

EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARACATU

ELOY L. DE MELLO¹, FERNANDA A. OLIVEIRA², FERNANDO F. PRUSKI³,
JULIANA C. FIGUEIREDO⁴

RESUMO: O aumento da demanda pelo uso da água na bacia do Rio Paracatu vem ocasionando sérios problemas ambientais e conflitos entre os usuários. Para a gestão mais eficiente dos recursos hídricos, é importante o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, no presente e no futuro, devido às fortes evidências de mudanças climáticas no planeta. O objetivo deste trabalho foi estimar a tendência de variação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Paracatu, até o final deste século, considerando dois cenários contrastantes de mudanças climáticas, um para altas emissões de CO₂ (A2) e outro para baixas (B2). Para atingir esse objetivo, foi realizado o *downscaling* das precipitações mensais para os anos de 2001 a 2099, simulados pelo modelo de circulação geral do Hadley Centre (HadCM3). As precipitações interpoladas serviram como entrada em modelo do tipo precipitação-vazão, que possibilitou a estimativa das vazões mínimas em 21 estações fluviométricas distribuídas na bacia. Para o cenário A2, verificou-se tendência de aumento na disponibilidade hídrica em todas as estações fluviométricas, variando de 31 a 131% até 2099. Para o cenário B2, não foi verificada nenhuma tendência significativa.

PALAVRAS-CHAVE: *downscaling*, recursos hídricos, vazões mínimas.

EFFECT OF THE CLIMATE CHANGE ON THE WATER AVAILABILITY IN THE PARACATU RIVER BASIN

ABSTRACT: The increase of water use in the Paracatu basin is leading to deep environmental problems and conflicts among the users. For a more efficient water resources management, the knowledge of the basin's hydrologic behavior is important, in the present and in the future, due to the strong climatic changes evidences in the planet. The aim of this work is to estimate the water availability variation trends in the Paracatu river basin, from the beginning until the end of this century, considering two contrasting climate change scenarios, the first one to take account of high CO₂ emissions (A2) and the other one for low emissions (B2). To achieve this objective, the monthly precipitation downscaling was accomplished, using data from 2001 to 2099 simulated by the Hadley Centre's global circulation model (HadCM3). The precipitations were used as data input in a precipitation-flow model, which made possible the estimate of the minimum discharges in 21 gauged stations distributed in the basin. For the A2 scenario, an increase trend was verified in the water availability in all of the stations from 2001 to 2099, varying from 31 to 131%. For the B2 scenario no significant trend was verified.

KEYWORDS: downscaling, water resources, minimum discharge.

¹ Doutorando em Recursos Hídricos e Ambientais, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, eloymello@yahoo.com.br

² Mestranda em Recursos Hídricos e Ambientais, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

³ Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

⁴ Estudante de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFV, Viçosa - MG.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 22-10-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 7-10-2008

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são influenciadas pelas atividades humanas associadas à emissão de gases de efeito estufa e afetam os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, como a disponibilidade e a qualidade de água. Essas mudanças podem induzir a riscos ambientais, econômicos e sociais, sendo os países mais pobres e em desenvolvimento os mais vulneráveis.

De acordo com o IPCC (2001), o Século XXI deve apresentar maior frequência de eventos extremos de temperatura, precipitação, seca e enchentes, que poderão aumentar os riscos de erosão, deslizamentos de terra, incêndios florestais, riscos à saúde humana e redução do potencial agrícola e da disponibilidade de água para os diversos usos.

De modo geral, os aumentos previstos de temperatura para o Brasil (1 a 6 °C, dependendo do cenário de emissão de gases), poderiam causar aumento da evaporação à superfície, provocando alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas (NOBRE, 2001). Esse efeito deve ser mais negativo em regiões onde predominam a agricultura de sequeiro, a não ser que o aumento de temperatura seja acompanhado de aumento e/ou regularização no regime de chuvas.

O efeito projetado das mudanças climáticas no escoamento de água superficial e na recarga de água subterrânea é variável, dependendo da região e do cenário climático considerado (IPCC, 2001), mas relaciona-se, em grande parte, com as mudanças previstas para a precipitação (IPCC, 2001; KROL et al., 2006). É previsto que a magnitude e a frequência de vazões máximas aumentem na maioria das regiões do planeta e que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões.

De acordo com HULME & SHEARD (1999), é de se esperar que as alterações no regime de precipitação tenham implicações no regime de escoamento dos rios brasileiros, embora não exista tendência bem definida para o aumento ou a redução da vazão. Os autores destacam a forte relação entre a vazão de vários rios da Amazônia e o fenômeno El Niño. Também relatam o aumento de 15% nas vazões do Rio Paraná desde a década de 1960, consistente com o aumento das precipitações observado nessa década.

A partir de estudo realizado para diversas regiões do mundo, ROSENZWEIG et al. (2004) preveem que o suprimento de água na região Sul do Brasil (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) será suficiente para atender à demanda da agricultura e, ainda, promover a expansão das áreas irrigadas.

Na região do semiárido do Nordeste brasileiro, KROL & BRONSTERT (2007) identificaram tendência significativa de redução nas vazões do Rio Jaguaribe, após 2025, considerando cenário de redução de 50% da precipitação nas próximas cinco décadas. Em um cenário de redução de 21% da precipitação, os autores não encontraram tendência significativa de alteração da vazão.

O Rio Paracatu, situado no Médio São Francisco, drena área de aproximadamente 45.600 km², contribuindo com 40% da vazão do São Francisco. No entanto, o aumento da demanda pelo uso da água na bacia vem ocasionando sérios impactos ambientais e conflitos entre os usuários.

Segundo RODRIGUEZ (2004), o crescimento econômico que tem sido observado na bacia do Paracatu a partir da década de 1970 vem ocasionando expressivo crescimento no consumo de água, sendo comum, nos meses de maior demanda, consumo total superior ao critério adotado para a outorga em Minas Gerais, que é de 30% da $Q_{7,10}$ (vazão mínima com duração de sete dias e período de retorno de 10 anos).

Em uma situação de conflitos pelo uso da água, como se observa na bacia do Paracatu, a gestão participativa torna-se fundamental para o desenvolvimento sustentável da região. Para a gestão eficiente dos recursos hídricos, é importante o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, no presente e no futuro, devido às fortes evidências de mudanças climáticas no planeta.

Cenários de mudanças climáticas são representações plausíveis do futuro, que são consistentes com as tendências de emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes, e com o

entendimento científico atual sobre o efeito desses gases sobre o clima global (IPCC-TGCI, 1999). Vários cenários podem ser utilizados para identificar a sensibilidade de um país, região, ou local às mudanças climáticas.

Os modelos de circulação global (GCMs) são representações dos processos físicos na atmosfera, no oceano e na superfície da terra, que simulam a resposta do clima global terrestre ao aumento nas concentrações de gases de efeito estufa. Esses modelos descrevem o clima utilizando “grid” tridimensional sobre o planeta, tendo resolução global variando entre 250 e 600 km. Os modelos estão evoluindo sensivelmente a fim de obter resultados confiáveis em resoluções cada vez menores (IPCC, 2007). No entanto, os resultados ainda disponíveis no momento são provenientes de simulações realizadas em “grid” de alta resolução, o que torna difícil a realização de estudos regionais e, principalmente, à escala da bacia hidrográfica, onde as consequências das mudanças climáticas serão realmente sentidas. Nesse caso, é necessário aplicar a técnica de *downscaling*, que consiste na transferência das informações meteorológicas para escalas menores.

O objetivo deste trabalho foi estimar a tendência de variação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Paracatu, até o final deste século, considerando-se dois cenários de mudanças climáticas.

METODOLOGIA

Vazões mínimas das séries históricas e precipitação média anual

Para a realização deste estudo, foram utilizados os dados consistidos correspondentes ao período de 1970 a 2000, de 21 estações fluviométricas (Tabela 1) e 30 estações pluviométricas (Tabela 2) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As áreas de drenagem apresentadas na Tabela 1 foram obtidas por meio de mapa digitalizado na escala 1:100.000 correspondente à rede hidrográfica.

TABELA 1. Estações fluviométricas utilizadas no estudo. **Flow stations used in this work.**

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)
42250000	Fazenda Limoeiro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	490
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1.846
42255000	Fazenda Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	264
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	2.035
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	7.756
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12.537
42435000	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.591
42440000	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	545
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	3.901
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.265
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.844
42545500	Fazenda o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	697
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	554
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.419
42690001	Porto da Extrema	17° 01' 49"	46° 00' 49"	28.721
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	31.401
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	185
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4.370
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5.679
42930000	Porto do Cavalo	17° 01' 50"	45° 32' 22"	40.869
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	41.868

TABELA 2. Estações pluviométricas utilizadas no estudo. **Rain gauge stations used in this work.**

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01546005	Cabeceiras	15° 48' 03"	46° 55' 29"	900
01547002	Planaltina	15° 27' 12"	47° 36' 48"	1.000
01645000	São Romão	16° 22' 18"	45° 04' 58"	472
01645002	Santo Inácio	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460
01645003	Barra do Escuro	16° 16' 07"	45° 14' 16"	437
01645009	Cachoeira da Manteiga	16° 39' 25"	45° 04' 51"	-
01645013	Fazenda Água Branca	16° 48' 26"	45° 01' 49"	-
01646000	Porto dos Poções	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540
01646001	Unai	16° 21' 05"	46° 53' 23"	-
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	-
01647001	Ponte São Bartolomeu	16° 32' 16"	47° 48' 02"	790
01647002	Cristalina	16° 45' 23"	47° 36' 22"	1.239
01744006	Pirapora-Barreiro	17° 21' 50"	44° 56' 54"	471
01745000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	502
01745001	Cachoeira do Paredão	17° 06' 40"	45° 26' 16"	520
01745007	Porto do Cavalo	17° 01' 37"	45° 32' 26"	473
01746001	Porto da Extrema	17° 01' 51"	46° 00' 49"	510
01746002	Santa Rosa	17° 15' 19"	45° 28' 26"	490
01746006	Ponte da BR-040 (Prata)	17° 39' 49"	46° 21' 18"	-
01746007	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	-
01746008	Paracatu	17° 13' 00"	46° 52' 00"	-
01747001	Campo Alegre de Goiás	17° 30' 15"	47° 33' 20"	800
01747005	Guarda Mor	17° 46' 21"	47° 05' 55"	-
01845013	São Gonçalo do Abaeté	18° 20' 37"	45° 50' 12"	836
01846003	Major Porto	18° 42' 25"	46° 02' 13"	672
01846005	Presidente Olegário	18° 24' 45"	46° 25' 20"	-
01846016	Ponte Firme	18° 02' 02"	46° 25' 10"	-
01846017	Leal dos Patos	18° 38' 28"	46° 20' 04"	-
01847003	Abadia dos Dourados	18° 29' 28"	47° 24' 23"	784
01847040	Fazenda São Domingos	18° 06' 11"	47° 41' 41"	-

Para cada estação pluviométrica, foi determinada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima com duração de sete dias e período de retorno de 10 anos), a partir do ajuste de distribuições de probabilidade às Q_7 anuais. Foi selecionada a distribuição que apresentou significância a 20% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, associada ao menor coeficiente de variação.

O cálculo da precipitação média anual sobre cada área de drenagem foi feito pelo método do Polígono de Thiessen.

Modelo para estimativa de vazões mínimas a partir de dados pluviométricos

Para a caracterização da curva de recessão do escoamento subterrâneo, foi utilizada a eq.(1):

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

em que,

Q - vazão subterrânea num instante t , $m^3 s^{-1}$;

Q_0 - vazão subterrânea correspondente ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo, $m^3 s^{-1}$;

α - coeficiente de recessão, d^{-1} , e

t - tempo contado a partir do início do período de recessão, d.

Com base no estudo desenvolvido por NOVAES (2005), os dias primeiro de junho e 30 de setembro foram escolhidos como sendo o início e o final do período de recessão do escoamento subterrâneo, respectivamente. Em seguida, foi ajustado um modelo de regressão linear para cada

uma das 21 estações fluviométricas, visando à representação das Q_0 como função da precipitação total acumulada nos cinco meses anteriores ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo, ou seja, de janeiro a maio [eq.(2)].

$$Q_0 = a + b PT_5 \quad (2)$$

em que,

a e b - parâmetros de ajuste da equação, e

PT_5 - precipitação total acumulada nos cinco meses anteriores ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo, mm.

Os valores dos coeficientes de recessão (α) foram obtidos de NOVAES (2005), que ajustou a eq.(1) aos dados observados das mesmas séries históricas das 21 estações fluviométricas (Tabela 3).

TABELA 3. Valores dos coeficientes de recessão (NOVAES, 2005). **Recession coefficient values (NOVAES, 2005).**

Código	Estação	Coefficiente de Recessão - α (d^{-1})
42250000	Fazenda Limoeiro	0,0058
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	0,0067
42255000	Fazenda Nolasco	0,0059
42257000	Barra do Escurinho	0,0072
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	0,0064
42395000	Santa Rosa	0,0057
42435000	Fazenda Barra da Égua	0,0066
42440000	Fazenda Poções	0,0056
42460000	Fazenda Limeira	0,0063
42490000	Unai	0,0065
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	0,0060
42545500	Fazenda o Resfriado	0,0046
42546000	Fazenda Santa Cruz	0,0029
42600000	Porto dos Poções	0,0057
42690001	Porto da Extrema	0,0057
42750000	Caatinga	0,0059
42840000	Veredas	0,0032
42850000	Cachoeira das Almas	0,0065
42860000	Cachoeira do Paredão	0,0064
42930000	Porto do Cavalo	0,0059
42980000	Porto Alegre	0,0054
Média		0,0058

Modelo de previsão de mudanças climáticas e *downscaling*

Foi realizado o *downscaling* estatístico das precipitações mensais para os anos de 2001 a 2099, simulados pelo modelo de circulação global HadCM3, para os cenários de alta e de baixa emissão de gases de efeito estufa, A2 e B2, respectivamente.

O cenário A2 caracteriza um mundo onde prevalece o fortalecimento das identidades culturais regionais, com ênfase aos valores familiares e tradições locais, alto crescimento populacional e menor preocupação com o rápido desenvolvimento econômico. O cenário B2 descreve um mundo onde as soluções para os problemas econômicos, sociais e ambientais são desenvolvidas por iniciativas locais e comunitárias, ao invés de buscar soluções globais. É um mundo heterogêneo, com mudanças tecnológicas mais lentas e diversificadas (IPCC, 2001).

O modelo HadCM3 apresenta resolução horizontal de 2,5° de latitude x 3,75° de longitude, o que produz um “grid” global de 96 x 73 células. A partir de análise prévia com auxílio de um SIG, foram determinadas as células que estavam sobre a bacia hidrográfica do Paracatu (Figura 1). Depois disso, para cada uma das 21 estações fluviométricas, foi determinada a proporção da área de drenagem que está sob cada célula. Para a realização do *downscaling*, foi utilizada a eq.(3):

$$P_{ma} = FC \left[\left(P_{mf,c1} A_{c1} \right) + \left(P_{mf,c2} A_{c2} \right) + \left(P_{mf,c3} A_{c3} \right) + \left(P_{mf,c4} A_{c4} \right) \right] \quad (3)$$

em que,

P_{ma} - precipitação estimada para o mês “m” do ano “a”, sobre a área de drenagem considerada, mm;

$P_{mf,c1} \dots P_{mf,c4}$ - precipitação estimada para o mês “m” do ano “a”, na célula 1; 2; 3 e 4, respectivamente, previsto pelo HadCM3, mm;

$A_{c1} \dots A_{c4}$ - proporção da área de drenagem da estação sob a célula 1; 2; 3 e 4, respectivamente, adimensional.

FC é um fator de conversão calculado pela eq.(4):

$$FC = \frac{P_{mm,Ad}}{\left(P_{mm,c1} A_{c1} \right) + \left(P_{mm,c2} A_{c2} \right) + \left(P_{mm,c3} A_{c3} \right) + \left(P_{mm,c4} A_{c4} \right)} \quad (4)$$

em que,

$P_{mm,Ad}$ - precipitação total mensal na área de drenagem, com base na série histórica de 1970 a 2000, mm;

$P_{mm,c1} \dots P_{mm,c4}$ - precipitação total mensal nas células 1; 2; 3 e 4, respectivamente, com base na série histórica de 1970 a 2000, mm.

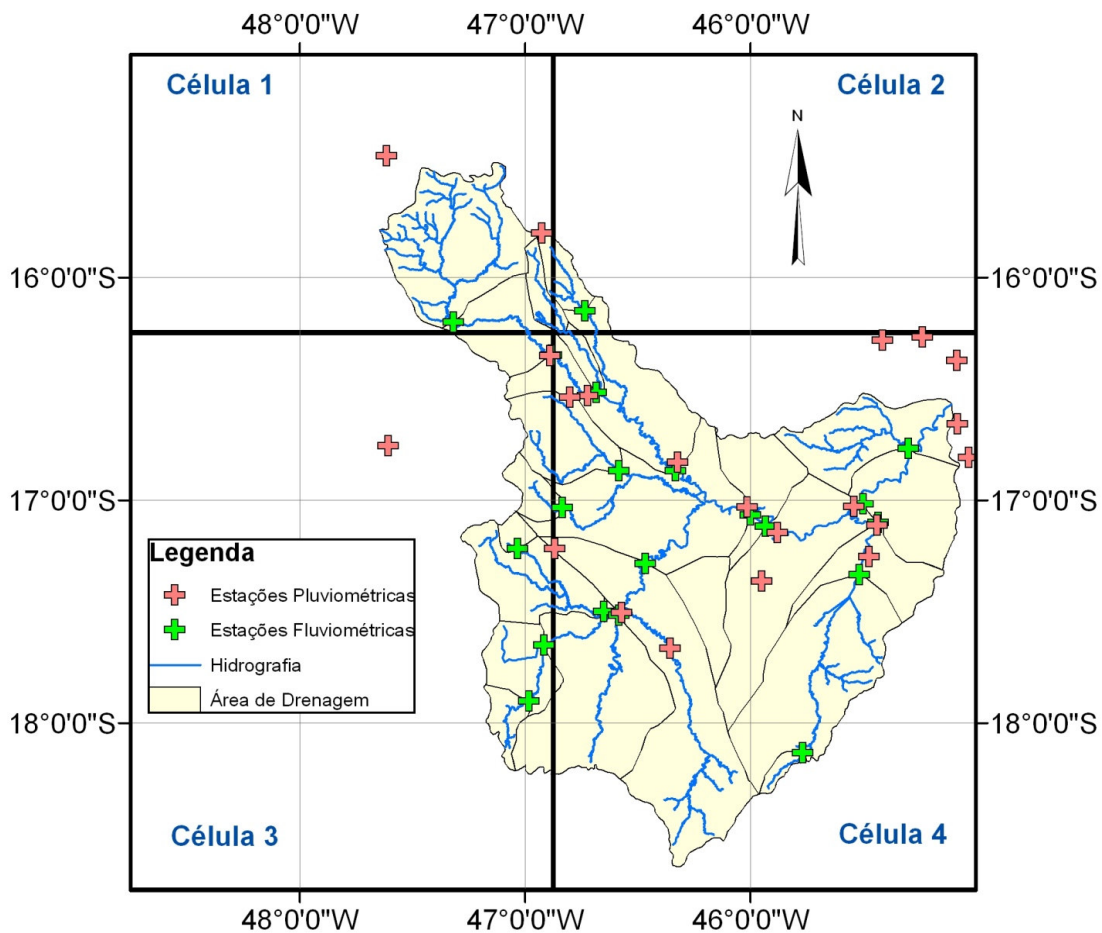


FIGURA 1. Células do modelo de circulação global sobre a bacia do Paracatu, estações pluviométricas e fluviométricas e áreas de drenagem. **Global circulation model pixels over the Paracatu basin, rain and flow gauged stations and sub-basins.**

A PT_5 , para cada ano de 2001 a 2099, foi calculada pela soma das precipitações mensais de janeiro até maio de cada ano, que foram obtidas por meio do *downscaling*.

Obtenção das vazões mínimas para as próximas décadas

Obtidos os valores de PT_5 , os mesmos foram aplicados na eq.(2), que foi substituída, em seguida, na eq.(1). Dessa maneira, foi possível estimar as curvas de recessão do escoamento para cada ano, de 2001 a 2099. Conhecendo-se as curvas de recessão, foram calculados os valores de Q_7 para cada ano, e os valores de $Q_{7,10}$ com base em cada década. Para o período de 1970 a 2000, foi calculada a $Q_{7,10}$ com base na série histórica de cada estação.

Para facilitar as comparações, os valores de $Q_{7,10}$ foram divididos pelas respectivas áreas de drenagem, obtendo-se, assim, as $Q_{7,10}$ específicas ($q_{7,10}$). Por fim, a tendência das $q_{7,10}$ foi analisada por regressão linear, tendo o tempo como variável independente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, é apresentada a PT_5 sobre a bacia do Paracatu, de 1970 a 2000 (dados observados), e de 2001 a 2099, considerando o modelo de previsão de mudanças climáticas (HadCM3) e os dois cenários de emissão de gases utilizados neste trabalho.

A análise desses resultados permitiu observar que no período de 1970 a 2000, a PT_5 média foi de 876 mm. Considerando as previsões do modelo de circulação geral, espera-se aumento na PT_5 média para o período de 2001 até 2059 nos dois cenários, sendo esperado aproximadamente 1.002 mm para o cenário A2, e 1.005 mm para o cenário B2, embora fique evidenciada na Figura 2 a ocorrência de variações sazonais.

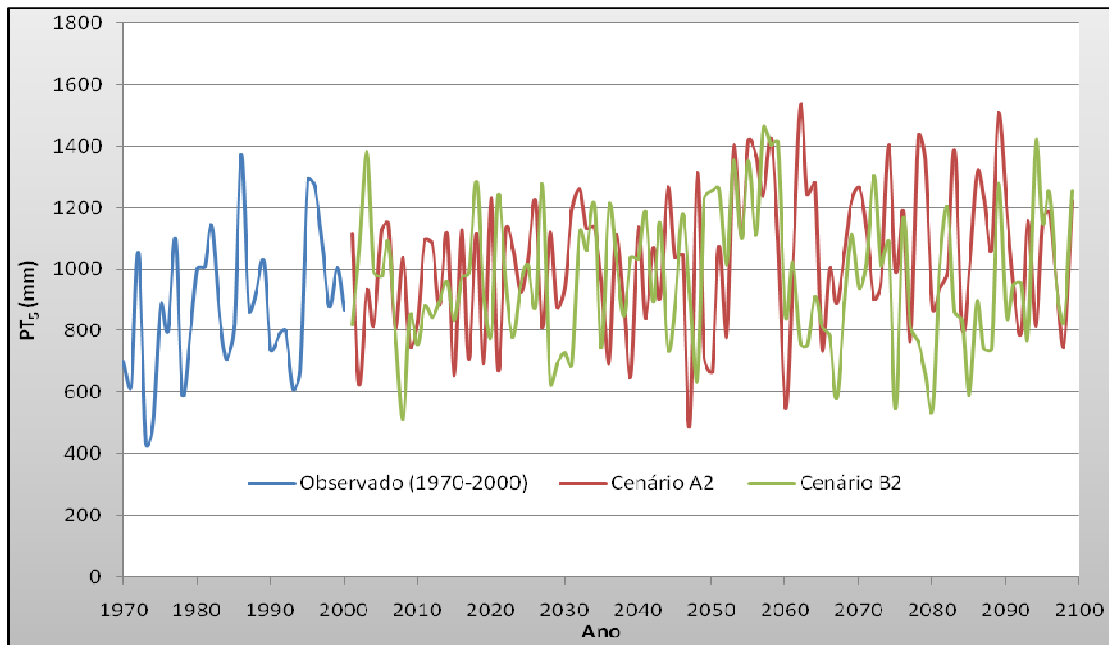


FIGURA 2. Precipitação acumulada nos cinco meses anteriores ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo (PT_5) de 1970 a 2099. **Accumulated precipitation from the previous five months (PT_5) to the beginning of groundwater flow recession period (1970 to 2099).**

A partir de 2060, pode-se esperar aumento ainda maior nas precipitações para o cenário A2, enquanto para o cenário B2 deve ocorrer redução da PT_5 nesse período. A PT_5 média será de, aproximadamente, 1.079 mm para o cenário A2, e 921 mm para o cenário B2.

Na Tabela 4, são apresentadas as equações de regressão das $q_{7,10}$ em função do tempo, nos dois cenários, para cada estação fluviométrica. No cenário B2, evidencia-se que, apesar de todas as estações terem apresentado tendência de crescimento nas vazões com o passar do tempo, as equações de regressão não foram significativas.

O comportamento das precipitações ao longo deste século explica os resultados encontrados para as vazões mínimas na bacia do Paracatu, pois a PT_5 afeta diretamente o valor da vazão subterrânea no início do período de recessão (Q_0), como indicado na eq.(2).

TABELA 4. Equações de regressão e R^2 ajustadas para cada estação fluviométrica. **Regression equations and adjusted R^2 for each flow station.**

Estação	Cenário A2		Cenário B2	
	Equação	r^2	Equação	r^2
42250000	$q_{7,10} = 4,05 + 0,24 P$	0,48	$q_{7,10} = 4,08 + 0,16 P^{NS}$	0,27
42251000	$q_{7,10} = 2,76 + 0,12 P$	0,51	$q_{7,10} = 2,77 + 0,07 P^{NS}$	0,23
42255000	$q_{7,10} = 2,26 + 0,11 P$	0,51	$q_{7,10} = 2,29 + 0,06 P^{NS}$	0,24
42257000	$q_{7,10} = 2,38 + 0,24 P$	0,50	$q_{7,10} = 2,41 + 0,07 P^{NS}$	0,26
42290000	$q_{7,10} = 1,85 + 0,09 P$	0,58	$q_{7,10} = 1,80 + 0,04 P^{NS}$	0,08
42395000	$q_{7,10} = 2,21 + 0,13 P$	0,57	$q_{7,10} = 2,05 + 0,06 P^{NS}$	0,06
42435000	$q_{7,10} = 6,81 + 0,89 P$	0,53	$q_{7,10} = 6,21 + 0,56 P^{NS}$	0,16
42440000	$q_{7,10} = 2,68 + 0,11 P$	0,49	$q_{7,10} = 2,69 + 0,08 P^{NS}$	0,26
42460000	$q_{7,10} = 3,40 + 0,04 P^{NS}$	0,18	$q_{7,10} = 3,42 + 0,01 P^{NS}$	0,01
42490000	$q_{7,10} = 2,53 + 0,03 P^{NS}$	0,19	$q_{7,10} = 2,54 + 0,01 P^{NS}$	0,00
42540000	$q_{7,10} = 3,21 + 0,08 P^{NS}$	0,24	$q_{7,10} = 3,22 + 0,04 P^{NS}$	0,03
42545500	$q_{7,10} = 2,19 + 0,10 P$	0,36	$q_{7,10} = 2,12 + 0,04 P^{NS}$	0,02
42546000	$q_{7,10} = 3,12 + 0,04 P^{NS}$	0,11	$q_{7,10} = 3,03 + 0,02 P^{NS}$	0,01
42600000	$q_{7,10} = 2,29 + 0,08 P$	0,43	$q_{7,10} = 2,12 + 0,04 P^{NS}$	0,02
42690001	$q_{7,10} = 1,93 + 0,09 P$	0,51	$q_{7,10} = 1,86 + 0,04 P^{NS}$	0,05
42750000	$q_{7,10} = 1,96 + 0,09 P$	0,52	$q_{7,10} = 1,88 + 0,04 P^{NS}$	0,04
42840000	$q_{7,10} = 6,05 + 0,19 P$	0,41	$q_{7,10} = 5,86 + 0,14 P^{NS}$	0,19
42850000	$q_{7,10} = 1,55 + 0,12 P$	0,52	$q_{7,10} = 1,38 + 0,06 P^{NS}$	0,05
42860000	$q_{7,10} = 1,27 + 0,07 P$	0,51	$q_{7,10} = 1,17 + 0,04 P^{NS}$	0,07
42930000	$q_{7,10} = 1,93 + 0,09 P$	0,52	$q_{7,10} = 1,84 + 0,04 P^{NS}$	0,06
42980000	$q_{7,10} = 2,03 + 0,12 P$	0,53	$q_{7,10} = 1,92 + 0,06 P^{NS}$	0,07

P - período considerado, sendo P = 0 corresponde ao período de 1970-2000; P = 1 corresponde ao período de 2001-2010, ..., P = 10 corresponde ao período de 2090-2099; ^{NS} - regressão não-significativa ($P > 0,05$).

De acordo com a Tabela 4, para 17 das 21 estações estudadas, as equações de regressão são significativas, quando se considera o cenário A2. Nesse cenário, fica evidenciada tendência de aumento nas vazões mínimas com o passar do tempo, em todas as estações estudadas, devido à tendência de aumento da PT_5 em toda a bacia a partir de 2060, como discutido anteriormente. Por outro lado, no cenário B2, há tendência de redução na PT_5 a partir de 2060, que, por sua vez, pode levar à redução nas vazões mínimas.

Na Figura 3, é apresentado o exemplo correspondente à estação 42290000, nos cenários A2 e B2. Destaca-se o fato de que o comportamento apresentado por essa estação é representativo do comportamento observado nas outras estações utilizadas neste trabalho. Na figura, pode-se evidenciar a maior dispersão dos pontos no cenário B2, o que explica, em parte, os baixos valores de r^2 e a ausência de significância das equações de regressão nesse cenário.

Com base nas equações de regressão obtidas no cenário A2, na Tabela 5, apresentam-se os acréscimos esperados na $q_{7,10}$ para o período de 2090-2099, em relação ao período correspondente a 1970-2000. Como nenhuma das equações de regressão obtidas no cenário B2 foram significativas, os acréscimos esperados para a $q_{7,10}$, nesse cenário, foram omitidos.

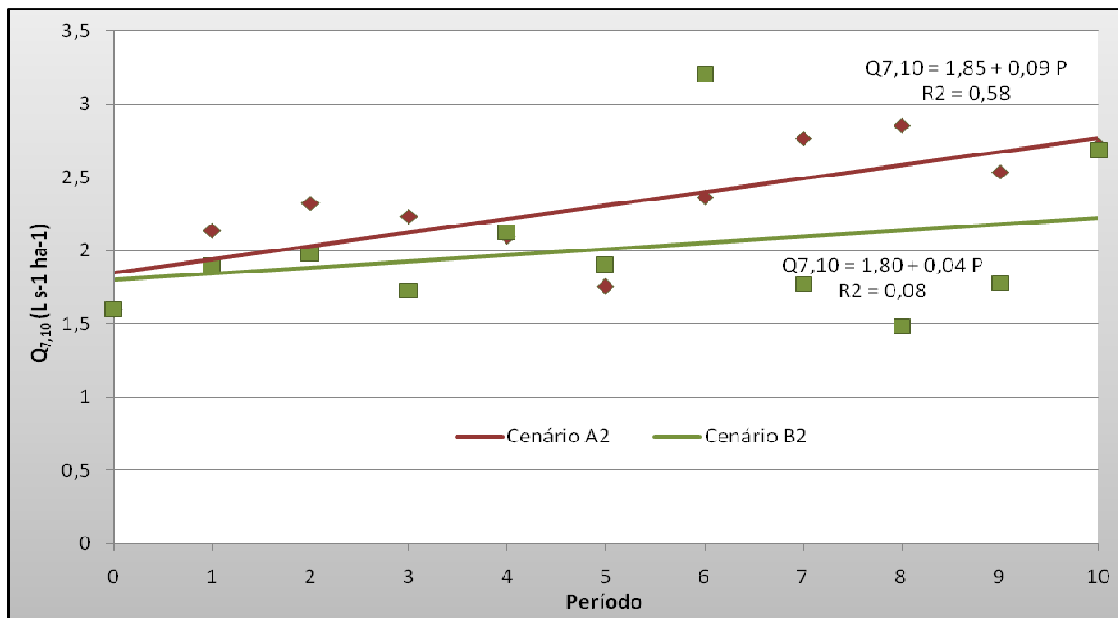


FIGURA 3. $Q_{7,10}$ específica na estação 42290000 (BR-040 - Paracatu). **Specific $q_{7,10}$ in the 42290000 flow station (BR-040 - Paracatu).**

TABELA 5. $Q_{7,10}$ específicas estimadas pelas equações de regressão, para os períodos de 1970-2000 e 2090-2099, e acréscimo esperado nesta variável no período considerado para o cenário A2. **Specific $q_{7,10}$ estimated with the regression equations for the 1970-2000 and 2090-2099 periods, and expected increase at the last period in the scenario A2.**

Estação	1970-2000		2090-2099	
	$q_{7,10}$ ($L s^{-1} ha^{-1}$)	$q_{7,10}$ ($L s^{-1} ha^{-1}$)	$q_{7,10}$ ($L s^{-1} ha^{-1}$)	Acréscimo (%)
42250000	4,1	6,5	59,0	
42251000	2,8	4,0	43,0	
42255000	2,3	3,4	48,0	
42257000	2,4	4,8	100,0	
42290000	1,9	2,8	47,0	
42395000	2,2	3,5	59,0	
42435000	6,8	15,7	131,0	
42440000	2,7	3,8	41,0	
42460000	3,4	3,8	12,0 ^{NS}	
42490000	2,5	2,8	12,0 ^{NS}	
42540000	3,2	4,0	25,0 ^{NS}	
42545500	2,2	3,2	45,0	
42546000	3,1	3,5	13,0 ^{NS}	
42600000	2,3	3,1	35,0	
42690001	1,9	2,8	47,0	
42750000	2,0	2,9	45,0	
42840000	6,1	8,0	31,0	
42850000	1,6	2,8	75,0	
42860000	1,3	2,0	54,0	
42930000	1,9	2,8	47,0	
42980000	2,0	3,2	60,0	

^{NS} - estações para as quais as equações de regressão não foram significativas, como apresentadas na Tabela 4.

Na Tabela 5, pode-se evidenciar que os acréscimos nas $q_{7,10}$, para o final deste século, variam de 31 a 131%. Embora os acréscimos esperados nas estações 42460000; 42490000; 42546000 e 42540000 sejam de 12; 12; 13 e 25%, respectivamente, as equações de regressão para essas estações não foram significativas, como já apresentadas na Tabela 4. Essas quatro estações localizam-se no trecho norte da bacia. Por outro lado, as estações 42980000; 42850000; 42257000 e 42435000, que apresentaram maior tendência de acréscimo na $q_{7,10}$, não estão concentradas em uma única região, ao contrário, localizam-se em diferentes pontos da bacia, assim como as demais estações que apresentaram tendência de acréscimo intermediário.

CONCLUSÕES

Para o Cenário A2 (maior emissão de gases de efeito estufa), há tendência significativa de aumento da disponibilidade hídrica ($q_{7,10}$) em 81% das estações fluviométricas da bacia do Rio Paracatu que foram analisadas neste trabalho. O aumento da disponibilidade hídrica ($q_{7,10}$), nas diferentes estações fluviométricas, variou de 31 a 131% até o final deste século.

Para o Cenário B2 (menor emissão de gases de efeito estufa), as tendências de aumento da disponibilidade hídrica ($q_{7,10}$) até o final deste século não foram significativas para nenhuma das estações fluviométricas utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- HULME, M.; SHEARD, N. *Cenários de alterações climáticas para o Brasil*. Norwich: Climate Research Unit, 1999. 6 p. Disponível em: <www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2006
- IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: MCCARTHY, J.J. *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p.1.032.
- IPCC. Climate change 2007: The Physical Science Basis. In: SOLOMON, S.D.; QIN, M.; MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K.B.; AVERYT, M.T.; MILLER, H.L. (Eds.). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p.996.
- IPCC-TGCI. Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1. In: CARTER, T.R.; HULME, M.; LAL, M. *Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment*, 1999. p.69.
- KROL, M.S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*, Oxford, v.22, p.259-68, 2007.
- KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.328, p.417-31, 2006.
- NOBRE, C.A. *Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do País. Parcerias Estratégicas*, Brasília, n.12, p.239-58, 2001.
- NOVAES, L. F. *Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu*. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2005.
- RODRIGUEZ, R.D.G. *Metodologia para estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu*. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2004.
- ROSENZWEIG, C.; STRZEPEKB, K.M.; DAVID, C.; MAJORC, D.C.; IGLESIAS, A.; YATES, D.N.; McCLUSKEY, A.; HILLEL, D. Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change*, Guildford, v.14, p.345-60, 2004.