

ANÁLISE DE VAZÕES EXTREMAS DE RIOS DO PARANÁ ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO GEV E MOMENTOS LH

Manoel Moisés F. de Queiroz¹; Angélica Demito² & Willy Weiber³

Resumo - O objetivo deste trabalho foi modelar séries de cheias anuais e de vazões mínimas anuais de sete dias de rios da bacia do Paraná, sub-bacia 64, através da distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos - GEV, utilizando o método de momentos de combinação linear das estatísticas de altas ordens (momentos LH) para estimação de seus parâmetros. Como resultado obtiveram-se ajustes da distribuição GEV às formas de valores extremos do tipo VEI (Gumbel), VEII e VEIII referentes às séries de cheias anuais e às de vazões mínimas de sete dias, aceitos pelo teste de WANG (1998), com nível de significância de 5% e pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%, respectivamente. Os melhores ajustes da distribuição GEV às séries de vazões mínimas de sete dias foram obtidos através de momentos LH0.

Abstract - The objective of this work was to model the series annual floods and annual minimum seven days streamflow data of river of the Paraná state by generalized extreme values probability distribution – GEV using the moments of height linear combination statistic methods – LH moments, to estimate of its parameters. The fits of the GEV distribution led for forms of extreme value of the kind VEI (Gumbel distribution) and VEII and VEIII for series annual floods and annual minimum seven days streamflow, where all fit was agree by the approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments by WANG (1998) with 5% significance level and by goodness-of-fit Kolmogorov-Smirnov test with 5% significance level, respectively. The best fits of the annual minimum seven days streamflow data were obtained by LH0 moments.

Palavras-chave - cheias anuais, momentos LH, distribuição GEV, vazões mínimas de 7 dias

¹ Prof. Adjunto da Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, CCET, UNIOESTE, Rua Universitária, 2069, Jardim Universitário, Fone (45)220-3262, Fax (45)324-4566, CEP 85819-110 Cascavel, mfqueiroz@unioeste.br;

² Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Campus de Cascavel, PR;

³ Acadêmico do curso de Engenharia Civil, UNIOESTE, Campus de Cascavel, PR.

INTRODUÇÃO

Em planejamento e elaboração de projeto estrutural de obras hidráulicas a estimação da cheia de projeto é feita a partir da análise de frequência das séries de vazões observadas. Em estruturas de grandes portes a estimação da cheia é realizada para períodos de retorno que chegam a ser milenares ou decamilenares, que são superiores ao período das observações dos dados. Assim a estimação da cheia é feita com o ajuste, aos dados, de um modelo de distribuição de probabilidade conhecido, onde a partir da extrapolação dos mesmos, obtém-se o valor da cheia de projeto.

Em diversas atividades econômicas, a água constitui um fator de produção cujos quantitativos podem atingir valores elevados dependendo da natureza da atividade. Os cursos d'água, desde muito tempo, têm sido utilizados como receptores de efluentes domésticos, industriais e agro-industriais. A carga de efluente absorvida por um rio depende da dimensão de sua vazão, assim, o estudo de vazões mínimas é relevante sobre este aspecto, entre outros, onde tem sido empregado a vazão mínima de sete dias como limite para o estabelecimento da taxa de emissão que pode ser lançado em um curso d'água. De modo geral, a estimação da vazão de sete dias é feita através da análise de frequência, utilizando modelos de distribuição de probabilidade conhecidos.

Recentemente, a distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV), introduzida por Jenkinson (1955), tem encontrado muitas aplicações em hidrologia, com crescente aceitação para descrição dos eventos máximos naturais, principalmente dados de cheias anuais. Decorrente da consideração teórica de que a distribuição de valores extremos de uma amostra converge assintoticamente para uma das três formas de valores máximos reunidas através da distribuição GEV, independente de sua distribuição subjacente (Wang,1997).

Na prática, a distribuição GEV tem sido usada para modelar uma extensa variedade de máximos naturais, incluindo, além de cheias, chuvas, velocidade do vento, temperaturas, picos de ondas do mar e outros máximos (Martins & Stedinger, 2000). Seu uso associado ao método de estimação de parâmetros dos momentos de combinação lineares das estatísticas de altas ordens (momentos LH) tem produzido bons resultados de ajustes a dados de eventos hidrológicos extremos (Wang, 1996; 1997a;1997b; Queiroz, 2002).

Esse trabalho teve como objetivo modelar as séries de vazões máximas e de vazões mínimas de sete dias observadas em vários rios da bacia Paraná, sub bacia 64, através da distribuição GEV, utilizando o método dos momentos de combinação lineares das estatísticas de altas ordens (momentos LH).

MATERIAL E MÉTODOS

As séries de cheias anuais e de vazões anuais mínimas de sete dias foram construídas a partir das seqüências de vazões diárias observadas em 53 estações fluviométricas do DENAEE da sub-bacia 64 do Paraná., considerando a vazão diária máxima ocorrida em cada ano e a vazão mínima de sete dias ocorrida em cada ano, calculada a partir da média móvel de 7 valores.. A Figura 1 mostra a localização das estações cujos dados das séries de vazões foram utilizados. Cada série de cheias anuais e de vazões mínimas de sete dias foi ajustada através da distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV), utilizando o método dos momentos de combinação linear das estatísticas de altas ordens (momentos LH), segundo metodologia proposta por Wang (1997). Para tanto, utilizaram-se rotinas computacionais em Matlab desenvolvidas por Queiroz (2002) que fornece os parâmetros da distribuição GEV, as taxas de momentos LH e os valores do teste de WANG e do teste de Kolmogorov referentes aos 4 níveis de ajustes LH_{η} ($\eta=0, 1,...,4$). A qualidade dos ajustes às séries de cheias foi verificada através do teste proposto por WANG (1998). Já a qualidade dos ajustes referentes às séries de vazões mínimas foi analisada por meio do teste de Komogorov. Os dados de cheias e de vazões mínimas são apresentados em gráficos de posição de plotagem seguindo a fórmula APL $[P = (i-0,35)/n]$, onde n é o tamanho, juntamente com os ajustes, plotados em função da variável reduzida de Gumbel.



Figura 1 - Bacia hidrográfica contendo as estações onde foram registradas as séries de vazões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que as séries de cheias dos diversos rios analisados apresentam as três formas de valores extremos e que a distribuição GEV ajustou-se a todas elas, segundo o teste de WANG, com nível de significância de 5 %. Mesmo para a maioria das séries que apresenta extensão inferior a 30 anos, o método de momentos LH redeu bons ajustes, evidenciando sua habilidade em ajustar séries com poucos dados. Os valores $-0.03 < k < 0.03$ compreendem, na prática, a distribuição Gumbel, sendo 14,6% dos ajustes correspondendo a GEV do tipo VEI (Gumbel), 39% correspondem a GEV tipo VEII e 46,4% a GEV tipo VEIII. As taxas de momentos, mostradas na Tabela 1, apresentam comportamento semelhante ao observado em variáveis hidrológicas, onde, geralmente, apresentam coeficiente de assimetria e de curtose positivos. As séries estudadas apresentam, apenas um caso de coeficiente de assimetria menor que zero e três casos com coeficientes de curtose inferior a zero. No entanto, os valores positivos são menores que 1.

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que as séries de vazões mínimas de sete dias dos diversos rios analisados foram adequadamente ajustadas através da distribuição GEV, segundo o teste de Komogorov - Smirnov, com nível de significância de 5 %. Mesmo para séries que apresentam extensão reduzida, o método de momentos LH rendeu bons ajustes, evidenciando sua habilidade em ajustar séries de mínimos com poucos dados. Os ajustes apresentam as três formas de valores extremos, onde para valores de $-0.03 < k < 0.03$ compreendem, na prática, a distribuição Gumbel, sendo 11,1% dos ajustes correspondendo a GEV do tipo VEI (Gumbel), 47,2% correspondem a GEV tipo VEII e 41,7% a GEV tipo VEIII. Os resultados da referida tabela, mostram, ainda, que os melhores ajustes foram obtidos para $\eta = 0$, indicando que vazões mínimas podem ser ajustadas através de momentos L. Nas Figuras 2 e 3 são exibidos os gráficos de ajustes de séries de cheias e de vazões mínimas de sete dias e seus valores observadas, referentes a seis diferentes estações entre as estudadas.

Tabela 1 - Parâmetros e Taxas de momentos da distribuição GEV, e valores do teste de Wang para as séries de cheias anuais.

Estação	Parâmetros da GEV				Taxas de momentos LH				Teste de Wang*
	n	K	α	u	cv	ca	cc	LH	
64231000	13	-0.4147	58	122	0.2670	0.4890	0.3145	2	0.0511
64242000	20	-0.0155	133	108	0.1860	0.3040	0.1230	4	0.4480
64360000	52	-0.1151	97	183	0.3000	0.2440	0.1770	0	0.1790
64362000	21	0.2061	232	468	0.1540	0.1340	0.1190	1	0.2778
64370000	65	0.1983	381	521	0.1970	0.1380	0.0900	1	0.2876

64382000	19	-0.2322	192	342	0.3410	0.3260	0.1790	0	0.6480
64390000	58	0.0180	205	335	0.3110	0.1570	0.0890	0	1.3874
64440000	25	-0.1217	39	95	0.1890	0.3110	0.1840	1	0.0512
64460000	27	0.0146	102	26	0.2210	0.2910	0.0800	4	1.1513
64465000	66	-0.0884	230	498	0.2670	0.2260	0.1410	0	0.8936
64475000	31	-0.3246	39	79	0.3420	0.3950	0.3290	0	0.8244
64477600	17	0.5307	190	141	0.1030	0.0720	-0.0080	4	0.4870
64501000	20	0.5170	1418	1542	0.1040	0.0600	-0.0260	3	0.8623
64507000	65	0.1597	1402	1220	0.1470	0.2270	0.0730	4	1.2783
64508500	22	0.5375	156	186	0.1740	-0.0250	0.1070	1	0.5837
64515000	23	0.2782	3900	2655	0.1390	0.1770	0.1060	4	0.2605
64550000	30	-0.0664	108	295	0.2190	0.2110	0.1750	0	0.0929
64619950	13	-0.2252	97	215	0.2900	0.3210	0.2370	0	0.0756
64620000	66	-0.3449	55	155	0.2120	0.4510	0.2890	2	0.1922
64625000	30	0.0786	332	782	0.2270	0.1190	0.1130	0	0.3165
64659000	22	0.5568	714	807	0.0830	0.0620	0.0170	4	0.3002
64673000	22	-0.3059	42	133	0.2440	0.3810	0.2560	0	0.1780
64682000	20	-0.0768	15	40	0.2250	0.2180	0.1000	0	0.8916
64447000	22	0.5154	490	226	0.1220	0.0780	-0.0330	4	0.9376
64685000	44	0.3954	1291	2998	0.0680	0.1280	0.0620	4	0.0820
64689000	13	0.1576	379	3365	0.0660	0.0720	0.0980	0	0.2018
64693000	22	0.4579	1092	3784	0.0540	0.0850	0.0630	3	0.0796
64771500	20	0.3738	343	1316	0.0560	0.1210	0.0840	3	0.1866
64775000	29	0.3769	405	697	0.0830	0.1350	0.0560	4	0.1948
64785000	29	0.1129	30	93	0.1250	0.1830	0.1080	1	0.1663
64790000	31	0.0087	39	75	0.1310	0.2930	0.1580	4	0.1192
64795000	26	0.4170	1246	2459	0.0730	0.1190	0.0460	4	0.2208
64810000	34	-0.1181	36	126	0.1460	0.3090	0.1640	1	0.4420
64830000	16	-0.2053	43	166	0.1350	0.3850	0.2340	3	0.1400
64843000	16	-0.2053	43	166	0.1350	0.3850	0.2340	3	0.1400
64442800	17	0.2222	15	85	0.0680	0.1260	0.0990	1	0.0377

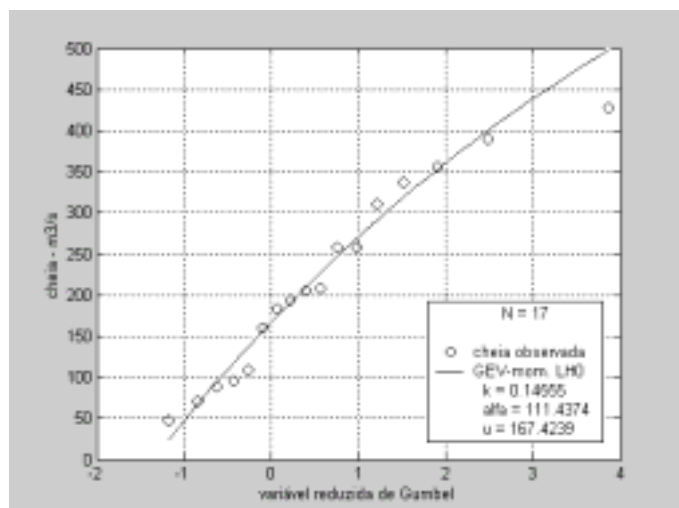
k - parâmetro de forma; *alfa*- parâmetro de escala; *u* – parâmetro de posicionamento; *cv* - coeficiente de variação; *ca* - coeficiente de assimetria e *cc* - coeficiente de curtose. *Todos os ajustes foram aceitos pelo teste de WANG com nível de significância de 5 % de probabilidade (valor teórico $Z_{wt(0.05)}=1,96$).

Tabela 2 - Parâmetros e Taxas de momentos da distribuição GEV, e valores do teste de Wang para as séries de cheias anuais.

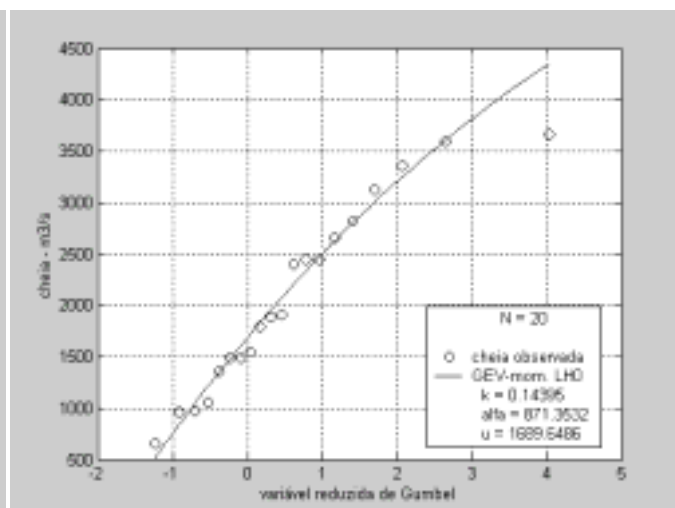
Estação	Parâmetros da GEV				Taxas de momentos LH				Teste de K-S*
	N	K	α	u	cv	ca	cc	LH	
64231000	13	0.2532	4,1	7,1	0.2713	0.0176	0.0445	0	0.1538
64242000	20	-0.0586	3,0	9,2	0.1978	0.2062	0.2512	0	0.1500
64360000	52	-0.0388	3,3	6,4	0.2799	0.1933	0.0938	0	0.0769
64362000	21	0.3165	5,4	12,3	0.2152	-0.0172	0.0151	0	0.0476
64370000	65	-0.0628	5,4	10,6	0.2813	0.2090	0.1312	0	0.0462
64382000	19	0.1946	3,1	4,9	0.3019	0.0507	0.1928	0	0.1053
64390000	58	-0.0589	2,6	5,1	0.2846	0.2065	0.1534	0	0.0517
64440000	25	0.3114	1,9	4,3	0.0769	0.1627	0.1151	4	0.0800
64460000	27	0.2252	1,3	2,1	0.2871	0.0333	-0.0014	0	0.0741
64465000	66	0.0802	16,0	30,1	0.1791	0.1998	0.1437	1	0.0758
64475000	31	-0.0803	1,5	3,2	0.2671	0.2206	0.1259	0	0.0968
64477600	17	-0.1338	4,0	5,0	0.4059	0.2567	0.1175	0	0.0588
64501000	20	0.0988	35,7	95,0	0.2027	0.1071	0.2091	0	0.1000
64507000	65	0.0045	37,3	80,6	0.2523	0.1655	0.1419	0	0.0462
64508500	22	0.2152	2,0	4,1	0.2409	0.0390	0.1201	0	0.0909
64515000	23	-0.4344	48,3	329,6	0.1502	0.4984	0.3523	1	0.0870
64550000	30	0.1538	11,3	31,0	0.1919	0.0744	0.1184	0	0.1000
64619950	13	-0.0430	1,8	3,7	0.2651	0.1960	-0.0128	0	0.0769
64620000	66	0.0654	1,4	2,8	0.2585	0.1275	0.0676	0	0.0606
64625000	30	0.0527	3,1	7,4	0.2257	0.1353	0.1896	0	0.1000
64659000	22	0.2065	2,7	4,0	0.1258	0.1939	0.1288	3	0.0909
64673000	22	0.1507	4,9	11,4	0.2204	0.0762	0.1829	0	0.0909
64682000	20	-0.2855	1,9	7,8	0.1927	0.3652	0.2705	0	0.1000
64447000	22	0.1581	12,2	20,3	0.1808	0.1590	0.1690	1	0.1364
64685000	44	-0.0629	56,2	110,5	0.1550	0.3170	0.1972	3	0.0682
64689000	13	-0.3743	39,8	194,8	0.1875	0.4332	0.3032	0	0.1538
64693000	22	-0.2963	50,0	190,8	0.2071	0.3733	0.3098	0	0.0909
64771500	20	0.0851	7,0	10,7	0.3153	0.1154	0.1046	0	0.1000
64775000	29	0.1263	4,5	8,8	0.2591	0.0906	0.0550	0	0.1034
64785000	29	0.1849	5,3	11,5	0.2299	0.0563	0.0938	0	0.1034
64790000	31	0.1758	2,7	4,8	0.1367	0.1872	0.1079	2	0.0645

64795000	26	0.0794	26,6	47,0	0.2855	0.1189	0.1379	0	0.0769
64810000	34	0.1787	5,9	21,6	0.1473	0.0599	0.2175	0	0.1176
64830000	28	0.0925	52,8	12,4	0.2253	0.1109	0.0284	0	0.1071
64843000	77	-0.7791	18,8	3774,9	0.4610	0.7286	0.5939	1	0.0779
64442800	17	-0.0650	2,2	3,9	0.3077	0.2105	0.2083	0	0.1176

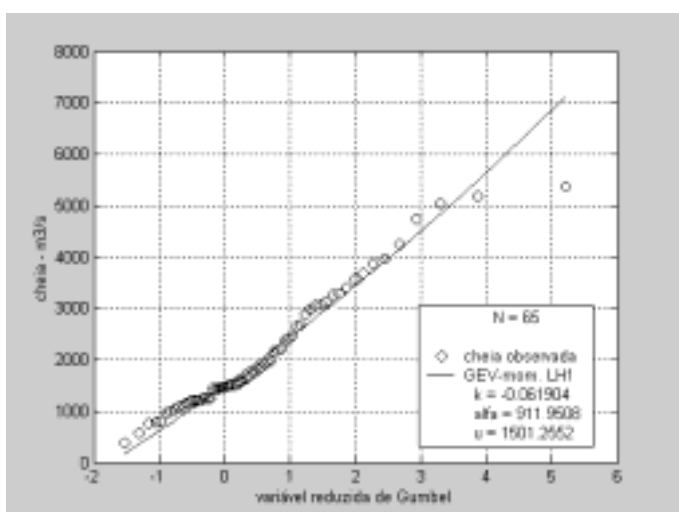
k - parâmetro de forma; *alfa*- parâmetro de escala; *u* – parâmetro de posicionamento; *cv* - coeficiente de variação; *ca* - coeficiente de assimetria e *cc* - coeficiente de curtose. *Todos os ajustes foram aceitos pelo teste de Kolmogorov (K-S) com nível de significância de 5 % de probabilidade.



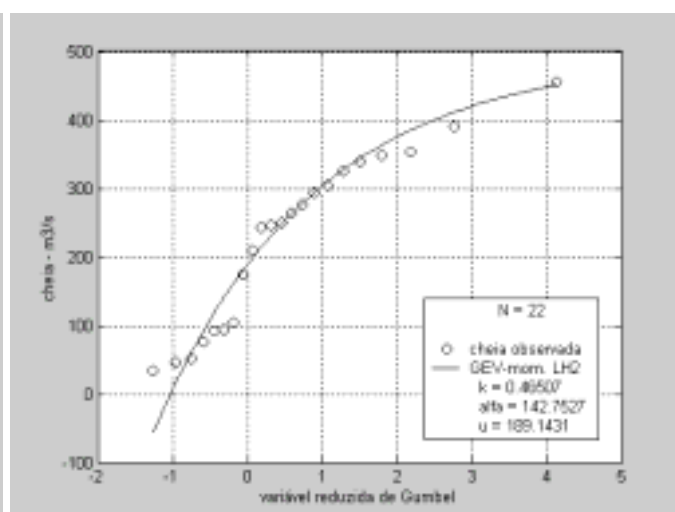
Estação 64477600



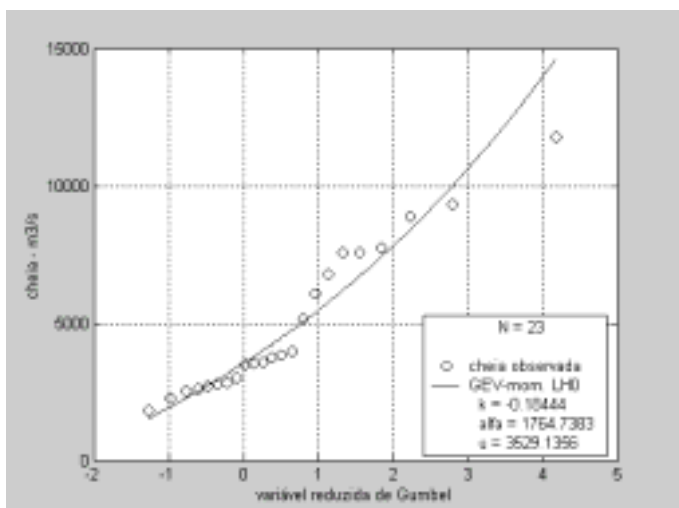
Estação 64501000



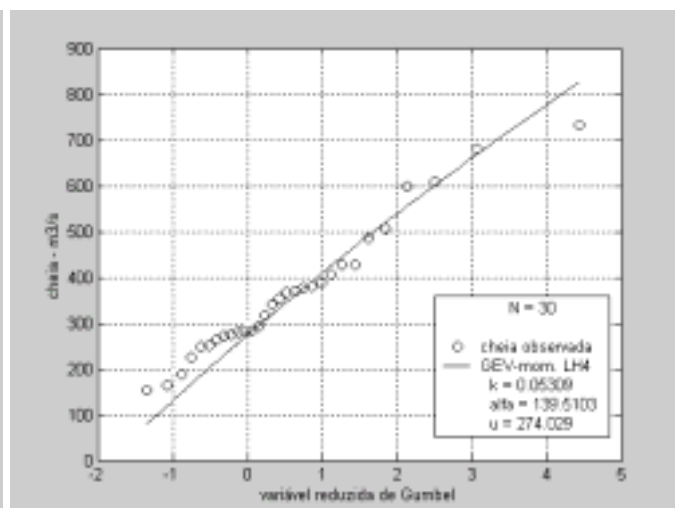
Estação 64507000



Estação 64508500



Estação 64515000



Estação 64550000

Figura 2 - Ajuste da distribuição GEV às séries de cheias anuais observadas em seis diferentes estações fluviométricas da sub bacia 64, bacia do Paraná.

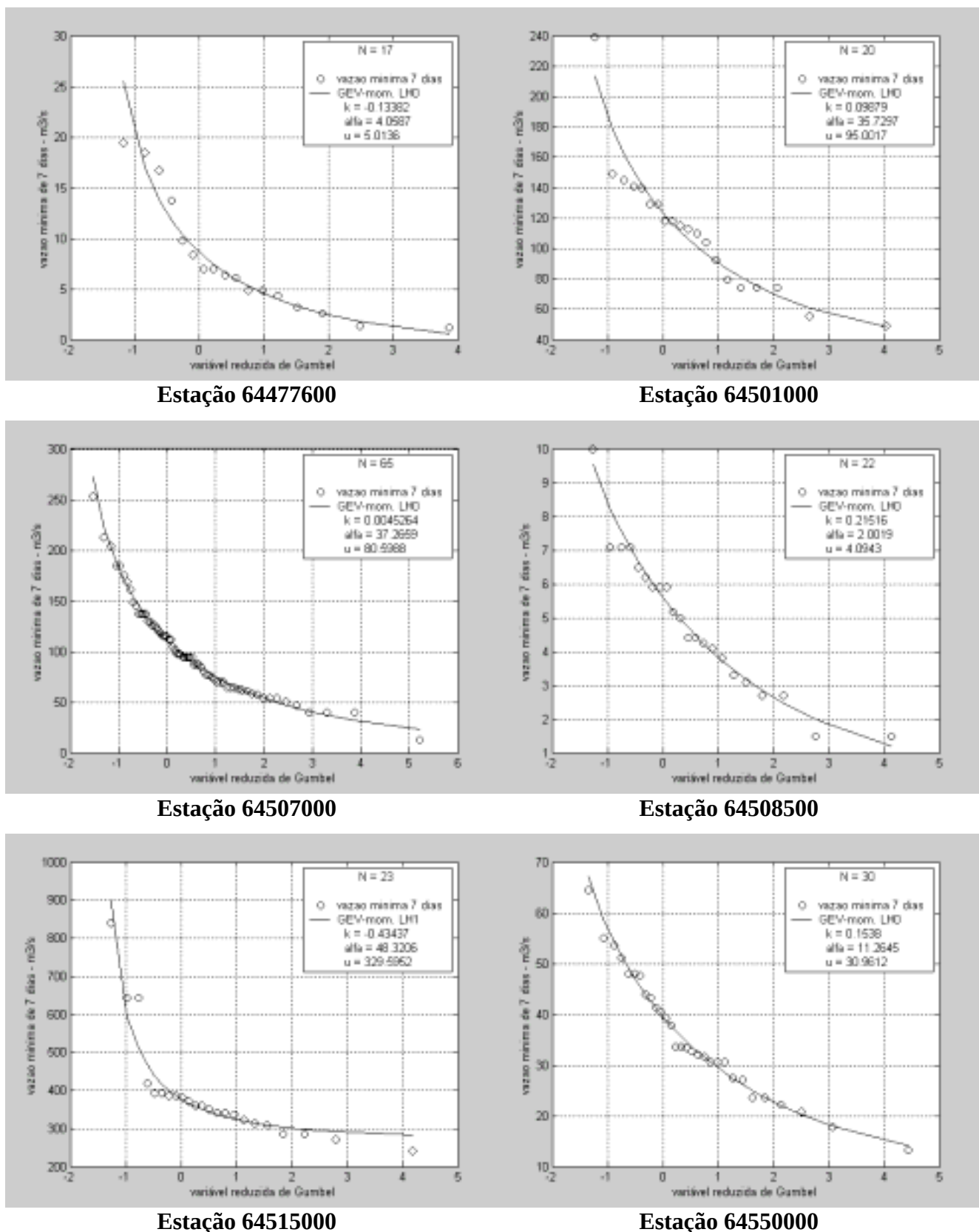


Figura 3 - Ajuste da distribuição GEV às séries de vazões mínimas anuais de sete dias observadas em seis diferentes estações fluviométricas da sub bacia 64, bacia do Paraná.

CONCLUSÕES

As séries de cheias de rios do Paraná, sub bacia 64 foram ajustadas adequadamente através da distribuição GEV, usando método de momentos LH, mesmo para as séries com menor quantidades de dados observados ($n = 13$), onde ocorreram as três formas assintóticas de valores extremos.

As séries de vazões mínimas de sete dias estudadas foram ajustadas adequadamente através da distribuição GEV e métodos dos momentos LH, conforme o teste de Kolmogorv-Smirniv, sendo os melhores ajustes obtidos utilizando momentos LH0. Isto significa que as séries de vazões mínimas podem ser ajustadas através da distribuição GEV, usando momentos L.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JENKINSON, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.81, p.158-171.
- MARTINS, S.E.; STEDINGER, J.R. (2000). Generalized maximum-likelihood generalized extreme - value quantile estimators for hydrologic data. *Water Resour. Res.*, v.36, n.3, p.737-744.
- QUEIROZ, M. M. F. de (2002). Análise de cheias anuais segundo distribuição generalizada. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- WANG, Q. J. (1996). Using partial probability-weighted moments to fit the extreme value distribution to censored samples. *Water Resour. Res.*, v.32, n.6, p.1767-1772.
- WANG, Q. J. (1997a). Using higher probability weighted moments for flood frequency analysis. *J. Hydrology*, v.194, p.95-106.
- WANG, Q. J. (1997b). LH moments for statistical analysis of extreme events. *Water Resour. Res.*, v.33, n.12, p.2841-2848.
- WANG, Q. J. (1998). Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments. *Water Resou. Res*, v.34, n.12, p.3497-3502.