

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

## **UM MÉTODO SIMPLES PARA ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO MÉDIO ANUAL A PARTIR DA TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO ANUAL: VERIFICAÇÃO**

*Vinicius Bahia do Carmo Ramos<sup>1</sup> & Fernando Genz<sup>2</sup>*

**RESUMO** – A avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica tem sido realizada através de uso de dados dos cenários do clima futuro como entrada em modelos hidrológicos. Neste trabalho um modelo hidrológico simples foi avaliado quanto à capacidade de estimar o escoamento médio anual nas bacias hidrográficas do Estado da Bahia e da Bacia do Atlântico Leste. O modelo considera somente a temperatura e a precipitação média anual. Os resultados indicaram um comportamento sistemático por bacia, com o escoamento médio anual ora superestimado ora subestimado em todos os postos. Os erros relativos obtidos da comparação com os dados observados foram significativos e método deve ser aplicado com muita cautela.

**ABSTRACT** – The assessment of impacts of climate change on water availability has been achieved through use of data from future climate scenarios as input to hydrologic models. In this paper a simple hydrological model was evaluated for the ability to estimate the mean annual runoff in the watersheds of the State of Bahia and the Atlântico Leste Basin. The model considers only the mean annual temperature and precipitation. The results indicate a systematic behavior by basin, with the mean annual runoff sometimes overestimated sometimes underestimated in all stream gauging stations. The relative errors obtained from the comparison with the observed data were significant and the method should be applied with caution.

**Palavras-chave:** modelo hidrológico, escoamento médio, validação.

### **INTRODUÇÃO**

A avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica tem sido realizada através de uso de dados dos cenários do clima futuro como entrada em modelos hidrológicos. Os modelos hidrológicos variam em suas metodologias, sendo que os mais frequentes nos estudos de impactos são os que utilizam o método do balanço hídrico e o método de transformação de chuva em vazão. O método do balanço hídrico adota uma capacidade de armazenamento de água no solo e considera as alterações da temperatura e da precipitação. No caso dos modelos de transformação de chuva em vazão, os modelos podem ser do tipo concentrado

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental; bolsista PIBIC; [viniciovisk@hotmail.com](mailto:viniciovisk@hotmail.com).

<sup>2</sup> Pesquisador da FAPESB; doutor associado ao Departamento de Engenharia Sanitária da Escola Politécnica da UFBA; professor colaborador do Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA). [fgenz@pq.cnpq.br](mailto:fgenz@pq.cnpq.br).

ou distribuído (mais detalhes em Tucci, 1998) e outras variáveis atmosféricas podem ser consideradas, por exemplo, a umidade do ar e o vento.

No Brasil, alguns estudos exemplificam essa situação. Salati et al. (2007) utilizaram o método do balanço hídrico para analisar as condições hídricas futuras (2011 a 2100) para quatro regiões do Brasil (Nordeste, Amazônia, bacia do Rio Paraguai e bacia do Prata), considerando cinco modelos de clima global. Rosal e Lacerda (2011) aplicaram o método a dois municípios de regiões distintas: Araripina, no serão de Pernambuco e Cunha, no litoral de São Paulo.

Lima e Alves (2010) realizaram simulação hidrológica de cenários de clima gerado por modelos global (ECHAM) e regional (MRE) utilizando o modelo SMAP para gerar as vazões do Rio São Francisco, até o posto fluviométrico de Pão de Açúcar no baixo curso do rio. O SMAP é um modelo de transformação chuva em vazão do tipo concentrado e foi simulado para o intervalo mensal.

Genz et al. (2011) utilizaram modelo distribuído, Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), para simular os cenários de clima futuro (2070 a 2100) derivados do modelo regional HadRM3P nas bacias dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande, todas inseridas no Estado da Bahia. Prado et al. (2011) aplicaram uma versão modificada do MGB para simular a bacia do Xingú para o período de 2011 a 2099 a partir dos dados de clima do modelo regional Eta/CPTEC. Nesse tipo de modelo é mais comum o uso de intervalos de simulação menores, como o diário.

Gardner (2009) elaborou um modelo para estimar as mudanças no escoamento anual nos cenários de mudanças climáticas, bem mais simples que aqueles baseados na calibração de modelos hidrológicos complexos, bem como aqueles baseados em relações entre as séries históricas de escoamento e as mudanças climáticas. A partir de medições escoamento publicado em bacias com uma ampla gama de condições climáticas, o autor verificou que o escoamento médio anual a longo prazo poderia ser estimado a partir da temperatura do ar e da precipitação anual. E numa segunda etapa, a mudança no escoamento anual seria estimada a partir da alteração na temperatura e precipitação projetadas pelos modelos de clima do futuro.

No presente trabalho buscou-se verificar a validade da metodologia proposta por Gardner (2009) para bacias hidrográficas do Estado da Bahia e outras da Bacia do Atlântico Leste.

## **METODOLOGIA**

Gardner (2009) apresentou uma equação que define a lâmina de escoamento médio anual a partir da evapotranspiração potencial anual média (PET) e da precipitação média anual (P). A evapotranspiração potencial anual média é definida pela temperatura média anual (em Kelvin). As equações 1 e 2 mostram essa relações.

$$R = P \cdot e^{(-PET/P)} \quad (1)$$

A PET é determinada pelo método de Holland (1978):

$$PET = 1,2 \cdot 10^{10} \cdot e^{(-4620/Tk)} \quad (2)$$

Aplicando a equação proposta, Gardner (2009) obteve resultados expressivos para uma ampla gama de condições climáticas, chegando a uma ótima correlação linear entre a lâminas calculadas e observadas ( $R^2 = 0,94$ ).

Para estimar a mudança no escoamento devido a mudanças na P (mm) e Tk (K), aplica-se a seguinte equação:

$$dR = e^{(-PET/P)} [1 + PET/P] dP - [5544 \cdot 10^{10} \cdot e^{(-PET/P)} \cdot e^{(-4620/Tk)} \cdot Tk^{-2}] * dTk \quad (3)$$

O autor aponta que a metodologia não é válida para bacias hidrográficas com rochas carbonáticas.

Para definir as vazões observadas, optou-se por fazer uma leitura dos Planos Diretores de Recursos Hídricos, elaborados pelo governo do estado da Bahia no período de 1993 a 1995, iniciando o processo de escolha dos postos que teriam seus dados utilizados. Considerou-se, dentre outros fatores, a área de drenagem, localização do posto, curso d'água e o tamanho da série.

Buscando facilitar a seleção dos postos, foram feitas tabelas em Excel para todas as bacias, com dados como: código dos postos fluviométricos, nome dos postos, curso d'água onde se encontra cada posto, coordenadas geográficas, área de drenagem de cada posto, altitude, disponibilidade dos dados e se o posto ainda se encontra em atividade.

Os dados dos postos foram baixados do Hidroweb e processados no Hidro 1.2.1, para assim gerar planilhas contendo a série de vazão mensal de cada posto, os dados e o gráfico da curva de permanência.

Adotou-se o período de dados de análise de 1961 a 1990 que tem sido utilizado como referência nos estudos de mudanças climáticas realizados e apresentados pelo IPCC. Além disso, dados espaciais da climatologia de temperatura e precipitação média mensal estão disponíveis para esse período no Centro de Distribuição de Dados do IPCC ([http://www.ipcc-data.org/obs/cru\\_climatologies.html](http://www.ipcc-data.org/obs/cru_climatologies.html)).

Após a definição do período de trabalho entre 1961 e 1990 foram definidos os postos a serem trabalhados no projeto, para os quais foi determinada a vazão média anual. Os postos selecionados são apresentados na Tabela 1, totalizando 81. A distribuição espacial dos postos pode ser visualizada na Figura 1.

Tabela 1. Postos fluviométricos selecionados.

Código	Nome do Posto	Curso de água	Área ArcGis (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
<b>Rio Paramirim</b>				
46295000	Ponte BR-242	Rio Paramirim	12592	8,74
<b>Rio Verde e Jacaré</b>				
47249000	Rio Verde II	Rio Verde	6769	2,60
<b>Rio Salitre</b>				
47900000	Abreus	Vereda da Tábua ou Rio Salitre	12457	1,03
<b>Margem Direita do Sub-Médio São Francisco</b>				
48070000	Lagoa do Boi	Riacho do Poção	3530	0,96
<b>Rio das Contas</b>				
52090000	Cristalândia	Rio de Contas	3379	10,02
52270000	Santo Antonio	Rio de Contas	18265	24,57
52370000	Anagé	Rio Gavião	7942	8,89
52570000	Jequié	Rio de Contas	40483	40,81
52680000	Ipiaú	Rio de Contas	46538	52,25
52695000	Vapor	Rio de Contas	47313	74,70
52790000	Pedrinhas	Rio Gongogi	5252	39,50
<b>Rio Grande</b>				
46550000	Barreiras	Rio Grande	24394	106,42
46790000	Formosa do Rio Preto	Rio Preto	14274	93,42
46830000	Ibipetuba	Rio Preto	18194	92,41
46902000	Boqueirão	Rio Grande	69226	278,75
<b>Rio Vaza Barris e Real</b>				
50150000	Jeremoabo	Rio Vaza Barris	8721	3,23
50290000	Itanhy	Rio Real	4474	15,44
50191000	Fazenda Belém	Rio Vaza Barris (Se)	15851	13,64
<b>Rio Itapicuru</b>				
50465000	Queimadas	Rio Itapicuru	11809	19,33
50520000	Pte. Euclides da Cunha	Rio Itapicuru	26034	24,17
50540000	Cipó	Rio Itapicuru	27966	29,42
50595000	Usina Altamira	Rio Itapicuru	35143	31,53
<b>Reconcavo Norte e Inhambupe</b>				
50620000	Inhambupe	Rio Inhambupe	2895	2,63
50720000	Fazenda São Francisco	Rio Pojuca	1212	1,91
50730000	Fazenda Mangabeira	Rio Paramirim	529	1,35
50740000	Teodoro Sampaio	Rio Camarujipe	449	2,71
50755000	Ponte Ba-6	Rio Pojuca	3204	14,38
50795000	Tiririca	Rio Pojuca	4696	34,67
50820000	São Sebastião do Passé	Rio Jacuípe	284	4,13
50840000	Mata de São João	Rio Jacuípe	437	6,83

Tabela 1. Postos fluviométricos selecionados (continuação).

Código	Nome do Posto	Curso de água	Área ArcGis (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
<b>Rio Paraguaçu</b>				
51240000	Itaeté	Rio Paraguaçu	16517	71,33
51350000	Argoim	Rio Paraguaçu	37879	89,20
51460000	Ponte Rio Branco	Rio Jacuípe	11569	12,34
<b>Reconcavo Sul</b>				
51560000	Nazaré	Rio Jaguaripe	1347	10,57
51650000	Mutuipe	Rio Jequiriçá	3797	8,62
51685000	Jiquiriçá	Rio Jequiriçá	6519	16,97
51750000	E. Valença	Rio dos Braço	253	5,23
51795000	Valença	Rio Una	1146	20,50
51870000	Santa Luzia	Rio Preto	835	12,15
51890000	Nilo Peçanha	Rio Jequié	2841	41,37
<b>Região Leste</b>				
53050000	Itajuípe	Rio Almada	628	8,26
53170000	Ferradas	Rio Cachoeira	3853	26,21
53180000	Contorno BR-101	Rio Cachoeira	3952	25,12
<b>Extremo Sul</b>				
55170000	Fazenda Limoeiro	Rio Buranhém	2403	24,12
55340000	Itamaraju	Rio Jucuruçu-Braço Norte	2759	26,59
55360000	São José do Prado	Rio Jucuruçu-Braço Sul	876	15,12
55460000	Medeiros Neto	Rio Alcobaça	3231	19,54
55490000	Fazenda Cascata	Rio Alcobaça	4723	36,80
<b>Rio Carinhanha</b>				
45131000	São Gonçalo	Rio Carinhanha	6014	69,59
45220000	Capitânea	Rio Coxá	2375	13,95
45260000	Juvenília	Rio Carinhanha	16250	157,10
<b>Rio Corrente</b>				
45170001	Fazenda Porto Alegre	Itaguari	5846	69,50
45590000	Correntina	Rio Correntina	3837	35,32
45740001	Mocambo	Rio do Meio	8973	46,48
45770000	Arrojado	Rio Arrojado	5600	61,39
45840000	Gatos	Rio Formoso	7057	89,20
45880000	Colônia do Formoso	Rio Formoso	9484	91,56
45910001	Santa Maria da Vitória	Rio Corrente	29484	232,65
45960001	Porto Novo	Rio Corrente	30985	236,29
<b>Rio Jequitinhonha</b>				
54150000	Porto Mandacaru	Rio Jequitinhonha	16138	160,40
54230000	Carbonita	Rio Araçuaí	2849	28,35
54300000	Minas Novas	Rio Fanado	1071	7,11
54390000	Pega	Rio Araçuaí	10657	78,40
54500000	Araçuaí	Rio Araçuaí	15869	102,07

Tabela 1. Postos fluviométricos selecionados (continuação).

Código	Nome do Posto	Curso de água	Área ArcGis (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
54580000	Itaobim	Rio Jequitinhonha	45516	295,58
54710000	Jequitinhonha	Rio Jequitinhonha	50412	332,19
54780000	Jacinto	Rio Jequitinhonha	62506	392,00
54950000	Itapebi	Rio Jequitinhonha	67966	463,40
<b>Rios Mucuri e São Mateus</b>				
55610000	Francisco Sá	Rio Todos os Santos	1857	11,87
55630000	Carlos Chagas	Rio Mucuri	9166	110,63
55699998	Nanuque-Montante	Rio Mucuri	13751	178,90
55800005	Fazenda São Mateus	Rio São Mateus/Braço Norte	4152	22,33
55850000	São João da Cachoeira Grande	Rio São Mateus/Braço Norte	6912	40,94
55920000	Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus/Braço Sul	4080	30,67
<b>Rio Pardo</b>				
53620000	Cândido Sales	Rio Pardo	13030	25,16
53630000	Inhobim	Rio Pardo	16304	23,00
53650000	Itambé	Rio Pardo	18541	26,76
53690000	Couro Dantas	Rio Pardo	26080	58,36
53780000	Itapetinga	Catole Grande	2865	14,24
53880000	Fazenda Nancy	Rio Pardo	29422	69,13
53950000	Mascote	Rio Pardo	30638	79,48

A seguir foi determinada a lâmina de escoamento prevista pela equação proposta por Gardner (2009). Para isso foi ativado o ArcHydro Tools 9 (Maidment, 2002), que é uma ferramenta hidrológica desenvolvida para uso no ArcGis. As bacias hidrográficas foram delimitadas de forma automatizada no ArcHydro. Foram aplicadas as funções 'FlowDirection', 'FlowAccumulation', 'Stream', 'Bachtpoint' e 'Sub Watershed'.

Os dados da climatologia de temperatura do ar e a precipitação média mensal, com resolução espacial de 0,5 grau (New et al., 1999), foram resumidos para valores anuais. O valor médio anual referente a cada posto fluviométrico foi obtido por cruzamento dessas informações com as respectivas áreas de drenagem.

Utilizando a temperatura anual média determinou-se a evapotranspiração potencial anual média (equação 2) e, assim, a lâmina de escoamento prevista (equação 1).

A comparação da lâmina de escoamento prevista e observada necessitou transformar de vazão para lâmina, utilizando a área da bacia hidrográfica e o tempo em segundos de um ano. Para auxiliar na análise dos resultados, calculou-se o erro relativo entre os valores previstos e observados.

## RESULTADOS

As lâminas calculadas pelo método proposto por Gardner (2009) e aquelas observadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado para temperatura, precipitação, PET, lâmina observada e prevista.

Código	Temperatura média (K)	Precipitação média (mm)	PET (mm)	Lâmina de escoamento observada (mm)	Lâmina de escoamento prevista (mm)
<b>Rio Paramirim</b>					
46295000	295,5	723,9	1948	21,9	49,1
<b>Rio Verde e Jacaré</b>					
47249000	295,8	649,3	1974	12,1	31,1
<b>Rio Salitre</b>					
47900000	296,4	852,2	2041	2,6	77,7
<b>Margem Direita do Sub-Médio São Francisco</b>					
48070000	297,1	620,6	2116	8,6	20,5
<b>Rio das Contas</b>					
52090000	295,5	730,1	1948	93,5	50,6
52270000	296,1	700,0	2004	42,4	40,0
52370000	295,2	784,5	1913	35,3	68,5
52570000	295,7	753,4	1972	31,8	55,0
52680000	295,8	804,0	1977	35,4	68,7
52695000	295,8	816,1	1979	49,8	72,2
52790000	296,5	1436,8	2049	237,1	345,3
<b>Rio Grande</b>					
46550000	296,7	1193,5	2073	137,6	210,0
46790000	297,1	1284,6	2116	206,4	247,5
46830000	297,2	1238,6	2131	160,2	221,7
46902000	297,1	1154,8	2116	127,0	184,7
<b>Rio Vaza Barris e Real</b>					
50150000	297,2	638,4	2123	11,7	22,9
50290000	297,8	1131,8	2191	108,8	163,3
50191000	297,4	785,1	2153	27,1	50,6
<b>Rio Itapicuru</b>					
50465000	297,1	779,7	2114	51,6	51,8
50520000	297,2	741,2	2127	29,3	42,0
50540000	297,2	752,5	2129	33,2	44,4
50595000	297,3	812,1	2140	28,3	58,2
<b>Reconcavo Norte e Inhambuê</b>					
50620000	297,4	1183,3	2151	28,6	192,2
50720000	297,2	1169,2	2125	49,6	189,8
50730000	297,4	1378,8	2153	80,5	289,3
50740000	297,6	1547,0	2179	190,6	378,3

Tabela 2. Resultado para temperatura, precipitação, PET, lâmina observada e prevista (continuação).

Código	Temperatura média (K)	Precipitação média (mm)	PET (mm)	Lâmina de escoamento observada (mm)	Lâmina de escoamento prevista (mm)
50755000	297,6	1490,1	2170	141,6	347,3
50795000	297,6	1581,5	2178	232,8	399,0
50820000	298,2	1960,9	2238	457,8	626,5
50840000	298,2	1971,2	2238	493,3	633,5
<b>Rio Paraguçu</b>					
51240000	295,7	787,6	1970	136,2	64,6
51350000	296,3	808,9	2025	74,3	66,2
51460000	297,0	909,7	2108	33,6	89,7
<b>Reconcavo Sul</b>					
51560000	297,4	1455,3	2155	247,6	331,1
51650000	296,3	1041,3	2029	71,6	148,4
51685000	296,3	1049,8	2029	82,1	151,9
51750000	297,1	1420,3	2115	651,2	320,4
51795000	297,2	1505,9	2130	564,1	366,0
51870000	296,8	1244,5	2086	458,8	232,9
51890000	297,0	1408,8	2104	459,2	316,3
<b>Região Leste</b>					
53050000	297,1	1802,9	2115	414,6	557,8
53170000	296,8	1580,8	2089	214,5	421,7
53180000	296,9	1584,7	2090	200,4	423,8
<b>Extremo Sul</b>					
55170000	297,1	1277,3	2114	316,5	244,1
55340000	296,9	1245,1	2091	303,9	232,1
55360000	297,0	1231,1	2104	544,5	222,8
55460000	296,6	1126,4	2065	190,7	180,0
55490000	296,7	1164,8	2078	245,7	195,6
<b>Rio Carinhanha</b>					
45131000	296,7	1165,8	2073	365,0	196,9
45220000	297,3	1015,6	2139	185,2	123,6
45260000	297,0	1086,3	2103	304,9	156,7
<b>Rio Corrente</b>					
45170001	296,9	1096,6	2095	374,9	162,3
45590000	296,6	1207,7	2059	290,3	219,6
45740001	296,7	1129,7	2074	163,3	180,1
45770000	296,6	1205,0	2062	345,7	217,7
45840000	296,6	1168,3	2066	398,6	199,4
45880000	296,8	1114,5	2082	304,5	172,1
45910001	296,7	1139,4	2075	248,8	184,5
45960001	296,8	1125,7	2079	240,5	177,5

Tabela 2. Resultado para temperatura, precipitação, PET, lâmina observada e prevista (continuação).

Código	Temperatura média (K)	Precipitação média (mm)	PET (mm)	Lâmina de escoamento observada (mm)	Lâmina de escoamento prevista (mm)
<b>Rio Jequitinhonha</b>					
54150000	295,1	1086,9	1903	313,4	188,8
54230000	294,5	1190,4	1847	313,8	252,3
54300000	295,1	1021,3	1902	209,3	158,7
54390000	294,9	1071,8	1886	232,0	184,5
54500000	294,9	1036,7	1889	202,9	167,5
54580000	295,3	1003,0	1928	204,8	146,8
54710000	295,4	994,1	1932	207,8	142,4
54780000	295,5	993,0	1946	197,8	139,9
54950000	295,6	1015,9	1956	215,0	148,2
<b>Rios Mucuri e São Mateus</b>					
55610000	295,8	1071,1	1974	201,5	169,7
55630000	296,0	1041,8	1995	380,6	153,5
55699998	296,2	1062,4	2017	410,3	159,1
55800005	295,9	1096,4	1990	169,6	178,6
55850000	296,3	1117,6	2030	186,8	181,7
55920000	296,5	1136,9	2050	237,1	187,3
<b>Rio Pardo</b>					
53620000	295,7	815,6	1969	60,9	72,9
53630000	295,6	820,4	1953	44,5	75,9
53650000	295,5	827,9	1950	45,5	78,5
53690000	295,7	908,1	1968	70,6	103,9
53780000	296,3	1112,5	2025	156,7	180,2
53880000	295,8	963,9	1979	74,1	123,7
53950000	295,9	990,4	1984	81,8	133,5

Os erros relativos entre a lâmina de escoamento prevista e observada podem ser observados na Figura 1 e na Tabela 3. Do total dos 81 postos avaliados, 70% tem o erro relativo na faixa  $\pm 61\%$ , sendo que somente 17% tem erro relativo entre  $\pm 20\%$ .

Analisando os resultados e os erros obtidos pela equação proposta, percebe-se que para a maioria dos postos fluviométricos analisados seguem uma tendência por bacia. Em grande parte das bacias, os seus postos possuem valores de lâmina de escoamento anual superestimada, ou todos seus postos subestimam a lâmina de escoamento do período entre 1961 e 1990.

Os postos das bacias do rio Pardo, Região Leste, rio Itapicuru, Recôncavo Norte e rio Inhambupe, rio Grande, rios Vaza Barris e Real apresentaram uma estimativa de vazão acima da observada.

A tendência de estimativa de disponibilidade hídrica menor do que a verificada ocorreu de forma unânime nas bacias do rio Jequitinhonha, Extremo Sul e do rio Carinhanha.

Nas bacias dos rios Corrente, Mucuri e São Mateus houve maioria nos postos que apresentaram valores estimados menores que os observados, porém em um posto ocorreu o oposto. No caso da bacia do Rio das Contas, a situação foi semelhante, mas com a maioria prevendo vazões maiores que as observadas. Já no caso das bacias do rio Paraguaçu e do Recôncavo sul, os erros não tem um sentido predominante.

Cabe ainda citar as bacias do rio Paramirim, rios Verde e Jacaré, margem direita do Sub-Médio do rio São Francisco e rio Salitre, nas quais só foi analisado um posto fluviométrico. Para essas bacias, as lâminas de escoamento resultaram acima daquelas observadas.

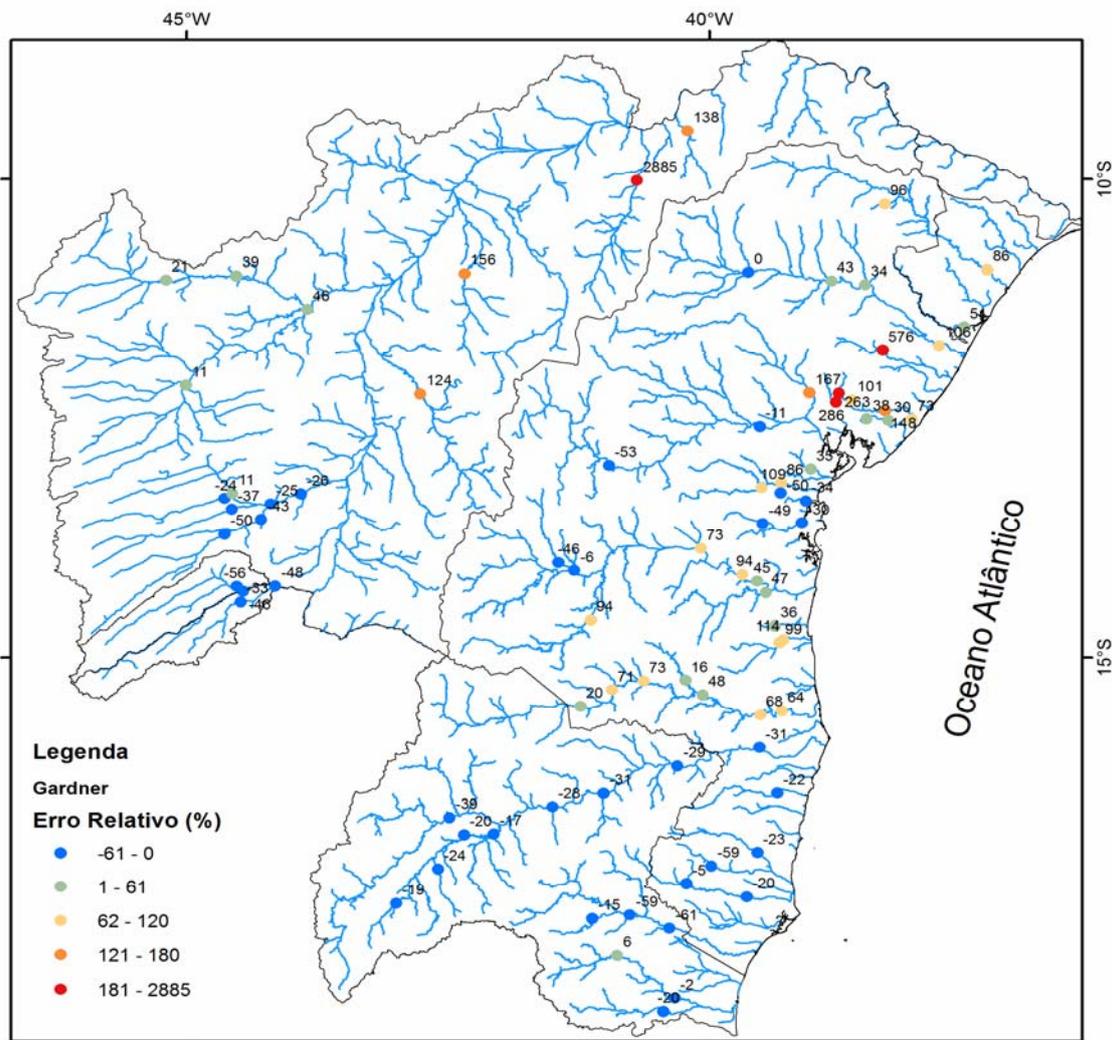


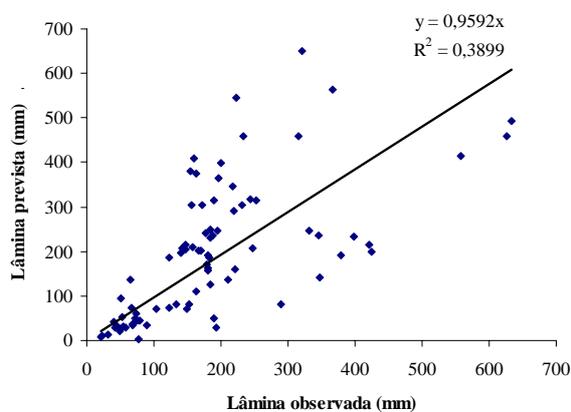
Figura 1 – Erros relativos entre a lâmina de escoamento prevista e observada.

Tabela 3. Resumo dos erros relativos - médios, máximos e mínimos por bacia.

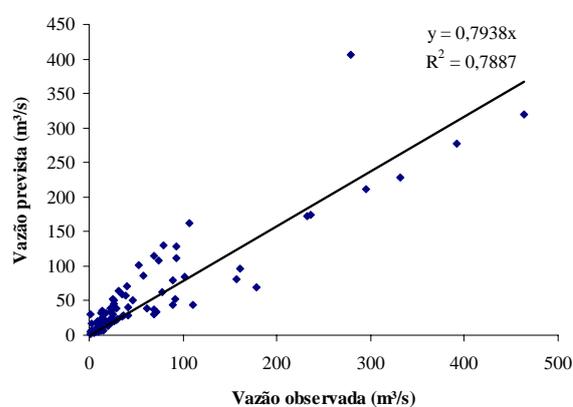
Bacia	Erro relativo (%)		
	Médio	Máximo	Mínimo
Paramirim	124	-	-
Rio Verde e Jacaré	157	-	-
Rio Salitre	2878	-	-
Margem Direita do Sub-Médio São Francisco	139	-	-
Rio das Contas	43	94	-46
Rio Grande	39	53	20
Rio Vaza Barris e Real	78	97	50
Rio Itapicuru	46	106	0
Reconcavo Norte e Inhambupe	187	572	28
Rio Paraguaçu	34	166	-53
Reconcavo Sul	9	107	-51
Região Leste	81	111	35
Extremo Sul	-26	-6	-59
Rio Carinhanha	-43	-33	-49
Rio Corrente	-32	10	-57
Rio Jequitinhonha	-27	-17	-40
Rio Mucuri	-26	5	-61
Rio Pardo	51	72	15

Obs: As bacias sem valor máximo e mínimo possuem somente um posto, cujo erro é indicado como 'Médio'.

Analisando graficamente os valores previstos e observados, quando são comparados em lâmina (Figura 2a) resultaram em  $R^2$  inferior daquele que pode ser definido no caso de comparação em vazão (Figura 2b). Tal fato se deve, possivelmente, aos erros serem sistemáticos por bacia, então quando escalonados pela área de drenagem resultam em alinhamento maior dos pontos.



a)



b)

Figura 2 Escoamento previsto x observado: a) lâmina (mm); b) vazão (m³/s).

Há aspectos da aplicação do método que podem estar influenciando os resultados obtidos e devem ser destacados:

- 1) A determinação da precipitação média nas bacias apresentou coeficientes de variação (não mostrados) que, na média dos postos, chegou a 11%. Tal fato se deve a grande variabilidade espacial da precipitação na área de estudo. Caso fosse considerada uma faixa de valores baseados em mais ou menos um desvio padrão além da média, 36% dos postos poderiam ser aceitos. Destaca-se que os maiores erros ocorreram em postos localizados próximo do litoral, em bacias hidrográficas menores, à exceção do posto do rio Salitre, que será discutido a seguir.
- 2) Em algumas bacias as séries de dados não correspondem totalmente ao período da precipitação e temperatura (1961 a 1990) e podem estar influenciando o resultado. Por exemplo, na bacia do rio Corrente todos os postos fluviométricos começaram a registrar dados em 1977. As outras bacias que tem postos nessa situação são do rio Vaza Barris e Real, bem como os postos da margem direita do rio São Francisco (Paramirim, Verde, Salitre e Riacho do Poção). Para esses casos, estudos mais detalhados das séries e até mesmo preenchimento das falhas teriam que ser realizados.
- 3) Gardner (2009) não recomenda o uso do modelo para bacias que estão em regiões de rochas carbonáticas. No estado da Bahia, as rochas carbonáticas ocorrem no substrato das bacias do rio Salitre, dos rios Verde e Jacaré e em um pequeno afluente do rio Paraguaçu (rio Utinga). Nas duas primeiras o método superestimou a lâmina de escoamento e os resultados devem ser desconsiderados.

## CONCLUSÕES

O método Gardner (2009) para estimar a lâmina de escoamento médio anual é bastante simples, pois usa somente dados de variáveis atmosféricas (temperatura e precipitação) para definir o escoamento. O método não considera aspectos de controle do escoamento importantes, tais como relevo, tipo, cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica. A única restrição indicada pelo autor é para uso em áreas com rochas carbonáticas.

A verificação do método para os rios no Estado da Bahia e Bacias do Atlântico Leste indicou que, de maneira geral, a lâmina de escoamento médio anual ora foi superestimada e ora foi subestimada nas bacias analisadas. Os erros relativos obtidos da comparação com os dados observados foram significativos e a sua aplicação deve ser realizada com muita cautela.

O trabalho de Gardner (2009) não menciona um período específico nos dados que ele analisou, ao contrário do que foi proposto neste trabalho, quando se adotou o período de 1961 a 1990. Os dados de climatologia da temperatura e precipitação derivados do trabalho de New et al. (1999) foram inspecionados em relação às informações observadas no Estado da Bahia de maneira visual. Em trabalhos futuros recomenda-se a verificação mais detalhada, pois podem estar influenciando nos resultados obtidos, principalmente nas bacias menores da faixa litorânea.

Ainda assim, considerando a simplicidade do método, o uso da equação (3) para a estimativa da alteração do escoamento médio anual em função da mudança na temperatura e precipitação de cenários do clima futuro pode ser uma maneira expedita de estimar o potencial dos impactos das mudanças climáticas. Nesse sentido, sugere-se para trabalhos futuros verificar o desempenho da equação (3), comparando seus resultados com aqueles obtidos com modelos hidrológicos mais elaborados (e.g. transformação chuva em vazão).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Bahia pela oportunidade de participar do programa de bolsas de iniciação científica. Fernando Genz agradece o apoio da FAPESB.

## BIBLIOGRAFIA

GARDNER, L.R. *Assessing the effect of climate change on mean annual runoff*. Journal of Hydrology, n. 379, p. 351–359, 2009.

GENZ, F., TANAJURA, C.A.S., ARAÚJO, H.A. 2011. *Impacto das mudanças climáticas nas vazões dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande - cenários de 2070 a 2100*. Bahia Análise & Dados, v. 21, p. 807-823.

HOLLAND, H.D. 1978. *The Chemistry of the Atmosphere and Oceans*. John Wiley and Sons, New York. pp. 351.

LIMA, J.P.R., ALVES, J.M.B. 2010. *Downscaling Dinâmico de Precipitação com Modelo Hidrológico Chuva-Vazão*. In: Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste (CATIN), José Nilson B. Campos e Jacques Servain (Coords.). Fortaleza: CNPq/IRD. 392p.

MAIDMENT, D.R. *ArcHydro: GIS for Water Resources*. Redlands, CA: ESRI, 2002.

NEW, M., HULME, M., JONES, P.D. 1999. *Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology*. Journal of Climate 12, 829-856.

PRADO, M.C.R, RODRIGUEZ, D.A., TOMASELLA, J. 2011. *Resposta hidrológica a cenários de mudanças globais na bacia do Rio Xingu*. In: Anais do Congresso Mundial da Água. Porto de Galinhas/PE.

ROSAL, M.C.F., LACERDA, F.F. 2011. *Avaliação do balanço hídrico climatológico para dois cenários de mudanças climáticas no semiárido nordestino e no Alto Vale do Paraíba*. In: Anais do Congresso Mundial da Água. Porto de Galinhas/PE.

SALATI, E., SALATI, E., CAMPANHOL, T., VILLA NOVA, N. 2007. *Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI*. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio. Relatório 4. Brasília, Fevereiro 2007.

TUCCI, C.E.M, 1998. *Modelos precipitação-vazão*. In: Modelos Hidrológicos, Capítulo 5, p. 227-312. Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre.