa da forma de como certos processos e respectivas respostas são modeladas (CARTER et al., 2007).

Com a evolução dos modelos climáticos e aumento da potência computacional, vem ocorrendo um gradativo aumento da resolução espacial das projeções dos modelos. Alguns GCMs antigos operavam numa resolução horizontal de cerca de 1.000 km com 2 a 10 níveis na vertical. Modelos mais recentes são processados com aproximadamente 250 km de resolução espacial, com 20 níveis verticais (> 20 em alguns modelos oceânicos). Entretanto, embora modelos de maior resolução contenham mais detalhes espaciais (como topografia, melhor definição de bordas terra/mar, etc.), isto não necessariamente garante um desempenho superior do modelo (CARTER et al., 2007).

Em simulações de mudanças climáticas, modelos são utilizados para gerar projeções de possíveis alterações em escala de tempo de muitas décadas. O grau de confiança num modelo pode ser quantificado através da comparação de simulações para períodos passados com dados observados. Não há como fazer testes diretamente para avaliar a qualidade das projeções, uma vez que não há períodos de observação suficientes de mudanças forçadas exatamente como aquelas esperadas para o Século 21. Em geral, o grau de confiança nas projeções de GCMs é maior para algumas variáveis climáticas, como temperatura, que para outras, como precipitação (RANDALL et al., 2007).

Há razoável confiança a respeito do aumento da precipitação média sobre áreas de média latitude do hemisfério Norte, a partir de 1901 e alta confiança após 1951. Para outras latitudes, há pouca confiança sobre aumentos ou reduções de longo prazo. Por outro lado, a variabilidade na precipitação relacionada ao fenômeno *El Niño* / Oscilação Sul (ENOS) provavelmente será intensificada (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

O método usado para converter saídas dos Modelos de Circulação Global em variáveis meteorológicas locais requeridas para modelagem hidrológica viável é geralmente referido como técnicas de redução de escala (*downscaling*) (DIBIKE; COULIBALY, 2004a, 2004b, 2005).

Redução de escala dinâmica envolve o aninhamento de um Modelo de Circulação Regional (RCM) a uma resolução mais grosseira de um Modelo de Circulação Global (GCM). O RCM utiliza o GCM para definir as condições de contorno atmosféricas variáveis com o tempo, em torno de um domínio finito, no qual a dinâmica física da atmosfera é modelada, utilizando-se uma malha horizontal espaçada de 20 – 50 km.

4. Climatologia de base do modelo

A climatologia de base ou de referência pode ser definida como aquela em relação à qual uma mudança é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância em estudos de impactos de mudanças climáticas. A escolha da climatologia de base e dos cenários pode influenciar fortemente os resultados. Um dos critérios de avaliação da qualidade de um GCM ou RCM é seu desempenho em simular o clima presente de uma região. Isto pode ser realizado comparando-se a climatologia de base do modelo com dados correspondentes observados na região, determinando-se assim, a habilidade do modelo climático em simular padrões de circulação (CARTER et al., 2007).

Questões a serem consideradas na seleção da climatologia de base incluem tipos de dados requeridos, duração do período de referência, fontes de dados e como podem ser aplicados na avaliação de impactos.

Conforme recomendações do Intergovernmental Panel on Climate Change (1994) citadas por Carter et al. (2007), a climatologia de base do modelo deve ser selecionada, de acordo com os critérios abaixo:

- ser representativa do clima atual ou englobar médias recentes da região de estudo;
- ter uma duração que abranja as variações climáticas, incluindo um número significativo de anomalias climáticas (como secas severas ou estações amenas);
- incluir um período para o qual dados da maioria das variáveis climáticas sejam abundantes, adequadamente distribuídos sobre o espaço e prontamente disponíveis;
- incluir dados de alta qualidade para uso em avaliações de impactos;
- ser consistente e prontamente comparável com climatologias de base utilizadas em outros estudos de impactos.

Normais climatológicas de um período de 30 anos, conforme definidas pela Organização Mundial de Meteorologia, podem ser utilizadas como referência ou padrão. O período geralmente utilizado em estudos de impacto é a tridécada 1961-1990. Há um número de fontes alternativas de dados de climatologia de base que podem ser aplicadas em estudos de impactos: séries históricas de agências ou arquivos de meteorologia, conjunto de dados globais, saídas de modelos climáticos e geradores climáticos para períodos passados (*hindcasts*). Um dos conjuntos de dados globais disponíveis de domínio público, útil para avaliação de GCMs ou RCMs, na ausência de densas redes de dados observados na região de estudo é a base de dados do *Climate Research Unit* - CRU (MITCHELL; JONES, 2005).

Há dois tipos de informações oriundas de GCMs que podem ser úteis na descrição da climatologia de base: reanálise dos dados ou saídas das simulações dos modelos de circulação global ou regional para períodos passados. A reanálise de dados é um processo em que dados de resolução fina são gerados pela combinação de dados observados com simulados oriundos de modelos numéricos. Este processo é conhecido como assimilação. Projeções retrospectivas (*hindcasts*) dos GCMs ou RCMs são outra fonte de informação do clima presente. Tais simulações tratam da representação da dinâmica do sistema climático global não forçado por mudanças antropogênicas na composição da atmosfera. Para algumas regiões e em algumas escalas temporais, estes modelos estimam a variabilidade natural de forma bastante semelhante à observada (TETT et al., 1997 citado por CARTER et al., 2007).

Uma das formas de avaliar a destreza de um GCMs ser usado na construção de cenários regionalizados de mudanças climáticas, em simular o clima presente na região, é a comparação de suas projeções retrospectivas com dados observados (CARTER et al., 2007).

5. Incertezas das mudanças climáticas

A comparação entre mudanças observadas e aquelas que são naturalmente esperadas é realizada de várias maneiras. Detecção formal e atribuição recorrem a métodos estatísticos para pesquisar se dados climáticos observados contêm evidência de respostas esperadas a forçantes externas, as quais são diferentes da variação gerada dentro do sistema climático (variabilidade natural interna). Estes métodos não se limitam a simples análises lineares ou de tendências. Abrangem a identificação de respostas observadas a uma ou várias forçantes, através da reprodução do padrão temporal e espacial das respostas esperadas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Detecção é o processo de demonstração que o clima mudou em algumas de suas propriedades, utilizando-se dados empíricos, sem a justificativa para a mudança, considerando-se que a variabilidade interna sozinha é considerada pequena. Atribuição das causas das mudanças climáticas é o processo de estabelecimento das causas mais prováveis para a mudança detectada com determinado nível de confiança. Uma atribuição inequívoca requereria experimentação controlada do sistema climático. Como isto não é possível, a atribuição de mudanças climáticas a causas antropogênicas é compreendida como a demonstração que uma mudança detectada é consistente com respostas estimadas para uma dada combinação de forçantes naturais e antropogênicas e não consistente com explicações físicas plausíveis (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

A influência humana foi detectada no aquecimento da atmosfera e oceanos, em mudanças no ciclo global da água, em reduções de neve e gelo, na elevação da média do nível dos mares e em mudanças em alguns extremos climáticos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

Jones et al. (2004) alertam para as incertezas nos principais passos da avaliação de impactos de mudanças climáticas, através da aplicação de diferentes cenários. Tais incertezas devem ser consideradas nas opções de avaliação de impactos e vulnerabilidade, bem como de adaptação às mudanças climáticas. Embora ainda não possam ser quantificadas, podem ser apontadas as seguintes fontes de incertezas:

- incertezas sobre emissões futuras de GEE: há incertezas nas hipóteses-chave sobre a relação entre população futura, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas que fazem a base dos cenários do IPCC. Este tipo de incerteza pode ser aceita fazendo-se projeções climáticas para uma gama de cenários de emissões que cubram maior parte da amplitude da incerteza. Carter et al. (2007) recomendam o uso e elaboração de múltiplos cenários. As emissões são atualmente consideradas como uma das duas maiores fontes de incertezas das projeções climáticas futuras;
- incertezas nas concentrações futuras de GEE: o entendimento imperfeito de alguns processos físicos no ciclo do carbono e reações químicas na atmosfera gera incertezas na conversão das emissões para concentrações de gases. Uma incerteza potencialmente maior é a questão do clima, ciclo de carbono e química atmosférica. A fim de se refletir esta incerteza nos cenários climáticos, o uso de Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosférico que explicitamente simulem o ciclo do carbono e química de todas as substâncias presentes torna-se necessário;
- incertezas na resposta climática às concentrações dos GEE: existem lacunas de conhecimento sobre diversos processos do sistema climático e incertezas surgem por causa de descrição incorreta ou incompleta de processos-chave e suas respectivas implicações nos prognósticos dos modelos. Tal realidade é ilustrada pelo fato de que atualmente GCMs que contêm representações diferentes do sistema climático, projetam diferentes padrões e magnitudes de mudanças climáticas para o mesmo período futuro, para um mesmo cenário de concentrações de gases de efeito estufa. Esta é considerada uma das maiores fontes de incertezas, juntamente com as emissões futuras, discutidas acima;
- incertezas devido à variabilidade natural do clima: o clima varia nas escalas temporais de anos e décadas, devido a interações naturais entre atmosfera, oceano e terra. Espera-se que tal variabilidade natural persista no futuro. Tal incerteza ainda

não deve ser removida, mas pode ser quantificada, através do processamento de conjuntos de projeções futuras do clima. Cada membro do conjunto usa o mesmo modelo e o mesmo cenário de emissão ou concentração, mas cada um é inicializado de um ponto de partida diferente no clima de controle. O processamento do modelo para períodos de 10 a 30 anos fornecerá uma amplitude de possibilidades futuras;

- incertezas relativas aos métodos de redução de escala: todas as técnicas de regionalização das projeções de GCMs carregam consigo erros associados aos campos de forçantes. Técnicas diferentes de redução de escala (*downscaling*) podem fornecer projeções distintas, até quando baseadas na mesma projeção do GCM.

6. Correção de viés

Os modelos climáticos globais (GCMs) e regionalizados (RCMs), apesar dos contínuos aperfeiçoamentos das últimas décadas, ainda apresentam discrepâncias na representação do clima presente (EHRET et al., 2012), especialmente para a variável precipitação pluviométrica, uma das mais importantes em estudos de impactos de mudanças climáticas. Divergências sistemáticas entre projeções retrospectivas dos modelos (*hindcasts*) e séries de dados observados de variáveis prognósticas (ex. chuva, temperatura) são denominadas vieses (*bias*). Os vieses podem ser mensurados de diferentes formas, desde uma simples diferença entre médias anuais até métricas mais complexas como distâncias entre distribuições de probabilidade simuladas e observadas de variáveis prognósticas.

Assim, a correção de viés é uma importante etapa do pré-processamento de dados para uso em estudos de impacto. No entanto, existem ainda importantes problemas metodológicos a serem elucidados: na maioria dos métodos atualmente propostos para correção de viés, o processo de correção é feito isoladamente para cada variável (métodos univariados), sem considerar a correlação entre elas. Dessa forma, há um questionamento sobre os métodos univariados em função de prováveis distorções das malhas de correlação entre as variáveis climáticas de interesse, geradas pelo processo de correção de viés.

Para os métodos univariados, Maia e Hamada (2013) propuseram o uso de métodos geostatísticos (*Model Based Geostatistics*, MBG) - Diggle et al., (2003) para modelagem espacial de vieses. A abordagem MBG permite, via métodos de máxima verossimilhança, o teste de hipóteses estatísticas relacionadas aos padrões de viés, como por exemplo, a presença de tendências espaciais. As superfícies suavizadas de viés derivadas dos valores preditos dos modelos geostatísticos são então usadas para

correção de viés das projeções futuras dos GCM ou RCM. Métodos mais refinados de correção foram propostos por Piani e Haerter (2012), buscando manter a interrelação entre chuva e temperatura, utilizando métodos de cópula bivariada.

A quantificação de viés de modelos globais ou regionalizados para uma região de interesse é feita comparando-se suas projeções retrospectivas com dados observados. Na ausência de uma malha densa de estações locais, são utilizados dados de bases globais de observações climáticas construídas pela interpolação de estações meteorológicas ao redor do mundo, como a base de dados mensais da *Climate Research Unit* (CRU) da Universidade de East Anglia, Inglaterra (MITCHELL; JONES, 2005).

Num estudo realizado para a principal região de cultivo irrigado do melão no Nordeste (NE) brasileiro, Luiz et al. (2013) avaliaram a concordância entre dados de mensais de precipitação da base CRU e de séries de dados disponíveis, coletados em estações da FUNCME e do INMET, na região entre 4,5° e 6,5° de latitude Sul e entre 36,5° e 39,5° de longitude Oeste.

Foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica, latitude, longitude e altitude de 20 estações meteorológicas nacionais (INMET) ou estaduais (FUNCME), que estão localizadas próximas e ao redor da área delimitada pelos pontos CRU considerados no estudo (Figura 1). Das séries disponíveis foram selecionadas apenas as informações referentes aos anos de 1961 a 1990, para coincidir com o período usado como referência (*baseline*) do RCM utilizados no estudo de impacto de mudanças climáticas sobre a demanda hídrica do meloeiro Gondim et al., (2013).

Os resultados da comparação entre as precipitações mensais médias estimadas nos pontos CRU e observadas nas estações mais próximas, indicaram uma superestimação dos dados CRU nos meses de seca. Um exemplo da análise gráfica para a estação de Mossoró é apresentado na Figura 2. Observou-se uma alta consistência entre os dados CRU e os dados correspondentes das estações locais, o que aponta para a utilidade das séries CRU em estudos de padrões espaciais de viés.

Em estudo sobre impactos de mudanças climáticas sobre a demanda hídrica do meloeiro desenvolvido por Gondim et al. (2013) para a região produtora no vale do São Francisco, as variáveis meteorológicas de interesse são médias mensais de trinta anos para chuva, temperatura mínima ($T_{\min}$) e temperatura máxima ($T_{\max}$). Para correção de viés, foi utilizado o método mais simples que calcula, em cada elemento da área de interesse, a diferença entre a média das projeções retrospectivas e a média dos correspondentes dados observados. Os mapas de viés para chuva, $T_{\max}$ e $T_{\min}$, nos meses de dezembro, como exemplo, são apresentados nas Figuras 3 a 5, respectivamente.

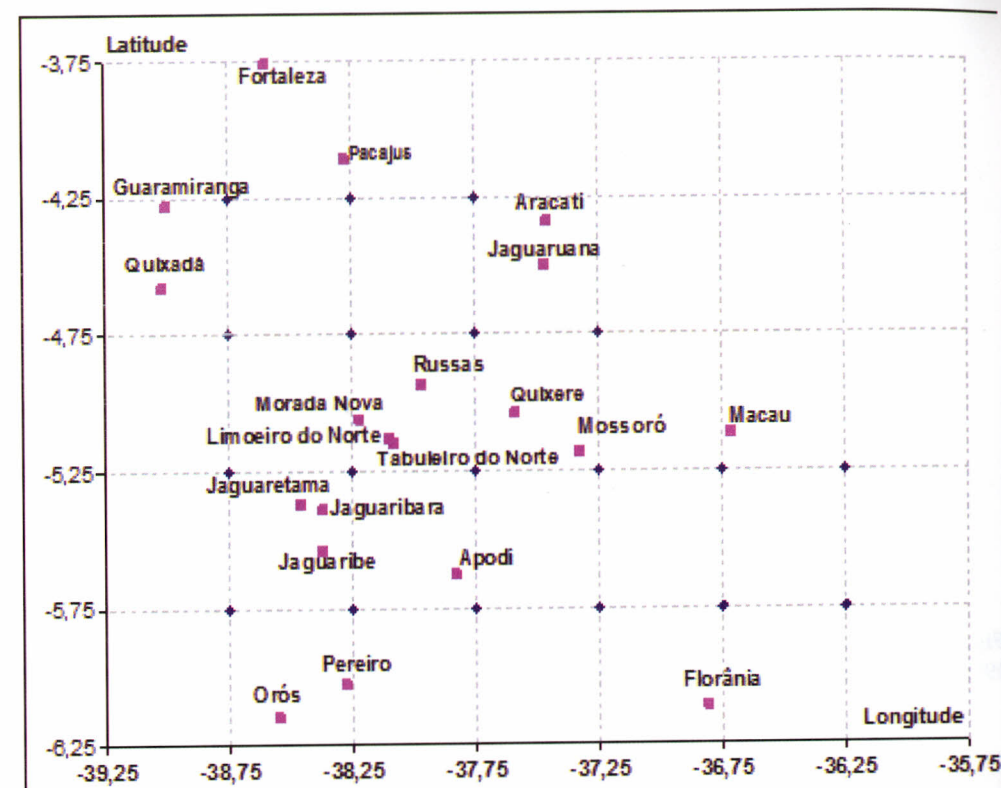


Figura 1. Localização das estações meteorológicas (rosa) e dos pontos de CRU (azul).

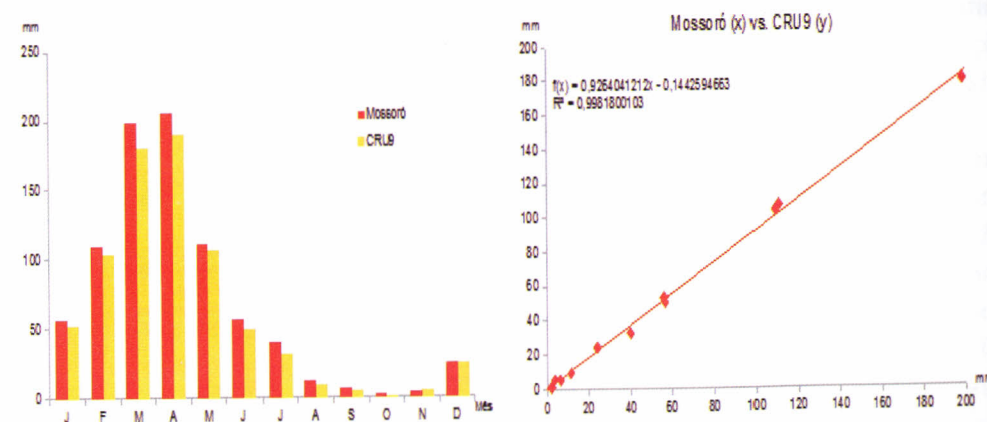


Figura 2. Representações da relação entre a precipitação mensal média (mm) observada na estação de Mossoró-CE, e estimada para o ponto CRU mais próximo.

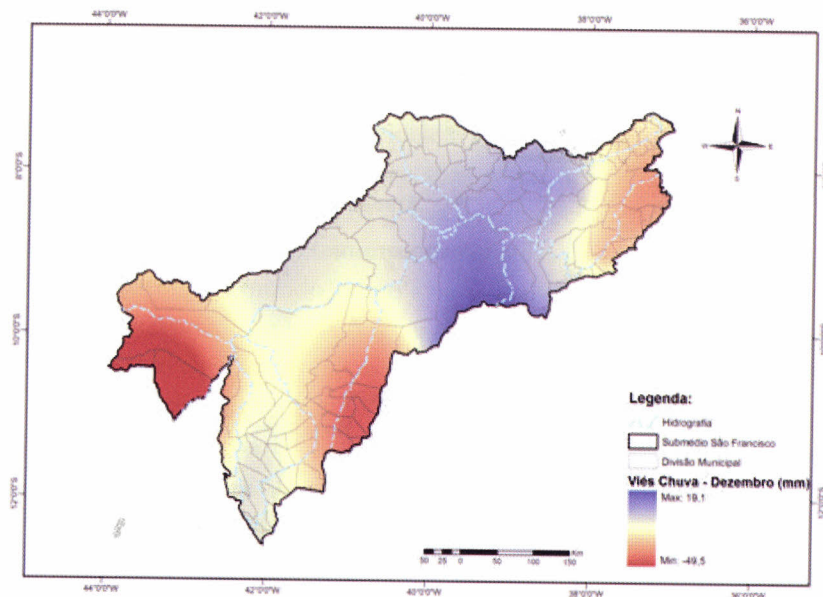


Figura 3. Distribuição espacial do viés da média mensal de chuva para o mês de dezembro (1961-1990) na região produtora de melão no submédio São Francisco

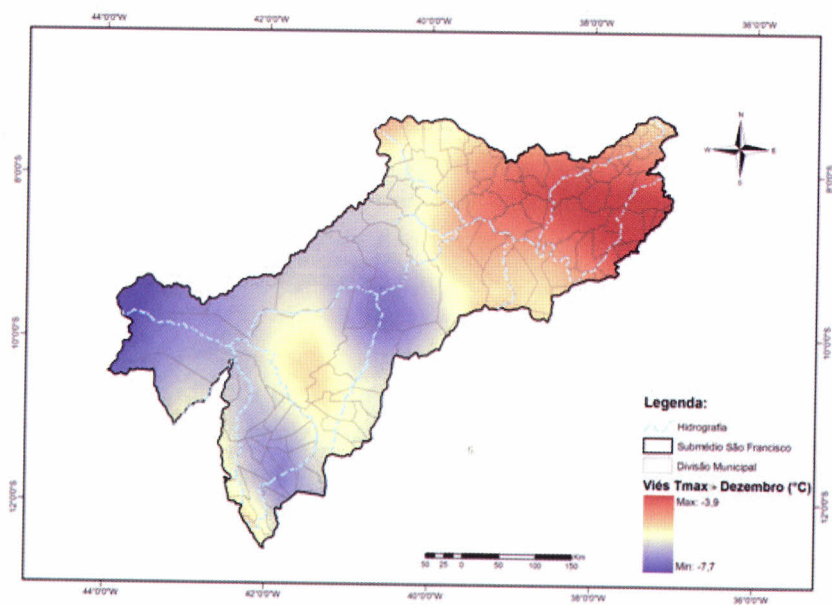


Figura 4. Distribuição espacial do viés das médias das temperaturas máximas (°C) no mês de dezembro (1961-1990), na região produtora de melão no submédio São Francisco.

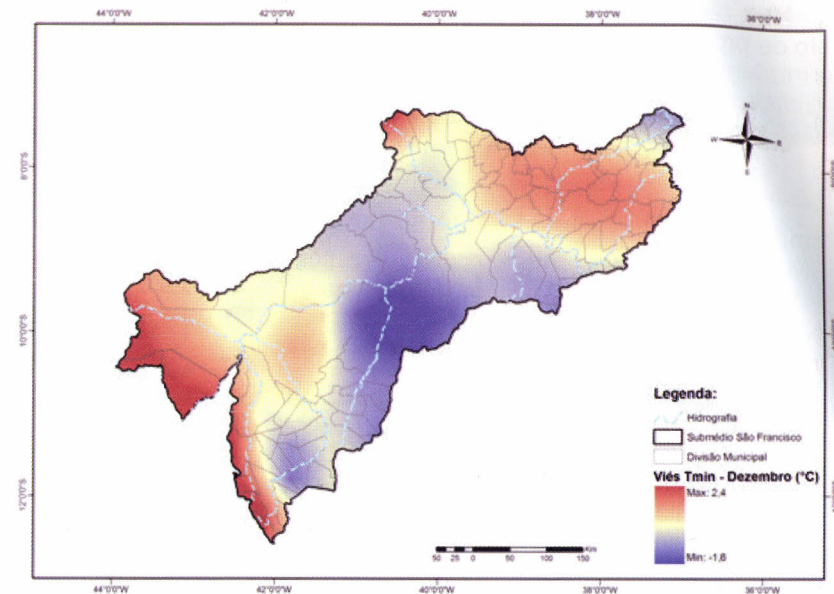


Figura 5. Distribuição espacial do viés das médias das temperaturas mínimas (°C) no mês de dezembro (1961-1990), na região produtora de melão no submédio São Francisco

7. Integração de modelos visando à análise de impactos das mudanças climáticas na demanda de água de irrigação

Para a quantificação dos impactos de mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação foi utilizada uma abordagem que integra um modelo climático regional, um modelo de demanda hídrica, utilizando Sistema de Informação Geográfica. A integração proposta possui o seguinte formato com fluxos de entradas e saídas:

A krigagem é uma técnica de interpolação utilizada na Geoestatística para estimar valores de variáveis para locais não mensurados, por meio de observações adjacentes espacialmente correlacionadas. Na krigagem ordinária, os valores desconhecidos das variáveis de interesse são estimados por uma média ponderada de valores vizinhos. Os pesos são escolhidos de modo que esse estimador seja o melhor estimador linear não tendencioso (sem viés), para o caso de variáveis com distribuição Normal. Os pesos são derivados de uma função de covariância denominada variograma, que pode ser representada por diferentes modelos matemáticos. Nesse contexto, a krigagem é usada como um método de suavização das imagens e compatibilização das escalas dos dados da base CRU e da *baseline* do modelo regionalizado.

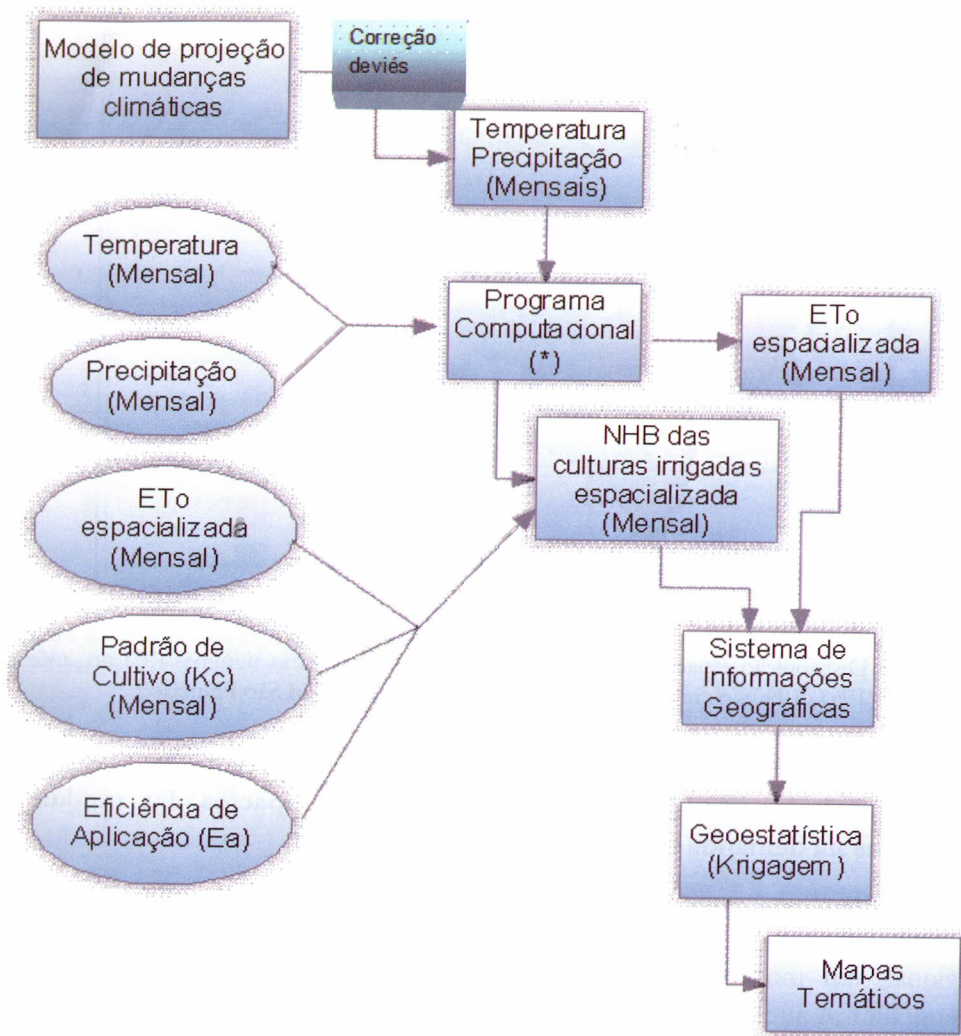


Figura 6. Esquema de integração de modelos para avaliação de impactos das mudanças climáticas na demanda de água de irrigação.

(*) Programa desenvolvido no ambiente SAS® (*Statistical Analysis System*)

Um conjunto de dados composto de uma climatologia de base do modelo de 1961-1990 (*baseline*) e projeções climáticas para períodos de três décadas no futuro é fornecido pelos modelos de mudanças climáticas. Os dados são então extraídos, considerando-se as coordenadas geográficas da região em estudo, na resolução disponível, gerando-se então, dados espacializados para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada.

Os dados suavizados do modelo são visualizados espacialmente pela suavização utilizando um sistema de informações geográficas.

8. A análise de impactos na demanda hídrica

Para a estimativa dos impactos das mudanças climáticas sobre a demanda hídrica para irrigação do meloeiro no Nordeste brasileiro foram selecionadas duas áreas de estudo, em virtude de sua importância na produção nacional de melão:

- 1) Região 1 (Jaguaribe-CE/Apodi-RN): delimitada entre 4°20'30" e 5°30'00"S e 37°05'00" e 38°30'00"W (Figura 7), com superfície de 8.954 km² abrangendo 11 municípios, sendo quatro do Estado do Rio Grande do Norte (Tibau, Mossoró, Baraúna e Grossos) e sete do Estado do Ceará (Aracati, Icapuí, Limoeiro do Norte, Quixeré, Jaguaruana, Russas e Itaipaba). A altitude na área varia de 1,5 m a 206 m;



Figura 7. Região produtora de melão compreendendo o Leste dos estados do Ceará e Oeste do estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: Oliveira (2012).

- 2) Região 2 (Petrolina-Juazeiro): situada entre as coordenadas 36°48'0"W e 44°0'0"W de longitude oeste, 10°25'0"S e 12°36'0"S de latitude sul (Figura 8), compreendendo parte dos estados de Pernambuco e da Bahia, com superfície de 8.954 km², abrangendo 17 municípios, sendo 10 do Estado de Pernambuco

(Floresta, Santa Maria da Boa Vista, Orocó, Petrolina, Lagoa Grande, Inajá, Santa Cruz, Parnamirim, Petrolândia e Jatobá) e sete do Estado da Bahia (Juazeiro, Curaçá, Ribeira do Amparo, Casa Nova, Glória, Abaré e Sobradinho). A altitude na área varia de 173 m a 1.050 m.

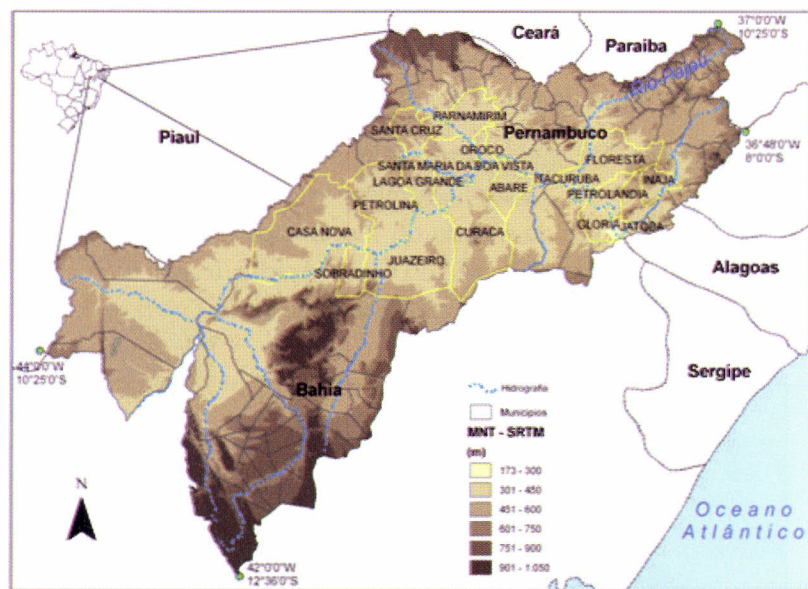


Figura 8. Região produtora de melão no submédio São Francisco.
Fonte: Gondim et al. (2013).

8.1. Cálculo na necessidade hídrica bruta da cultura (NHB)

A necessidade hídrica líquida da cultura (NHL) é definida como a quantidade de água que as plantas cultivadas devem receber para se desenvolverem sem estresse hídrico e foi calculada pela seguinte expressão:

$$NHL = ET_0 PM.Kc - ppt_{efetiva} \tag{1}$$

em que: NHL, é a necessidade hídrica líquida (mm); $ET_0 PM$, evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm); Kc, coeficiente de cultivo (adimensional); e $ppt_{efetiva}$, precipitação efetiva (mm).

O método combinado de Penman-Monteith, recomendado pela FAO para o cálculo da evapotranspiração de referência, conhecido como o método FAO Penman-Monteith ($ET_0 PM$) é padrão mundial para cálculo das necessidades hídricas das culturas. As estimativas mensais da $ET_0 PM$ para a cultura do melão foram obtidas

a partir das projeções corrigidas de temperaturas máxima ($T_{máx}$) e mínima ($T_{mín}$) do modelo regionalizado, utilizando-se a metodologia de dados limitados, conforme descrita em Allen et al. (1998). Método similar foi aplicado em estudos de Jabloun e Sahli, (2008), Sentelhas et al., (2010) e Rocha et al., (2011).

Os coeficientes de cultivo e a duração dos estádios de desenvolvimento e número de dias após plantio (DAP) para a cultura do meloeiro estão apresentados na Tabela 1, segundo Miranda et al. (1999).

Tabela 1. Coeficientes de cultivo (Kc), dias após o plantio (DAP) nas fases de desenvolvimento do meloeiro, em três diferentes épocas de plantio.

I – Plantio em 01/07 a 06/09				
Fase ⁽¹⁾	Mês	Kc	DAP	n° de dias do mês
1	Julho	0,26	0-23	23
2	Julho	0,76	24-42	8
	Agosto	0,76		11
3	Agosto	1,20	43-60	18
4	Agosto	0,97	61-65	2
	Setembro	0,97		3
II – Plantio em 01/08 a 06/10				
1	Agosto	0,26	0-23	23
2	Agosto	0,76	24-42	8
	Setembro	0,76		11
3	Setembro	1,20	43-60	18
4	Setembro	0,97	61-65	3
	Outubro	0,97		2
III – Plantio em 01/09 a 06/11				
1	Setembro	0,26	0-23	23
2	Setembro	0,76	24-42	7
	Outubro	0,76		12
3	Outubro	1,20	43-60	18
4	Outubro	0,97	61-65	1
	Novembro	0,97		4

Fase 1- inicial; Fase 2 – crescimento vegetativo; Fase 3 – frutificação; Fase 4 – maturação.

A necessidade hídrica bruta (NHB) é calculada a partir, da NHL, considerando as perdas por escoamento superficial e percolação profunda, indiretamente mensuradas pela eficiência de irrigação.

$$NHB = \frac{NHL}{Ea} \quad (2),$$

em que Ea, é a eficiência de aplicação (adimensional); NHB, necessidade hídrica bruta (mm);

Foi considerado um valor fixo para eficiência de aplicação (Ea), de 85%, alcançável pelo sistema de irrigação por gotejamento, o qual é usualmente adotado pelos produtores de melão das regiões estudadas.

8.2. O modelo climático regionalizado Eta-CPTEC/HadCM3

Foi utilizado o modelo regionalizado Eta acoplado ao modelo global HadCM3, referido aqui como Eta-CPTEC/HadCM3, implementado no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esse acoplamento de modelos conhecido como redução dinâmica de escala, permite o aumento da resolução espacial das projeções e é fundamental para o fornecimento de informações adequadas para estudos de avaliação de impacto em escala regional.

O modelo regionalizado Eta-CPTEC/HadCM3 possui resolução horizontal de 40 km com 38 níveis na vertical, em períodos de tempo de 90 segundos. Para fins de mudança climática, o modelo usa uma representação fixa da concentração de CO₂ equivalente a 330 ppm – cenário de emissões de gases de efeito estufa A1B, de acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). Foi utilizado um conjunto de dois membros do modelo, limites inferior e superior. Para informações detalhadas sobre o Eta-CPTEC/HadCM3, consultar Chou et al., (2011) e Marengo et al., (2011).

Para a região 1, foram ainda realizadas simulações utilizando-se o modelo HadRM3P (*Hadley Regional Model 3, with Providing Regional Climates for Impacts Studies* – PRECIS) (ALVES; MARENGO, 2010), o qual foi implementado no Brasil pelo CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Sua dinâmica é baseada no HadAM3P, uma versão mais recente da componente atmosférica do HadCM3 (Modelo de Circulação Global) do Hadley Centre, Inglaterra. Possui resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e 4 níveis no solo, a especificação de 19 níveis na vertical é benéfico por utilizar o mesmo número de níveis do modelo

global. A resolução espacial é de 0,44° x 0,44° latitude/longitude, o que corresponde a uma grade de aproximadamente 50 km. Quando a finalidade é mudança climática o modelo usa uma representação do ciclo de sulfato e de alguns aerossóis.

8.3. Projeções da necessidade hídrica bruta

O horizonte temporal considerado para avaliação dos impactos das mudanças climáticas em relação à climatologia de base do modelo (1961 a 1990) foi o período de 2025 a 2055 para o HadRM3P (ALVES; MARENGO, 2010), cenários A2 e B2 (OLIVEIRA, 2012) e 2031 a 2060, cenário A1B, para Eta-CPTEC/HadCM3 (GONDIM et al., 2013). As projeções de chuva, temperatura, ET_o e demanda hídrica foram interpoladas utilizando-se a técnica geoestatística de krigagem ordinária associada a um Sistema de Informação Geográfica para elaboração de mapas temáticos (Figura 9) (SILVA et al., 2007; DÍAZ et al., 2007).

Observa-se que para a evapotranspiração de referência é projetado um aumento entre 12,3% e 33,4% na Região 1 (Jaguaribe-CE/Apodi-RN) e de 5,9% a 7,0% na Região 2 (Petrolina-Juazeiro), conforme modelo, cenário e limites superior ou inferior do conjunto de simulações (Tabela 2). Já para precipitação na Região 1, as projeções são contraditórias: 61,9 a 89,9% pelo modelo Eta-CPTEC/HadCM3 e -30,4 a -38,5% pelo HadRM3P. Na Região 2, as projeções são de redução (-36,8 a -40,3%), pelo modelo Eta-CPTEC/HadCM3.

TABELA 2. Evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith FAO (ET_oPM) e precipitação projetadas pelos modelos nas Regiões 1 e 2.

	ET _o PM (mm ano ⁻¹)			Precipitação (mm ano ⁻¹)		
	Região 1 HadRM3P	Região 1 Eta/CPTEC	Região 2 Eta/CPTEC	Região 1 HadRM3P	Região 1 Eta/CPTEC	Região 2 Eta/ CPTEC
Base-1961-1990	1.636±97	1.389 ± 315	1.609 ± 73	664±29	546±125	653±233
2025 -2055	1.844 a 1.848±73	-	-	408 a 462±30	-	-
2031-2060		1.784 a 1.853 ± 45	1.704 a 1.721±78		884 a 1.037±89,9	390 a 413±213
Mudança (%)	12,3 a 12,9	28,4 a 33,4	5,9 a 7,0	-30,4 a -38,5	61,9 a 89,9	-36,8 a -40,3

Ambos os modelos projetam aumentos de demanda de água para irrigação medida pela NHB da cultura para as duas Regiões estudadas (Tabela 2).

Os modelos HadRM3P e Eta-CPTEC/HadCM3 projetam aumento da NHB em ambas as regiões, variando de 7,5% a 13,5% e de 37,5% a 78,2%, respectivamente

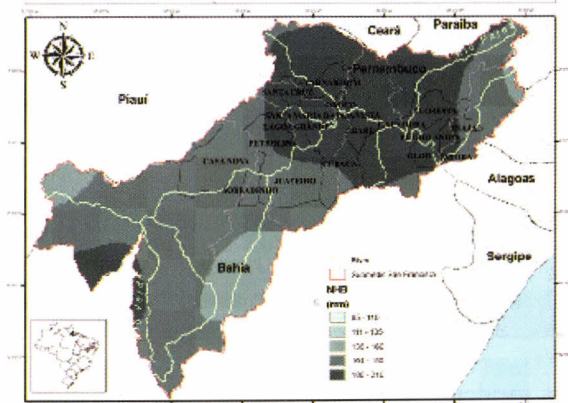
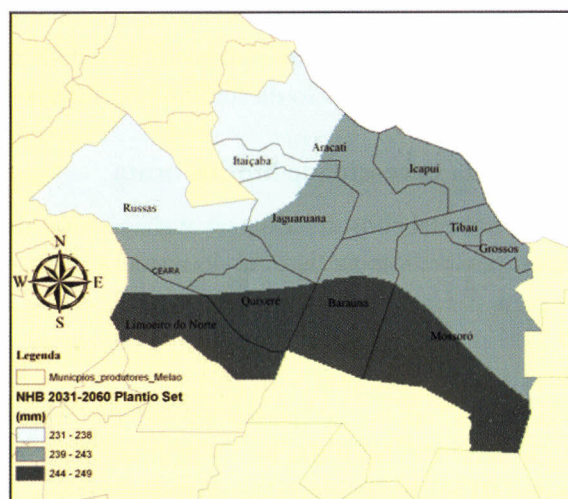


Figura 9. Projeções de necessidade hídrica bruta (mm) no ciclo de produção do meloeiro: (a) região 1, modelo Eta-CPTEC/HadCM3, período 2031-2060; (b) região 1, pelo modelo HadRM3P, período 2025-2055 e (c) região 2, modelo Eta-CPTEC/HadCM3, período 2031-2060.

(Tabela 3). É possível que esses elevados percentuais de aumento observados na demanda pelo modelo Eta-CPTEC/HadCM3 para a Região 1, sejam decorrentes de sub-estimativa na demanda para a climatologia de base (124 a 168 mm por ciclo, conforme Tabela 3). Esta ocasionada por uma sub-estimativa na evapotranspiração presente (1.389 mm, conforme Tabela 2).

Apesar dos aumentos projetados na precipitação para a Região 1, pelo modelo Eta-CPTEC/HadCM3, espera-se maiores incrementos na NHB quando comparados aos projetados pelo modelo HadRM3P. Os incrementos de precipitação coincidem com a quadra chuvosa (fevereiro a junho), o que não implica em redução na demanda de água para irrigação nas épocas de cultivo (julho a dezembro).

Para a Região 2, o modelo ETA/CPTEC projeta incrementos de 6,0% a 13,7% na demanda, valores aproximados aos projetados pelo modelo HadRM3P para a Região 1.

Tabela 3. Necessidade hídrica bruta (NHB) média projetada pelos modelos nas Regiões 1 e 2.

Período	NHB média (mm.ciclo ⁻¹)		
	Região 1 HadRM3P	Região 1 Eta/CPTEC	Região 2 Eta/CPTEC
Base (1961-1990)	260 a 308 ± 19	124 a 168 ± 37	166 a 205 ± 25
2025-2055	288 a 332 ± 13	---	---
2031-2060	---	221 a 241 ± 5	176 a 233 ± 22
Mudança (%)	7,5 a 13,5	37,5 a 78,2	6,0 a 13,7

9. Identificação de medidas adaptativas e mitigadoras e considerações finais

A adaptação aos impactos das mudanças climáticas vem recebendo progressiva atenção no desenvolvimento de políticas, como um mecanismo complementar à mitigação. A adaptação considera a habilidade de conviver ou absorver estresses ou impactos ou ainda recuperar-se deles. Pode também referir-se a ações elaboradas para se tirar vantagens das novas oportunidades que podem surgir como resultados das mudanças no clima. A fim de se estudar e se avaliar o desenvolvimento de estratégias de adaptação, deve-se conhecer o sistema para o qual estratégias de adaptação serão aplicadas (AERTS; DROOGERS, 2004).

Ainda segundo mesmos os autores, a adaptação pode ocorrer de uma forma reativa ou antecipativa (adaptação preventiva). A maioria das adaptações são modificações nas práticas existentes e nos processos de tomada de decisão já existentes na agricultura e no setor de recursos hídricos. Há diversas medidas

possíveis de adaptação que formam a base para o desenvolvimento de estratégias adaptativas (AERTS; DROOGERS, 2004).

Para a Região 1 as mudanças climáticas, conforme os modelos e cenários aplicados, projetam aumentos na demanda de água de irrigação para a cultura do meloeiro, em todas as datas de plantio analisadas, mesmo quando projetando-se aumentos na precipitação anual, os quais concentra-se nos meses tradicionalmente chuvosos, não contribuindo para a redução o déficit hídrico da estação seca.

Temperaturas mais elevadas resultam em elevação na evapotranspiração de referência e consequentemente no aumento na demanda de água para irrigação.

Projeta-se que o plantio em julho resulta em menor demanda de água, quando comparado aos plantios de agosto e setembro.

Pelo modelo HadRM3P, são projetados aumentos na temperatura e evapotranspiração de referência e redução na precipitação e também aumentos na demanda hídrica para irrigação da cultura do melão.

Para a Região 2, temperaturas mais elevadas resultam em elevação na evapotranspiração de referência esses efeitos, semelhantemente ao que ocorre na Região 1, implicam no aumento na demanda de água para irrigação, pressionado por reduções futuras na precipitação.

Uma importante medida mitigadora dos efeitos negativos das mudanças climáticas para a cultura do meloeiro irrigado no Nordeste do Brasil é o aumento na eficiência no uso da água, através das seguintes medidas e estratégias:

- adotar preferencialmente a irrigação por gotejamento, bem como avaliar a uniformidade de aplicação da água periodicamente, realizando a manutenção preventiva do sistema para alcance de uma alta uniformidade de distribuição;
- viabilizar a definição pela pesquisa, dos coeficientes de cultivo do meloeiro para diferentes híbridos e sistemas de produção adotados (uso do *mulch* plástico, agrotêxtil ou plantio direto);
- viabilizar o desenvolvimento e adoção pelos produtores, de aplicativos para controle racional da irrigação, baseando-se na evapotranspiração de referência pelo método FAO Penman-Monteith, e nos coeficientes de cultivo da cultura para diferentes híbridos do meloeiro e sistemas de produção adotados.
- na região do Jaguaribe-Apodi (Região 1), onde se irriga com água subterrânea, realizar estudos hidrogeológicos, a fim de permitir a gestão dos recursos hídricos demandados, considerando sua capacidade de recarga.

10. Referências

AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. Adaptation for regional water management In: AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. (Ed.). **Climate change in contrasting river basins: adaptation strategies for water, food and environment**. Wallingford: CABI, 2004. p. 1-24.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 100, n. 3-4, p. 337-350, May 2010.

BINDER, L.C.W. Climate change and watershed planning in Washington state. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 42, n. 4, p. 915-926, 2006.

CARTER, T. R.; ALFSEN, K.; BARROW, E.; BASS, B.; DAI, X. DESANKER, P.; GAFFIN, S. R.; GIORGI, F.; HULME, M.; LAL, M.; MATA, L. J.; MEARN, L. O.; MITCHEL, J. F. B.; MORITA, T.; MOSS, R.; MURDIYARSO, D.; PABON-CAICEDO, J. D.; PALUTIKOF, J. PARRY, M. L.; ROSENZWEIG, C.; SEGUIN, B.; SCHOLES, R. J.; WHETTON, P. H. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment - Task group on data and scenario support for impact and climate assesment (TGICA) Geneve: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 66 p.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, Berlin, v. 38, n. 3-4, p. 1-19, Feb. 2012.

DÍAZ, J. A. R.; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W.; CAMACHO, E. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. **Regional Environmental Change**, New York, v. 7, n. 3, p. 149-159, 2007.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Downscaling climate model outputs to study the hydrologic impact of climate change – Part I – calibration and validation of downscaling models. In: LIONG, S. Y.; PHOON, K. K.; BABOVIC, V. (Ed.). **Proceedings of the 6th International Conference on Hydroinformatics, Singapore 2004**. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2004a. p. 1441-1448.

DIBIKE, Y. B.; COULIBALY, P. Downscaling climate model outputs to study the hydrologic impact of climate change – Part II– Scenario Simulation and Hydrologic Modeling. In: LIONG, S. Y.; PHOON, K. K.; BABOVIC, V. (Ed.). **Proceedings of the 6th International Conference on Hydroinformatics, Singapore 2004**. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2004b. p. 1449-1456.

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

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; CHRISTENSEN, O. F. An introduction to model-based geostatistics. In: MOLLER, J. (Ed.). **Spatial statistics and computational methods**. New York: Springer, 2003. p. 43-86. (Lecture Notes in Statistics, 173).

EHRET, U.; ZEHE, E.; WULFMEYER, V.; WARRACH-SAGI, K.; LIEBERT, J. HESS Opinions “Should we apply bias correction to global and regional climate model data?”. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, p. 3391-3404, 2012.

GONDIM, R. S.; MAIA, A. de H. N.; EVANGELISTA, S. R. M.; BASSOI, L. H. B.; DUARTE, A. de S.; PACHECO, A. N. P. **Projeções de demanda hídrica para irrigação do meloeiro no Submédio São Francisco sob cenários de mudanças climáticas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 29 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa, 74).

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática – Sidra**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em 28 de out. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Emissions Scenarios**. New York: Cambridge University Press, 2000. 570 p. Editado por

N. Nakicenovic, R. Swart. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>> Acesso em: 03.jan.2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: **Climate change 2013: the physical science basis**. Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Editado por Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M. B. Tignor, Simon k. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. em: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, June 2008.

JONES, R. G.; NOGUER, M.; HASSELL, D. C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G. J.; MITCHELL, J. F. B. **Generating high resolution climate change change scenarios using PRECIS**. Exeter: Met Office Hadley Centre, 2004. Disponível em: http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/6/5/PRECIS_Handbook.pdf

LUIZ, A. J. B.; MAIA, A. de H. N.; GONDIM, R. S. Precipitação na região produtora de melão no NE brasileiro: avaliação da qualidade de conjuntos de dados globais por meio de regressão espacial. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 58.; SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 15., 2013, Campina Grande. Modelagem Estatística em áreas multidisciplinares: Impactos causados pelas mudanças climáticas na Região Nordeste. [Anais...] Campina Grande: Sociedade Internacional de Biometria, 2013. 7 p.

MAIA, A. de H. N.; HAMADA, E. Exploring spatial patterns of GCM projection bias via model based geostatistics. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 58.; SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 15., 2013, Campina Grande. Modelagem Estatística em áreas multidisciplinares: Impactos causados pelas mudanças climáticas na Região Nordeste. [Anais...] Campina Grande: Sociedade Internacional de Biometria, 2013. 5 p.

MARENGO ORSINI, J. A.; NICHOLLS, N.; PENNER, J. E.; STOTT, P. A. Understanding and Attributing Climate Change. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: the physical science basis**. contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2007. p. 663 – 745. Editado por M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, Berlin, v.35, n. 6, p. 1073-1097, 2011.

MIRANDA, F. R.; SOUZA, F.; RIBEIRO, S. C. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 1, p. 63-70, 1999.

MITCHELL, T. D.; JONES, P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 25, p. 693-712, 2005.

OLIVEIRA, K. M. L. de. **Impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação do meloeiro (*cucumis melo* L.) utilizando modelo regionalizado integrado a um sistema de informações geográficas**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, 2012.

PIANI, C.; HAERTER, J. O. Two dimensional bias correction of temperature and precipitation copulas in climate models. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 39, n. 20, 2012.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. Application to South Bulgaria. **Irrigation and Drainage**, Slough, v. 55, n. 2, p. 201-215, 2006.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A.; BONY, S.; COLMAN, R.; FICHEFET, T.; FYFE, J.; KATTISOV, V.; PITMAN, A.; SHUKLA, J.; SRINIVASAN, J.; STOUFFER, R. J.; SUMI, A.; TAYLOR, K. E. Climate models and their evaluation. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: the physical science basis** contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York: Cambridge University Press, 2007. p. 589-622. Editado por M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson.

ROCHA, E. da J. T.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK JUNIOR, S. C. de F.; GONDIM, R. S. Estimativa da ET_0 pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p.75-83, 2011.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.

SILVA, C. S. de; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W.; RODRIGUEZ-DIAZ, J. A. Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 93, n. 1-2, p. 19-29, 2007.