

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS REGIÕES DO MÉDIO E BAIXO RIO PARAÍBA/PB UTILIZANDO DADOS SIMULADOS COM O MODELO NAVMO

Thiago S. Almeida¹; Eduardo B. Rangel¹; Eduardo E. Figueiredo²; Katiana A. Lima³ & Dayane C. Costa³

RESUMO --- Estudos hidrológicos em regiões semi-áridas homogêneas e com deficiência de dados são cada vez mais indispensáveis para se avaliar a qualidade e quantidade de água nas bacias hidrográficas, essenciais para um planejamento e gerenciamento ótimo desse recurso. No entanto, as séries históricas nessas regiões são geralmente descontínuas. Dados de vazões, observados em duas estações nas regiões do médio e do baixo rio Paraíba/PB, foram utilizados na calibração do modelo distribuído NAVMO, posteriormente aplicado na simulação de duas séries de vazões de longo período (1911-1983) para fins de regionalização. A consistência e homogeneidade dessas séries foram investigadas através de testes estatísticos (paramétricos e não paramétricos) e de distribuições de probabilidade usuais na hidrologia com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância, após o que foram feitas análises de correlação e regressão, simples e múltiplas, entre variáveis hidrológicas de interesse e variáveis físicas e climáticas das bacias. De acordo com os testes as séries simuladas são homogêneas, com a distribuição Gama tendo sido regionalmente aceita sem nenhuma restrição. Os resultados das análises de correlação e regressão mostraram que a área da bacia e as precipitações anuais, máxima e média, foram as que melhor explicaram as variáveis investigadas.

ABSTRACT --- Hydrologic investigation in semi-arid regions is very important to evaluate the water quality and quantity, and for regional planning and management. However, observed data in such regions are generally discontinuous. Observed data from two stations in the median and lower parts of the Paraíba/PB river basin were utilized to calibrate the distributed model NAVMO, which was afterwards applied to simulate long-time series of runoffs (1911-1983) for regional analyses. The consistency and homogeneity of the simulated series were investigated through statistical tests (parametric and non-parametric) and distributions of probability commonly used in hydrologic studies with the Kolmogorov-Smirnov test at the 5% of significance. Correlations, simple and multiple, between hydrologic variables of interest and basin characteristics were also investigated. The results showed that the simulated runoffs are homogeneous, the Gama distribution of probability was regionally adjusted without any restrictions, and that the basin area and the mean and maximum annual precipitations were the governing variables.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, Simulação, Regionalização de vazões.

1) Mestres em Eng^a Civil e Ambiental, AERH/UAEC/CTRNUFCG, Cx..Postal, 505 – 58100-970 C.Grande, PB – Tel. (0xx83) 3310-1157. E-mail: thhiagool@yahoo.com.br

2) Professor do Depto. De Engenharia Civil, AERH/UAEC/CTRNUFCG, Tel. (0xx83) 3310-1157. E-mail: eduardo@dec.ufcg.edu.br

3) Mestres em Eng^a Civil e Ambiental, AERH/UAEC/CTRNUFCG, Cx..Postal, 505 – 58100-970 C.Grande, PB – Tel. (0xx83) 3310-1157. E-mail: dayyanne@hotmail.com

1 – INTRODUÇÃO

A regionalização ou análise regional é uma técnica utilizada para estimar variáveis climatológicas (Aragão et al., 1998) ou hidrológicas (Rego et al., 1989; Elesbson et al., 2002) em bacias sem informações, podendo ser de parâmetros, funções, processos, etc. A regionalização é muito utilizada para estimar variáveis típicas do escoamento tais como a vazão máxima, a mínima ou a média anual. A regionalização fundamenta-se na homogeneidade climática e fisiográfica da região, podendo ser estabelecida a partir de dados existentes em bacias que pertençam à mesma região hidrológica (Chow, 1964). No entanto, a quantidade de dados disponíveis pode ser uma limitação. Nesse sentido, estudos de regionalização utilizando séries simuladas são fundamentais uma vez que os modelos podem simular séries e suprir a falta de dados comum nas regiões semi-áridas. Nunes (2005), por exemplo, realizou a modelagem do escoamento com o modelo distribuído NAVMO (Kleeberg et al., 1989) e estabeleceu funções regionais para vazões no alto rio Paraíba/PB, incluindo a bacia de Taperoá, na região semi-árida do cariri paraibano.

O presente trabalho dá continuidade ao estudo de Nunes (2005) utilizando o mesmo modelo de simulação (NAVMO) aplicado às áreas média e baixa do rio Paraíba/PB, entre as estações de Boqueirão (12.377 km²) e a Foz (19.750km²), compreendendo uma área líquida de 7.373 km². Nesta etapa, realizou-se a modelagem do escoamento com base nos dados observados nas estações de Guarita (4.843 km²) e Ponte da Batalha (6.867 km²), após o que foram feitas simulações de séries anuais de vazões (médias e máximas) para o período de 1911 a 1983. As simulações foram feitas com base nos resultados da modelagem realizada Lima (2008) para anos secos, normais e úmidos. A homogeneidade e consistência das séries simuladas foram verificadas através de técnicas estatísticas, identificando assim o modelo probabilístico que melhor se ajusta às frequências das séries simuladas, às quais serviram de base para a regionalização hidrológica.

Foram regionalizados o índice regional de cheia, a curva de permanência e distribuições de probabilidades testadas com o método de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Foram empregadas ainda análises de correlação e regressão simples e múltipla entre as variáveis hidrológicas (vazões máximas, médias e mínimas) e as características físicas (área da bacia, comprimento do rio principal, densidade de drenagem e a declividade média da bacia) e climáticas (precipitação média, máxima anual e média diária máxima anual) das bacias. Os detalhes desta pesquisa encontram-se descritos e discutidos neste trabalho.

2 – ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Paraíba compreende as sub-bacias do baixo, médio e alto rio Paraíba e a bacia do rio Taperoá (Figura 1). Está localizada no semi-árido paraibano e integra as meso-regiões da Borborema, do Agreste e do Litoral paraibano, abrangendo uma área de 19.750 km² (até a Foz). Está compreendida entre as latitudes 6° 51' 31" e 8° 26' 21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" a Oeste de Greenwich, sendo a segunda maior bacia do estado da Paraíba, abrangendo 38% do seu território com seus 1.886.655 habitantes que correspondem 52% da sua população total segundo dados do PERH-PB 2006. Nas bacias do médio e baixo rio Paraíba/PB (Figura 2), as quais foram divididas em 20 sub-bacias, existem apenas 2 estações com dados de vazões observados (Tabela 1), com as quais o modelo NAVMO foi calibrado por Lima (2008) e utilizado para simular séries de vazões máximas e médias anuais de longo período.

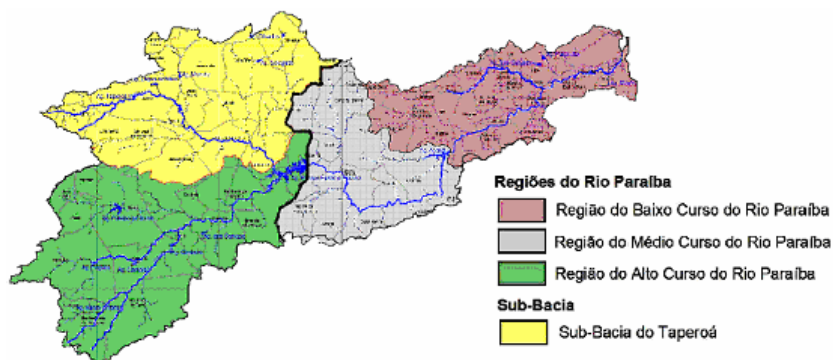


Figura 1 – Bacia do Rio Paraíba e suas sub-bacias

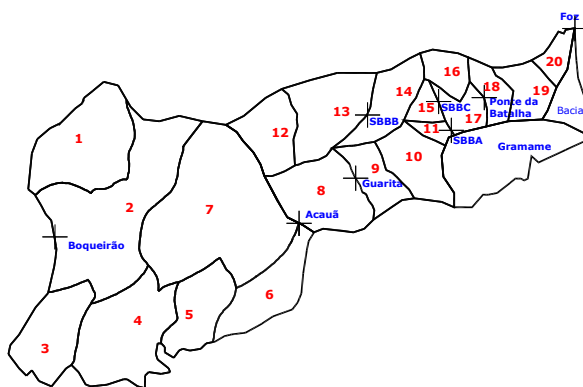


Figura 2 – Sub-Bacias do Médio e Baixo Rio Paraíba

Tabela 1 – Disponibilidade de dados observados nas estações de medições de vazões

Código	Nome	Anos Observados	Área de Drenagem (km ²)
38880000	Guarita	1970 a 1987	4.843
38895000	Ponte da Batalha	1970 a 1989	6.867

3 – AS SÉRIES SIMULADAS

Duas séries distintas foram obtidas na fase de simulação, uma de vazões máximas com os parâmetros médios calibrados pelos picos e uma de vazões médias com os parâmetros médios calibrados pelos volumes. As séries foram simuladas para sete sub-bacias: Acauã (4.244 km²), Guarita (4.843 km²), SBBA (5.413,31 km²), SBBB (684,09 km²), SBBC (1.140,35 km²), Ponte da Batalha (6.867 km²) e Foz (7.373 km²). As sub-bacias SBBA a SBBC foram selecionadas ao longo do curso principal com base na rede de drenagem e na semelhança da magnitude das áreas. Os resultados para as seções com dados são mostrados através dos gráficos de barra nas Figuras 3 a 6, onde podem ser vistas também as vazões observadas. Nas demais seções sem dados foram realizadas simulações para que se fosse possível verificar alguma anomalia e para se ter uma idéia do comportamento da vazão ao longo da bacia.

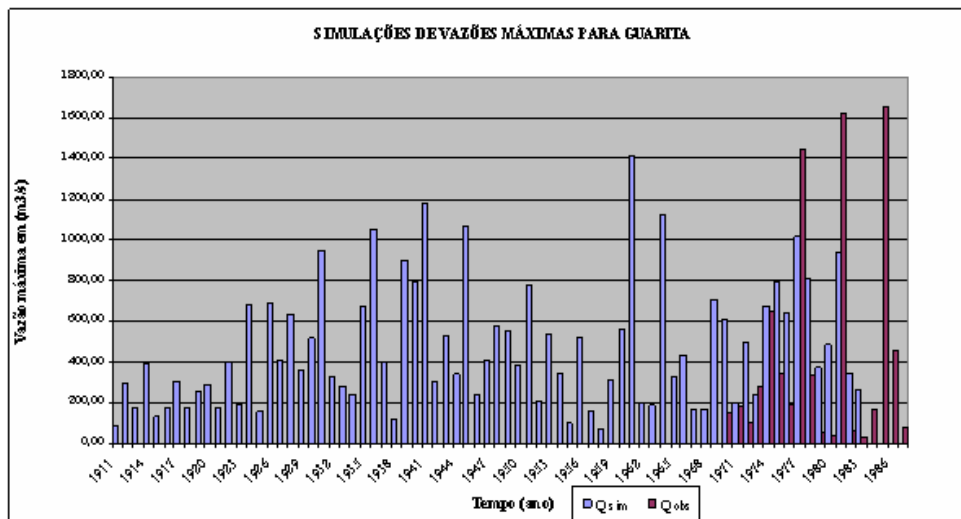


Figura 3 – Simulação de vazões máximas da bacia de Guarita

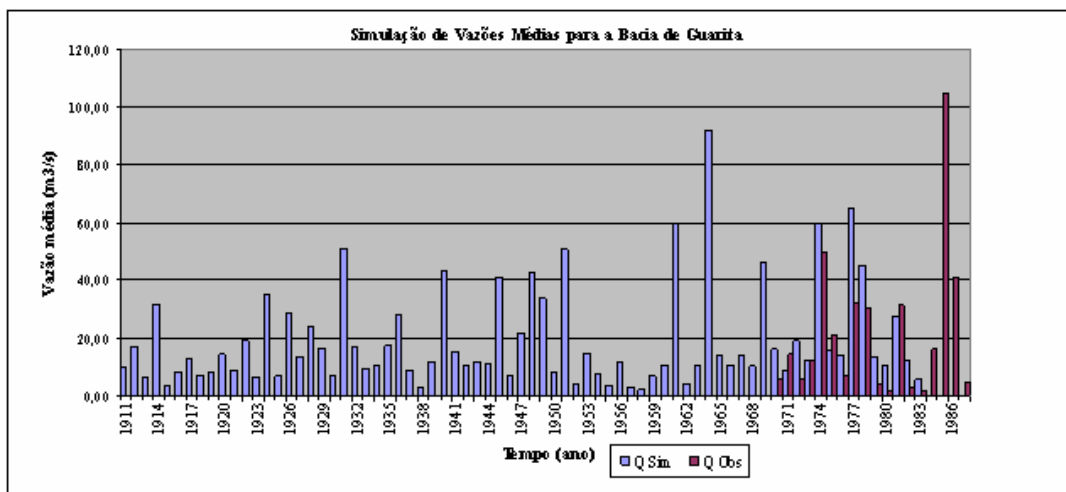


Figura 4 – Simulação de vazões médias da bacia de Guarita

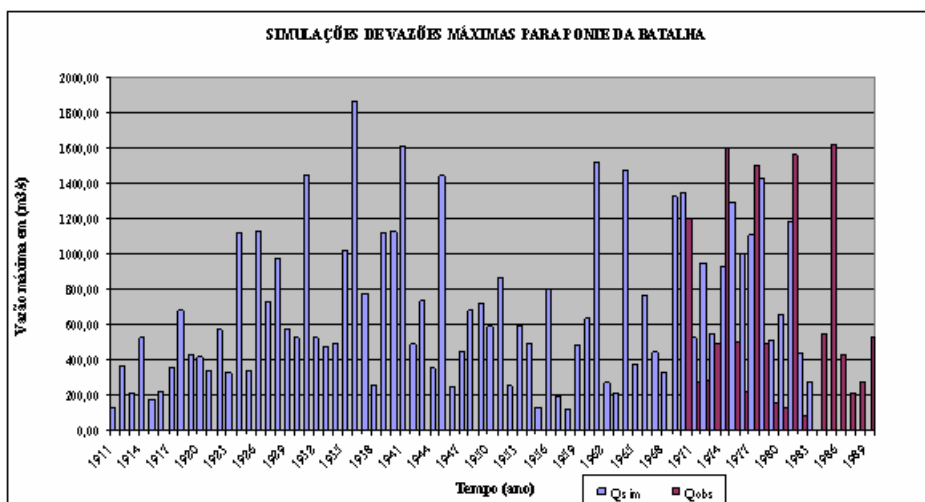


Figura 5 – Simulação de vazões máximas da bacia de Ponte da Batalha

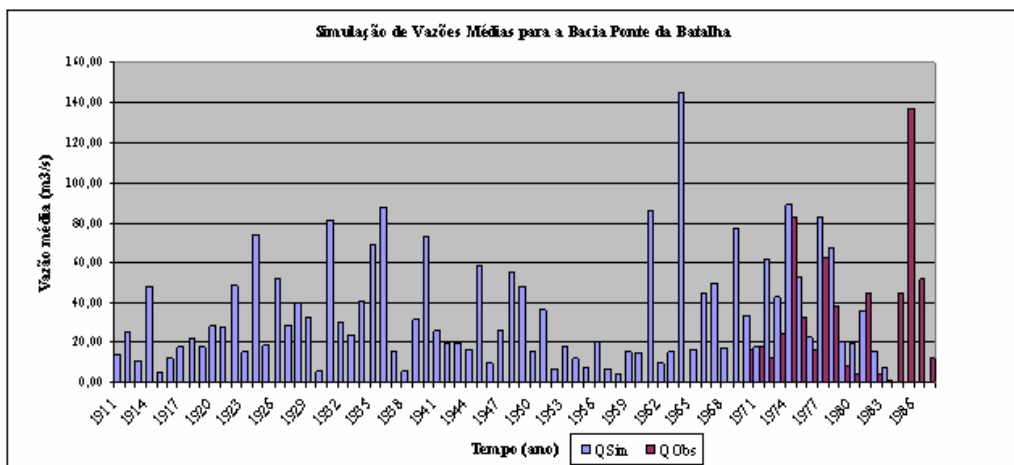


Figura 6 – Simulação de vazões médias da bacia de Ponte da Batalha

4 – ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

As duas séries de vazões anuais (médias e máximas) simuladas a partir de valores médios dos parâmetros calibrados do modelo NAVMO foram submetidas aos testes de homogeneidade regional (dupla massa), paramétricos e não paramétricos utilizando uma planilha eletrônica desenvolvida pela Agência Nacional de Água – ANA (ANA, 2004). Quando requeridos, os testes foram feitos ao nível de significância (α) de 5%. As distribuições de probabilidade foram testadas com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, também ao nível de 5% de significância. Para o ajuste dos parâmetros de cada distribuição utilizou-se o método dos momentos (Kite, 1977).

É possível ver nas Figuras 7 e 8 os resultados do teste de homogeneidade regional (dupla massa) que mostram os valores acumulados do posto investigado versus média regional acumulada.

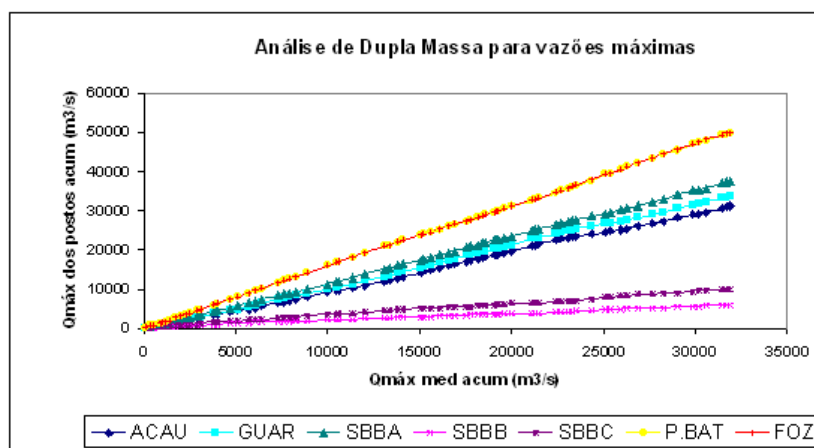


Figura 7 – Análise de consistência das séries de Vazões Máximas.

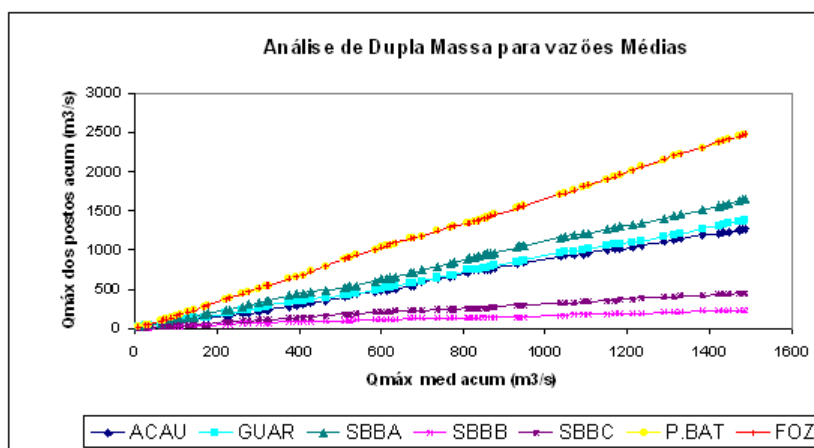


Figura 8 – Análise de consistência das séries de Vazões Médias.

Os resultados não apresentaram mudanças bruscas nas retas obtidas, e ainda é possível observar que as declividades das retas se mantiveram constantes para cada bacia da região estudada, embora tenha sido observada uma mudança não significativa nas bacias SBBB e SBBC tanto para vazões máximas quanto para vazões médias. No geral os resultados mostraram um razoável grau de homogeneidade.

Para a análise de estacionariedade foram empregados os testes paramétricos de Student e Snedecor e o não paramétrico de Wilcoxon. Os resultados dos testes para as hipóteses nulas (H_0) podem ser vistos nas tabelas 2 a 7.

Tabela 2 – Teste de Student para Vazões Máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	t_{Amostra}	$t_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	1,418	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Guarita	1,481	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBA	1,584	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBB	3,306	1,994	Médias são Diferentes	Rejeitada
SBBC	1,828	1,994	Médias são Iguais	Aceita
P. da Batalha	1,981	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Foz	1,845	1,994	Médias são Iguais	Aceita

Tabela 3 – Teste de Student para Vazões Médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	t_{Amostra}	$t_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	1,173	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Guarita	1,620	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBA	1,552	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBB	1,350	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBC	1,654	1,994	Médias são Iguais	Aceita
P. da Batalha	2,034	1,994	Médias são Diferentes	Rejeitada
Foz	1,935	1,994	Médias são Iguais	Aceita

Tabela 4 – Teste de Snedecor Vazões Máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	F_{Amostra}	$F_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	0,648	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
Guarita	0,639	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
SBBA	0,702	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
SBBB	0,142	2,386	Variâncias são iguais	Aceita
SBBC	0,708	1,893	Variâncias são iguais	Aceita
P. da Batalha	0,551	1,870	Variâncias são iguais	Aceita
Foz	0,529	1,870	Variâncias são iguais	Aceita

Tabela 5 – Teste de Snedecor Vazões Médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	F_{Amostra}	$F_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	0,531	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
Guarita	0,353	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBA	0,361	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBB	0,554	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBC	0,498	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
P. da Batalha	0,439	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
Foz	0,439	1,790	Variâncias são iguais	Aceita

Tabela 6 – Teste de Wilcoxon Vazões Máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	Z_{Amostra}	$Z_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	1,472	1,960	Não há tendência	Aceita
Guarita	1,401	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBA	1,461	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBB	1,759	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBC	1,934	1,960	Não há tendência	Aceita
P. da Batalha	1,627	1,960	Não há tendência	Aceita
Foz	1,476	1,960	Não há tendência	Aceita

Tabela 7 – Teste de Wilconxon Vazões Médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	Z_{Amostra}	$Z_{\text{Crítico}}$	H_0	Resultado
Acauã	1,732	1,960	Não há tendência	Aceita
Guarita	2,016	1,960	Há tendência	Rejeita
SBBA	2,028	1,960	Há tendência	Rejeitada
SBBB	1,633	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBC	1,930	1,960	Não há tendência	Aceita
P. da Batalha	2,276	1,960	Há tendência	Rejeitada
Foz	1,979	1,960	Há tendência	Rejeitada

De forma geral os resultados foram bons. No entanto, a hipótese da identidade das médias foi rejeitada em duas bacias: SBBB e Ponte da Batalha (Tabelas 2 e 3). Já no caso do teste das variâncias, a hipótese nula foi aceita em todas as bacias. O teste não-paramétrico de Wilcoxon apresentou quatro bacias com a hipótese nula rejeitada: Guarita, SBBA, Ponte da Batalha e Foz, todas para vazões médias.

Neste trabalho, para as vazões máximas foram testadas as distribuições de probabilidade, Gumbel, Gama, Pearson Tipo III e a Log-Normal. Para as vazões médias foram testadas as distribuições Normal, Gama e Pearson Tipo III. Segundo a bibliográfica consultada (Tucci, 2002; Kite, 1977), essas são as distribuições mais indicadas para esses tipos de dados. O teste de aderência utilizado para seleção da distribuição ajustável às frequências de cada série histórica foi o de Kolmogorov-Simirnov, ao nível de significância geralmente de 5%. O teste utiliza a máxima diferença entre a probabilidade teórica acumulada, $P(X \leq x)$, e as frequências observadas, $F(X \leq x)$, i.e., $D_t = \text{máximo} | P(X \leq x) - F(X \leq x) |$, com $P(X \leq x) = \int f(x).dx$ e $F(X \leq x) = 1-m/(n+1)$, sendo m a ordem do evento (ordenado em ordem decrescente) e n o número de dados, e a compara com a variável crítica da distribuição ($D_{c,n,\alpha}$) que é tabelada em função da distribuição, do número de dados (n) e do nível de significância (α) (Belke, 1980). A distribuição é aceita quando $D_t < D_{c,n,\alpha}$. As distribuições cumulativas de probabilidade foram preparadas na planilha eletrônica EXCEL e o programa apresentado por Kite (1977) utilizado para checar os seus parâmetros. Os resultados dos testes das hipóteses nulas (H_0 : as séries provem de um universo com a distribuição testada) distribuições de probabilidade mostram que, quase todas as distribuições testadas foram aceitas tanto para vazões máximas como para média. As exceções ocorreram com a distribuição Normal para vazões médias que foi rejeitada em todas as sub-bacias e para a distribuição Gama, também para vazões médias, que foi rejeitada na bacia de Acauã, mas com uma diferença muito pequena entre a variável de teste (D_t) e a variável crítica ($D_{c,n,5\%}$) como pode ser visto nas Tabelas 8 a 11. Maiores detalhes sobre os resultados podem ser encontrados Almeida (2008).

Tabela 8 – Teste da distribuição Normal (Vazões Médias)

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
D_{teste}	0,2367	0,2425	0,2271	0,1534	0,1323	0,1586	0,1589
$D_{c,n,5\%}$	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039
H_0 :	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

Tabela 9 – Teste da distribuição Log-Normal (Vazões Máximas)

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
D_{teste}	0,0954	0,0573	0,0774	0,0722	0,0857	0,0643	0,0665
$D_{c,n,5\%}$	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039
H_0 :	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

Tabela 10 – Teste da distribuição Pearson III (Vazões Médias)

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da batalha	Foz
D_{teste}	0,1188	0,1093	0,0932	0,0789	0,0597	0,0724	0,0832
$D_{c,n,5\%}$	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405
H_0 :	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

Tabela 11 – Teste da distribuição Gama (Vazões Máximas)

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
D_{teste}	0,0646	0,0590	0,0703	0,0547	0,0564	0,0708	0,0741
$D_{c,n,5\%}$	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162
H_0 :	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

5 – REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

5.1 – Variáveis hidrológicas

Nos estudos de regionalizações várias são as variáveis hidrológicas que podem ser determinadas, através de relações matemáticas, em termos das variáveis físicas e climáticas da bacia. Entre elas podemos citar: a vazão máxima, a média, a mínima e a curva de permanência, muito aplicadas em diversos estudos de regionalização (Tucci, 2002; Euclides et al, 2004; Nunes, 2005; Crispim, 2005).

Nesse trabalho foram consideradas para a regionalização as seguintes variáveis hidrológicas: a vazão máxima média de longo período com período de retorno de 2 anos (Q_2) no caso da distribuição Gama, a vazão com período de retorno de 2,33 anos ($Q_{2,33}$) que é no caso da distribuição Gumbel, a vazão média de longo período (Q_{mlp}), a vazão com 95% de garantia ($Q_{95\%}$), considerada mínima, vazões com diferentes período de retorno (Q_T) para as diferentes distribuições investigadas. As Tabelas 12 e 13 mostram os valores das variáveis em cada sub-bacia.

As vazões mínimas têm grande importância em estudos de disponibilidade hídrica, servindo como vazão referencial para outorga, instrumento da política nacional de recursos hídricos definida

na lei N° 9.433, em diversas bacias hidrográficas. São usadas também como referência na preservação ambiental, pois, estão relacionadas ao período crítico de disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas (Mendes, 2007). Neste trabalho, as vazões $Q_{95\%}$ foram obtidas a partir de análises de frequência das vazões médias simuladas, que resultou em curvas de permanências para cada bacia, apresentando resultados razoáveis ($R^2 > 0,42$), como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 12 – Variáveis Hidrológicas (Vazões Máximas)

Sub-Bacia	Q_2 (m ³ /s) - Gama	Q_2 (m ³ /s) - Pearson III	$Q_{2,33}$ (m ³ /s) - Gumbel	Q_2 (m ³ /s) - Log-Normal
Acauã	371,87	371,9	413,2	0,3543
Guarita	402,70	410,4	448,7	0,3840
SBBA	447,83	463,8	497,1	0,4266
SBBB	71,89	73,5	78,5	0,0681
SBBC	121,21	124,2	132,6	0,1150
Ponte da Batalha	603,36	622,9	663,2	0,5730
Foz	663,80	678,5	724,1	0,6291

Tabela 13 – Variáveis Hidrológicas (Vazões Médias e Mínimas)

Sub-Bacia	Q_{mip} (m ³ /s)	Q_2 (m ³ /s) - Gama	$Q_{2,33}$ (m ³ /s) - Pearson III	$Q_{95\%}$ (m ³ /s)
Acauã	9,39	9,36	9,38	8,02
Guarita	9,51	9,49	9,49	8,26
SBBA	9,72	9,70	9,70	8,56
SBBB	7,70	7,67	7,68	6,72
SBBC	8,37	8,34	8,34	7,43
Ponte da Batalha	10,14	10,12	10,12	9,02
Foz	10,32	10,30	10,30	9,26

Tabela 14 – Curva de Permanência das Sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba

Sub-Bacia	Q_i (m ³ /s)	R^2
Acauã	$Q_i = 5,0088 * N_G^{-0,8948}$	0,8317
Guarita	$Q_i = 5,9989 * N_G^{-0,8366}$	0,8639
SBBA	$Q_i = 7,7972 * N_G^{-0,7838}$	0,8546
SBBB	$Q_i = 1,1895 * N_G^{-0,6408}$	0,4425
SBBC	$Q_i = 2,3569 * N_G^{-0,6244}$	0,4220
Ponte da Batalha	$Q_i = 12,515 * N_G^{-0,7226}$	0,6851
Foz	$Q_i = 15,502 * N_G^{-0,6935}$	0,6747

Q_i = vazão com garantia i%, N_G = nível de garantia (-)

5.2 – Variáveis físicas e climáticas

As variáveis físicas utilizadas nesse estudo foram: a área de drenagem (A), a área plana delimitada pelo divisor de águas, o comprimento do rio principal (L), definido com sendo aquele que drena a maior área no interior da bacia, a declividade média da bacia (S_m) que influi na

velocidade do escoamento superficial, afetando principalmente a grandeza das enchentes, a densidade de drenagem (D_d) que é o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, fornecendo uma idéia da eficiência do sistema de drenagem da bacia. Já como variáveis climáticas, foram escolhidas a precipitação máxima anual ($P_{\max \text{ anual}}$) e a precipitação máxima diária anual ($P_{\max \text{ diária}}$) para vazão máxima, a precipitação média (P_{med}) para vazão média e vazão com 95% de garantia ($Q_{95\%}$). A Tabela 15 mostra os valores dessas variáveis para cada sub-bacia.

Tabela 15 – Variáveis Independentes selecionadas para Regionalização

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
A (km ²)	4244,00	4843,00	5412,31	684,09	1140,35	6867,00	7373,00
L (km)	219,95	23,40	33,36	33,07	23,02	30,00	35,77
S _m (m/km)	16,30	9,40	21,28	7,40	13,40	29,39	7,92
D _d (m/km ²)	170,71	158,76	156,12	125,74	126,79	150,64	150,73
P _{med} (mm)	1672,44	1642,59	1446,28	1187,06	1134,69	1282,81	1338,94
P _{max} (mm)	4401,33	4068,92	3266,34	2482,23	2282,63	2747,86	2855,16
P _{max} (Diária) (mm)	160,27	160,40	414,86	98,82	92,13	315,37	264,86

5.3 – Funções regionais

Para as vazões máximas, foram correlacionados os valores das vazões com certos períodos de retorno T, estimadas com as distribuições Gama, Pearson III, Log-Normal e Gumbel regionalmente aceita em todas as bacias, aos respectivos dados de área das sub-bacias. As Tabelas 16 a 19 mostram os resultados obtidos tanto para função logarítmica, quanto para potencial. Em geral os resultados foram bons, sendo que a função potencial apresentou melhores resultados com todas as distribuições investigadas ($R^2 > 0,91$).

Tabela 16 – Regressões entre Vazões Máximas Q_T (Gama) e Área da bacia

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R ²	Equação Potencial	R ²
2	Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₂ = 227,28LnA - 1459,1	0,9106	Q ₂ = 0,2033A ^{0,9014}	0,9968
5	Q ₅ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅ = 374,92LnA - 2406,1	0,9283	Q ₅ = 0,3101A ^{0,911}	0,9985
10	Q ₁₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₁₀ = 472,74LnA - 3033,4	0,9350	Q ₁₀ = 0,3785A ^{0,9149}	0,9989
50	Q ₅₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅₀ = 565,32LnA - 3627,1	0,9396	Q ₅₀ = 0,4422A ^{0,9178}	0,9991
100	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₁₀₀ = 683,14LnA - 4382,5	0,9440	Q ₁₀₀ = 0,5221A ^{0,9206}	0,9993
200	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₂₀₀ = 770,15LnA - 4940,4	0,9466	Q ₂₀₀ = 0,5805A ^{0,9223}	0,9993
500	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅₀₀ = 968,33LnA - 6211	0,9510	Q ₅₀₀ = 0,7117A ^{0,9254}	0,9993

Tabela 17 – Regressões entre Vazões Máximas Q_T (Pearson III) e Área da bacia

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R ²	Equação Potencial	R ²
2	Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₂ = 233,2LnA - 1498,2	0,9068	Q ₂ = 0,2066A ^{0,9021}	0,9965
5	Q ₅ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅ = 380,09LnA - 2440,1	0,9264	Q ₅ = 0,3127A ^{0,9114}	0,9985
10	Q ₁₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₁₀ = 473,23LnA - 3036,6	0,9351	Q ₁₀ = 0,3785A ^{0,915}	0,9989
50	Q ₅₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅₀ = 559,33LnA - 3587,5	0,9414	Q ₅₀ = 0,4386A ^{0,9176}	0,9990
100	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₁₀₀ = 666,73LnA - 4274,3	0,9477	Q ₁₀₀ = 0,5127A ^{0,9202}	0,9989
200	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₂₀₀ = 744,81LnA - 4773,3	0,9513	Q ₂₀₀ = 0,5661A ^{0,9218}	0,9987
500	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	A(km ²)	Q ₅₀₀ = 919,55LnA - 5889,3	0,9576	Q ₅₀₀ = 0,6845A ^{0,9246}	0,9981

Tabela 18 – Regressões entre Vazões Máximas Q_T (Log-Normal) e Área da bacia

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R ²
2	$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_2 = 0,216LnA - 1,3867$	0,9132
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 0,34478LnA - 2,212$	0,9288
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 0,4473LnA - 2,8705$	0,9344
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 0,5584LnA - 3,5828$	0,9380
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 0,7207LnA - 4,6241$	0,9412
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 0,8567LnA - 5,4964$	0,9429
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 1,222LnA - 7,8393$	0,9455

Tabela 19–Regressões entre Vazões Máximas Q_T (Gumbel) e Área da bacia

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R ²	Equação Potencial	R ²
2	$Q_{2,33}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{2,33} = 250,38LnA - 1607,1$	0,9191	$Q_{2,33} = 0,216A^{0,9058}$	0,9977
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 386,67LnA - 2481,3$	0,9315	$Q_5 = 0,3151A^{0,9128}$	0,9987
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 488,05LnA - 3131,6$	0,9359	$Q_{10} = 0,389A^{0,9155}$	0,9989
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 585,3LnA - 3755,3$	0,9387	$Q_{50} = 0,4601A^{0,9172}$	0,9991
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 711,18LnA - 4562,7$	0,9410	$Q_{100} = 0,5522A^{0,9187}$	0,9992
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 805,51LnA - 5167,8$	0,9423	$Q_{200} = 0,6212A^{0,9195}$	0,9992
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 1023,5LnA - 6565,9$	0,9443	$Q_{500} = 0,7808A^{0,9208}$	0,9993

Nesse trabalho foram determinadas funções regionais para diferentes indicies regionais a_T , determinado a partir da relação entre a vazão com diferentes período de retorno Q_T e a vazão de referência que nesse estudo foram aquelas com os períodos de retorno de 2,33 anos (Gumbel) e 2 anos (demais distribuições). A equação 1 mostra essas relações.

$$a_{T1} = \frac{Q_T}{Q_{2,33}} \text{ ou } a_{T2} = \frac{Q_T}{Q_2} \quad (1)$$

As vazões $Q_{2,33}$ de Gumbel e Q_2 das distribuições Gama, Pearson III e Log-Normal foram correlacionadas com as características físicas e climáticas das sub-bacias através de funções regionais dos tipos linear múltipla e potencial múltipla, como pode ser observado nas Tabelas 20 a 27. Maiores detalhes sobre os resultados podem ser encontrados Almeida (2008).

Tabela 20 – Regressões Lineares Múltiplas para $Q_{2,33}$ (Gumbel) - Vazões Máximas

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R ²
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,10723A + 0,33792L - 0,06554S - 3,60594Dd + 0,02275P + 399,658$	0,9995
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,10439A + 0,24404L + 0,02715S - 1,84425Dd - 0,08014P + 243,484$	0,9998
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{2,33} = 0,10281A + 0,28941L - 0,45904S - 1,98285Dd + 258,433$	0,9994
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,09414A + 0,01838L - 0,36882S + 15,929$	0,9960
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,09367A + 0,01551L + 12,600$	0,9959
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); D_d(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{2,33} = 0,09633A - 0,61451Dd + 93,095$	0,9968
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,09713A - 0,09917P + 19,729$	0,9969
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,09412A - 0,35509S + 16,835$	0,9960
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,09464A - 0,010447P + 42,202$	0,9969

Tabela 21 – Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_{2,33}$ (Gumbel) - Vazões Máximas

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R ²
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 1537747,96A^{1,304}L^{0,178}S^{0,054}Dd^{-5,853}P^{1,150}$	0,9999
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 40,33A^{1,066}L^{0,0723}S^{-0,001}Dd^{-1,325}P^{-0,072}$	0,9999
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); D_d(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{2,33} = 25,24A^{1,024}L^{0,074}S^{-0,021}Dd^{-1,228}$	0,9995
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,18A^{0,906}L^{-0,006}S^{-0,011}$	0,9963
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,18A^{0,904}L^{-0,007}$	0,9963
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); D_d(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{2,33} = 1,55A^{0,956}Dd^{-0,517}$	0,9978
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,19A^{0,918}P^{-0,029}$	0,9964
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{2,33} = 0,18A^{0,906}S^{-0,012}$	0,9963
$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_{2,33} = 0,61A^{0,928}P^{-0,176}$	0,9981

Tabela 22 – Regressões Lineares Múltiplas para Q_2 (Gama) - Vazões Máximas

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R ²
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S(\text{m}/\text{km}); Dd(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_2 = 0,09968A + 0,35366L - 0,23567S - 3,67423Dd + 0,01970P + 414,824$	0,9995
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S(\text{m}/\text{km}); Dd(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_2 = 0,09731A + 0,26976L - 0,12743S - 2,14088Dd - 0,07401P + 278,739$	0,9998
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S(\text{m}/\text{km}); Dd(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_2 = 0,09586A + 0,31166L - 0,57638S - 2,26886Dd + 292,543$	0,9994
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S(\text{m}/\text{km})$	$Q_2 = 0,08593A + 0,00154L - 0,47316S + 15,060$	0,9940
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km})$	$Q_2 = 0,08533A - 0,00214L + 10,789$	0,9937
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); Dd(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_2 = 0,08878A - 0,79700Dd + 113,935$	0,9956
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxdiária}}(\text{mm})$	$Q_2 = 0,08884A - 0,10077P + 17,025$	0,9950
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); S(\text{m}/\text{km})$	$Q_2 = 0,08593A - 0,47201S + 15,136$	0,9940
$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{maxanual}}(\text{mm})$	$Q_2 = 0,08656A - 0,01327P + 47,193$	0,9958

Tabela 23 – Regressões Potenciais Múltiplas para Q₂ (Gama) - Vazões Máximas

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R ²
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S(m/km);Dd(m/km ²);P _{maxanual} (mm)	Q ₂ = 1469689,59A ^{1,303} L ^{0,177} S ^{0,055} Dd ^{-5,833} P ^{1,147}	0,9999
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S(m/km);Dd(m/km ²);P _{maxdiária} (mm)	Q ₂ = 39,51A ^{1,066} L ^{0,071} S ^{-0,001} Dd ^{-1,315} P ^{-0,072}	0,9999
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S(m/km);Dd(m/km ²)	Q ₂ = 24,74A ^{1,023} L ^{0,074} S ^{-0,021} Dd ^{-1,219}	0,9995
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S(m/km)	Q ₂ = 0,19A ^{0,907} L ^{-0,006} S ^{-0,010}	0,9964
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km)	Q ₂ = 0,19A ^{0,905} L ^{-0,007}	0,9963
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);Dd(m/km ²)	Q ₂ = 1,56A ^{0,956} Dd ^{-0,513}	0,9978
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);P _{maxdiária} (mm)	Q ₂ = 0,19A ^{0,918} P ^{-0,029}	0,9964
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);S(m/km)	Q ₂ = 0,19A ^{0,906} S ^{-0,011}	0,9964
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);P _{maxanual} (mm)	Q ₂ = 0,61A ^{0,928} P ^{-0,174}	0,9981

Tabela 24 – Regressões Lineares Múltiplas para Q₂ (Gama) - Vazões Médias

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R ²
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²);P _{med} (mm)	Q ₂ = 0,00572A+0,03588L-0,12766S-0,30511Dd-0,00451P+ 42,431	0,9992
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²)	Q ₂ = 0,00593A+0,03997L-0,10391S-0,39342Dd+47,787	0,9991
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km)	Q ₂ = 0,00421A-0,01380L-0,08601S-0,329	0,9336
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km)	Q ₂ = 0,00410A-0,01447L-1,105	0,9304
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);D _d (m/km ²)	Q ₂ = 0,00499A-0,20527Dd+24,676	0,9725
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);P _{med} (mm)	Q ₂ = 0,00452A-0,01336P+14,743	0,9762
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);S _m (m/km)	Q ₂ = 0,00422A-0,09632S-1,009	0,9257

Tabela 25 – Regressões Potenciais Múltiplas para Q₂ (Gama) – Vazões Médias

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R ²
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²);P _{med} (mm)	Q ₂ = 261683543984,05A ^{2,033} L ^{0,482} S ^{0,217} Dd ^{-15,986} P ^{5,140}	0,9996
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²)	Q ₂ = 4694,35A ^{1,353} L ^{0,143} S ^{-0,035} Dd ^{-3,500}	0,9993
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km)	Q ₂ = 0,003863A ^{1,019} L ^{-0,086} S ^{-0,005}	0,9791
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²); L(km)	Q ₂ = 0,003852A ^{1,018} L ^{-0,086}	0,9790
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);D _d (m/km ²)	Q ₂ = 21,80A ^{1,224} Dd ^{-2,128}	0,9943
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);P _{med} (mm)	Q ₂ = 5,88A ^{1,119} P ^{-1,172}	0,9963
Q ₂ (m ³ /s)	A(km ²);S _m (m/km)	Q ₂ = 0,0033134A ^{1,010} S ^{-0,019}	0,9743

Tabela 26 – Regressões Lineares Múltiplas para Q_{95%}

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R ²
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²);P _{med} (mm)	Q _{95%} = 0,00161A+0,00509L-0,08397S-0,00203Dd+0,00777P+ 9,799	0,9993
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km);D _d (m/km ²)	Q _{95%} = 0,00197A+0,01214L-0,04306S-0,15412Dd+19,024	0,9975
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²); L(km);S _m (m/km)	Q _{95%} = 0,00129A-0,00893L-0,03605S+0,175	0,8967
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²); L(km)	Q _{95%} = 0,00125A-0,00921L-0,150	0,8910
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²);D _d (m/km ²)	Q _{95%} = 0,00167A-0,09721Dd+11,927	0,9697
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²);P _{med} (mm)	Q _{95%} = 0,00144A-0,00611P+6,949	0,9696
Q _{95%} (m ³ /s)	A(km ²);S _m (m/km)	Q _{95%} = 0,00130A-0,04272S-0,265	0,8631

Tabela 27 – Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_{95\%}$

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R^2
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); Dd(\text{m}/\text{km}^2); P_{\text{med}}(\text{mm})$	$Q_{95\%} = 439603582896,89A^{1,851}L^{0,355}S^{0,100}Dd^{-12,679}P^{2,939}$	0,9987
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km}); Dd(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{95\%} = 16374072,55A^{1,463}L^{0,162}S^{-0,044}Dd^{-5,540}$	0,9986
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km}); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{95\%} = 0,003834A^{0,933}L^{-0,201}S^{0,003}$	0,9403
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); L(\text{km})$	$Q_{95\%} = 0,003842A^{0,934}L^{-0,201}$	0,9402
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); Dd(\text{m}/\text{km}^2)$	$Q_{95\%} = 38222,26A^{1,316}Dd^{-3,993}$	0,9911
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); P_{\text{med}}(\text{mm})$	$Q_{95\%} = 1772,86A^{1,109}P^{-2,104}$	0,9921
$Q_{95\%}(\text{m}^3/\text{s})$	$A(\text{km}^2); S_m(\text{m}/\text{km})$	$Q_{95\%} = 0,002348A^{0,913}S^{-0,029}$	0,9102

Os resultados apresentados nas Tabelas 20 a 27 indicam que as funções do tipo potencial múltipla foram as melhores, com valores de $R^2 > 0,91$ em geral. Para a aplicação da equação (1) na estimativa de Q_T faz-se necessário estabelecer a função do índice regional. Assim, os índices médios regionais para as distribuições apresentadas, Gumbel ($a_T = Q_T/Q_{2,33}$) e Gama ($a_T = Q_T/Q_2$) foram correlacionados aos período de retorno T através de duas funções, uma logarítmica e outra potencial. Os resultados são mostrados nas Tabelas 28 e 29 que demonstram que a função do tipo logarítmica foi melhor que a potencial na estimativa de a_T com valores de $R^2 > 0,97$ em geral. Para um dado período de retorno T , o índice a_T pode ser determinado com uma das equações nas tabelas 28 ou 29 e com a vazão de referência (Q_2 , $Q_{2,33}$ ou $Q_{95\%}$) calculada em termos das características da bacia com uma das equações nas Tabelas 20 a 27, a vazão correspondente (Q_T) pode ser estimada com a equação 1.

Tabela 28 – Regressão Simples para a_T (Gumbel)

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R^2	Equação Potencial	R^2
a_T	$T(\text{anos})$	$a_T=0,3595\ln T + 1,0354$	0,9732	$a_T=1,2865T^{0,1556}$	0,9528

Tabela 29 – Regressão Simples para a_T (Gama)

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R^2	Equação Potencial	R^2
a_T	$T(\text{anos})$	$a_T=0,3734\ln T + 1,1278$	0,9724	$a_T=1,3826T^{0,1524}$	0,9508

5.4 – Regionalização de parâmetros

Nesta etapa foram regionalizados os parâmetros da curva de permanência e os da distribuição de probabilidade regionalmente aceita em toda a bacia do rio Paraíba - PB. A regionalização da curva de permanência consistiu na construção de mapas de isolíneas dos parâmetros a e b da equação 2 a seguir, a partir dos resultados desta pesquisa e dos resultados obtidos por Nunes (2005) permitindo, assim, determinar a vazão com dado nível de garantia em qualquer local da região do rio Paraíba. Similarmente, foram construídas isolíneas para os parâmetros α e β da distribuição de probabilidade de Gumbel, dada na equação 3 a seguir, que foi aceita regionalmente em todas as

seções do rio Paraíba – PB. Em consequência da regionalização dos parâmetros da distribuição Gama, é possível se obter também, em qualquer local da região, o índice de cheia dado pela equação 4. Mapas de isolíneas dos parâmetros a , b , α e β foram traçados com o auxílio do programa SURFER e são apresentados nas Figuras 9 a 12.

$$Q_i = a \cdot N_G^b \quad (2)$$

$$Q_T = \alpha \cdot \beta \left[\left(1 - \frac{1}{9 \cdot \beta} \right) + Z \cdot \left(\frac{1}{9 \cdot \beta} \right)^{0,5} \right]^3 \quad (3)$$

$$a_T = \frac{Q_T}{Q_2} \quad (4)$$

onde Q_i é a vazão (m^3/s) com garantia $i\%$ (e.g., $Q_{95\%}$), NG (-) é o nível de garantia, a e b são os parâmetros da função da curva de permanência, Q_T é a vazão com períodos de retorno T , α e β são os parâmetros da distribuição Gama (equações 5 e 6), e Z é definido a partir da distribuição Normal que é usada também para resolver a distribuição Gama.

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma_1} \right)^2 \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (6)$$

onde σ é o desvio padrão e γ_1 é o coeficiente de assimetria.

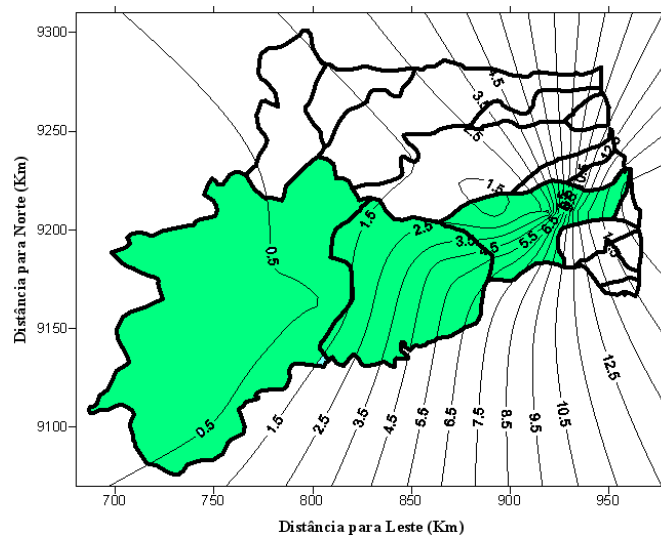


Figura 9 – Mapas de Isolíneas do parâmetro a da Curva de Permanência

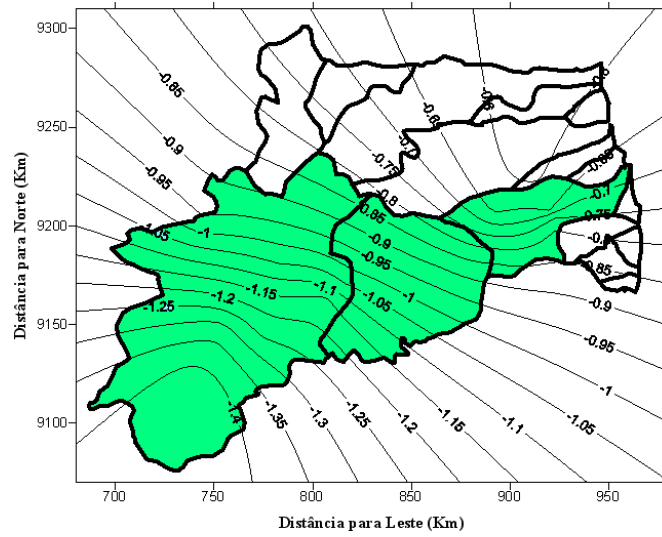


Figura 10 – Mapas de Isolíneas do parâmetro b da Curva de Permanência

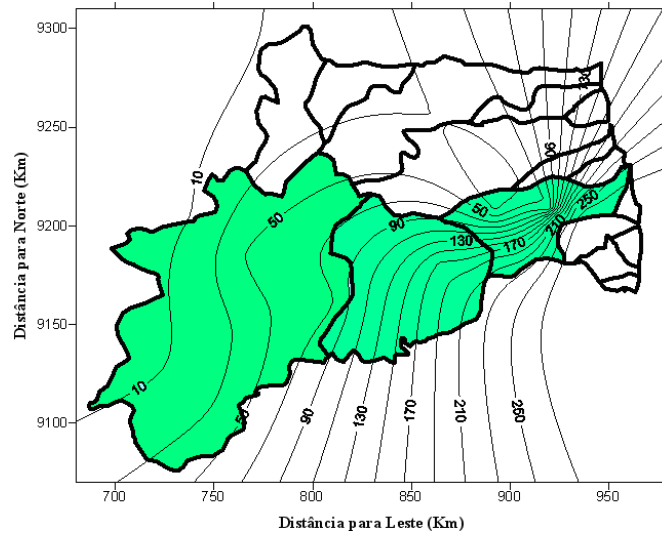


Figura 11 – Mapas de Isolíneas do parâmetro α da Distribuição Gama

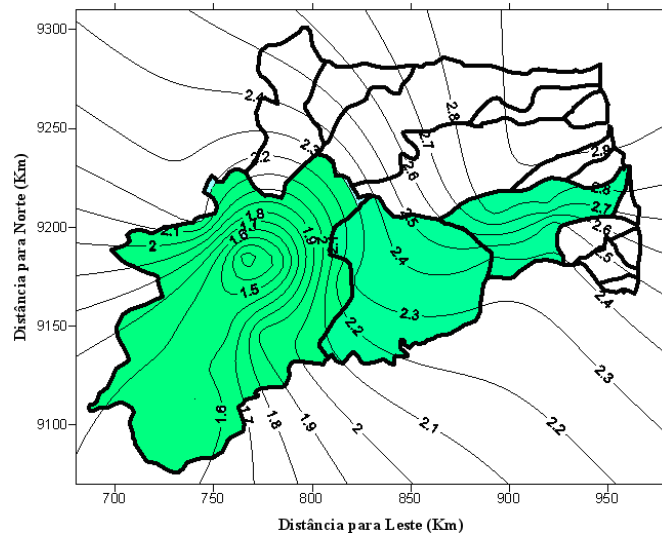


Figura 12 – Mapas de Isolíneas do parâmetro β da Distribuição Gama

6 – CONCLUSÕES

O objetivo da pesquisa foi o de realizar a regionalização de séries de longo período simuladas com o modelo distribuído NAVMO, com parâmetros calibrados e validados para anos normais e úmidos por Lima (2008), para suprir as falhas da rede fluviométrica das regiões do médio e baixo rio Paraíba/PB.

A simulação com o modelo NAVMO gerou duas séries de longo período (1911 a 1983) uma para vazões máximas e outra para vazões médias, com resultados, em geral, razoáveis, quando foi possível a comparação com os dados observados.

De acordo com os testes de homogeneidade (dupla massa) e estacionariedade (paramétricos e não paramétricos) as séries simuladas (1911 a 1983) com o modelo distribuído NAVMO, são homogêneas, servindo, assim, como base para os estudos de regionalização na região.

Com relação as distribuições de probabilidade, quase todas foram aceitas ao nível de 5% de significância, com exceção da distribuição normal que foi rejeitada em todas as sub-bacias para vazões médias e a Gama que foi rejeitada em Acauã também para vazões médias porém com diferença insignificante entre o valor da variável de teste e a crítica.

Com relação às equações de regressão, os valores do coeficiente de correlação (R^2) mostram que a regressão é mais forte entre a área de drenagem da bacia (A) e as variáveis climáticas, precipitação máxima anual ($P_{\max \text{ anual}}$) para vazões máximas e precipitação média (P_{med}) no caso das vazões médias e mínimas. É possível observar ainda que quando outras variáveis explanatórias são aplicadas, o valor de R^2 aumenta, mas a variação é muito pequena.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio através da bolsa de mestrado e ao CNPq pelo apoio ao projeto MODHIPB – Processo N° 474430/2006-5.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, T. S. (2008). “*Regionalização Hidrológica nas Regiões do Médio e Baixo Rio Paraíba/PB Utilizando Vazões Simuladas com o Modelo Distribuído NAVMO*” – Dissertação de Mestrado – UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande, PB.

ANA (2004). “*Relatório de Gestão 2003*”. CD-ROM. Brasília.

ARAGÃO, R., FIGUEIREDO, E. E., SRINIVASAN, V. S. E GÓIS, R. S. S. (1998). “*Chuvas Intensas no Estado da Paraíba*”. Anais V Simp. Rec. Híd. do Nordeste, Vol 2, pg. 74-85.

CRISPIM, A. M. C. (2005). “*Regionalização Hidrológica na Região do Alto rio Piranhas-PB*”.

- utilizando dados simulados com o Modelo Distribuído*". Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB.
- BELKE, D. (1980): *Tabelen des Kolmogorov-Smirnow-Anpassungstests für Vollständig und Unvollständig Spezifizierte Nullhypothesen*. In: *Analyse und Berechnung oberirdischer Abflüsse*, Heft 46. Verlag Paul Parey.
- CRISPIM, A. M. C. (2005). *Regionalização Hidrológica na região do alto Rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído*. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.
- CHOW, V.T. (1964). "*Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company*", New York, USA.
- EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., FURTADO, R. F. F. (2004). "*Regionalização Hidrológica nas Sub-Bacias do Rio Grande, Minas Gerais*". VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luis, MA.
- ELESBON, A. A. A., FIOROT, P., CESCNETO, E., COSER, M. E., MENDONÇA, A. S. F. (2002). "*Regionalização de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para o estado de Espírito Santo visando futura aplicação de SIG em sua automatização*". Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste VI, Alagoas, art 64, 17p. CD – ROM.
- KITE, G. W. (1977). "*Frequency and Risk Analysis in Hydrology*". Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA. 224 p.
- KLEEBERG, H. B., OVERLAND, H. e PAUS, B. (1989). *NAVMO, Version 1.1, Nideschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation*. Universität de Bundeswehr München, Alemanha.
- LIMA, K. A. (2008). "*Modelagem do escoamento no baixo rio Paraíba/PB e Mamanguape para fins de regionalização hidrológica*" – Dissertação de mestrado – UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande, PB.
- MENDES, L. A. (2007). "*Análise dos Critérios de Outorga de Direito de Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos Baseados em Vazões Mínimas e em Vazões de Permanência*" – Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, SP.
- NUNES, A. S. O. (2005). "*Regionalização Hidrológica na Região do Alto Rio Paraíba-PB Utilizando dados Simulados com Modelo Distribuído*". Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG.

PERH – PB. (2006). “*Plano Estadual de Recursos Hídricos. Resumo Executivo e Atlas: Governo de Estado da Paraíba, Secretaria de Estado da Ciência e tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba*”, AESA. – Brasília DF: Consórcio TC/BR – Concremat 112p.

REGO, J. C., FIGUEIREDO, E. E., KOCH, U. (1989). “*Regionalização de Cheias numa Bacia do Nordeste do Brasil*”. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu- Pr, pp. 621 – 632.

TUCCI, C. E. M. (2002). “*Regionalização de vazões*” – ABRH, Editora da Universidade – UFRGS. 1ª Edição. RS.