

RBRH

Revista Brasileira de Recursos Hídricos

ABR/JUN 2011

VOLUME

16

NÚMERO 2

Editores:

Márcio Benedito Baptista

Antonio M. Riguetto

Cristóvão S. Fernandes

Edson Wendland

Jaime Joaquim P. Cabral

João Batista Dias de Paiva

José Nilson Campos

Jussara Cabral Cruz

Mário Thadeu L. de Barros

Sérgio Koide

RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Vol.16, n.2 (2011)
Porto Alegre/RS: ABRH, 2007

Trimestral

Substitui a RBE: Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos (1982-1995) que substitui a Revista Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos (1978-1981).

ISSN 1414-381X

1. Recursos hídricos - periódicos I. Associação Brasileira de Recursos Hídricos
CDU 556 (050)
CDD 551.48

Impacto das Mudanças Climáticas na Evapotranspiração em Nível de Bacia Hidrográfica Utilizando um Sistema de Informações Geográficas

Rubens Sonsol Gondim, Sérgio César de França Fuck Júnior, Sílvio Roberto Medeiros Evangelista

Embrapa Agroindústria Tropical / Embrapa Informática Agropecuária
rubens@cnpat.embrapa.br; sergiofuck@cnpat.embrapa.br; silvio@cnptia.embrapa.br

Marco Aurélio Holanda de Castro, Adunias dos Santos Teixeira

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Departamento de Engenharia Agrícola/UFC
marco@ufc.br; adunias@ufc.br

Recebido: 29/07/08 - revisado: 23/12/10 - aceito: 23/05/11

RESUMO

As mudanças climáticas têm potencial de alterar os processos do ciclo hidrológico, tais como precipitação que afeta o escoamento superficial, temperatura e umidade relativa que possuem estreita relação com evaporação e vazão em corpos hídricos e evapotranspiração das plantas. Um conjunto de dados composto de uma baseline (climatologia de base) do modelo de 1961-1990 e projeções climáticas foram rodados (anos de 2025 a 2055, representadas pelo ano de 2040). Os dados foram então extraídos, considerando-se as coordenadas geográficas da região em estudo, com resolução de $0,44^\circ \times 0,44^\circ$, gerando-se então, as quadrículas para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada, através de dados da temperatura média mensal. O objetivo do presente trabalho foi analisar os impactos das mudanças climáticas na temperatura, precipitação e evapotranspiração de referência, considerando-se cenários de mudanças climáticas em escala local em nível de bacia hidrográfica (rio Jaguaribe, no trecho compreendido entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, evapotranspiração, Jaguaribe.

INTRODUÇÃO

A demanda hídrica está em constante incremento devido ao aumento populacional e desenvolvimento econômico. Temperaturas mais elevadas causam maior demanda para evapotranspiração das plantas e a tendência seria em direção a um incremento da demanda de água para irrigação. Desta forma, mudança climática é uma outra fonte de incremento para demanda de água. Mudança climática pode substancialmente afetar a retirada de água para irrigação, a qual depende de como a evaporação e precipitação irão se comportar (IPCC, 2001). Döll (2002) citado por Fischer et al. (2007) encontrou que mudanças na precipitação, combinadas com elevação na evapotranspiração aumenta as necessidades hídricas da irrigação.

A bacia hidrográfica do Jaguaribe ocupa uma área de 74.621km^2 , cerca de 48% do território cearense, (estando subdividida em cinco sub-bacias:

Salgado, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe e Banabuiú).

Os principais usos de água na região em estudo, por ordem de volume requerido de água, são irrigação (72,94%), carcinicultura de água doce (22,64%), consumo humano (2,87%), piscicultura (0,97%) e consumo industrial (0,59%). (Figueiredo et al., 2003).

Moncunill (2006) investigou a tendência de precipitação no Estado do Ceará utilizando séries de precipitação do período de 1961 a 2003. Encontrou redução na precipitação de $5,3\text{ mm.ano}^{-1}$, no total de chuva do semestre janeiro-junho. No total mensal, os meses apresentaram tendência negativa, exceto para o mês de janeiro. Realizou simulação numérica com o modelo regional RSM 97 acoplado com o Modelo de Circulação Global ECHAM4.5 sendo forçado exclusivamente pelas TSM (Temperaturas da Superfície do Mar) observadas. Demonstrou capturar bem a tendência para redução de precipitação e concluiu que a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) possuiu uma tendência de ficar mais

deslocada para o norte durante a quadra chuvosa do Nordeste do Brasil. A principal causa da tendência da redução da precipitação foi provocada pela alteração das Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), em particular as tendências de aquecimento da TSM na região do El-Niño e na bacia norte do Atlântico tropical, entre outras áreas.

Binder (2006) recomendou detalhar mais os cenários disponíveis de mudanças climáticas para a escala de bacia hidrográfica, utilizando-se ainda modelos hidrológicos, a fim de se estudar impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos.

O objetivo do presente trabalho foi analisar os impactos das mudanças climáticas na temperatura, precipitação e na evapotranspiração de referência, considerando-se cenários de mudanças climáticas em escala local, em nível de bacia hidrográfica (rio Jaguaribe, Ceará, no trecho compreendido entre as barragens do Castanhão e de Itaiçaba).

METODOLOGIA

A área de domínio foi delimitada entre 4°39'30" e 4°40'00" de latitude sul e 37°35'30" e 38°27'00" de longitude oeste, ocupando uma área de 6.415,10 km².

No presente estudo foi utilizado o sistema integrado de modelagem regional PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*), versão 1.2 (Jones et al., 2004), utilizando as condições de contorno do Modelo Climático Global, HadAM3, acoplado ao Modelo Climático Regional (HadRM3), através da técnica dinâmica de redução de escala (*downscaling*), implementado no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foi utilizado o período 1961-1990 para climatologia do modelo. Valores do HadRM3 são gerados a cada 6 horas na resolução espacial do modelo global. O *Hadley Centre* usa, para gerar o clima do presente (1961-1990) temperaturas da superfície do mar (TSM) e gelo (a cada 1 grau) usado pela componente atmosférica do modelo HadCM3 e que logo passa a ser as condições laterais para as simulações do HadRM3. Para os cenários futuros, as TSMs e gelo derivadas da simulação da componente oceânica do modelo global HadCM3, é que são somadas aos campos médios observados de TSM (1961-90) para forçar os modelos globais e regionais.

O modelo regional HadRM3 possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera), e 4 níveis no solo. A resolução espacial é de 0,44° x 0,44° lat/long, o que corresponde a uma grade de 50 km.

Para fins de mudança climática, o modelo usa uma representação do ciclo de sulfato e de alguns outros aerossóis. Maiores detalhes das principais características HadRM3P (HadRM3 simulado no sistema PRECIS) implementado no CPTEC são descritos por Ambrizzi et al. (2007); Alves (2007).

O sistema PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) é um sistema de modelagem regional que foi desenvolvido no *Hadley Centre*, Inglaterra, devido à crescente demanda dos países que necessitavam gerar cenários climáticos regionais com alta resolução espacial de forma relativamente barata e simples. Atualmente, o sistema PRECIS já é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em vários países, a exemplos da Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Maiores detalhes acerca do sistema PRECIS pode ser obtido em Jones et al., (2004) e no seguinte endereço eletrônico: <http://www.precis.org.uk/>.

Um conjunto de dados composto de uma *baseline* (climatologia de base) do modelo de 1961-1990 e projeções climáticas para todo o Brasil foram rodados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-CPTEC (Alves, 2007). Dados de dez pontos foram então extraídos, considerando-se as coordenadas geográficas da região em estudo, com resolução de 0,44° x 0,44°, gerando-se então, as quadrículas para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada. Foram estimados 10 dados pela modelagem regional, não envolvendo medições de estações meteorológicas.

A climatologia de base ou de referência (condições iniciais) pode ser definida como aquela através da qual a mudança climática é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância. A escolha da climatologia de base e cenários podem fortemente influenciar nos resultados de estudos de impactos de mudanças climáticas. Um dos critérios de validação do Modelo de Circulação Global é a avaliação de sua *performance* em simular o clima presente na região. Isto pode ser realizado comparando-se a climatologia de base do modelo com dados da região, determinando-se assim, a habilidade do modelo climático em simular padrões de circulação (Carter et al., 2007).

Alves (2007) relatou que o modelo simula razoavelmente bem a variabilidade espacial e temporal da temperatura, assim como o ciclo anual de precipitação sobre o Nordeste do Brasil com boa concordância (baixa precipitação durante os meses secos e elevados níveis de precipitação durante os meses chuvosos), motivo pelo qual, não foi aplicada correção de viés. Alves (2007) verificou, porém, um

deslocamento para direita no pico de chuva, ao longo dos meses do ano.

Considerou-se os cenários A2 e B2 de mudanças climáticas definidos no *Special Report on Emission Scenarios – SREs* (Nakicenovic et al. 2000), os quais estabeleceram uma família de cenários, sendo os básicos:

A1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB muito elevado, elevado consumo de energia, baixa mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos alta a média, rápido desenvolvimento tecnológico, energia fóssil e balanceada;

A2: alto crescimento populacional, crescimento do PIB médio, elevado consumo de energia, média a alta mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos baixa, lento desenvolvimento tecnológico, energia regional;

B1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB elevado, baixo consumo de energia, alta mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos baixa, médio desenvolvimento tecnológico, eficiência e desmaterialização energética;

B2: médio crescimento populacional, crescimento do PIB médio, médio consumo de energia, média mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos média, médio desenvolvimento tecnológico, dinâmica energética como a usual.

Considerando-se que para o setor de irrigação na área do estudo, mudanças concretas estão sendo esperadas para os próximos 30 anos, sendo as mesmas: operacionalização total do Projeto Tabuleiro de Russas com incremento da área irrigada em 10.600 ha e incorporação de mais 2.500 ha irrigados no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (Ceará, 2008), o horizonte temporal de interesse para avaliação dos impactos das mudanças climáticas considerado foi o período 2025 a 2055, centrado em 2040.

Desta forma, os valores projetados foram analisados através das médias do período de tempo futuro de 30 anos, as quais representam sua climatologia, ou seja, o ano de 2040 representa neste trabalho, a climatologia do período de 2025 a 2055.

Os dados de saída do modelo (temperatura e precipitação) foram analisados quanto a sua variabilidade espacial, considerando-se a latitude/ longitude, utilizando-se geoestatística (krigagem) associada a um sistema de informação geográfica.

A krigagem é um método geoestatístico utilizado para determinação do melhor estimador linear não tendencioso. Linear porque suas estimativas são ponderadas com combinação linear dos dados disponíveis. Não tendencioso, uma vez que tenta ter o resíduo ou erro igual a zero e melhor porque ob-

jetiva a minimização da variância dos erros. O erro da estimativa é definido como a diferença entre o valor estimado e a variável aleatória modelando o valor verdadeiro. O valor esperado do erro numa localização particular é geralmente referido como a tendência. Igualando-se este valor a zero pode-se assegurar resultados não tendenciosos. A distância não é geométrica e sim uma distância estatística (o que distingue a krigagem do método do inverso do quadrado da distância). As equações utilizadas na krigagem, assim como detalhes do modelo matemático podem ser encontrados em Isaak & Srivastava (1989).

Alves et al., (2007) empregou a metodologia de análise geoestatística para descrever a variabilidade temporal da precipitação pluvial ao longo dos anos, no município de Juiz de Fora – MG, no período de 2000 a 2099, referentes a cenários futuros de mudanças climáticas. A mesma metodologia foi empregada no Sri Lanka por Silva et al. (2007) e na bacia do Guadalquivir, Espanha por Díaz et al. (2007).

O efeito do clima nas necessidades hídricas das culturas irrigadas é dado pela evapotranspiração de referência (ET_o). O painel de experts da FAO recomendou a adoção da combinação do método de Penman-Monteith e ficou conhecido como o método FAO Penman-Monteith, válido globalmente como padrão para cálculo das necessidades hídricas das culturas (Allen et al., 1998). Em situações onde se disponha apenas de temperatura do ar pode-se aplicar a equação de Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977) que originalmente emprega apenas temperatura e percentagem de horas diurnas:

$$ET_o = p(0,46T + 8,13) \quad (2)$$

sendo: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm.mês⁻¹); T é a temperatura média mensal (°C); p é a percentagem de horas diurnas ao mês em relação ao total anual (%); (Tabela 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores das projeções da temperatura média mensal (°C) para os anos de 2040, em relação à climatologia de base do modelo (1961-1990), cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão. A dife-

Tabela 1 – Projeções da temperatura média mensal (mm) para o anos de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão.

| | Jan | Fev | Mar | Abril | Maio | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1960-90 | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 26,3 | 26,0 | 25,0 | 24,0 | 25,0 | 25,1 | 25,1 | 25,9 | 25,8 | 26,0 | 26,8 | 26,9 |
| Máximo | 28,2 | 27,4 | 27,0 | 27,1 | 27,0 | 27,0 | 28,0 | 29,0 | 30,0 | 30,1 | 30,2 | 30,0 |
| Média | 27,5 | 26,8 | 26,2 | 25,9 | 26,2 | 26,6 | 26,9 | 27,5 | 28,1 | 28,6 | 28,8 | 28,3 |
| Desvio Padrão | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,8 |
| 2040 A2 | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 26,8 | 26,8 | 26,5 | 27,1 | 27,1 | 27,0 | 26,1 | 26,1 | 25,7 | 25,7 | 26,8 | 26,8 |
| Máximo | 30,1 | 30,1 | 29,0 | 28,9 | 28,7 | 29,0 | 29,9 | 29,9 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Média | 28,8 | 28,8 | 28,0 | 28,3 | 28,0 | 28,4 | 28,5 | 28,5 | 28,7 | 28,7 | 29,4 | 29,0 |
| % | 4,7 | 7,5 | 6,9 | 9,3 | 6,9 | 6,8 | 5,9 | 3,6 | 2,1 | 0,3 | 2,1 | 2,5 |
| Desvio Padrão | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,0 |
| 2040 B2 | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 26,5 | 26,4 | 25,6 | 25,8 | 27,4 | 26,5 | 26,2 | 25,9 | 25,8 | 25,9 | 26,3 | 26,5 |
| Máximo | 29,6 | 29,5 | 28,3 | 27,7 | 28,2 | 28,8 | 29,1 | 29,7 | 30,1 | 30,7 | 30,8 | 30,1 |
| Média | 28,4 | 28,6 | 27,6 | 27,1 | 27,8 | 28,1 | 27,9 | 28,2 | 28,3 | 30,0 | 29,0 | 28,7 |
| % | 3,3 | 6,7 | 5,3 | 4,6 | 6,1 | 5,6 | 3,7 | 2,5 | 0,7 | 4,9 | 0,7 | 1,4 |
| Desvio Padrão | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 0,9 |

rença entre as condições iniciais e 2040 pode ser observada, através da porcentagem. A Figura 1 apresenta comparação gráfica. Os maiores aumentos de temperatura média para o ano de 2040 estão previstas para os meses de abril no cenário A2 (2,4 ° C) e fevereiro em ambos os cenários (2,0 ° C no A2 e no 1,8 ° C no B2).

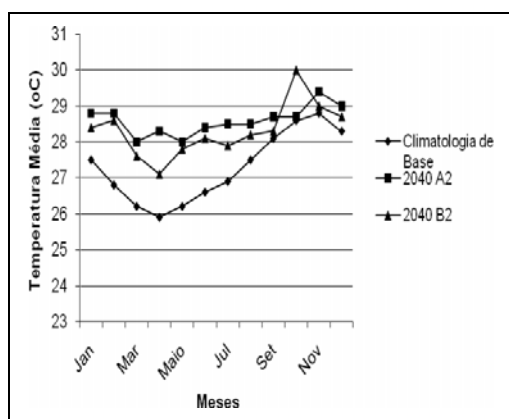


Figura 1 – Temperatura média mensal da climatologia de base do modelo (1961-1990) e 2040 A2 e B2.

A Tabela 2 e Figura 2 apresentam os valores das projeções na precipitação média mensal (mm) para a climatologia de base do modelo (1961-1990) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como

mínimos, máximos , média e desvio padrão, após a krigagem dos dados sobrepostos na área do estudo. O modelo climático aplicado prevê, para o ano de 2040, redução na precipitação, sendo de 25,8% e 34% para o cenário A2 e 17,7% e 36,2% para o cenário B2, na precipitação nos meses de março e abril, respectivamente (meses de maior precipitação, ao longo do ano), em relação a 1961-1990. Com relação ao total médio anual a precipitação prevista cai de 820 mm anual para 567 mm e 514 mm em 2040, cenários A2 e B2, respectivamente.

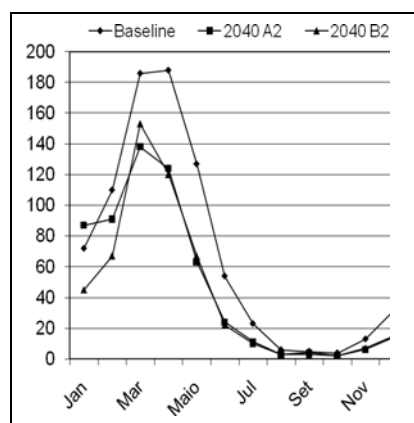


Figura 2 - Projeções da precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2.

Tabela 2 – Projeções da precipitação mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média e desvio padrão observados.

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Anual |
|----------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------------|
| 1960-90 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 39 | 76 | 162 | 137 | 69 | 22 | 8 | 0 | 0 | 0 | 6 | 16 | |
| Máximo | 187 | 200 | 224 | 380 | 400 | 300 | 195 | 101 | 49 | 40 | 50 | 95 | |
| Média | 72 | 110 | 186 | 188 | 127 | 54 | 23 | 6 | 5 | 4 | 13 | 32 | 820 |
| Desvio Padrão | 28 | 25 | 12 | 47 | 57 | 39 | 25 | 11 | 6 | 5 | 7 | 14 | |
| 2040 A2 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 52 | 57 | 105 | 76 | 37 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | |
| Máximo | 144 | 147 | 195 | 248 | 178 | 172 | 124 | 50 | 36 | 22 | 21 | 41 | |
| Média | 87 | 91 | 138 | 124 | 63 | 24 | 11 | 3 | 4 | 2 | 6 | 14 | 567 |
| % | 20,8 | - | - | - | - | -55,6 | - | - | -20,0 | - | -53,8 | -56,3 | |
| | | 17,3 | 25,8 | 34,0 | 50,4 | | 52,2 | 50,0 | | 50,0 | | | |
| Desvio Padrão | 21 | 20 | 19 | 34 | 26 | 20 | 12 | 5 | 6 | 3 | 3 | 6 | |
| 2040 B2 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 26 | 40 | 110 | 77 | 40 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | |
| Máximo | 116 | 135 | 219 | 303 | 229 | 148 | 133 | 55 | 40 | 18 | 20 | 47 | |
| Média | 45 | 67 | 153 | 120 | 67 | 22 | 10 | 3 | 3 | 2 | 7 | 15 | 514 |
| % | - | - | - | - | - | -59,3 | - | - | -40,0 | - | -46,2 | -53,1 | |
| | 37,5 | 39,1 | 17,7 | 36,2 | 47,2 | | 56,5 | 50,0 | | 50,0 | | | |
| Desvio Padrão | 18 | 19 | 25 | 37 | 30 | 18 | 13 | 6 | 5 | 3 | 3 | 7 | |

A Tabela 3 e Figura 3 apresentam os valores das projeções da evapotranspiração de referência média mensal (mm) para a climatologia de base do modelo (1961-1990) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão. A diferença entre as condições iniciais e 2040 pode ser melhor observada através dos totais anuais. A Figura 3 apresenta comparação gráfica. Projetou-se uma elevação da evapotranspiração média anual de 124 mm e 106 mm (6,2 e 5,3%) para os cenários A2 e B2, respectivamente, passando de 2.005 mm para 2.129 e 2111 mm anuais em 2040. As Figuras 4 e 5 apresentam a distribuição dos incrementos (diferenças) projetados ao longo da área de domínio, em relação à climatologia de base.

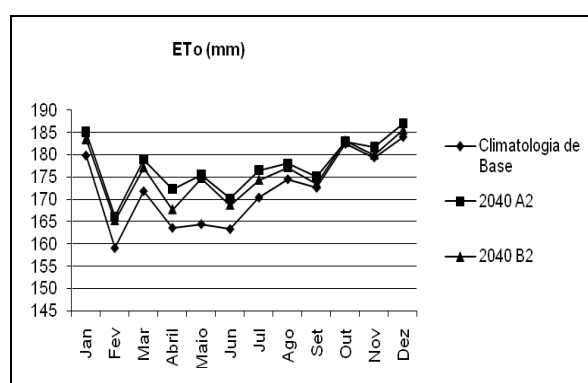


Figura 3 - Projeções da evapotranspiração mensal (mm) para climatologia de base do modelo e o ano de 2040, cenários A2 e B2.

Tabela 3 – Projeções da evapotranspiração – ETo mensal (mm) para o ano de 2040, cenários A2 e B2 – mínimos, máximos, média, desvio padrão e o total anual (mm).

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Anual |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 1960-90 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 176 | 156 | 167 | 156 | 164 | 156 | 163 | 104 | 164 | 172 | 172 | 178 | |
| Máximo | 183 | 161 | 175 | 168 | 172 | 165 | 174 | 116 | 180 | 188 | 185 | 191 | |
| Média | 180 | 159 | 172 | 164 | 164 | 163 | 170 | 115 | 173 | 182 | 179 | 184 | 2.005 |
| Desvio Padrão | 1,72 | 0,72 | 2,09 | 2,85 | 2,02 | 1,59 | 2,4 | 3,63 | 4,04 | 4,38 | 4,12 | 3,07 | |
| 2040 A2 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 177 | 159 | 173 | 168 | 172 | 165 | 167 | 169 | 164 | 171 | 172 | 178 | |
| Máximo | 190 | 171 | 183 | 175 | 178 | 172 | 182 | 183 | 184 | 192 | 188 | 195 | |
| Média | 185 | 166 | 179 | 172 | 175 | 170 | 176 | 178 | 175 | 183 | 182 | 187 | 2.129 |
| % | 2,9 | 4,4 | 4,1 | 5,3 | 6,7 | 4,2 | 3,6 | 61,6 | 1,4 | 0,3 | 1,3 | 1,6 | 6,2 |
| Desvio padrão | 3,60 | 3,20 | 2,08 | 1,25 | 1,30 | 1,98 | 2,91 | 2,93 | 4,86 | 5,07 | 4,86 | 4,13 | |
| 2040 B2 | | | | | | | | | | | | | |
| Mínimo | 176 | 157 | 169 | 163 | 173 | 163 | 168 | 168 | 164 | 172 | 170 | 177 | |
| Máximo | 188 | 169 | 180 | 170 | 176 | 171 | 179 | 183 | 180 | 191 | 187 | 191 | |
| Média | 183 | 165 | 177 | 168 | 175 | 169 | 174 | 177 | 174 | 183 | 180 | 186 | 2.111 |
| % | 2,0 | 3,9 | 3,1 | 2,5 | 6,3 | 3,3 | 2,3 | 60,9 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 5,3 |
| Desvio padrão | 3,05 | 2,51 | 0,88 | 1,57 | 0,29 | 1,84 | 2,8 | 3,80 | 4,25 | 4,86 | 4,56 | 3,80 | |

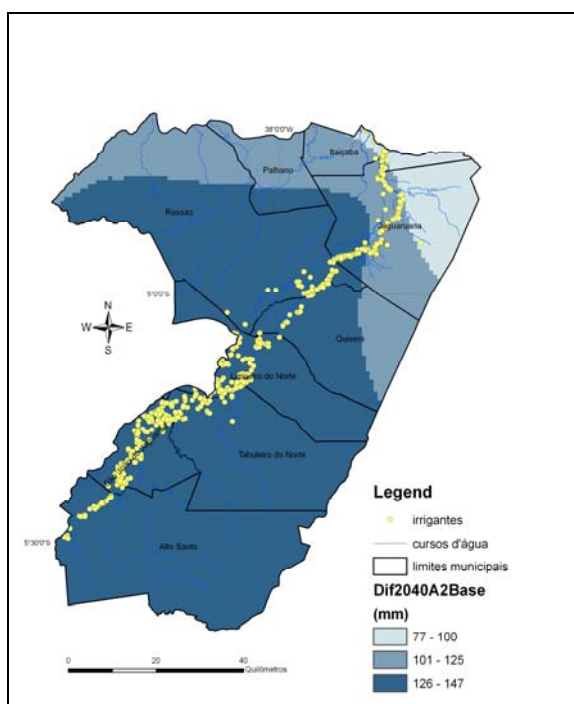


Figura 4 – Mapa do incremento da ETo anual estimada para 2040, cenário A2.

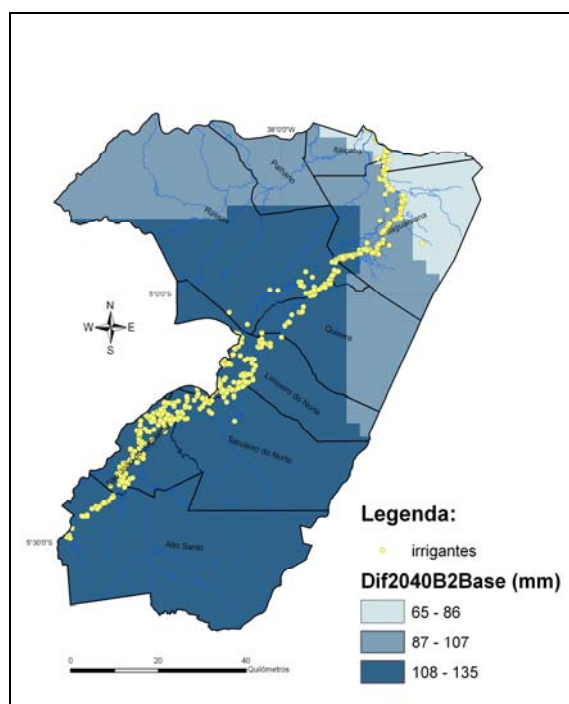


Figura 5 – Mapa do incremento da ETo anual estimada para 2040, cenário B2.

CONCLUSÕES

As mudanças climáticas estimadas pelo modelo HadRM3P (modelo HadRM3 e sistema PRECIS) podem de fato, funcionarem como fonte adicional de pressão na demanda de água para irrigação na área de estudo, através da elevação nos níveis de evapotranspiração de referência como consequência da elevação de temperatura, agravado pela redução na precipitação.

O modelo climático regional, com as condições de contorno de um modelo global possui resolução que permite avaliar-se impactos em nível de bacia hidrográfica, pois torna-se possível maior detalhamento dos parâmetros climáticos e sua representação de variabilidade espacial. No entanto, uma resolução mais detalhada permitiria uma melhor avaliação, uma vez que para possibilitar a krigagem, dados de borda da área da bacia tiveram que ser considerados, o que representou uma restrição do modelo climático.

Mesmo considerando-se uma área pequena de 6.415,10 km², observa-se variabilidade espacial dos resultados de temperatura, evapotranspiração e precipitação, representada pelo desvio padrão. Os estudos demonstram não haver divergências entre os resultados nos cenários A2 e B2 para a região estudada.

REFERÊNCIAS

- 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. Simulações da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais – INPE. São José dos Campos, 2007.
- ALVES, M. de C.; MOTA, V.C.; de CARVALHO, L.G. Metodologia geostatística para estudar a precipitação pluviométrica de Juiz de Fora – MG sob cenários futuros de mudanças climáticas. Conferência Regional Sobre Mudanças Globais: América do Sul, 3, 2007, São Paulo. Conferência...São Paulo. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2007.
- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P. da; MARENGO, J.A.; PISNITCHENCO, I.; ALVES, L.N.; FERNANDEZ, J.P.R. Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade – Relatório 3 – Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. São Paulo: IAG/USP/CPTEC/INPE. 108 p. 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 7ª. Ed. Viçosa: Ed. UFLA, 611 p., 2005.
- BINDER, L.C.W. Climate change and watershed planning in Washington state. Journal of the American Water Resources Association, 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.; MEARNNS, 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.; SCHOLLES, 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 assessment (TGICA) – Intergovernmental Panel on Climate Change. 66 p. 2007.
- CEARÁ - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Açude Castanhão. Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/linhas-de-acao/programa-de-acudes-estrategicos-2/acude-castanhao>>. Acesso em: 02.06.2008.
- 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.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (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, v.74, n.7, p. 1083 – 1107, 2007.
- FIGUEIREDO, M. C. B., ROSA, M. de F., GONDIM, R. S., SABOIA, L. de F. Gestão da demanda hídrica em municípios do médio e baixo Jaguaribe. ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA). CD-ROM. Anais...São Paulo: FGV/FAPESP/USP. ISSN 1679-7841. São Paulo, 2003.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. McCARTH, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, A.N.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Eds.). Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: University Press, U.K. 2001. 217 p.

- ISAAK, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to geostatistics. New York: Oxford University Press. 561 p. 1989.
- 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, UK: Met Office Hadley Centre, 39 p. 2004.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA – Secretaria Nacional de Irrigação – Departamento Nacional de Meteorologia – Normais Climatológicas (1961 – 1990). Brasília, 1992. 84 p.
- MONCUNILL, D.F. The rainfall trend over Ceará and its implications. International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 8, 2006, Foz do Iguaçu. Proceedings...INPE. Foz do Iguaçu. 2006.
- 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. (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>> Acesso em 03.01.2007.
- SILVA, C.S.; 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, v. 93, n. 1-2, p. 19-29, 2007.

region studied, with a 0.44° x 0.44° resolution, and the small squares were then generated for each variable in order to cover the entire region studied. The reference evapotranspiration (ET_o) was estimated using the mean monthly temperature data. The purpose of this study was to analyze the impacts of climate changes on temperature, precipitation and reference evapotranspiration, considering the climate change scenarios on a local scale in the hydrographic basin (Jaguaribe river in the stretch between the dams of Castanhão and Itaiçaba).

Keywords: *Climate changes, evapotranspiration, Jaguaribe.*

Impact of Climate Change on Evapotranspiration in a River Basin Using a Geographic Information System

ABSTRACT

Climate change could potentially alter the hydrologic cycle processes, such as precipitation, which affect surface runoff, temperature and relative humidity and are closely related to evaporation and streamflow in water bodies and evapotranspiration from plants. An ensemble of data composed of a baseline (base climatology) of the 1961-1990 model and climate projections were run (from 2025 to 2055, represented by the year 2040). The data were then extracted, considering the geographic coordinates of the