

Metodologia para avaliação de impactos de mudanças climáticas na demanda de água para agricultura irrigada em nível de bacia hidrográfica

River basin scale irrigation water needs climate change impact assessment methodology

Rubens Sonsol Gondim^{1*}; Aline de Holanda Nunes Maia²;
Sílvio Roberto Medeiros Evangelista³

Resumo

Propomos uma metodologia para avaliação de impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação em nível de bacia hidrográfica, utilizando integração de modelos, na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Foi empregado o sistema integrado de modelagem regional *Providing Regional Climates for Impact Studies* (Precis), submetido ao método de redução de escala dinâmica, utilizando-se o modelo climático regional HadRM3P com as condições de contorno do modelo global HadAM3P, do Hadley Centre. Foi utilizado um conjunto de climatologia de base do modelo de 1961 a 1990 e de projeções climáticas futuras (2040) com resolução de 0,44° x 0,44°. As coordenadas geográficas da região em estudo foram consideradas para interpolação, num sistema de informação geográfica abrangendo área de 6.415,10 km². A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método simplificado de Penman-Monteith FAO, utilizando-se dados mínimos. O aumento da necessidade hídrica bruta média foi estimado em 33,62% e 37,87% respectivamente para o ano de 2040, conforme o cenário analisado (A2 e B2).

Termos para indexação: mudanças climáticas, irrigação, demanda hídrica.

¹ Embrapa Agroindústria Tropical, rubens.gondim@embrapa.br

² Embrapa Meio Ambiente, aline.maia@embrapa.br

³ Embrapa Informática Agropecuária, silvio.evangelista@embrapa.br

Abstract

We propose a river basin scale irrigation water needs climate change impact assessment methodology, using model integration on Jaguaribe river basin, Ceará, future scenarios derived from the Providing Regional Climates for Impacts Studies (Precis), using boundary conditions of the HadAM3P global circulation model submitted to a dynamic downscaling nested to the Hadley Centre regional circulation model HadRM3P. Monthly time series for average temperature and rainfall were generated for 1961-90 (baseline) and for the future (2040) with 0,44° x 0,44° resolution. Impacts were mapped over the target region by using geostatistics methods involving 6.415,10 km² area. An increase of the average irrigation water needs was estimated to be 33.62% e 37.87% higher for 2040 A2 and B2 scenarios, respectively.

Index terms: climate change, irrigation, water needs.

Introdução

A demanda hídrica está em constante incremento devido ao aumento populacional e desenvolvimento econômico. Temperaturas mais elevadas em decorrência de mudanças climáticas intensificam a evapotranspiração das plantas e, conseqüentemente, a demanda de água para irrigação. Os impactos das mudanças climáticas nas vazões e recarga de aquíferos variam regionalmente. As projeções de impactos, por sua vez, dependem dos cenários de emissão de gases de efeito estufa. A alteração da vazão dos cursos de água pode também resultar em alterações na qualidade da água. Assim, mudanças climáticas podem afetar substancialmente a quantidade e a qualidade de água requerida para irrigação, que depende de como a evaporação e precipitação irão se comportar (MCCARTH et al., 2001).

A demanda de água para agricultura, particularmente para irrigação, é considerada mais sensível às mudanças climáticas que as demandas industrial e municipal. Há dois efeitos potenciais: uma mudança do clima em escala de parcela irrigada pode alterar a necessidade e a época de irrigação. Secas prolongadas podem levar ao aumento de demanda, mas esta também pode ser reduzida se a precipitação e, conseqüentemente, a umidade do solo aumentar (MCCARTH et al., 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 Modelos de Circulação Global, largamente utilizados para simular cenários climáticos futuros, são geralmente inadequados para gerar projeções de mudanças climáticas em escalas locais. Binder (2006) recomendou 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.

A agricultura irrigada influencia diretamente na 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 fornecerá diretrizes para o desenvolvimento de políticas para redução de impactos e vulnerabilidades. Perdas sociais, econômicas e ambientais causadas por planejamento deficiente e ausência de critérios de decisão para definir medidas de mitigação e adaptação comprometeriam a equidade de acesso e sustentabilidade do uso da água.

Dentre os relevantes trabalhos de mudanças climáticas e impactos na demanda de água para irrigação citados neste trabalho, notadamente os de Rodríguez Díaz et al. (2007) e Silva et al. (2007), a metodologia aqui proposta difere das disponíveis na literatura especializada, devido à utilização de Modelo de Circulação Global submetido a técnicas de redução de escala dinâmica, aplicado em nível de bacia hidrográfica, considerando-se dados reais da área irrigada e da tecnologia empregada, assim como respectiva eficiência de aplicação de água na irrigação e o padrão de cultivo mensal da região e dados climáticos submetidos à correção de viés (GONDIM et al., 2012).

O objetivo desta publicação é discutir e apresentar uma abordagem metodológica para quantificação de impactos de mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação, em nível de bacia hidrográfica, integrando projeções de cenários climáticos futuros, um modelo de demanda hídrica e informações locais sobre culturas e métodos de irrigação.

Material e métodos

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 (SIG). A integração proposta possui o formato com fluxos de entradas e saídas, conforme Figura 1.

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 *Climatic Research Unit* (CRU) e da *baseline* do modelo regionalizado.

Um conjunto de dados composto de uma climatologia de base do modelo de 1961-1990 (*baseline*) e projeções climáticas para períodos de três décadas

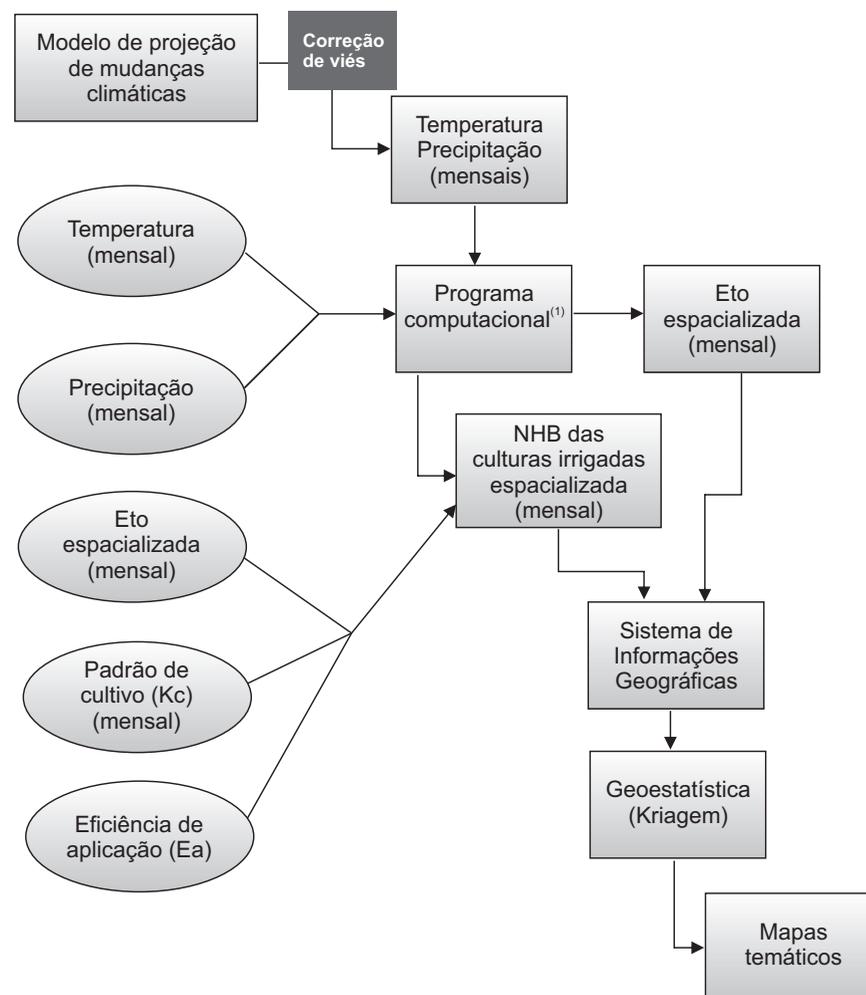


Figura 1. Esquema de integração de modelos para estimativa do de impactos das mudanças climáticas na demanda de água de irrigação.

(¹) Programa desenvolvido no ambiente *Statistical Analysis System* (SAS®)

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, assim, dados espacializados para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada.

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

A Figura 2 exemplifica os dados de saída do modelo (pontos). Os pontos representam centros de quadrículas com um valor médio de projeção para a

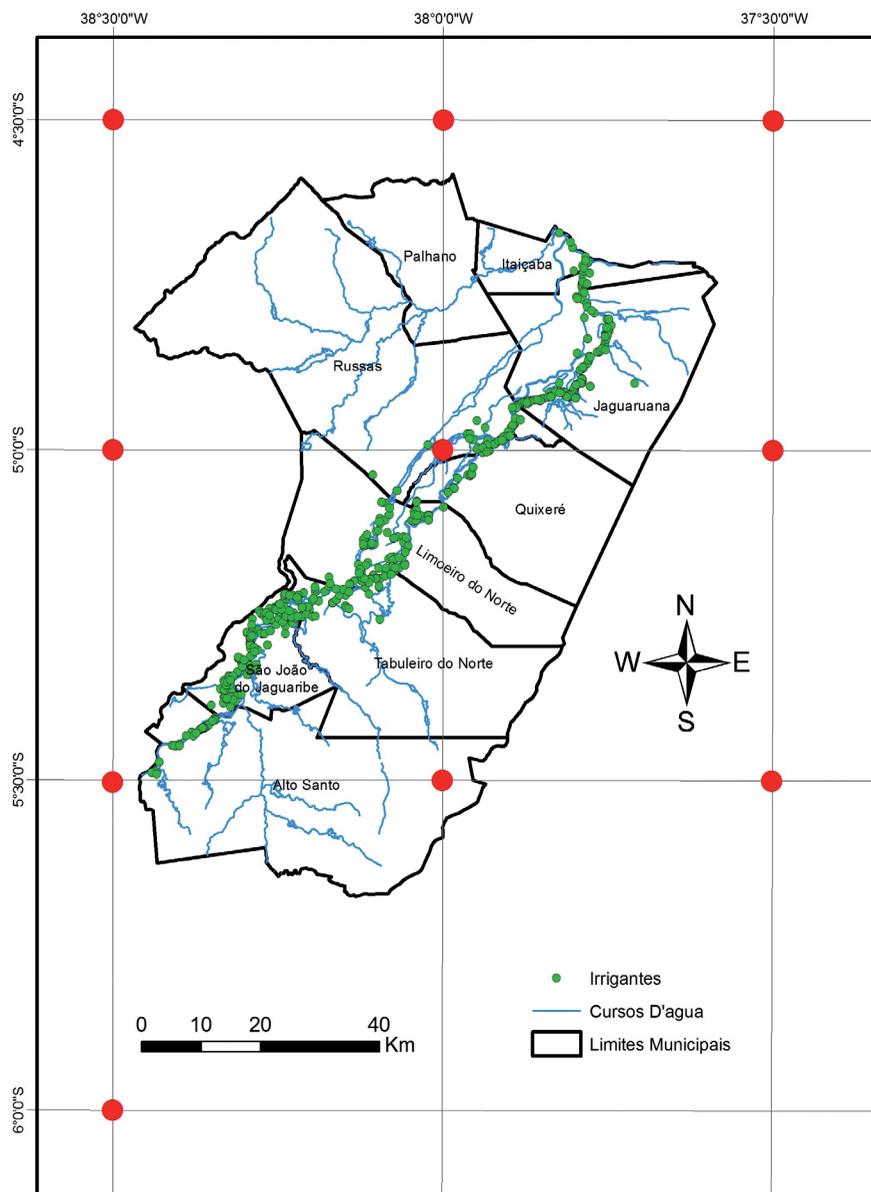


Figura 2. Mapa mostrando pontos utilizados para suavização por *krigagem* dos valores projetados das variáveis de interesse na área de estudo (domínio) na bacia do Jaguaribe, Ceará.

variável de interesse. Para facilitar a suavização dos dados, foram considerados alguns pontos fora do domínio, ultrapassando os limites da bacia.

A metodologia para estimar as necessidades de água da agricultura irrigada em nível de bacia foi utilizada por Knox et al. (1997) para a Inglaterra e País de Gales, por Tzanis e Naoum (2003) para a ilha de Creta, na Grécia, e por Victoria et al. (2005) para Santa Catarina (Brasil). Informações sobre o uso da terra permitem modelar a demanda volumétrica para irrigação. Os Sistemas de Informação Geográfica são utilizados para mapeamento da informação espacial dos dados meteorológicos e distribuição dos irrigantes, a fim de se estimar a demanda de irrigação, incorporando-se a variabilidade espacial e temporal das variáveis de demanda de água de irrigação, conforme realizado por George et al. (2004) no Uzbequistão e por Fortes et al. (2005) na Índia.

Na abordagem proposta, um modelo simples de balanço hídrico, utilizando precipitação e evapotranspiração mensal é aplicado, onde a demanda mensal de água para irrigação é estimada à medida que diferenças entre evapotranspiração das culturas e precipitação média mensal ocorrem. A evapotranspiração de referência (**ET_o**) é estimada, utilizando-se de dados espacializados da temperatura mensal (SILVA et al., 2007). Considerando-se a insuficiência de dados (disponibilidade apenas das temperaturas máxima e mínima), utiliza-se o modelo de Penman-Monteith FAO para estimativa da **ET_o** (**ET_oPM**) com dados limitados, conforme proposto por Allen et al. (1998). Metodologia similar foi empregada por Popova et al. (2006) na Bulgária e por Jabloun e Sahli (2008) na Tunísia. A evapotranspiração das culturas (**ET_c**) foi estimada como o produto entre a evapotranspiração de referência (**ET_oPM**) e o coeficiente de cultivo (**K_c**) para os diferentes estádios fenológicos, por meio da expressão apresentada por Doorenbos e Pruitt (1977):

$$ET_c = ET_o K_c \quad (1)$$

em que: **ET_c** - evapotranspiração da cultura, [L.T⁻¹];
ET_o - evapotranspiração de referência, [L.T⁻¹];
K_c - coeficiente de cultivo da cultura.

Considerando-se que esta metodologia busca quantificar a demanda de água para irrigação em escala de bacia e não para manejo de água em parcela irrigada, assume-se que no início das irrigações não haja *deficit* de umidade no solo (RODRÍGUEZ DÍAZ et al., 2007) e no cálculo da demanda máxima para irrigação pode-se empregar a precipitação mensal média e não a precipitação efetiva, conforme preconizado por Bernardo et al. (2005).

Os valores de coeficiente de cultivo (**K_c**) são utilizados de acordo com as durações dos estágios de desenvolvimento inicial, intermediário ou final das culturas identificadas na região. Eles podem ser extraídos de uma base de dados, disponível na página eletrônica da Embrapa Agroindústria Tropical¹ e em Allen et al. (1998).

¹ Disponível em: <<http://www.cnpat.embrapa.br/publicacoes/kc/index.php>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

A necessidade de água para irrigação é relacionada ao clima, à área irrigada, ao tipo de cultura, ao período de cultivo e à tecnologia de irrigação que está sendo utilizada, considerando-se a eficiência do sistema adotado. A necessidade de irrigação líquida - Necessidade Hídrica Líquida (NHL) é definida como a quantidade de água que deve ser adicionada ao solo para que as culturas possam utilizar na evapotranspiração, a uma taxa ótima (BERNARDO et al., 2005).

A necessidade hídrica líquida das culturas - definida como a quantidade de água adicional à umidade no solo - que as plantas cultivadas devem receber para se desenvolverem sem estresse hídrico (FISCHER et al., 2007) é dada pela equação:

$$\text{NHL} = \text{ETc} - \text{Kc} - \text{ppt mensal média} \quad (2)$$

em que: **NHL** - necessidade hídrica líquida [L.T⁻¹];

ppt mensal média - precipitação mensal média [L.T⁻¹].

Sendo a **NHL** igual à evapotranspiração da cultura (**ETc**), a Necessidade Hídrica Bruta (**NHB**) foi estimada pela Equação 3, com base na metodologia apresentada por Cuenca (1989), utilizando-se a precipitação média, em lugar da efetiva. A partir da **NHL** e variação da eficiência de aplicação final de irrigação, pode-se estimar a **NHB**, a qual pode ser considerada como a necessidade de água para as plantas, incluindo-se as perdas ocorridas na irrigação, escoamento superficial ou percolação profunda.

$$\text{NHB} = \frac{\text{NHL}}{\text{Ea}} \quad (3)$$

NHB é a necessidade hídrica bruta [L3.T⁻¹].

Define-se um coeficiente de cultivo (**Kc**) mensal ponderado para a área total, correspondente à média ponderada dos **Kcs** de cada cultura, utilizando, como pesos, as respectivas áreas das culturas irrigadas e uma eficiência de aplicação mensal ponderada considerando os sistemas de irrigação em operação, correspondente à média ponderada das eficiências de cada sistema utilizando como peso as respectivas áreas dos sistemas de irrigação adotados.

Um exemplo de padrão temporal de cultivo das culturas irrigadas (anuais e perenes), em escala mensal, na bacia, é apresentado na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta exemplo de tipologia da agricultura irrigada praticada em determinada região, apresentando todas as áreas, as culturas irrigadas na bacia e os respectivos sistemas de irrigação adotados.

O padrão de cultivo mostra larga variabilidade de culturas irrigadas na área do estudo. A Tabela 3 apresenta a informação da área efetivamente irrigada em cada mês, o coeficiente de cultivo (**Kc**) mensal ponderado pela área de cada cultura irrigada e a eficiência de irrigação mensal ponderada pela área de cada sistema de irrigação adotado. Pode-se observar que a eficiência de irrigação ponderada varia de 0,62 (julho e novembro) a 0,71 (abril), quando

Tabela 1. Padrão temporal de cultivo mensal das culturas irrigadas.

Culturas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Açaí	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Acerola	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Algodão								X	X	X	X	X
Ata	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arroz							X	X	X	X	X	
Banana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caju	X				X	X	X	X	X	X	X	X
Cana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capim de pisoteio	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Citrus	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Coco	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Feijão-de-corda							X	X		X	X	
Figo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capim de corte	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Goiaba	X				X	X	X	X	X	X	X	X
Hortaliças	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mandioca									X	X	X	X
Mamão	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Manga	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Maracujá	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Melancia								X	X	X		
Melão								X	X		X	X
Milho (grão)								X	X	X	X	
Milho (verde)								X	X	X		
Ornamentais	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pimenta								X	X	X	X	X
Pimentão									X	X	X	X
Sapoti	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Soja							X	X	X	X		
Sorgo								X	X	X	X	
Tomate								X	X	X	X	
Uva	X				X	X	X	X	X	X	X	X

Elaborada a partir de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. Fonte: Cogerh (2008).

a área de irrigação por inundação apresenta-se mínima (em torno de 110 ha).

Já a área irrigada variou de 1.163,3 ha no mês de março para um máximo de 5.956,6 ha no mês de outubro. O coeficiente de cultivo ponderado varia desde 0,87 (outubro), alcançando máximo de 1,11 e 1,10 em março e abril, quando se pratica irrigação complementar, basicamente em culturas perenes.

Tabela 2. Tipologia da agricultura irrigada (culturas, sistemas de irrigação e área máxima irrigada ao longo do ano).

Culturas	Sistemas de irrigação e área (ha)					Área total (ha)
	Inundação	Sulcos	Aspersão	Localizada	Pivot	
Açaí	-	-	-	9,00	-	9,00
Acerola	-	-	-	78,00	-	78,00
Algodão	-	-	-	-	275,00	275,00
Ata	1,50	4,20	-	96,70	15,75	118,15
Arroz	1.397,30	10,00	-	-	-	1.407,30
Banana	92,80	61,45	5,30	748,05	15,75	923,35
Caju	-	0,50	0,75	17,75	-	19,00
Cana	14,30	-	-	-	25,00	39,30
Capim de pisoteio	207,05	56,42	44,25	3,00	225,00	535,72
Citrus	53,75	44,35	-	3,50	-	101,60
Coco	2,45	1,20	1,80	93,50	-	98,95
Feijão-de-corda	63,50	131,40	509,05	48,25	125,00	877,20
Figo	-	-	-	0,50	-	0,50
Capim de corte	11,50	2,25	4,50	-	-	18,25
Goiaba	8,65	4,20	1,00	113,70	-	127,55
Hortaliças	-	-	4,50	-	-	4,50
Mandioca	0,95	-	0,50	-	-	1,45
Mamão	0,50	-	-	4,70	-	5,20
Manga	-	0,90	-	135,00	-	135,90
Maracujá	-	-	0,50	0,20	-	0,70
Melancia	-	2,50	2,00	31,25	-	35,75
Melão	-	2,50	-	120,50	-	123,00
Milho (grão)	5,90	10,30	16,05	15,00	275,00	322,25
Milho (verde)	-	-	-	-	300,00	300,00
Ornamentais	-	-	0,50	4,00	-	4,50
Pimenta	0,80	-	-	-	-	4,80
Pimentão	-	-	-	16,70	-	16,70
Sapoti	-	0,50	-	7,50	-	8,00
Soja	-	-	-	275,00	-	275,00
Sorgo	-	-	-	20,00	50,00	70,00
Tomate	-	-	-	0,50	-	0,50
Uva	-	-	-	19,50	-	19,50
Total	1.860,95	332,67	590,70	1.865,80	1.306,50	5.956,62

Elaborada a partir de dados da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará.

Fonte: Cogeh (2008).

Tabela 3. Área irrigada, coeficientes de cultivo (Kc) ponderados pela área de cada cultura irrigada e eficiências médias ponderadas pela área de cada método de irrigação adotado, em cada mês.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
Área irrigada (ha)	2.247,7	2.247,7	1.163,3	1.281,5	2.247,7	2.247,7
Kc ponderado	0,94	0,94	1,11	1,10	0,94	0,94
Ea final ponderada	0,67	0,67	0,70	0,71	0,67	0,67

	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Área irrigada (ha)	4.807,2	5.939,9	5.079,4	5.956,6	5.345,9	2.668,6
Kc ponderado	0,98	0,98	0,94	0,87	0,90	0,92
Ea final ponderada	0,62	0,63	0,63	0,63	0,62	0,67

Os valores da evapotranspiração de referência média mensal (mm), segundo Penman-Monteith FAO, estimados com dados mínimos, para a climatologia de base do modelo (1961-90) e projeções futuras, cenários A2 e B2, podem ser apresentados em termos de mínimos, máximos, média e desvio padrão. A diferença entre as condições iniciais e projetada pode ser observada por meio dos totais anuais.

Resultados obtidos

Aqui, apresenta-se, como exemplo, um estudo de caso na Bacia do Jaguaribe, onde se projetou uma elevação média da evapotranspiração anual de 216 mm e 190 mm (12,6% e 11,1%) para os cenários A2 e B2, respectivamente, passando, em 2040, de 1.719 mm para 1.935 mm e 1.909 mm anuais, respectivamente.

Um incremento médio de 533 mm e 564 mm (33,62% e 37,87%) nas necessidades hídricas anuais das culturas em relação à climatologia de base do modelo foi projetado para 2040, cenários A2 e B2, respectivamente (Tabela 4 e Figura 3), observando-se maiores níveis, na zona costeira.

Tabela 4. Estatísticas descritivas dos incrementos da demanda anual de água para irrigação (mm) na área de domínio localizada na Bacia do Rio Jaguaribe, Ceará.

Estatísticas	Cenários	
	2040A2	2040 B2
Mínimo	437	462
Máximo	921	914
Média	543	564
Desvio Padrão	76	75

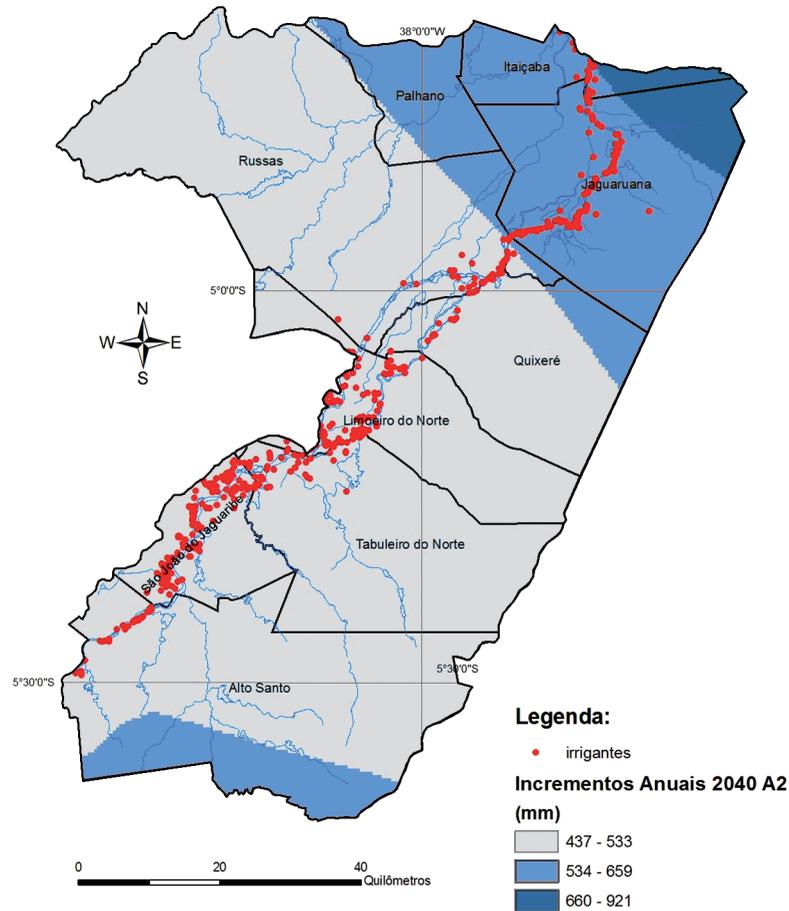


Figura 3. Exemplo de mapa temático das projeções dos incrementos anuais na Necessidade Hídrica Bruta (NHB, mm), para o ano de 2040, cenário A2, na área de domínio localizada na Bacia do Rio Jaguaribe, Ceará.

Conclusão

A utilização de modelo de mudanças climáticas submetido à redução de escala dinâmica, integrado a um sistema de informação geográfica, mostra-se como uma ferramenta adequada para estimativa de impactos em escala menor que global ou continental, ou seja, em nível de bacia hidrográfica. Torna possível a quantificação de diferenças percentuais entre climatologia de base e projetada, bem como a elaboração de mapas dessas diferenças. A agricultura irrigada da região estudada pode tornar-se mais intensa em demanda de

água, uma vez que o modelo utilizado prevê aumento nas necessidades de água para irrigação, resultante da combinação de tendências de aumento na evapotranspiração e redução na precipitação, sem considerar o aumento das áreas irrigadas. A capacitação dos irrigantes e adequação dos sistemas de irrigação poderão, desta forma, desempenhar importante papel na prevenção de escassez de água na região, em função de impactos de mudanças climáticas, podendo constituir importante fator de mitigação e adaptação.

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).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.
- BINDER, L. C. W. Climate change and watershed planning in Washington State. **Journal of the American Water Resources Association**, Hendon, v. 42, n. 4, p. 915-926, Aug. 2006.
- COGERH. **Cadastro de Outorga**: 2008. Fortaleza, 2008. 1 CD-ROM.
- CUENCA, R. H. Crop water requirements. In: CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1989. p.173.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FISCHER, G.; TUBIELLO, F. N.; VELTHUIZEN, H. V.; WIBERG, D. A. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2008. **Technological Forecasting & Social Change**, New York, v. 74, n. 7, p. 1083-1107, 2007.
- FORTES, P. S.; PLATONOV, A. E.; PEREIRA, L. S. GISAREG – a GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, n. 1-3, p. 159-179, Aug. 2005.
- GEORGE, B. A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Development and testing of a GIS integrated irrigation scheduling model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 66, n. 3, p. 159-179, May, 2004.
- GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; MAIA, A. de H. N.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK JUNIOR, S. C. de F. Climate change impacts on irrigation water needs in the Jaguaribe River Basin. **Journal of the American Water Resources**, Herndon, v. 48, n. 2, p. 355-365, Apr. 2012.
- 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.
- KNOX, J. W.; WEATHERHEAD, E. K.; BRADLEY, R. I. Mapping the total volumetric irrigation water requirements in England and Wales. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 1-18, May, 1997.

MCCARTH, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, A. N.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Ed.). **Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability**. New York: Cambridge University Press, 2001. 1032 p. Contribution of working group II to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change.

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, Apr. 2006.

RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; 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, May, 2007.

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, Oct. 2007.

TSANIS, I. K.; NAOUM, S. The effect of spatially distributed meteorological parameters on irrigation water demand assessment. **Advances in Water Resources**, Southampton, v. 26, n. 3, p. 311-324, Mar. 2003.

VICTORIA, F. B.; VIEGAS FILHO, J. S.; PEREIRA, L. S.; TEIXEIRA, J. L.; LANA, A. E. Multi-scale modeling for water resources planning and management in rural basins. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 4-20, Aug. 2005.