



## IV-034 - AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE ESTIAGEM EM CURSOS D'ÁGUA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

### **José Antonio Tosta dos Reis**

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

### **Andréia Ruas das Neves**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Tecnóloga da Companhia Espírito Santense de Saneamento - Cesan.

### **Letícia Ribas Binda**

Graduanda em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Graduanda em engenharia civil pela Universidade Federal do Espírito Santo.

### **Lucien Akabassi**

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

### **Marco Aurélio Costa Caiado**

Doutor em Biological Systems Engineering pela Virginia Polytechnic Institute and State University. Professor da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Endereço:** Instituto Federal do Espírito Santo. Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara, Vitória, ES. CEP: 29.040-780. Tel.: (27) 3331-2237.

### **RESUMO**

A adequada quantificação das vazões de estiagens constitui importante tarefa para a manutenção de diferentes usos dos corpos d'água, tais como abastecimento humano, geração de energia elétrica, irrigação ou diluição de efluentes. Este trabalho teve por objetivo avaliar, a partir da análise probabilística, a vazão de estiagem de diferentes cursos d'água do estado do Espírito Santo. Os resultados demonstraram que, nas condições de estiagem, a produção hídrica é maior nas regiões hidrográficas compreendidas entre os rios Benevente e Itabapoana, cursos d'água pertencentes à porção centro-sul do estado do Espírito Santo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazões mínimas, estiagem, análise probabilística.

### **INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

Dentro da série histórica de vazões, os menores valores da série ou aqueles valores de vazão que não atendem à determinadas demandas são normalmente denominados vazões mínimas ou de estiagem. As vazões de estiagem habitualmente ocorrem nos períodos de esgotamento das reservas de água do subsolo, reservas responsáveis pela manutenção do regime de vazões dos períodos de recessão, após afloramento nas fontes e talvegues dos cursos d'água.

A distribuição temporal [e espacial] das vazões de estiagem é importante para empreendimentos como sistemas de abastecimento de água, sistemas de irrigação ou sistemas de geração de energia elétrica. As vazões mínimas que ocorrem em épocas de estiagem são utilizadas, naqueles empreendimentos, para fins de análise, projeto, operação ou planejamento (TUCCI, 2002).

Segundo Silveira e Silveira (2003), apesar da natureza das vazões mínimas ser conhecida, sua avaliação é cercada de incertezas em função da complexidade dos processos hidrológicos que se estabelecem numa bacia hidrográfica, cujo entendimento é prejudicado pela caracterização normalmente deficiente da conexão entre aquíferos e rios. Desta forma, as vazões mínimas são recorrentemente avaliadas a partir de medidas fluviométricas realizadas de maneira sistemática nos cursos d'água.

Este trabalho tem por objetivo avaliar, a partir da análise probabilística de séries históricas de vazões, a variação das vazões de estiagem em diferentes cursos d'água do estado do Espírito Santo.



## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

Neste estudo foram utilizados registros dos postos fluviométricos instalados em todo o estado do Espírito Santo. Para a organização das informações hidrológicas disponíveis foi empregada a divisão hidrográfica proposta pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), a partir da qual os cursos d'água do estado do Espírito Santo são agrupados em 12 (doze) regiões hidrográficas (Itaúnas, São Mateus, Doce, Riacho, Reis Magos, Santa Maria da Vitória, Jucu, Guarapari, Benevente, Rio Novo, Itapemirim e Itabapoana).

### **Informações Hidrológicas**

Os registros de vazão e da área de drenagem das estações fluviométricas utilizadas neste estudo foram obtidos a partir da base de dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA).

Para a manipulação dos registros de vazão foi empregado o programa computacional HIDRO, programa de domínio público produzido e distribuído pela ANA.

As estações fluviométricas consideradas neste estudo estão reunidas na tabela 1. Nesta tabela, além do nome, são apresentados área de drenagem, o curso d'água e o município nos quais as estações estão instaladas. Para a condução do estudo de regionalização foi considerado o período compreendido entre os anos de 1980 e 2005, período comum às estações fluviométricas analisadas.



Tabela 1: Estações fluviométricas utilizadas para avaliação das vazões de estiagem

Estações	Curso d'água principal	Município	Área (km²)
Afonso Cláudio - Montante	Rio Guandu	Afonso Cláudio	466
Baixo Guandú	Rio Guandu	Baixo Guandú	2135
Barra de São Francisco	Rio São Francisco	Barra de São Francisco	344
Barra de São Gabriel	Rio São José	São Gabriel da Palha	1022
Barra do Rio Preto	Rio São Mateus / Braço Sul	Barra de São Francisco	2485
Boca da vala	Rio São Mateus	São Mateus	11973
Castelo	Rio Castelo	Castelo	975
Colatina	Rio Doce	Colatina	75800
Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus / Braço Sul	Nova Venécia	4186
Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	Domingos Martins	973
Coutinho	Rio Itapemirim	Cachoeiro de Itapemirim	4601
Dores do Rio Preto	Rio Preto	Dores do Rio Preto	234
Fazenda Cacheta	Rio muqui do Norte	Presidente Kennedy	505
Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu	Viana	1690
Fazenda Lajinha	Rio Castelo	Conceição do Castelo	436
Fazenda São Mateus	Rio São Mateus / Braço Norte	Ecoporanga	4266
Guaçuí	Rio do Veado	Guaçuí	413
Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	Alegre	342
Iconha - Montante	Rio Iconha	Iconha	148
Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	1045
Itaguaçu - jusante	Rio Santa Joana	Itaguaçu	438
Iuna	Rio Pardo	Iuna	426
Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	Colatina	873
Laranja da Terra	Rio Guandu	Laranja da Terra	1331
Matilde	Rio Benevente	Alfredo Chaves	210
Mimoso do Sul	Rio muqui do Sul	Mimoso do Sul	369
Pau D'alho	Rio Novo do Sul	Rio Novo do Sul	304
Ponte do Itabapoana	Rio Itabapoana	Mimoso do Sul	2854
Ponte do Pancas	Rio Pancas	Colatina	919
Rive	Rio Itapemirim	Alegre	2217
Santa Cruz	Rio Itabapoana	Mimoso do Sul	3781
Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	Santa Leopoldina	997
São João da Cahoeira Grande	Rio São Mateus / Braço Norte	São Mateus	6732
São José do Calçado	Rio Calçado	São José do Calçado	146
Terra Corrida - Montante	Rio Pardo	Muniz Freire	602
Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	223
Usina Paineiras	Rio Itapemirim	Muniz Freire	5166
Usina São Miguel	Rio Castelo	Cachoeiro de Itapemirim	1458
Valsugana Velha - Montante	Rio Timbuí	Santa Tereza	83



### Análise Probabilística

Para as distribuições de frequência utilizadas neste trabalho, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno foi realizada com auxílio da seguinte equação:

$$M = \mu + K \sigma \quad (01)$$

sendo  $M$  a magnitude do evento para o período de retorno estabelecido,  $\mu$  a média dos eventos,  $K$  o fator de frequência característico de cada distribuição de probabilidade e  $\sigma$  o desvio padrão dos eventos.

Neste trabalho, para avaliação das vazões mínimas associadas a diferentes durações e períodos de retorno, foram empregadas as distribuições de probabilidade Lognormal tipo II, Lognormal tipo III, Pearson tipo III, Logpearson tipo III e Weibull. Para verificação da aderência das séries históricas de vazões às distribuições de probabilidade, foram considerados os teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado.

Discussões detalhadas sobre o ajuste de distribuições de probabilidade e sobre a aplicação dos diferentes testes de aderência empregados podem ser encontradas em trabalhos como NAGHETTINI e PINTO (2007), PINTO et al (1976) e TUCCI (1993).

### RESULTADOS

Para as diferentes estações fluviométricas selecionadas foram apropriadas as vazões mínimas com durações de 1, 7 e 30 dias. Para cada uma dessas durações foram estimadas as vazões mínimas associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Os resultados associados à duração de 1, 7 e 30 dias estão reunidos nas tabelas de 2, 3 e 4, respectivamente.

Para a determinação das curvas de probabilidade de vazões mínimas foi utilizada a distribuição de probabilidade de Weibull, distribuição de probabilidade que foi rejeitada no menor número de estações fluviométricas avaliadas. Quando esta distribuição foi rejeitada por um dos testes de aderência, as curvas de probabilidade foram obtidas a partir da distribuição Logpearson - Tipo III.



Tabela 2: Vazões mínimas (m³/s) com duração de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno

Estação Fluviométrica	Período de retorno (anos)				
	5	10	20	50	100
Afonso Cláudio - montante	2,83	2,02	1,35	0,64	0,21
Baixo Guandu	2,35	1,99	1,77	1,60	1,52
Barra Rio Preto	5,81	3,46	1,98	0,73	0,15
Barra São Francisco	0,22	0,12	0,07	0,02	0,01
Barra São Gabriel*	0,38	0,22	0,14	0,08	0,06
Boca da Vala	0,77	0,47	0,28	0,12	0,05
Castelo	2,33	1,67	1,18	0,72	0,45
Colatina	2,92	2,69	2,57	2,49	2,46
Córrego da Boa Esperança	0,68	0,45	0,33	0,24	0,20
Córrego do Galo	5,09	4,76	4,58	4,45	4,40
Coutinho	2,33	1,90	1,64	1,44	1,35
Dores do Rio Preto	4,02	3,12	2,31	1,28	0,60
Fazenda Cacheta*	1,07	0,73	0,55	0,40	0,34
Fazenda Jucuruaba	4,88	4,63	4,51	4,43	4,39
Fazenda Lajinha	2,13	1,72	1,49	1,33	1,28
Fazenda São Mateus*	0,18	0,07	0,03	0,01	0,00
Guaçuí	8,81	8,26	7,87	7,51	7,31
Ibitirama	4,88	4,30	3,89	3,54	3,36
Itaguaçu - jusante*	1,49	0,95	0,61	0,41	0,34
Iconha - montante	0,82	0,72	0,66	0,62	0,61
Itaici	7,72	6,00	4,84	3,77	3,22
Iuna	4,72	3,66	3,03	2,51	2,28
Jusante Córrego da Piaba	0,73	0,46	0,29	0,14	0,08
Laranja da Terra	3,90	3,50	3,25	3,06	2,97
Matilde	10,48	9,38	8,52	7,62	7,10
Mimoso do Sul	6,37	5,56	4,93	4,34	3,98
Pau D'alho	4,70	3,36	2,30	1,32	0,72
Ponte do Itabapoana	3,66	3,11	2,70	2,31	2,10
Ponte do Pancas*	0,96	0,61	0,40	0,26	0,20
Rive	3,96	3,66	3,49	3,37	3,32
Santa Cruz	3,95	3,48	3,13	2,79	2,61
Santa Leopoldina	1,89	1,26	0,83	0,45	0,26
S. J. Cachoeira Grande*	0,41	0,24	0,15	0,09	0,07
São José do Calçado	3,22	2,74	2,40	2,12	1,92
Terra Corrida - montante	4,58	3,92	3,44	3,02	2,79
Usina Fortaleza*	2,96	1,57	0,76	0,31	0,18
Usina Paineiras	3,51	3,08	2,79	2,55	2,43
Usina São Miguel	2,68	2,24	2,02	1,87	1,82
Valsugana Velha montante	3,61	2,53	1,81	1,20	0,84

\*Distribuição de Logpearson - Tipo III



**Tabela 3: Vazões mínimas (m³/s) com duração de 7 dias associadas a diferentes períodos de retorno**

Estação Fluviométrica	Período de retorno (anos)				
	5	10	20	50	100
Afonso Cláudio - montante	2,98	2,30	1,85	1,42	1,20
Baixo Guandu	2,58	2,23	2,03	1,87	1,79
Barra Rio Preto	6,60	4,04	2,35	0,96	0,26
Barra São Francisco	0,25	0,17	0,11	0,07	0,05
Barra São Gabriel*	0,53	0,32	0,21	0,13	0,10
Boca da Vala	0,83	0,52	0,32	0,16	0,09
Castelo	2,68	2,05	1,60	1,18	0,96
Colatina	3,04	2,78	2,63	2,53	2,48
Córrego da Boa Esperança	0,77	0,53	0,39	0,29	0,25
Córrego do Galo	5,31	5,02	4,85	4,73	4,69
Coutinho	2,82	2,41	2,18	2,00	1,93
Dores do Rio Preto	4,62	4,15	3,85	3,55	3,42
Fazenda Cacheta*	1,35	0,97	0,73	0,55	0,48
Fazenda Jucuruaba	5,26	5,01	4,88	4,80	4,76
Fazenda Lajinha	2,68	2,16	1,86	1,63	1,54
Fazenda São Mateus*	0,24	0,10	0,05	0,02	0,01
Guaçuí	9,44	9,01	8,74	8,50	8,38
Ibitirama	5,20	4,53	4,06	3,65	3,42
Itaguaçu - jusante*	2,43	1,55	1,08	0,74	0,61
Iconha - montante	0,93	0,81	0,75	0,69	0,67
Itaici	9,09	7,37	6,19	5,14	4,59
Iuna	5,68	5,23	5,02	4,91	4,86
Jusante Córrego da Piaba	0,85	0,56	0,39	0,24	0,18
Laranja da Terra	4,03	3,66	3,43	3,25	3,17
Matilde	11,00	9,86	8,90	7,95	7,33
Mimoso do Sul	6,78	5,99	5,42	4,91	4,61
Pau D'alho	4,84	3,39	2,34	1,32	0,72
Ponte do Itabapoana	3,94	3,35	2,91	2,49	2,26
Ponte do Pancas*	1,06	0,67	0,46	0,29	0,23
Rive	4,41	4,04	3,83	3,67	3,59
Santa Cruz	4,20	3,70	3,33	2,96	2,76
Santa Leopoldina	2,37	1,62	1,13	0,70	0,49
S. J. Cachoeira Grande*	0,49	0,31	0,21	0,14	0,11
São José do Calçado	3,49	3,01	2,67	2,33	2,19
Terra Corrida Montante	5,25	4,67	4,29	3,95	3,79
Usina Fortaleza*	3,72	1,97	0,94	0,40	0,22
Usina Paineiras	3,78	3,34	3,04	2,80	2,67
Usina São Miguel	2,82	2,11	1,71	1,42	1,30
Valsugana Velha montante	3,98	2,89	2,17	1,57	1,33
*Distribuição de Logpearson - Tipo III					



Tabela 4: Vazões mínimas (m³/s) com duração de 30 dias associadas a diferentes períodos de retorno

Estação Fluviométrica	Período de retorno (anos)				
	5	10	20	50	100
Afonso Cláudio - montante	4,44	3,88	3,52	3,20	3,07
Baixo Guandu	2,89	2,50	2,26	2,08	2,00
Barra Rio Preto	8,84	5,90	3,90	2,12	1,25
Barra São Francisco	0,38	0,28	0,23	0,18	0,16
Barra São Gabriel*	0,71	0,45	0,30	0,20	0,15
Boca da Vala	1,08	0,68	0,42	0,20	0,09
Castelo	3,56	2,95	2,53	2,16	1,97
Colatina	3,26	2,94	2,76	2,63	2,57
Córrego da Boa Esperança	1,10	0,78	0,59	0,44	0,37
Córrego do Galo	5,83	5,47	5,26	5,12	5,07
Coutinho	3,69	3,28	3,05	2,88	2,81
Dores do Rio Preto	5,56	4,83	4,32	3,85	3,55
Fazenda Cacheta*	2,36	1,88	1,56	1,31	1,17
Fazenda Jucuruaba	5,95	5,56	5,34	5,17	5,09
Fazenda Lajinha	3,49	2,96	2,66	2,43	2,32
Fazenda São Mateus*	0,44	0,23	0,13	0,07	0,05
Guaçuí	10,34	9,71	9,25	8,79	8,55
Ibitirama	6,35	5,58	5,09	4,62	4,42
Itaguaçu - jusante*	4,32	2,84	1,96	1,35	1,08
Iconha - montante	1,13	1,00	0,93	0,88	0,85
Itaici	11,19	9,27	7,95	6,76	6,12
Iuna	6,46	5,96	5,73	5,61	5,59
Jusante Córrego da Piaba	1,10	0,81	0,64	0,52	0,47
Laranja da Terra	4,40	3,97	3,73	3,53	3,45
Matilde	12,38	11,14	10,19	9,19	8,62
Mimoso do Sul	7,64	6,83	6,31	5,88	5,69
Pau D'alho	6,74	5,46	4,61	3,85	3,42
Ponte do Itabapoana	4,67	3,98	3,48	3,00	2,73
Ponte do Pancas*	1,31	0,85	0,59	0,39	0,30
Rive	5,31	4,89	4,65	4,46	4,37
Santa Cruz	4,76	4,24	3,88	3,56	3,39
Santa Leopoldina	2,89	2,20	1,77	1,42	1,25
S. J. Cachoeira Grande*	0,69	0,46	0,33	0,24	0,20
São José do Calçado	4,11	3,63	3,36	3,22	3,08
Terra Corrida Montante	6,00	5,30	4,85	4,45	4,25
Usina Fortaleza*	5,20	3,59	2,51	1,66	1,26
Usina Paineiras	4,36	3,86	3,54	3,28	3,15
Usina São Miguel	4,61	3,96	3,50	3,07	2,83
Valsugana Velha montante	4,82	3,86	3,13	2,53	2,29
*Distribuição de Logpearson - Tipo III					

Os gráficos apresentados pelas figuras 1, 2 e 3 reúnem as curvas de probabilidade de vazões mínimas das estações fluviométricas de Ponte do Itabapoana, São José do Calçado e Córrego do Galo, respectivamente. Gráficos semelhantes foram obtidos para as demais estações fluviométricas consideradas neste estudo.



Figura 1: Curva de probabilidade de vazões mínimas para a estação fluviométrica de Ponte do Itabapoana

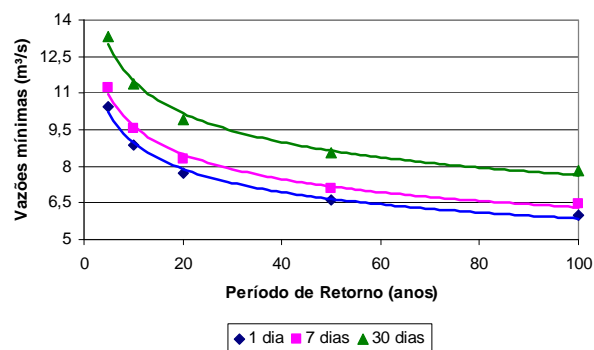


Figura 2: Curva de probabilidade de vazões mínimas para a estação fluviométrica de São José do Calçado.

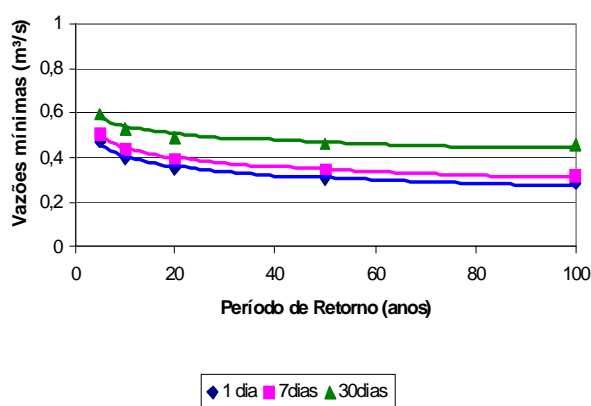
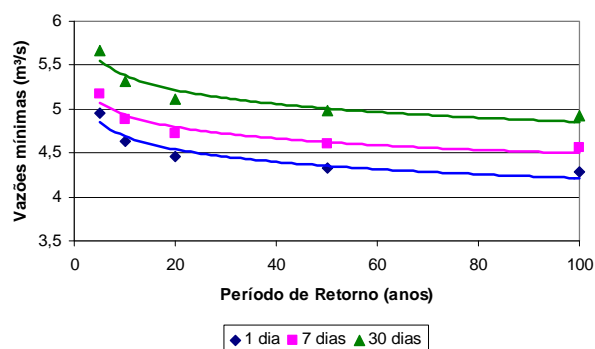


Figura 3: Curva de probabilidade de vazões mínimas para a estação fluviométrica de Córrego do Galo



A partir da simples inspeção das curvas de probabilidade de vazões de mínimas ou dos valores de vazão reunidos nas tabelas de 2 a 4 permite observar que, independentemente da frequência de ocorrência, as vazões específicas de estiagem são maiores na porção centro-sul do Estado, estabelecendo-se uma tendência de redução para os postos fluviométricos instalados no extremo norte do Estado.





Os maiores valores específicos de vazão de estiagem foram registrados nos postos fluviométricos instalados nas regiões hidrográficas compreendidas entre os rios Jucu e Itabapoana. As estações de Fazenda Jucuruaba (Bacia do rio Jucu) e Iuna (bacia do Rio Itapemirim), por exemplo, apresentam vazões mínimas de sete dias consecutivos associadas ao período de retorno de 50 anos de 4,80 e 4,91 L/s.Km<sup>2</sup>, respectivamente. Já os menores valores específicos de vazão de estiagem foram registrados em postos fluviométricos em funcionamento na bacia do Rio São Mateus e no norte da porção capixaba da bacia do Rio Doce. As estações de Fazenda São Mateus e de Barra de São Francisco (estações instaladas na porção norte do Estado) apresentam vazões mínimas de sete dias consecutivos associadas ao período de retorno de 50 anos de 0,02 e 0,07 L/s.Km<sup>2</sup>, respectivamente.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no presente estudo conduziram às seguintes conclusões:

- Dentre as distribuições de probabilidade testadas, a distribuição de Weibull foi aquela que melhor se ajustou às séries históricas de vazões mínimas;
- Nas condições de estiagem, a produção hídrica é maior nas regiões hidrográficas compreendidas entre os rios Benevente e Itabapoana, cursos d'água pertencentes à porção centro-sul do estado do Espírito Santo;

As vazões apropriadas neste trabalho podem permitir a produção de funções regionais aplicáveis à avaliação das vazões de estiagem nas diferentes regiões hidrográficas do estado do Espírito Santo. Adicionalmente, podem permitir a avaliação e eventual revisão dos valores da vazão mínima de referência (vazão mínima de sete dias consecutivos associada ao período de retorno de 10 anos), atualmente empregada para a outorga de uso da água no Estado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552 p, 2007.
2. PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L.S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1976.
3. SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. **Vazões mínimas**. In: DIAS, J. B. D. P.; DIAS, E. M. C. D. (organizadores). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2003.
4. TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Porto Alegre. Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, p. 573-619,1993