

Projeções de Demanda Hídrica para Irrigação do Meloeiro no Submédio São Francisco sob Cenários de Mudanças Climáticas



ISSN 1679-6543

Setembro, 2013

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 74

Projeções de Demanda Hídrica para Irrigação do Meloeiro no Submédio São Francisco sob Cenários de Mudanças Climáticas

*Rubens Sonsol Gondim
Aline de Holanda Nunes Maia
Sílvio Roberto Medeiros Evangelista
Luis Henrique Bassoi
Aryberg de Souza Duarte
Anna Neiva Pinho Pacheco*

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2013

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici

CEP 60511-110 Fortaleza, CE

Fone: (85) 3391-7100

Fax: (85) 3391-7109

www.cnpat.embrapa.br

cnpat.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Marlon Vagner Valentim Martins*

Secretário-Executivo: *Marcos Antonio Nakayama*

Membros: *José de Arimatéia Duarte de Freitas, Celli Rodrigues*

Muniz, Renato Manzini Bonfim, Rita de Cassia Costa

Cid, Rubens Sonsol Gondim, Fábio Rodrigues de Miranda

Revisão de texto: *Marcos Antonio Nakayama*

Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*

Foto da capa: *Rubens Sonsol Gondim*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

1ª edição (2013): versão eletrônica

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Projeções de demanda hídrica para irrigação do meloeiro no Submédio São Francisco sob cenários de mudanças climáticas / Rubens Sonsol Gondim... [et al.] – Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.

27 p.; 14,8 cm x 21 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 74).

1. Muanças climáticas. 2. Evapotranspiração. 3. Irrigação. 4. Melão. I. Gondim, Rubens Sonsol. II. Maia, Aline de Holanda Nunes. III. Evangelista, Silvio Roberto Medeiros. IV. Bassoi, Luis Henrique. V. Duarte, Aryberg de Souza. VI. Pacheco, Anna Neiva Pinho. VII. Série.

CDD 635.611

© Embrapa 2013

Sumário

Resumo	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	13
Conclusão e Recomendação	24
Referências	25

Projeções de Demanda Hídrica para Irrigação do Meloeiro no Submédio São Francisco sob Cenários de Mudanças Climáticas

Rubens Sonsol Gondim¹

Aline de Holanda Nunes Maia²

Silvio Roberto Medeiros Evangelista³

Luis Henrique Basso⁴

Aryberg de Souza Duarte⁵

Anna Neiva Pinho Pacheco⁶

Resumo

A evapotranspiração tem uma significativa importância no balanço hídrico das bacias hidrográficas e nas práticas agropecuárias. A sua mensuração é fundamental na elaboração de projetos de irrigação, devido a sua influência direta na produtividade das culturas. Dessa forma, projeções da evapotranspiração em cenários de mudanças climáticas contribuem para a compreensão da demanda hídrica futura na agricultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos das mudanças climáticas na necessidade hídrica para irrigação do meloeiro na região do Submédio São Francisco, localizada no Semiárido brasileiro, em diferentes épocas de plantio. São apresentadas projeções de evapotranspiração de referência (ET_0) de Penman-Monteith e necessidade hídrica bruta de irrigação do meloeiro, para o período

¹Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Recursos Hídricos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, rubens.gondim@embrapa.br.

²Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, aline.maia@embrapa.br.

³Estatístico, D.Sc. em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, silvio@cnptia.embrapa.br.

⁴Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciências, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, luis.basso@embrapa.br.

⁵Graduando em Geografia, estagiário da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, arybergduarte@gmail.com.

⁶Graduanda em Geografia, estagiária da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, anninhaneiva@hotmail.com.

de 2031-2060, na região do Submédio São Francisco. Adotou-se o método Penman-Monteith com dados mínimos para estimar a ET_o , a partir de projeções médias mensais de temperatura mínima e máxima do modelo climático regional Eta/CPTEC. Foi realizada a correção de viés das projeções das variáveis climáticas, utilizando a climatologia de base do modelo (1961-1990) e dados interpolados oriundos do *Climate Research Unit* (CRU), para o mesmo período. Com isso, foram gerados mapas de projeções médias mensais de ET_o e de necessidade hídrica bruta para o período de 2031-2060, para cenários extremos resultantes da análise de sensibilidade do modelo regional a variações na temperatura média. Foram projetadas variações na ET_o média anual de 1.609 mm (climatologia de base) para 1.721 mm (7,0%) e 1.704 mm (5,9%), resultando numa elevação da necessidade hídrica bruta de 6,0% a 11,4%; 6,0% a 9,7% e 11,2% a 13,71%, para plantios em julho, agosto e setembro, respectivamente.

Termos para indexação: mudanças climáticas, evapotranspiração, irrigação, melão.

Irrigation Water Needs for Cantaloupes Cultivation in Climate Change Scenarios in the Lower Middle São Francisco

Abstract

Evapotranspiration is significantly important on river basins water balance and on agriculture practices. Its measurement is crucial for irrigation projects, once it has a direct impact on crop yield. Thus, evapotranspiration studies help understanding future crop water requirement. The objective of this work was to evaluate climate change impacts on irrigation water needs on Lower Middle São Francisco region, Brazilian semi-arid region, during three planting months. It presents reference FAO Penman-Monteith evapotranspiration (ET_o) and irrigation water needs projections for 2031-2060 period. Minimum climatic data methodology was applied to estimate reference evapotranspiration from monthly maximum and minimum temperature generated by Eta/CPTec climate regional model. Climate variables bias correction was done by comparing model baseline (1961-1990) to Climate Research Unit (CRU). ET_o projections were spatialized using Geographic Information Systems (GIS), by ordinary kriging interpolation method each month, representing a thirty-years average for the model members (high and low sensitivity to average temperature increase). It was possible to carry out a time and spatial analysis of ET_o , rainfall and irrigation water needs. The results indicates increases on annual average ET_o up to 1,721 mm (7.0%) and 1,704 mm (5.9%) comparing to the baseline (1,609 mm), resulting in increased irrigation water needs, 6.0% to 11.4%; 6.0% to 9.7% and 11.2% to 13.71%, planting on July, August and September, respectively.

Index terms: climate change, evapotranspiration, irrigation, melon.

Introdução

As mudanças climáticas, decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, podem constituir um fator adicional na pressão sobre os recursos hídricos, especialmente para a agricultura irrigada, cuja demanda de água é afetada por mudanças na evapotranspiração e precipitação na região de cultivo. No Nordeste do Brasil, a preocupação com possíveis aumentos na demanda hídrica gera necessidade por informações para delineamento de estratégias de adaptação e mitigação às alterações do clima.

Estudos de mudanças climáticas nos estados do Ceará e Piauí (KROL; BRONSTERT, 2007), utilizando os Modelos de Circulação Global ECHAM4 e HadCM2 via redução de escala estatística, apresentaram resultados contraditórios quanto a alterações na precipitação no período 2070-2090 em relação a 1961-1990, com redução de 50% para o modelo ECHAM4 e aumento de 21% para o modelo HadCM2.

Gondim et al. (2008) aplicaram o sistema integrado de modelagem climática regional Providing Regional Climates for Impacts Studies (Precis), versão 1.2 (JONES et al., 2004), utilizando as condições de contorno do Modelo Climático Regional HadRM3P (ALVES; MARENGO, 2010), na bacia do rio Jaguaribe, Ceará, e identificaram que as mudanças climáticas afetam a demanda de água para a agricultura irrigada, a qual depende de como a temperatura, precipitação e suas interações irão se comportar. Adicionalmente, concluíram que a agricultura irrigada da região estudada pode aumentar a demanda de água, em virtude da elevação na evapotranspiração e redução na precipitação, mesmo sem considerar o aumento das áreas irrigadas.

Em estudo específico para a cultura da bananeira, foi projetada uma elevação na necessidade hídrica bruta média anual para 2040 com relação às condições iniciais (1961-1990), de 1.989 mm para 2.536 mm e 2.491 mm (27,50% e 25,24%) para os cenários A2 e B2, respectivamente, elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (NAKICENOVIC et al. 2000; GONDIM et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos das mudanças climáticas na necessidade hídrica para irrigação do meloeiro na região do Submédio São Francisco, localizada no Semiárido brasileiro, em diferentes épocas de plantio.

Material e Métodos

A área de estudo está 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, nos estados de Pernambuco e Bahia, com superfície de 8.954 km². O trabalho incluiu 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 7 do Estado da Bahia (Juazeiro, Curaçá, Ribeira do Amparo, Casa Nova, Glória, Abaré e Sobradinho). A região apresenta, de acordo com a classificação de Koppen, clima do tipo BSw^h' (clima semiárido), com período chuvoso de janeiro a abril. As variáveis meteorológicas da região apresentam os seguintes valores médios de temperatura do ar: 26,4 °C; precipitação média anual: 567 mm (TEIXEIRA, 2001); gradiente altimétrico de 877 m, distribuído entre as cotas de 173 m a 1.050 m pelo Modelo Numérico do Terreno (MNT), a partir de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (NASA, 2007), conforme Figura 1.

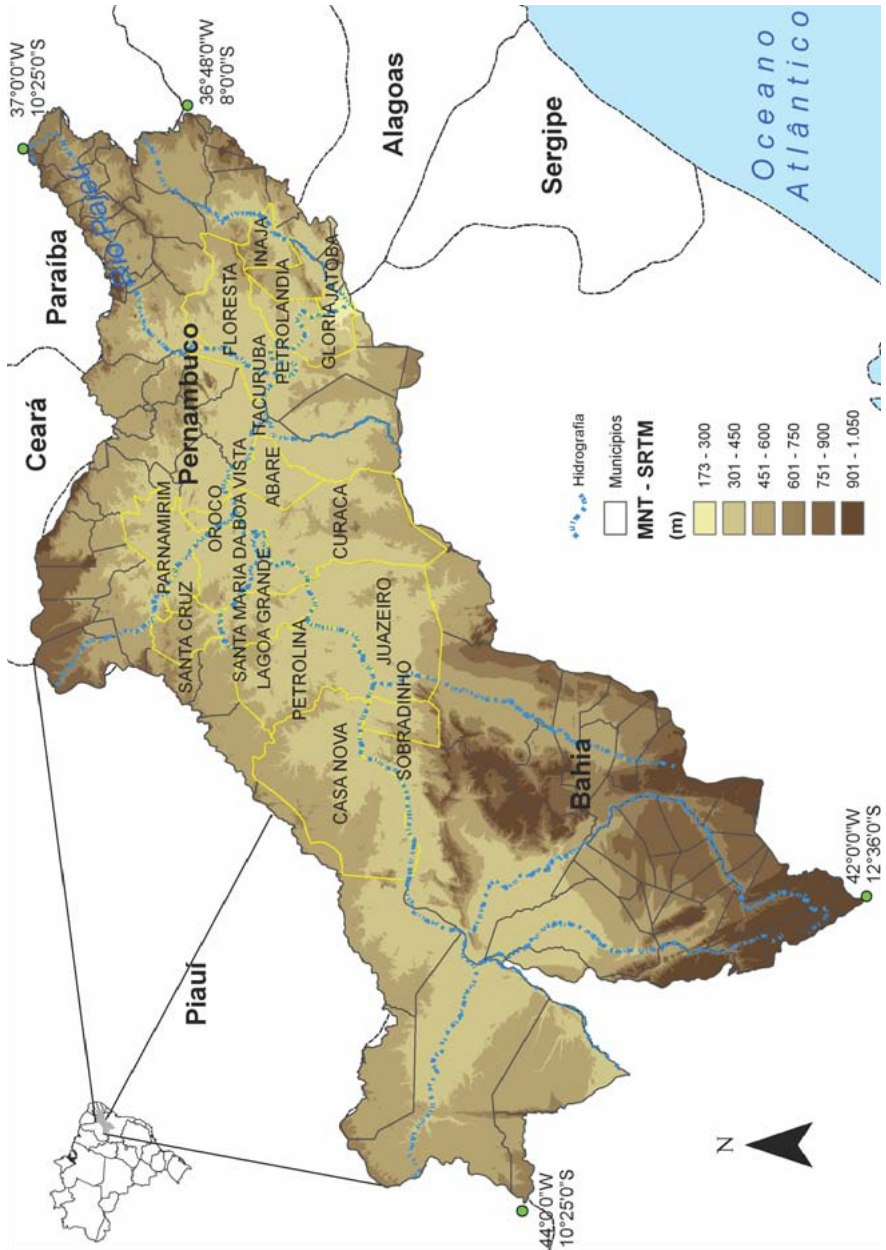


Figura 1. Mapa da região do Submédio São Francisco abrangida no estudo.

Foi utilizado o modelo regional 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 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 Nakicenovic et al. (2000). Foi utilizado um conjunto de dois membros do modelo, de alta e de baixa sensibilidade de resposta ao aumento de temperatura média. Para informações detalhadas sobre o Eta-CPTEC/HadCM3, consultar Chou et al. (2011) e Marengo et al. (2011).

O horizonte temporal para avaliação dos impactos das mudanças climáticas considerado foi a climatologia de 2031 a 2060, em relação ao período de 1961 a 1990. As projeções de chuva, temperatura, ET_o e demanda hídrica foram interpoladas utilizando a técnica geoestatística de krigagem ordinária associada a um sistema de informação geográfica para elaboração de mapas temáticos (SILVA et al., 2007; DÍAZ et al., 2007).

Utilizando-se o modelo Eta-CPTEC/HadCM3, foram geradas médias mensais de temperaturas máxima e mínima e precipitação numa resolução espacial de 40 km para o período 1961 a 1990, assim como projeções para os anos de 2031 a 2060. A correção de viés para as projeções de todas as variáveis climáticas foi obtida por meio das diferenças entre a climatologia de base (1961 a 1990) do modelo e dados interpolados em alta resolução do mesmo período, oriundos da base de dados da *Climatic Research Unit* (CRU), Universidade de *East Anglia* (MITCHEL; JONES, 2005).

A necessidade hídrica líquida das culturas (NHL), definida como a quantidade de água que as plantas cultivadas devem receber para se desenvolverem sem estresse hídrico, é dada pela seguinte expressão:

$$\text{NHL} = \text{ET}_0\text{PM} \cdot \text{Kc} - \text{ppt}_{\text{efetiva}}$$

em que:

NHL é a necessidade hídrica líquida (mm).

ET_0PM é a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (mm).

Kc é o coeficiente de cultivo (adimensional).

$\text{ppt}_{\text{efetiva}}$ é a precipitação efetiva (mm), considerada neste estudo como 70% da precipitação média (CROPWAT 8.0®).

Allen et al. (1998) recomenda a adoção do método combinado de Penman-Monteith, que ficou conhecido como o método FAO Penman-Monteith (ET_0PM), e é padrão mundial para cálculo das necessidades hídricas das culturas. Empregou-se a estimativa da ET_0PM , a partir das temperaturas máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$) do modelo, utilizando-se a metodologia de dados limitados, conforme Allen et al. (1998). Método similar foi aplicado em trabalhos como os de Jabloun e Sahli, (2008), Sentelhas et al. (2010) e Rocha et al. (2011).

Os coeficientes de cultivo, respectivos estádios de desenvolvimento e número de dias após plantio (DAP) para a cultura do meloeiro são apresentados na Tabela 1, segundo Miranda et al. (1999). Foram consideradas três épocas de plantio (julho, agosto e setembro), conforme escalonamento praticado na região pelos produtores.

Tabela 1. Coeficientes de cultivo (Kc), dias após o plantio (DAP) nas fases de desenvolvimento do meloeiro, em 3 diferentes épocas de plantio.

I – Plantio em 01/07 a 03/09

Fase ⁽¹⁾ /mês	Kc	DAP	Nº de dias
Fase 1			
Julho	0,26	0-23	23
Fase 2			
Julho	0,76	24-42	8
Agosto	0,76		11
Fase 3			
Agosto	1,20	43-60	18
Fase 4			
Agosto	0,97	61-65	2
Setembro	0,97		3

II – Plantio em 01/08 a 03/10

Fase ⁽¹⁾ /mês	Kc	DAP	Nº de dias
Fase 1			
Agosto	0,26	0-23	23
Fase 2			
Agosto	0,76	24-42	8
Setembro	0,76		11
Fase 3			
Setembro	1,20	43-60	18
Fase 4			
Setembro	0,97	61-65	2
Outubro	0,97		3

III – Plantio em 01/09 a 04/11

Fase ⁽¹⁾ /mês	Kc	DAP	Nº de dias
Fase 1			
Setembro	0,26	0-23	23
Fase 2			
Setembro	0,76	24-42	7
Outubro	0,76		12
Fase 3			
Outubro	1,20	43-60	18
Fase 4			
Outubro	0,97	61-65	1
Novembro	0,97		4

⁽¹⁾Fase 1: inicial; Fase 2: crescimento vegetativo; Fase 3: frutificação; Fase 4: maturação.
Fonte: Miranda et al. (1999).

Em razão de a NHL ser igual à evapotranspiração da cultura (ET_c), a necessidade hídrica bruta (NHB) é igual à NHL, dividida pela eficiência de irrigação, para que sejam consideradas as perdas por escoamento superficial e percolação profunda. A partir das necessidades de irrigação líquida e da eficiência final de irrigação, foram então estimadas as necessidades hídricas brutas (NHB):

$$NHB = \frac{NHL}{Ea}$$

em que Ea é a eficiência de aplicação (decimal) e NHB é a necessidade hídrica bruta (mm).

Foi considerado o valor fixo para eficiência de aplicação (Ea), de 85%, alcançável pelo sistema de irrigação por gotejamento, indicado para a cultura do meloeiro.

Resultados e Discussão

Nas Tabelas 2, 3 e 4, são apresentadas as estatísticas descritivas das temperaturas mínima (T_{mín}) e máxima (T_{máx}) e precipitação mensais na região, para a climatologia de base do modelo (1961 a 1990) e projeções do Eta-CPTEC/HadCM3 para o período de 2031 a 2060 (médias de 30 anos), considerando os membros extremos (inferior e superior) de conjuntos (*ensembles*) resultantes da análise de sensibilidade do modelo (CHOU et al., 2011). As diferenças entre as condições iniciais (1961-1990) e projetadas para o futuro são expressas como mudanças percentuais (%).

Para a climatologia de 2031 a 2060, são projetados aumentos que variam de 8,8% a 14,9% para temperaturas mínimas mensais e de 6,1% a 10,1% para temperaturas máximas mensais, em relação ao período de 1961 a 1990 (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Temperaturas mínimas da climatologia de base (1961 a 1990) e projetadas para o período de 2031 a 2060.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1961 a 1990												
Mínimo	17,2	18	18,1	18	16,6	14,9	14,7	14,1	14,9	16,2	16,8	16,9
Máximo	22,1	21,7	21,5	21,5	21	20,2	19,6	19,9	21,6	22,9	23,4	22,4
Média	20,6	20,7	20,5	20,5	19,8	18,8	18,1	18,1	19,1	20,3	20,8	20,7
Desvio Padrão	1,1	0,8	0,7	0,8	1	1,1	1,1	1,2	1,5	1,6	1,6	1,4
2031 a 2060 Alta ⁽¹⁾ (corrigida)												
Mínimo	19,5	20,0	20,2	20,3	19,0	17,7	17,1	16,0	16,9	18,7	20,2	19,0
Máximo	24,8	24,1	24,3	24,4	23,6	22,9	22,2	22,2	23,9	25,5	26,6	24,8
Média	23,1	22,9	22,8	23,0	22,1	21,5	20,5	20,2	21,3	22,5	23,9	23,0
Desvio Padrão	1,1	0,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	1,6	1,6	1,4
Mudança (%)	12,1	10,6	11,2	12,2	11,6	14,4	13,3	11,6	11,5	10,8	14,9	11,1
2031 a 2060 Baixa ⁽²⁾ (corrigida)												
Mínimo	18,9	20,0	19,8	19,7	18,6	17,3	16,6	16,0	16,6	18,6	19,5	19,3
Máximo	24,8	24,2	24,1	23,8	23,3	22,5	21,8	22,0	23,6	25,4	26,1	25,1
Média	23,1	23,2	22,5	22,3	21,8	21,0	20,0	20,0	21,0	22,6	23,3	23,3
Desvio Padrão	1,4	1,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	1,6	1,6	1,4
Mudança (%)	12,1	12,1	9,8	8,8	10,1	11,7	10,5	10,5	9,9	11,3	12,0	12,6

Membros do modelo: extremos (1) Alta e (2) Baixa, resultantes da análise de sensibilidade do modelo a variações nas condições iniciais (CHOU et al., 2011).

Tabela 3. Temperaturas máximas da climatologia de base (1961 a 1990) e projetadas para o período de 2031 a 2060.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	CRU 1961 a 1990											
Mínimo	29,2	29,5	29,4	28,1	26,2	24,8	24,4	25,5	27,3	28,4	28,4	28,6
Máximo	33,2	32,3	32,1	31,3	31,4	31,7	32	33,3	34,5	34,1	34	33,9
Média	31,5	31,2	31,1	30,2	29,5	28,6	28,7	29,7	31,3	32,5	32	32,1
Desvio Padrão	0,9	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,1	1,2
	2031 a 2060 Alta ⁽¹⁾ (corrigido)											
Mínimo	31,8	32,1	32,0	30,8	29,2	28,2	27,3	27,7	29,6	31,1	31,7	31,4
Máximo	35,4	34,6	34,8	34,7	34,4	34,8	34,5	35,3	36,5	36,6	36,7	35,7
Média	34,0	33,5	33,5	33,0	32,1	31,5	31,1	31,6	33,3	35,0	35,1	34,3
Desvio Padrão	0,8	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,4	1,0	1,1
Mudança (%)	7,9	7,4	7,7	9,3	8,8	10,1	8,4	6,4	6,4	7,7	9,7	6,9
	2031 a 2060 Baixa ⁽²⁾ (corrigido)											
Mínimo	31,2	32,0	31,6	30,3	28,7	27,8	27,0	27,8	29,5	31,2	31,4	31,3
Máximo	35,4	34,4	34,9	34,7	34,1	34,4	34,1	35,3	36,4	36,5	36,2	36,4
Média	33,7	33,5	33,4	32,6	31,7	31,2	30,9	31,6	33,2	35,0	34,5	34,6
Desvio Padrão	1,0	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,6	1,5	1,5	1,3	1,0	1,1
Mudança (%)	7,0	7,4	7,4	7,9	7,5	9,1	7,7	6,4	6,1	7,7	7,8	7,8

Membros do modelo: extremos ⁽¹⁾ Alta e ⁽²⁾ Baixa, resultantes da análise de sensibilidade do modelo a variações nas condições iniciais (CHOU et al., 2011).

Para o período de 2031 a 2060, o estudo indicou reduções de 36,8% e 40,3% na precipitação média anual (membros extremos do modelo), em relação à climatologia de base (Tabela 4).

Tabela 4. Precipitações médias da climatologia de base (1961 a 1990) e projetadas para o período de 2031 a 2060.

	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	ago.	Set.	Outw	Nov	Dez	Total
1961 a 1990													
Mínimo	49	54	75	59	8	1	0	0	1	6	9	22	284
Máximo	146	169	206	177	100	108	113	46	31	73	132	151	1452
Média	91	98	125	91	31	22	19	10	8	23	55	80	653
Desvio Padrão	16	19	26	23	19	20	20	10	6	12	33	29	233
2031 a 2060 Alta(1) (corrigido)													
Mínimo	5	0	0	40	3	2	0	0	0	2	8	0	60
Máximo	109	157	139	130	85	85	88	57	30	66	105	111	1162
Média	55	67	49	65	23	19	17	9	6	16	38	49	413
Desvio Padrão	19	27	33	14	17	16	18	12	6	10	23	18	213
Mudança (%)	-39,6	-31,6	-60,8	-28,6	-25,8	-13,6	-10,5	-10,0	-25,0	-30,4	-30,9	-38,8	-36,8
2031 a 2060 Baixa(2) (corrigido)													
Mínimo	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	4	27	48
Máximo	159	172	90	75	65	42	84	40	22	57	83	172	1061
Média	81	89	25	19	15	8	12	5	4	15	31	86	390
Desvio Padrão	31	28	19	14	13	10	16	8	5	8	18	24	194
Mudança (%)	-11,0	-9,2	-80,0	-79,1	-51,6	-63,6	-36,8	-50,0	-50,0	-34,8	-43,6	7,5	-40,3

Membros do conjunto de projeções do modelo regional: extremos ⁽¹⁾alta e ⁽²⁾baixa resultantes da análise de sensibilidade do modelo a variações nas condições iniciais (CHOU et al., 2011).

Na Figura 2, apresenta-se o mapeamento da precipitação anual para o período de 1961 a 1990 e projeções com reduções para 2031 a 2060.

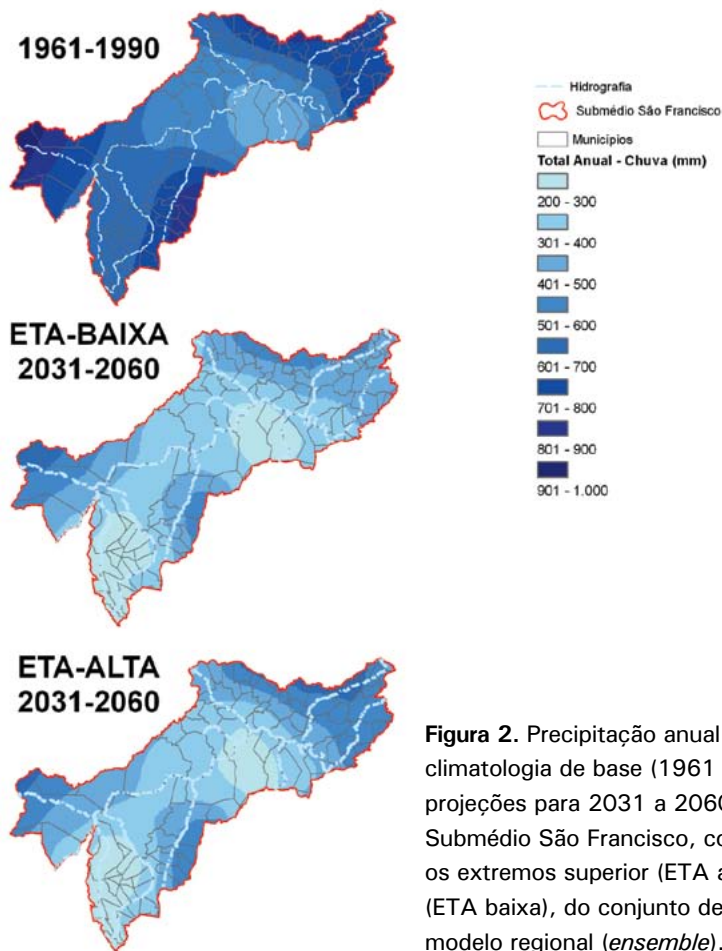


Figura 2. Precipitação anual para a climatologia de base (1961 a 1990) e projeções para 2031 a 2060, na região do Submédio São Francisco, considerando os extremos superior (ETA alta) e inferior (ETA baixa), do conjunto de projeções do modelo regional (*ensemble*).

O estudo indicou aumentos de 7,0% e 5,9% na evapotranspiração anual (EToPM) projetada (membros superior e inferior do conjunto de projeções do modelo, respectivamente), em relação à climatologia de base (Tabela 5), decorrentes de aumentos na T_{\max} e T_{\min} . A elevação está representada graficamente pela Figura 3. O desvio padrão que sumariza a variabilidade espacial projetada no futuro também aumentou de 73 mm para 78 mm e 80 mm, respectivamente.

Tabela 5. Impactos e mudanças (%) anuais projetadas da EToPM para o período de 2031 a 2060 em relação à climatologia de 1961 a 1990.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Out.	Nov.	Dez.	Total
	1961 a 1990												
Mínimo	138	127	135	113	100	78	94	111	129	146	128	149	1448
Máximo	163	142	149	131	130	125	135	153	166	173	165	165	1797
Média	151	134	143	121	113	101	111	127	143	160	149	156	1609
Desvio Padrão	7	3	3	3	7	8	9	8	7	6	8	4	73
2031 a 2060 Alta ⁽¹⁾ (corrigido)													
Mínimo	143	133	143	121	107	107	100	115	134	156	138	156	1553
Máximo	177	154	164	146	142	142	142	159	173	184	177	174	1934
Média	161	141	152	131	122	122	118	132	149	169	160	164	1721
Desvio Padrão	8	5	4	4	7	7	9	8	7	6	9	4	78
Mutação(%)	6,6	5,2	6,3	8,3	8,0	20,8	6,3	3,9	4,2	5,6	7,4	5,1	7,0
2031 a 2060 Baixa ⁽²⁾ (corrigido)													
Mínimo	142	132	143	121	105	86	101	116	135	157	136	158	1532
Máximo	170	150	165	147	141	134	142	160	174	185	177	175	1920
Média	157	140	153	132	120	109	118	133	149	170	158	165	1704
Desvio Padrão	8	4	4	5	8	9	8	8	7	6	9	4	80
Mutação(%)	4,0	4,5	7,0	9,1	6,2	7,9	6,3	4,7	4,2	6,3	6,0	5,8	5,9

Membros do conjunto de projeções do modelo regional: extremos (1) superior e (2) inferior resultantes da análise de sensibilidade do modelo a variações nas condições iniciais (CHOU et al., 2011).

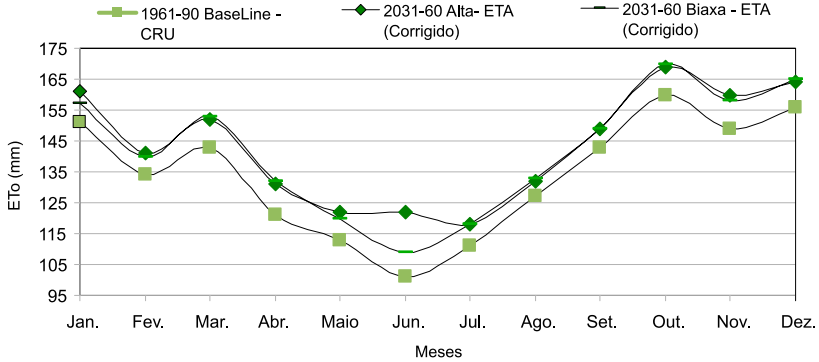


Figura 3. Evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith para climatologia de base (1961 a 1990) e projetada (2031 a 2060) na região do Submédio São Francisco, considerando os extremos superior e inferior do conjunto de projeções do modelo regional (*ensemble*).

Comparou-se, por regressão linear (Figura 4), a evapotranspiração média mensal estimada a partir de dados mínimos, oriundos das condições iniciais do modelo (1961 a 1990), com a evapotranspiração estimada com base em dados medidos (2003 a 2010) pela estação automática de Bebedouro (PE), localizada na região do estudo.

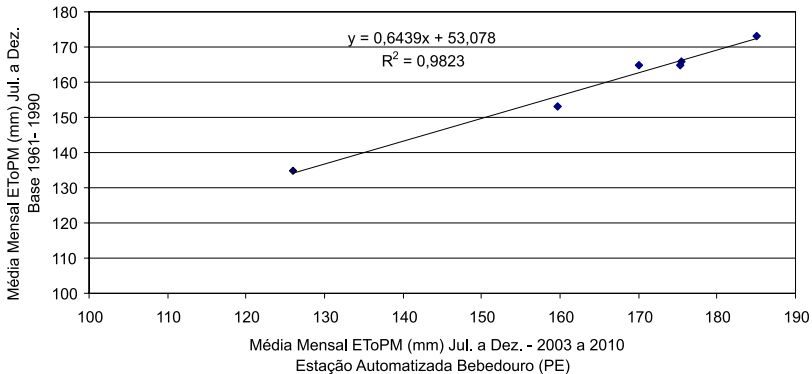


Figura 4. Regressão linear entre evapotranspiração (EToPM) na climatologia de base do modelo (1961 a 1990) e a evapotranspiração estimada (EToPM) com dados disponíveis (2003 a 2010) da EToPM estimada com dados medidos pela estação automática de Bebedouro (PE).

Essa comparação demonstrou haver aceitável coerência entre dados estimados, dados do modelo e dados da estação ($Y = 0,64X + 53$ e R^2 de 0,98), o que sugere estimativa coerente da EToPM mensal pelo modelo, para as condições iniciais. Pode-se atribuir que uma das causas possíveis da variabilidade observada seja a variação de altitude observada na região, conforme demonstrada pela Figura 1.

A Figura 5 apresenta o mapeamento da EToPM da região para o período de 1961 a 1990 e projeções do modelo com elevações para a climatologia de 2031 a 2060.

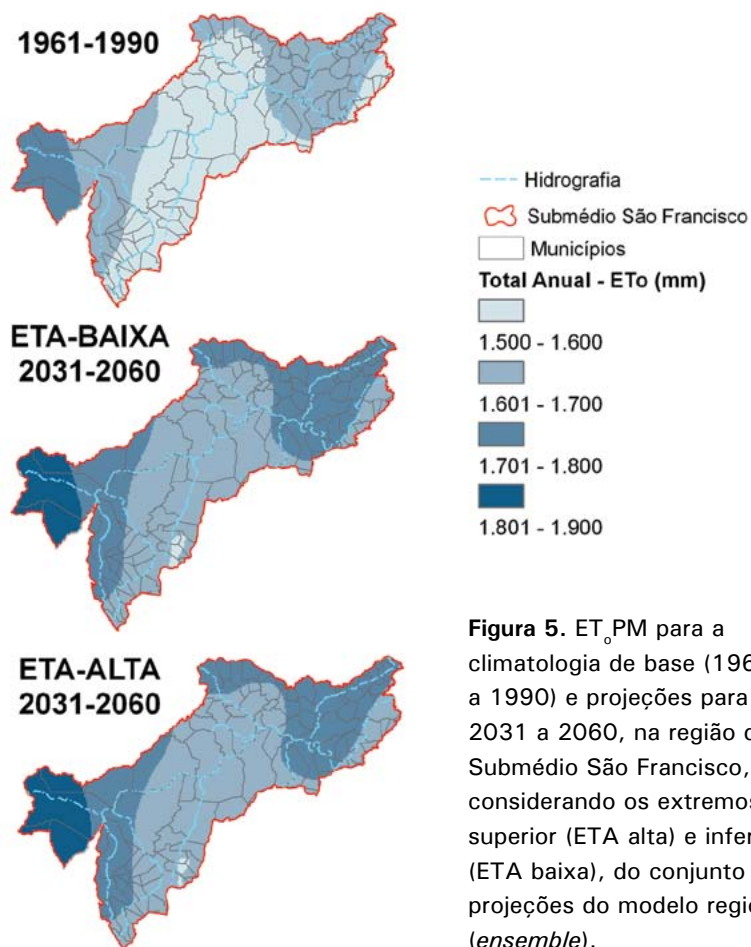


Figura 5. EToPM para a climatologia de base (1961 a 1990) e projeções para 2031 a 2060, na região do Submédio São Francisco, considerando os extremos superior (ETA alta) e inferior (ETA baixa), do conjunto de projeções do modelo regional (*ensemble*).

Com relação às épocas de cultivo, o plantio em julho projeta, para 2031 a 2060, menor demanda de água (média de 176 mm a 185 mm por ciclo), que em agosto (212 mm a 218 mm) e setembro (228 mm a 233 mm), para os membros extremos superior e inferior do modelo, respectivamente (Tabela 6). Projeta-se o aumento de demanda de água para irrigação de 9,0% a 13,7% e 6,0% a 11,2%, considerando os membros extremos (superior e inferior) do conjunto de projeções do modelo regional, respectivamente. Tais percentuais representam aumentos de 18 mm a 28 mm (extremo inferior) e 10 mm a 23 mm (extremo superior) anualmente. Maiores demandas projetadas são esperadas para plantios em 1º de setembro, quando o maior período de irrigação coincide com outubro, mês de máxima evapotranspiração na região. Já em termos percentuais, os menores incrementos são projetados para plantios em agosto (6% a 9%), conforme Tabela 6.

Tabela 6. Necessidade hídrica bruta (NHB) por ciclo de cultivo (mm) para o meloeiro (1961 a 1990) e projeções (2031 a 2060), épocas de plantio I, II e III.

NHB (mm) (mm ciclo ⁻¹)	1961 a 1990 - Base			2031 a 2060 - Inferior			2031 a 2060 – Superior		
	I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	III ⁽³⁾	I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	III ⁽³⁾	I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	III ⁽³⁾
Mínimo	93	136	152	109	155	196	144	152	180
Máximo	205	224	233	226	251	266	209	231	256
Média	166	200	205	185	218	233	176	212	228
Desvio Padrão	25	19	19	22	16	12	22	17	15
Mudanças (%)	–	–	–	11,4	9,0	13,7	6,0	6,0	11,2

Plantios em ⁽¹⁾01/07, ⁽²⁾01/08 e ⁽³⁾01/09.

Os mapas temáticos (Figura 6) apresentam NHB com amplitude de 93 mm a 233 mm por ciclo de cultivo para a climatologia de base e 109 mm a 266 mm para o período de 2031 a 2060. Uma leve redução na variabilidade espacial, ao longo da região, é também projetada no futuro, conforme indicam as medidas do desvio padrão (Tabela 6).

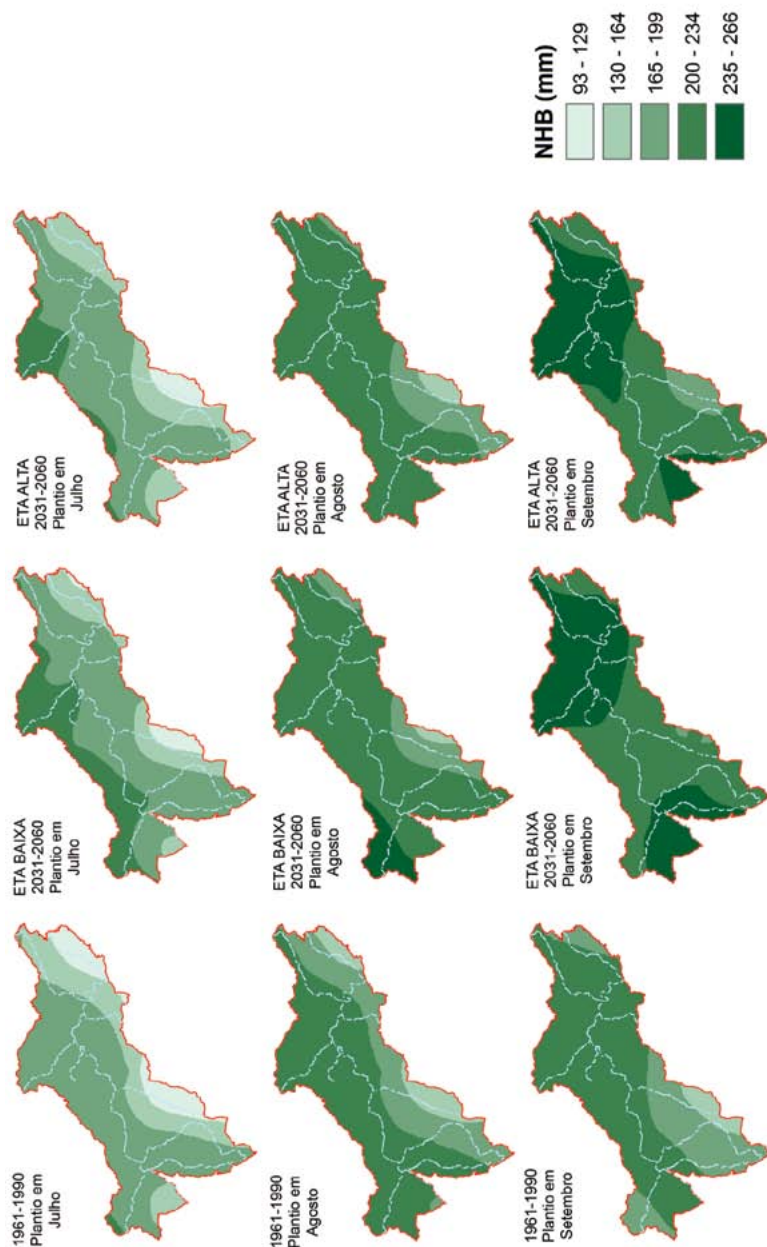


Figura 6. Necessidade hídrica bruta (NHB) por ciclo de cultivo (mm) para o meloeiro (1961 a 1990) e projeções (2031 a 2060), épocas de plantio I, II e III, na região do Submédio São Francisco, considerando os extremos superior e inferior, do conjunto de projeções do modelo regional (*ensemble*).

A elevação das necessidades de água para irrigação, em decorrência das mudanças climáticas, também foi prevista por Silva et al. (2007), utilizando projeções regionalizadas do modelo HadCM3 no Sri Lanka. Os autores projetaram aumento na demanda de água para irrigação de arroz em 2050, de 23% e 13%, em média, para os cenários A2 e B2, respectivamente. A projeção ocorreu principalmente em razão da redução da precipitação (-17% e -9%, cenários A2 e B2, respectivamente) durante a época de irrigação, embora tenha sido previsto um aumento da precipitação total anual pelo modelo, combinada com um aumento da evapotranspiração (2% e 1% para os cenários A2 e B2, respectivamente), decorrente do aumento da temperatura (1,4 °C e 1 °C para os cenários A2 e B2, respectivamente).

A mesma tendência foi verificada por Díaz et al. (2007), que estimaram para 2050, na bacia de Guadalquivir, Espanha, utilizando projeções do modelo HadCM3, elevações na média das necessidades hídricas de aproximadamente 19,3% e 16,3%, nos cenários A2 e B2, respectivamente, causadas principalmente pelo aumento da evapotranspiração (8,6% e 7,7%, cenários A2 e B2, respectivamente), e pela redução da precipitação na época de plantio (-6,7% e -0,5%, para os cenários A2 e B2, respectivamente), acompanhadas de um prolongamento do período anual de irrigação.

Adicionalmente, cabe comentar que os resultados das projeções realizadas neste estudo nada têm de absolutas, envolvendo incertezas, conforme comentadas por Jones et al. (2004), os quais alertam para as incertezas nos principais passos na avaliação de impactos de mudanças climáticas, por meio da aplicação de diferentes cenários. Embora ainda não possam ser quantificadas, podem ser apontadas como fontes de incertezas: a) o futuro das emissões; b) as concentrações futuras de gases de efeito-estufa; c) a resposta climática e a incerteza devido à variabilidade natural. Por outro lado, a realização desses tipos de estudo é válida para o delineamento de estratégias de adaptação antecipativas e não reativas, quando os impactos seriam mais danosos e até mesmo irreversíveis.

Conclusão e Recomendação

As mudanças climáticas, conforme o modelo e cenário utilizados, permitem projetar um aumento na evapotranspiração de referência e demanda de água para irrigação da cultura do meloeiro para todas as datas de plantio, em função de projeções na elevação das temperaturas máximas e mínimas, assim como redução na precipitação anual. Temperaturas mais elevadas resultam em elevação na evapotranspiração de referência e, conseqüentemente, no aumento na demanda de água para irrigação.

Projeta-se que o plantio em julho resulte em menor demanda média futura de água para irrigação, embora a menor elevação porcentual na demanda observada seja para os plantios em agosto. Considerando, então, o aspecto de demanda hídrica, o mês de julho pode ser recomendado para plantio, quando se visa menor consumo de água. No entanto, todos os demais aspectos relativos ao sistema de produção e comercialização do melão devem ser considerados para tomada de decisão sobre época ótima de plantio.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (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**, v. 100, n. 3/4, p. 337-350, 2010.

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**, v. 36, n. 2, p. 1-19, 2011.

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**, v. 7, n. 3, p. 149-159, 2007.

FAO. CROPWAT. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html>. Acesso em: 28 maio 2013.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; MEDEIROS, S. R.; TEIXEIRA, A. dos S.; FUCK, JUNIOR, S. C. de F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1657-1664, 2008.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; TEIXEIRA, A. dos S.; MEDEIROS, S. R. Impactos das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 594-600, 2011.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 6, p. 707-715, 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 scenarios using PRECIS**. Exeter: [s.d.], 2004. 39 p. (Met Office Hadley Centre).

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, n. 2, p. 259-268, 2007.

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**, 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**, v. 18, n. 1, p. 63-70, 1999.

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

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GR, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special report on emission scenarios. NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (Ed.). **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>> Acesso em: 03 jan. 2007.

NASA. SRTM. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 23 maio 2013.

ROCHA, E. da J. T.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK JUNIOR, S. C. de F.; GONDIM, R. S. Estimativa da ET_o pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agrônômica**, 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**, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.

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

TEIXEIRA, A. H. C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n.1, p.28-32, 2001.



Agroindústria Tropical

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

