

## REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS PARA A BACIA DO RIO IVAÍ - PR

TÁRCIO ROCHA LOPES<sup>1</sup>; GIULIANI DO PRADO<sup>2</sup>; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN<sup>3</sup>; JANAÍNA PAULINO<sup>4</sup> E LAÍSA SCOTTI ANTONIEL<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Campus de Sinop Av. Alexandre Ferronato nº 1200 - Setor Industrial, 78.557-26, Sinop, Mato Grosso, Brasil. [tarcio281192@hotmail.com](mailto:tarcio281192@hotmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus do Arenito, 87.820-000, Cidade Gaúcha, Paraná, Brasil. [gprado@uem.br](mailto:gprado@uem.br)

<sup>3</sup>Embrapa Agrossilvipastoril, Rodovia dos Pioneiros MT-222, Km 2,5, Zona Rural, 78550-970, Sinop, Mato Grosso, Brasil. [cornelio.zolin@embrapa.br](mailto:cornelio.zolin@embrapa.br)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Campus de Sinop Av. Alexandre Ferronato nº 1200 - Setor Industrial, 78.557-26, Sinop, Mato Grosso, Brasil. [eng\\_janaina@yahoo.com.br](mailto:eng_janaina@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus do Arenito, 87.820-000, Cidade Gaúcha, Paraná, Brasil. [lala\\_scotti@hotmail.com](mailto:lala_scotti@hotmail.com)

### 1 RESUMO

A escassez de informações que subsidiem a tomada de decisão quanto à gestão dos recursos hídricos é um dos principais fatores que dificultam o planejamento adequado de tais recursos. As bacias hidrográficas não contam com número adequado de postos pluviométricos e fluviométricos, dificultando assim o estudo sobre as características hidrológicas da bacia, como o planejamento e gestão dos recursos hídricos e até mesmo na concessão de outorgas. Considerando-se a importância das bacias serem atendidas com dados fluviais, desenvolveu-se o presente estudo de regionalização de vazões máximas e mínimas para bacia do rio Ivaí – PR. Para isso verificou-se a homogeneidade das regiões, procedeu-se a seleção do modelo probabilístico, ajustando-se às equações de regressão para quatro tipos de modelos: linear, exponencial, potencial e logarítmico. As equações de regressão apresentaram altos coeficientes de determinação e, para as vazões máximas, os modelos tiveram melhor adequação quando associados às variáveis de precipitação média anual total e área de drenagem. O melhor ajuste de regressão das vazões mínimas foi verificado quando a variável independente área de drenagem foi considerada no ajuste.

**Palavras-chave:** modelos probabilísticos, disponibilidade hídrica, bacia hidrográfica

### REGIONALIZATION OF MAXIMUM AND MINIMUM STREAM FLOWS FOR IVAÍ RIVER BASIN – PR

### 2 ABSTRACT

The lack of information on stream flows and rain gauges through river basins is one of the main factors that affects the water resource management. Moreover, in watersheds with sparse hydrological data, it is difficult to properly assess the water balance and consequently for granting water rights. Taking into account the need for hydrological information in order to support the decision-making process regarding water resource management, we performed the current study targeting the regionalization of maximum and minimum stream flows for the

Ivaí river basin, in the state of Paraná. To achieve this goal, we established homogeneous regions in the Ivaí river basin and proceeded to select of the probabilistic model, fitting the regression equations for four different models: linear, potential, exponential and logarithmic. The regression equations showed high correlations values and it was found that, for the maximum stream flows, the models showed better adjustments when considering the variables drainage area and average precipitation. For minimum stream flows, the models showed better adjustments when the independent variable drainage area was considered in the fitting process.

**Keywords:** probabilistic models, water availability, watershed

### 3 INTRODUÇÃO

O Brasil é privilegiado em relação à disponibilidade hídrica, pois detém aproximadamente 12% do total da água doce do mundo, entretanto esta água não é distribuída uniformemente no território nacional. Aproximadamente 70% dos recursos hídricos brasileiro estão disponíveis na região Amazônica que tem cerca de 5% da população nacional (ANA, 2012).

O ciclo hidrológico, que consiste na troca contínua da água entre a hidrosfera e atmosfera, é um fenômeno que influencia diretamente na variação da disponibilidade hídrica terrestre. Segundo Tucci (2009), o ciclo hidrológico tem sido estudado com maior interesse em nível de bacia hidrográfica, onde a entrada de água é representada pelo volume precipitado e a saída de água pelo volume escoado.

Nas bacias hidrográficas brasileiras há um número reduzido de postos pluviométricos e fluviométricos para coleta desses dados hidrológicos, que são de grande importância para o planejamento e gestão de recursos hídricos. Desta forma, o emprego de modelos hidrológicos é essencial para a estimativa dos valores de vazões de bacias hidrográficas que não apresentem dados hidrológicos.

Em uma bacia hidrográfica pode haver variabilidade espacial e climática dentro de sua área de drenagem, causando mudanças de características e informações qualitativas e quantitativas de um lugar para outro. Desta forma, os dados hidrológicos coletados são representativos dessa bacia, mas podem ser extrapolados para bacias vizinhas que apresentem características físicas semelhantes, a partir do processo de regionalização de vazões que utiliza técnicas estatísticas e matemáticas (modelos) entre a variável que se deseja estimar em função de variáveis conhecidas (BAENA et al., 2004; OLIVEIRA, 2008).

Para a aplicação desses modelos de regionalização é fundamental conhecer informações físicas e climáticas da bacia hidrográfica, tais como: vazão, precipitação, densidade de drenagem, declividade, área e comprimento do rio. Essas informações permitem determinar as regiões que apresentam comportamento semelhante em relação à distribuição da frequência e geração das equações de regressão. Dentre as informações essenciais para a quantificação de vazões utilizando metodologias de regionalização estão as vazões mínimas, médias e máximas que são obtidas através de modelos de distribuição de probabilidade (SOUSA, 2009).

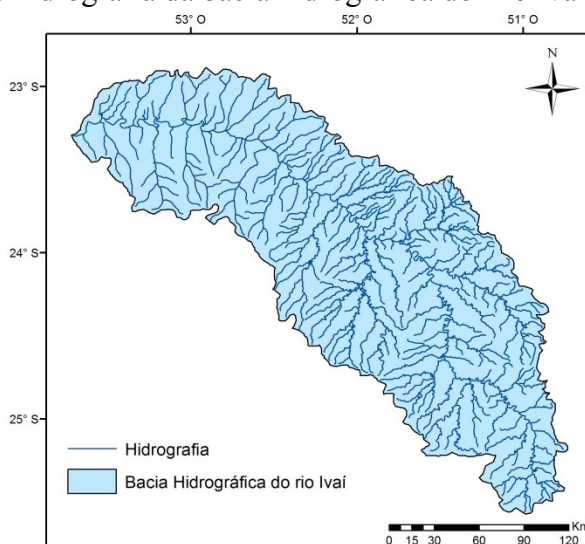
O conhecimento das vazões mínimas assume um papel importante quando se trata da disponibilidade hídrica, ou seja, é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. As vazões máximas são de extrema importância para dimensionamento das obras hidráulicas e estimativa de cheias (TUCCI, 2009).

A rede de postos fluviométricos e pluviométricos da bacia do rio Ivaí não atende toda sua extensão territorial de forma adequada, o que dificulta os estudos que subsidiem a tomada de decisão quanto a gestão adequada dos recursos hídricos. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho realizar a regionalização das vazões máximas, mínima de sete dias e de 95% de permanência para bacia hidrográfica do rio Ivaí com finalidade de disponibilizar essas informações para as regiões da bacia que não apresentem dados de vazões.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Ivaí que está localizada entre as coordenadas S 22°56'17"- 25°35'27" e W 50°44'17" - 53°41'43" (Figura 1) e se encontra inserida inteiramente no território paranaense, sendo a segunda maior bacia do estado, com área total de 36.540 km<sup>2</sup>. A referida bacia se estende pelos Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses com formação na confluência dos rios dos Patos e São João, na Serra da Boa Esperança, numa altitude de 800 m e percorre 671 km até desaguar no rio Paraná, a uma altitude de 230 m (LELI; STEVAUX; DA NÓBREGA, 2010).

**Figura 1.** Localização e hidrografia da bacia hidrográfica do Rio Ivaí



**Fonte:** Ana (2014a)

Para realização do estudo foram utilizados dados fluviométricos de 10 estações da bacia do rio Ivaí (Tabelas 1). Estes dados foram obtidos por meio do Sistema de Informação Hidrológica (Hidroweb) pertencente a Agência Nacional das Águas (ANA, 2014b).

**Tabela 1.** Estações fluviométricas utilizadas para a obtenção de séries históricas da bacia hidrográfica do rio Ivaí

Ordem	Código	Estação	Latitude	Longitude	Extensão da série (anos)
1	64620000	Rio dos Patos	25°12'30"	50°56'37"	34
2	64625000	Tereza Cristina	24°49'48"	51°08'32"	49
3	64630000	PCH Boa Vista II	24°55'00"	51°25'00"	13
4	64655000	Ubá do Sul	24°02'30"	51°37'22"	36
5	64659000	Barbosa Ferraz	24°01'00"	51°57'00"	29
6	64673000	Quinta do sol	23°49'41"	52°10'59"	30
7	64682000	Japurá - Rio dos Índios	23°26'29"	52°36'17"	28
8	64685000	Porto Paraíso do Norte	23°19'23"	52°39'52"	47
9	64689000	Tapira	23°13'01"	53°01'50"	11
10	64690000	Porto Taquara	23°11'41"	53°12'11"	10

Fonte: Ana (2014b)

Visando identificar regiões hidrologicamente homogêneas e considerando os critérios apresentados por Euclides et al. (2002), empregou-se o método que utiliza um modelo probabilístico para vazão máxima, média ou mínima, onde essas vazões são adimensionalizadas e avaliadas graficamente a tendência da distribuição dos dados em função do tempo de retorno. As regiões homogêneas das vazões mínimas e das vazões máximas foram constituídas pelas séries de dados de cada estação que apresentaram a curva das vazões adimensionalizadas com a mesma tendência, ou seja, curvas que apresentaram mesma taxa de redução ou aumento com o incremento no tempo de retorno, respectivamente para as vazões mínimas e máximas.

Na regionalização de vazões máximas e mínimas foram testados os modelos probabilísticos de Gumbel para eventos de vazões mínimas e Gumbel, Log-normal a dois e três parâmetros para evento de vazões máximas.

Para a análise da adequação dos dados observados aos modelos de probabilidade empregados, foram aplicados testes estatísticos de aderência para auxiliar na escolha do melhor modelo de probabilidade. Dentre os testes, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado ao nível 5% de significância, Coeficiente de Massa Residual (CMR) e o Coeficiente de Ajuste (CA).

Na análise de regressão foram aplicados aos dados os modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico para as vazões máximas em função do tempo de recorrência 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e também para as vazões mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  de permanência, com as variáveis independentes de precipitação média anual total, densidade de drenagem e área da bacia hidrográfica.

As equações foram ajustadas empregando o software STATÍSTICA 8.0. Os melhores modelos de regressão foram selecionados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e valores significativos pelo teste F.

Para obtenção das precipitações nos pontos das estações fluviométricas, foram utilizados os dados das séries históricas de precipitação de postos pluviométricos vizinhos à estação fluviométrica considerada. Estes dados foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas (Tabela 2) (ANA, 2014b).

**Tabela 2.** Estações pluviométricas utilizadas para a obtenção de séries históricas da bacia hidrográfica do rio Ivaí

Ordem	Código	Estação	Latitude	Longitude	Extensão (anos)
1	02550000	Prudentópolis Capt. Sanepar	25°14'14"	50°57'39"	62
2	02550054	Patos Velhos	25°23'00"	50°58'00"	24
3	02550055	Saltinho	25°09'00"	50°59'00"	37
4	02451035	Bairro da Imbuia	24°51'33"	51°00'32"	37
5	02451003	Tereza Cristina	24°50'00"	51°09'00"	40
6	02451029	Faxinal da Boa Vista	24°55'00"	51°22'00"	37
7	02451030	Vitorino	24°55'00"	51°16'00"	16
8	02451031	Barra do Areia	24°59'00"	51°05'00"	16
9	02451002	Ubá do Sul	24°03'00"	51°37'00"	30
10	02351020	Borrazópolis	23°56'27"	51°35'16"	38
11	02451014	Ivaiporã	24°15'00"	51°39'00"	42
12	02451011	Barbosa Ferraz	24°03'00"	51°59'00"	19
13	02351005	Fênix	23°54'00"	51°59'00"	23
14	02451044	Nova Tebas	24°25'00"	51°56'00"	37
15	02352002	Quinta do Sol	23°49'00"	52°11'00"	23
16	02352029	Peabirú	23°54'39"	52°20'10"	37
17	02452007	Campo Mourão	24°02'50"	52°22'03"	39
18	02352045	Japurá	23°28'00"	52°33'00"	37
19	02352044	Indianópolis	23°28'58"	52°42'05"	37
20	02352000	Porto Paraíso do Norte	23°19'27"	52°40'01"	44
21	02352036	Porto São Carlos	23°21'49"	52°31'26"	35
22	02353034	Tapira	23°19'11"	53°04'12"	37
23	02352046	Cidade Gaúcha	23°22'59"	52°55'59"	37
24	02353000	Porto Taquara	23°12'00"	53°12'00"	19
25	02353033	Douradinha	23°22'00"	53°16'59"	37

Fonte: Ana (2014b)

A precipitação média total anual (Eq. 1) foi determinada utilizando-se uma ponderação pelo inverso do quadrado da distância da estação pluviométrica à estação pluviométrica utilizada (AGRA et al., 2005), onde as distâncias entre as estações podem ser determinadas através da latitude e longitude.

$$\bar{P}_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times \left(\frac{1}{d_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i}\right)^2} \quad (1)$$

em que:

$\bar{P}_m$  - precipitação média total anual no local de interesse (mm);

$P_i$  - precipitação total anual em cada estação (mm);

$d_i$  - distância linear entre a estação pluviométrica e a sub-bacia (km);

$n$  - número de estações pluviométricas.

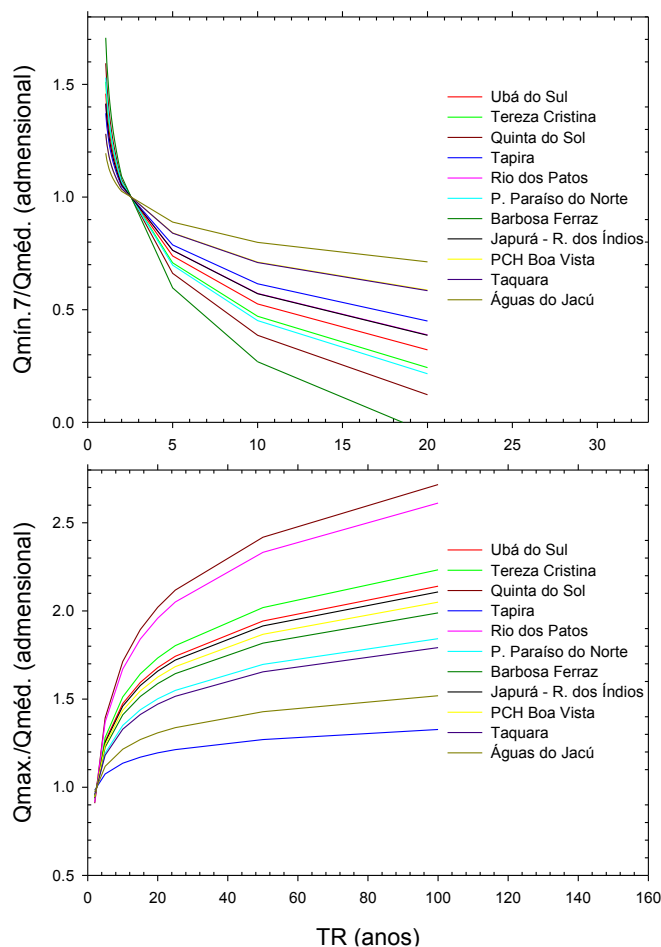
Na determinação da densidade de drenagem da bacia hidrográfica do rio Ivaí foram utilizadas 9 cartas topográficas com as seguintes nomenclaturas: SF-22-Y-A, SF-22-Y-B, SF-22-Y-C, SF-22-Y-D, SG-22-V-A, SG-22-V-B, SG-22-X-A, SG-22-V-D e SG-22-X-C. Todas as cartas são do estado do Paraná e encontram-se disponibilizadas no site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2014).

As áreas de drenagem, referente às estações fluviométricas, foram obtidas no site da Agência Nacional das Águas (ANA, 2014b) e o comprimento total dos cursos d'água de cada sub-bacia foi obtido em ambiente CAD.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentadas as vazões adimensionais mínimas e máximas, em função do tempo de retorno, que foram empregadas para determinação das regiões homogêneas. O método probabilístico empregado na construção das curvas adimensionalizadas em função da vazão média foi o modelo de Gumbel para vazões máximas e mínimas.

**Figura 2.** Tendência dos dados de vazões mínimas de sete dias e máximas adimensionalizadas, em função do tempo de retorno (TR) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Ivaí.



As curvas mostradas na Figura 2, para as vazões mínimas de sete dias e máximas em relação ao tempo de retorno, apresentam tendência semelhante, definindo assim que todas as

regiões da bacia do rio Ivaí são homogêneas, ou seja, o mesmo modelo de regionalização pode ser aplicado em toda bacia. Silva et al. (2006) observaram a mesma tendência das curvas adimensionais ao empregar o método de regionalização de vazões para a sub-bacia do Alto Rio Grande, Minas Gerais.

Na ocorrência de regiões não homogêneas, a bacia deve ser dividida em sub-regiões de acordo com a sua homogeneidade, de modo que o modelo possa ser aplicado por região ou por sub-bacias (TUCCI, 2009).

Ao analisar os modelos de distribuição de probabilidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste Qui-quadrado, verificou-se que todos os modelos se adequam aos dados de vazões máximas, mas o modelo Log-Normal a três parâmetros apresentou o melhor ajuste. Para os valores de vazões mínimas, o modelo de distribuições de probabilidade de Gumbel apresentou adequação à série de dados.

Pinto et al. (2010) verificaram que para a vazão mínima de sete dias, a distribuição Log-normal a três parâmetros apresentou menores valores pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e que ao aplicar o teste Qui-quadrado a distribuição de Weibull apresentou um melhor ajuste. Conforme os autores, o teste de Qui-quadrado é mais rigoroso que o de Kolmogorov, constatando-se melhor desempenho do modelo de Weibull para os dados de vazões mínimas.

Com base nos valores das Tabelas 3 e 4, o coeficiente de ajuste para o modelo Log-Normal a três parâmetros gerou menores dispersões, com todos os valores tendendo a um, independente da estação fluviométrica analisada. A distribuição Gumbel permitiu um bom ajuste para as vazões mínimas, onde os valores de CA tenderam a unidade e os de CMR tenderam a zero.

Para a estação de Porto Taquara não foram apresentados os valores dos coeficientes pelo método de Log-Normal a 3 parâmetros (Tabela 3) devido ao coeficiente de assimetria assumir valores negativos.

**Tabela 3.** Coeficientes de ajuste (CA) e coeficientes de massa residual (CMR) para os modelos probabilísticos utilizados na determinação das vazões máximas das estações fluviométricas da bacia do rio Ivaí

Estação	Gumbel		Log Normal 2 parâmetros		Log Normal 3 parâmetros	
	CA	CMR	CA	CMR	CA	CMR
Rio dos Patos	0,967	-0,034	1,046	0,044	0,981	-0,019
Tereza Cristina	1,127	0,112	0,988	-0,011	1,052	0,049
PCH Boa Vista II	1,296	0,228	1,155	0,134	1,221	0,181
Ubá do Sul	1,268	0,211	1,141	0,123	1,144	0,126
Barbosa Ferraz	1,229	0,186	1,247	0,198	1,180	0,153
Quinta do sol	0,941	-0,062	1,141	0,123	1,059	0,055
Japurá - Rio dos Índios	1,122	0,109	1,088	0,081	1,068	0,063
Porto Paraíso do Norte	1,146	0,127	1,016	0,016	1,083	0,076
Tapira	1,137	0,121	1,116	0,104	1,107	0,096
Porto Taquara	1,352	0,260	1,110	0,099	-	-

**Tabela 4.** Coeficientes de ajuste (CA) e coeficientes de massa residual (CMR) para os modelos probabilísticos utilizados na determinação das vazões mínimas das estações fluviométricas da bacia do rio Ivaí

Estação	Gumbel	
	CA	CMR
Rio dos Patos	1,026	0,025
Tereza Cristina	0,925	-0,080
PCH Boa Vista II	1,246	0,197
Ubá do Sul	1,045	0,043
Barbosa Ferraz	1,133	0,117
Quinta do sol	0,798	-0,251
Japurá - Rio dos Índios	0,990	-0,010
Porto Paraíso do Norte	1,005	0,005
Tapira	1,675	0,403
Porto Taquara	0,980	-0,019

Nas Tabelas 5 e 6 seguem apresentadas, respectivamente, as equações de regressão ajustadas para as vazões mínimas de 95% de permanência e para estimativa da vazão mínima de sete dias e período de retorno de dez anos.

**Tabela 5.** Modelos de regressão ajustados para estimativa da vazão mínima de 95% de permanência ( $m^3 s^{-1}$ )

Equação*	R <sup>2</sup>
$Q_{95\%} = 0,0000172 P_m^{-1,223} \cdot D_d^{-10,69} \cdot A^{1,631}$	0,97
$Q_{95\%} = 0,00202 P_m^{-1,2892} \cdot A^{1,96}$	0,93
$Q_{95\%} = 0,00022 D_d^{4,1073} \cdot A^{0,994}$	0,93
$Q_{95\%} = 0,000024 A^{1,4925}$	0,92

\* Probabilidade menor que 1% pelo teste de F; P<sub>m</sub> - precipitação média anual total (mm); D<sub>d</sub> - densidade de drenagem (km km<sup>-2</sup>); A - área de drenagem (km<sup>2</sup>)

**Tabela 6.** Modelos de regressão ajustados para estimativa da vazão mínima de 7 dias e período de retorno de 10 anos ( $m^3 s^{-1}$ )

Equação*	R <sup>2</sup>
$Q_{7,10} = 76,1504 - 0,0419 P_m - 21,7353 D_d + 0,0081 A$	0,98
$Q_{7,10} = 58,4709 - 0,0384 P_m + 0,0082 A$	0,98
$Q_{7,10} = 5,4578 - 17,7653 D_d + 0,0085 A$	0,98
$Q_{7,10} = -4,43215 + 0,0086 A$	0,98
$Q_{7,10} = 0,00092 P_m^{0,0534} \cdot D_d^{0,576} \cdot A^{1,217}$	0,99
$Q_{7,10} = 0,000552 P_m^{0,0977} \cdot A^{1,196}$	0,99
$Q_{7,10} = 0,000852 D_d^{1,232} \cdot A^{1,308}$	0,99
$Q_{7,10} = 0,00096 A^{1,2105}$	0,99

\* Probabilidade menor que 1% pelo teste de F; P<sub>m</sub> - precipitação média anual total (mm); D<sub>d</sub> - densidade de drenagem (km km<sup>-2</sup>); A - área de drenagem (km<sup>2</sup>)



O modelo potencial foi o que apresentou melhor adequação nas equações de vazões mínimas (Q95% e Q7,10) (Tabelas 5 e 6), sendo que a variável área de drenagem é a que apresentou maior influência, podendo-se observar que na presença desta, o coeficiente de determinação das equações são altos, quando comparados com as equações ajustadas com outras variáveis isoladas.

Nas equações ajustadas de vazões máximas para todos os tempos de retorno, os modelos potencial e logarítmico tiveram os melhores ajustes. Na Tabela 7, as equações de vazões máximas ao agregarem as três variáveis que caracterizam a bacia, ou seja, densidade de drenagem, precipitação média total anual e área de drenagem, apresentaram coeficientes de determinação superiores a 94% para tempos de retorno inferiores a vinte anos, sendo que a área de drenagem teve grande influência na equação com relação a sua significância.

**Tabela 7.** Modelos de regressão ajustados para estimativa da vazão máxima ( $m^3 s^{-1}$ ) com período de retorno de 2; 5 e 10 anos

TR	Equação*	R <sup>2</sup>
2	$Q = 0,00252 \cdot Pm^{0,954} \cdot Dd^{0,249} \cdot A^{0,719}$	0,98
	$Q = 0,00612 \cdot Pm^{0,842} \cdot A^{0,6944}$	0,98
	$Q = 5,172 \cdot Dd^{0,201} \cdot A^{0,648}$	0,97
	$Q = 5,066 \cdot A^{0,636}$	0,97
	$Q = -3553,7 - 384,93 \cdot \ln(Pm) - 484,8 \cdot \ln(Dd) + 907,79 \cdot \ln(A)$	0,98
	$Q = -5656,7 - 72,5 \cdot \ln(Pm) + 921,3 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -6494,86 - 471,67 \cdot \ln(Dd) + 921,78 \cdot \ln(A)$	0,98
	$Q = -6212,17 + 923,92 \cdot \ln(A)$	0,97
5	$Q = 0,00185 \cdot Pm^{1,092} \cdot Dd^{0,334} \cdot A^{0,674}$	0,97
	$Q = 0,00155 \cdot Pm^{1,108} \cdot A^{0,655}$	0,97
	$Q = 10,66 \cdot Dd^{0,294} \cdot A^{0,6}$	0,95
	$Q = 10,32 \cdot A^{0,583}$	0,95
	$Q = -20805 + 1734,7 \cdot \ln(Pm) - 379,8 \cdot \ln(Dd) + 1155,4 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -22452,6 + 1979,5 \cdot \ln(Pm) + 1166 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -7550,6 - 439 \cdot \ln(Dd) + 1092,4 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -7287,529 + 1094,38 \cdot \ln(A)$	0,97
10	$Q = 0,00306 \cdot Pm^{1,072} \cdot Dd^{0,357} \cdot A^{0,648}$	0,96
	$Q = 0,00139 \cdot Pm^{1,165} \cdot A^{0,634}$	0,96
	$Q = 14,646 \cdot Dd^{0,3253} \cdot A^{0,58}$	0,94
	$Q = 14,097 \cdot A^{0,561}$	0,94
	$Q = -30263,3 + 2899,2 \cdot \ln(Pm) - 310,1 \cdot \ln(Dd) + 1290,9 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -31608,3 + 3099,1 \cdot \ln(Pm) + 1299,6 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -8110,88 - 409 \cdot \ln(Dd) + 1185,59 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -7865,69 + 1187,44 \cdot \ln(A)$	0,96

\* Probabilidade menor que 1% pelo teste de F; TR – Tempo de Retorno (anos); Pm - precipitação média anual total (mm); Dd - densidade de drenagem ( $km km^{-2}$ ); A - área de drenagem ( $km^2$ )

De acordo com as Tabela 8, os coeficientes de determinação para os modelos de regressão considerados variaram entre 0,93 e 0,97, sendo que as variáveis independentes, área de drenagem e precipitação média anual total, foram as que propiciaram os melhores ajustes para a estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica.

**Tabela 8.** Modelos de regressão ajustados para estimativa da vazão máxima ( $m^3 s^{-1}$ ) com período de retorno de 20, 50 e 100 anos

TR	Equação*	R <sup>2</sup>
20	$Q = 0,0023 \cdot Pm^{1,1406} \cdot Dd^{0,3766} \cdot A^{0,635}$	0,96
	$Q = 0,000947 \cdot Pm^{1,245} \cdot A^{0,622}$	0,96
	$Q = 18,655 \cdot Dd^{0,345} \cdot A^{0,564}$	0,94
	$Q = 17,876 \cdot A^{0,5446}$	0,93
	$Q = -38252 + 3883,9 \cdot \ln(Pm) - 243,15 \cdot \ln(Dd) + 1405,8 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -39398,2 + 4040,8 \cdot \ln(Pm) + 1412,6 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -8576,03 - 376,01 \cdot \ln(Dd) + 1264,69 \cdot \ln(A)$	0,96
	$Q = -8350,644 + 1266,384 \ln(A)$	0,96
50	$Q = 0,00104 \cdot Pm^{1,2743} \cdot Dd^{0,3975} \cdot A^{0,627}$	0,96
	$Q = 0,000897 \cdot Pm^{1,2857} \cdot A^{0,606}$	0,96
	$Q = 24,127 \cdot Dd^{0,3649} \cdot A^{0,54784}$	0,93
	$Q = 22,996 \cdot A^{0,5272}$	0,93
	$Q = -47381 + 5010 \cdot \ln(Pm) - 157,6 \cdot \ln(Dd) + 1538,1 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -48064,5 + 5111,6 \cdot \ln(Pm) + 1542,5 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -9100,417 - 328,564 \ln(Dd) + 1356,044 \ln(A)$	0,96
	$Q = -8903,454 + 1357,528 \ln(A)$	0,96
100	$Q = 0,00106 \cdot Pm^{1,2934} \cdot Dd^{0,4068} \cdot A^{0,616}$	0,96
	$Q = 0,00152 \cdot Pm^{1,2405} \cdot A^{0,5907}$	0,95
	$Q = 28,448 \cdot Dd^{0,376} \cdot A^{0,537}$	0,93
	$Q = 27,0112 \cdot A^{0,516}$	0,93
	$Q = -53513,5 + 5767 \cdot \ln(Pm) - 93,1 \cdot \ln(Dd) + 1627,9 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -53917,2 + 5827 \cdot \ln(Pm) + 1630,5 \cdot \ln(A)$	0,97
	$Q = -9449,169 - 289,93 \cdot \ln(Dd) + 1418,326 \ln(A)$	0,96
	$Q = -9275,36 + 1419,635 \ln(A)$	0,96

\* Probabilidade menor que 1% pelo teste de F; TR – Tempo de Retorno (anos); Pm - precipitação média anual total (mm); Dd - densidade de drenagem ( $km\ km^{-2}$ ); A - área de drenagem ( $km^2$ ).

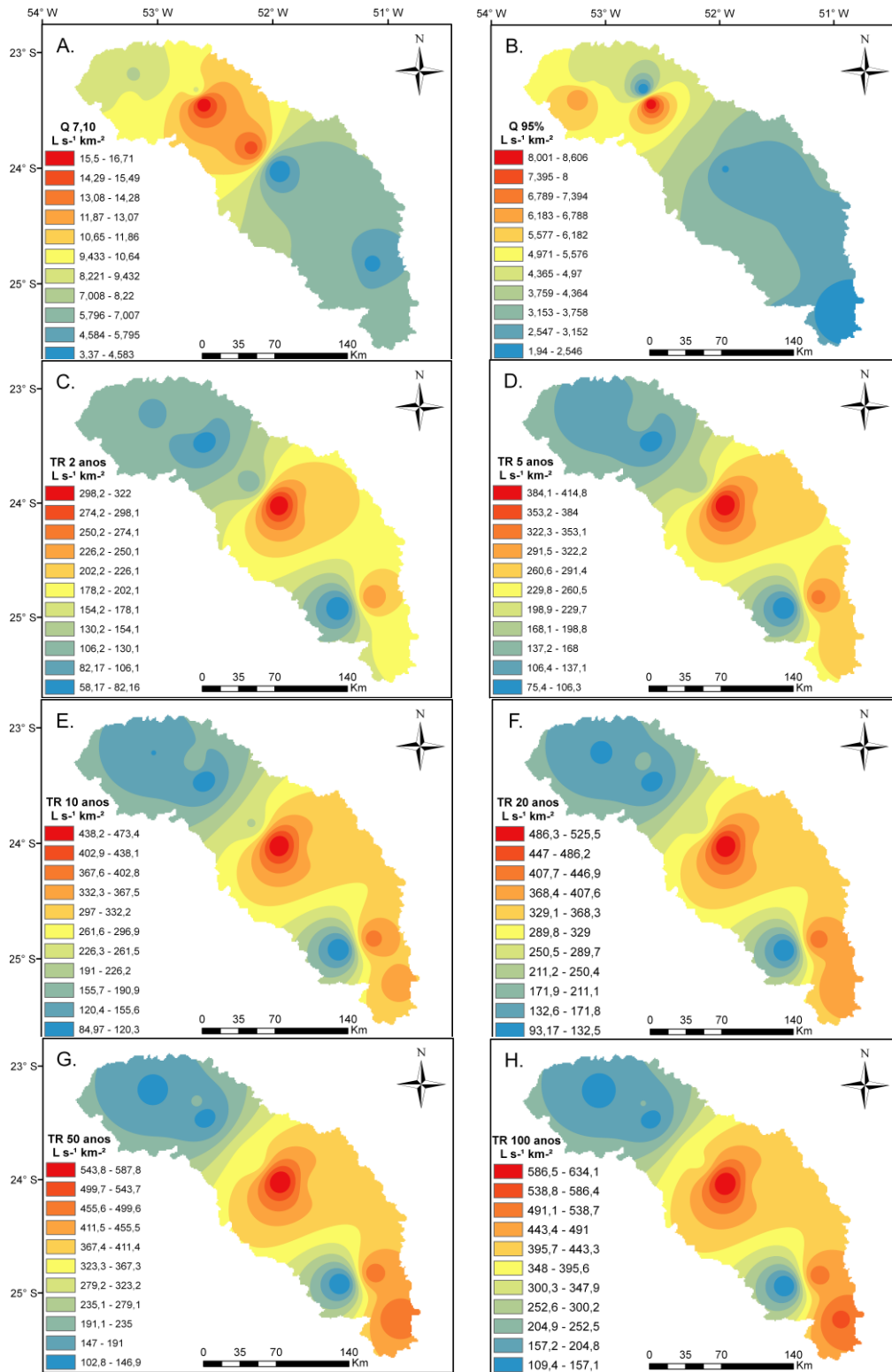
Baena et al. (2004) evidenciaram que o melhor modelo de regressão para as vazões mínimas de permanência foi o potencial e somente a variável área de drenagem foi suficiente para explicar o comportamento das vazões mínimas e máximas. No modelo logarítmico, a declividade média da bacia representou adequadamente a vazão específica máxima para todos os períodos de retorno analisados.

Ribeiro, Marques e Silva (2005), ao analisarem dados de vazões mínimas, verificaram que o parâmetro que melhor se ajustou às equações para vazões de permanência foi também a área de drenagem, já para a vazão Q7,10, o parâmetro que melhor se ajustou às equações do tipo potenciais foi a precipitação total anual. Barbosa et al. (2005), ao efetuarem estudos semelhantes, concluíram que a variável chuva total anual também teve uma boa adequação aos modelos de regressão.

Pode-se observar na Figura 3, que as maiores vazões se concentram na região noroeste da bacia, pois é onde toda água da bacia hidrográfica do rio Ivaí é drenada, ou seja, é onde se encontra o exutório do rio Ivaí, desaguardo este no rio Paraná. As menores vazões se encontram na parte alta da bacia, localizada a sudeste onde o rio Ivaí se forma da confluência dos rios dos Patos e São João. A vazão mínima Q7,10 (Figura 3A) para bacia hidrográfica do rio Ivaí variou de  $3,37$  a  $16,71\ L\ s^{-1}\ km^{-2}$ , já para vazão de 95% de permanência (Figura 3B)

que é utilizada para o critério de concessão de outorga do uso da água, variou de 1,94 a 8,606  $L s^{-1} km^{-2}$ . Nas vazões máximas (Figuras 3C à 3H) observa-se o mesmo comportamento para todas as figuras, diferenciando-se na majoração da vazão quando aumenta o tempo de retorno.

**Figura 3.** Mapa da vazão específica ( $L s^{-1} km^{-2}$ ) para bacia hidrográfica do rio Ivaí. Vazões mínimas Q7,10 (A) e Q95% (B) e vazões máximas para os tempos de retorno de dois anos (C), cinco anos (D), dez anos (E), vinte anos (F), cinquenta anos (G) e cem anos (H)



## 6 CONCLUSÕES

As regiões da bacia do rio Ivaí são homogêneas e o mesmo modelo de regionalização pode ser aplicado em toda bacia.

Os modelos potencial e logarítmico, para as vazões máximas, proporcionaram melhores resultados quando associados às variáveis de precipitação média anual total e área de drenagem ou somente área de drenagem. Para as vazões mínimas Q95% e Q7,10, o modelo potencial apresentou os melhores ajustes quando a variável independente empregada foi a área de drenagem da bacia.

## 7 REFERÊNCIAS

AGRA, S. G. et al. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do Rio Carreiro – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005. p. 1-20.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Base de dados georreferenciadas - Ottobacias**. Brasília, 2014a. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/ottobacias.asp>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Hidroweb**: Sistemas de informações hidrológicas. Brasília, 2014b. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 27 fev 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Ed. Especial. Brasília, 2012. 215 p.

BARBOSA, S. E. S. et al. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.612-624, 2004.

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização hidrológica na bacia do alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n.2, p.81-105, 2002.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Cartas topográficas**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=103>>. Acesso em: 04 mar. 2014.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; DA NÓBREGA, M. T. Dinâmica espacial da hidrologia da bacia do Rio Ivaí. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 41-47, 2010.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 2008. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

PINTO, L. C. et al. Análise de distribuições de probabilidades e estimativa da Q7,10 para a região do Rio Itabapoana, Espírito Santo/Rio De Janeiro. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 19., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: SBPC, 2010. p. 27.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.2, p.103-107, 2005.

SILVA, A. M. et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.2, p.374-380, 2006.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.