



IV-103 - AVALIAÇÃO DA FLEXIBILIZAÇÃO DO CRITÉRIO DE OUTORGA VIGENTE NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO CONSIDERANDO A SAZONALIDADE DO REGIME DE VAZÕES – UM ESTUDO DE CASO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

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.

Alessandra Pereira Cypreste Costa

Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo.

Rosilene Cardozo Ferrari

Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo.

Dejanyne Paiva Zamprognio

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto 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.

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

RESUMO

A outorga pode ser entendida como um direito de uso da água concedido pelo Estado ao usuário, o qual estabelece possibilidades de utilização de certa quantidade de água, com características de qualidades definidas por tempo determinado, e com regime de variação previamente definido. Contudo, os critérios atualmente empregados nos diferentes estados brasileiros estabelecem como vazão máxima outorgável um percentual de uma vazão mínima de referência, ignorando os efeitos da sazonalidade do regime de vazões. Este trabalho teve por objetivo geral avaliar o efeito da sazonalidade quando da definição de vazões máximas outorgáveis para a bacia hidrográfica do Rio Itapemirim. Os dados fluviométricos foram obtidos a partir da base de dados hidrometeorológicos gerenciadas pela Agência Nacional das Águas. Para a apropriação da vazão de referência foi utilizada a distribuição probabilística de Gumbel. Para a determinação do fator de correção foi utilizada a média das vazões mínimas mensais, considerando todos os anos da série histórica de cada estação fluviométrica estudada. Os resultados demonstram que a aplicação de um fator de correção de acordo com a sazonalidade mensal possibilita a flexibilização da vazão máxima outorgável em meses de maior disponibilidade hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: Outorga, Vazão de referência, sazonalidade, Rio Itapemirim.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A partir da necessidade de assegurar o aproveitamento dos recursos hídricos considerando bases sustentáveis, o cuidado com as questões ambientais tem levado técnicos e pesquisadores a uma busca permanente por alternativas que permitam um gerenciamento mais adequado dos mananciais superficiais e subterrâneos de água.

Dois importantes aspectos merecem particular atenção, quando do gerenciamento dos recursos hídricos: a distribuição espacial da água e a variação temporal da disponibilidade hídrica. Num ano hidrológico, em função das condições climáticas que se estabeleçam, podem ocorrer situações extremas de enchentes e/ou secas, que podem ser agravadas pela ação antrópica ou mitigadas artificialmente pela Engenharia de Recursos Hídricos.

Desta forma, a gestão de recursos hídricos deve contemplar conjuntamente o planejamento do uso e ocupação do solo, a educação ambiental, o equilíbrio entre a oferta e a demanda, as políticas correlatas, entre outros



fatores. Neste contexto, a outorga de uso da água aparece como uma das principais ferramentas do processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

A outorga pode ser entendida como um direito de uso da água concedido pelo Estado ao usuário, o qual estabelece possibilidades de utilização de certa quantidade de água, com características de qualidades definidas por tempo determinado, e com regime de variação previamente definido (CAMPOS e STUDART, 2003).

É relevante observar, no entanto, que os critérios atualmente empregados nos diferentes estados brasileiros estabelecem como vazão máxima outorgável um percentual de uma vazão mínima de referência, ignorando os efeitos da sazonalidade do regime de vazões.

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar o efeito da sazonalidade quando da definição de vazões máximas outorgáveis para a bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, importante sistema hídrico localizado no sul do estado do Espírito Santo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo – A bacia hidrográfica do Rio Itapemirim

O Rio Itapemirim, principal curso d'água e que dá nome a bacia hidrográfica, possui extensão de 320 Km. Nasce na Serra do Caparaó e a sua foz está localizada no município de Itapemirim. Tem como principais afluentes o Braço Norte do Rio Muqui do Norte (margem direita), Braço Norte Esquerdo, Castelo e Caxixe (margem esquerda).

A área de drenagem da bacia do rio Itapemirim é de aproximadamente 5.920Km², abrangendo uma população em torno de 400 mil habitantes, o que corresponde a quase 25% da população do estado do Espírito Santo. A vazão média mínima anual é de 19,3 m³/s. No período chuvoso do ano, a vazão média é de aproximadamente 90,9 m³/s.

Registros fluviométricos

Neste trabalho foram utilizados registros de vazão das estações fluviométricas gerenciadas pela Agência Nacional de Águas (ANA). A Tabela 01 apresenta as estações fluviométricas selecionadas, com as respectivas áreas da bacia de drenagem, cursos d'água no qual estão instaladas, coordenadas geográficas e extensão da série histórica de vazões.

Tabela 1: Estações fluviométricas instaladas na bacia hidrográfica do rio Itapemirim

Estação	Curso d'água	Área (Km ²)	Extensão da Série Histórica (anos)	Coordenadas	
				Latitude	Longitude
Castelo	Rio Castelo	975	64	-20° 36' 22"	-41° 11' 59"
Coutinho	Rio Itapemirim	4601	33	-20° 45' 30"	-41° 10' 25"
Usina Paineiras	Rio Itapemirim	5166	32	-20° 57' 18"	-40° 57' 00"
Terra Corrida Montante	Rio Pardo	602	31	-20° 25' 49"	-41° 30' 10"
Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	342	49	-20° 32' 26"	-41° 39' 56"
Rive	Rio Itapemirim	2217	66	-20° 44' 49"	-41° 27' 58"

Para a manipulação dos dados fluviométricos foi utilizado o programa computacional HIDRO (programa de domínio público produzido e distribuído pela ANA) e a planilha eletrônica Microsoft Excel.

Apropriação da vazão de referência

O Estado do Espírito Santo utiliza a vazão Q_{7,10} (vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos) como vazão de referência para o processo de outorga em rios perenes. O Estado estabelece que a vazão máxima outorgável se restringe a 50% da vazão Q_{7,10}; adicionalmente, nenhum usuário receberá outorga superior a 25% (vinte e cinco por cento) da vazão de referência para um mesmo uso,



salvo os casos tecnicamente justificados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA).

Para caracterização das vazões mínimas, o enfoque estatístico é bastante comum em estudos hidrológicos. Estas vazões são consideradas como variáveis aleatórias às quais se aplicam técnicas estatísticas para avaliar sua probabilidade de ocorrência (SILVEIRA E SILVEIRA, 2003).

Tendo como apoio a planilha eletrônica Microsoft Excel, foram selecionadas as menores vazões, de uma série de sete dias consecutivos, para cada ano da série histórica (menor média móvel de sete dias). As séries de menores médias móveis de sete dias consecutivos foi ajustada à distribuição probabilística de Gumbel, distribuição habitualmente utilizada para análise de eventos extremos

Segundo Silveira e Silveira (2003), a distribuição de probabilidade de extremos tipo I de Gumbel, assume a seguinte forma:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (01)$$

Onde x são as vazões e y a variável reduzida de Gumbel. Explicitando-se a variável reduzida de Gumbel, obtém-se:

$$y = \ln(-\ln(F(x))) \quad (02)$$

No entanto, considerando a reta de Gumbel, a variável reduzida pode assumir a seguinte expressão:

$$y = \alpha (x - \beta) \quad (03)$$

Sendo, α e β parâmetros característicos da reta de Gumbel. Estes parâmetros, por sua vez, podem ser estimados a partir das seguintes expressões:

$$\alpha = -\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (04)$$

$$\beta = \mu_x - \frac{\mu_y}{\alpha} \quad (05)$$

Os parâmetros μ_y e σ_y , respectivamente média e desvio padrão da variável reduzida y, são tabelados em função do tamanho da série histórica conforme estabelecido na Tabela 2. Os valores μ_x e σ_x correspondem à média e ao desvio padrão da série das vazões mínimas em análise.



Tabela 2: Média (μ_y) e Desvio Padrão (σ_y) da variável reduzida de Gumbel.

Número de anos da série histórica considerada	μ_y	σ_y	Número de anos da série histórica considerada	μ_y	σ_y
10	0,4952	0,9496	31	0,5371	1,1159
11	0,4996	0,9676	32	0,5380	1,1193
12	0,5053	0,9833	33	0,5388	1,1225
13	0,5070	0,9971	34	0,5399	1,1256
14	0,5100	1,0095	35	0,5403	1,1285
15	0,5128	1,0206	36	0,5411	1,1313
16	0,5154	1,0306	37	0,5417	1,1339
17	0,5177	1,0397	38	0,5424	1,1365
18	0,5198	1,0481	39	0,5430	1,1390
19	0,5217	1,0557	40	0,5436	1,1413
20	0,5236	1,0628	41	0,5442	1,1436
21	0,5252	1,0694	42	0,5448	1,1458
22	0,5268	1,0755	43	0,5453	1,1479
23	0,5282	1,0812	44	0,5458	1,1499
24	0,5296	1,0865	45	0,5463	1,1518
25	0,5309	1,0914	46	0,5468	1,1537
26	0,5321	1,0961	47	0,5472	1,1555
27	0,5332	1,005	48	0,5477	1,1573
28	0,5343	1,1047	49	0,5481	1,1590
29	0,5353	1,1086	50	0,5485	1,1607
30	0,5362	1,1124			

Fonte: Adaptação de Silveira e Silveira (2003) e Villela e Mattos (1975)

Para as vazões mínimas, a probabilidade de excedência da por $F(x)$, relaciona-se com o período de retorno, da seguinte forma:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (06)$$

A partir da combinação das expressões (02) e (06), a variável reduzida y toma a seguinte forma:

$$y = -\ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})] \quad (07)$$

Assim, obtidos os parâmetros característicos da reta de Gumbel (α e β) e a variável reduzida de Gumbel (y), pode-se estimar a vazão mínima estatística (x), a partir da equação abaixo:

$$x = \frac{y}{\alpha} + \beta \quad (08)$$

Fator de correção para as vazões máximas outorgáveis

Para a determinação do fator de correção que considere a sazonalidade do regime de vazões foi utilizada a média das vazões mínimas mensais, considerando todos os anos da série histórica de cada estação fluviométrica estudada, conforme procedimento proposto por Lima et al (2005).

Construída a série de médias mínimas mensais, dividiu-se a média mínima de cada mês pela menor média encontrada em toda a série histórica, estabelecendo-se um fator de correção para cada mês. O mês de menor média teve naturalmente um fator de correção igual a 1 (um). Desta forma, a adoção do fator de correção proposto não alterou a vazão máxima outorgável (e por consequência, a vazão remanescente no curso d'água), para o mês mais seco do ano hidrológico.



A expressão empregada para a apropriação do fator de correção (FC) tomou a seguinte forma:

$$FC = \frac{MMM_i}{MMM_{min}} \quad (09)$$

Sendo MMM i a média mínima mensal para um determinado mês i do ano hidrológico, MMM min a menor média mínima mensal dentro do ano hidrológico.

RESULTADOS

Vazões máximas outorgáveis pelo critério vigente

Na Tabela 3 estão apresentados os valores absolutos e específicos das vazões $Q_{7,10}$, estimados para os diferentes postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim.

Tabela 3: Valores da vazão $Q_{7,10}$ para os postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim

Estação	Área (Km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ específico (l/s.km ²)
Castelo	975	2,24	2,30
Coutinho	4601	5,00	1,09
Usina Paineiras	5166	14,85	2,87
Terra Corrida Montante	602	2,45	4,07
Ibitirama	342	1,35	3,95
Rive	2217	7,04	3,18
Média		5,48	2,90
Desvio padrão		5,04	1,11

A simples inspeção da tabela anterior, permite observar que os valores específicos da $Q_{7,10}$ apresentam considerável variação entre os postos fluviométricos estudados da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Os resultados indicam que, na condição de recessão descrita pela vazão $Q_{7,10}$, a produção hídrica varia entre 1,09 l/s.km² (estação fluviométrica de Coutinho) e 4,07 l/s.km² (estação fluviométrica de Terra Corrida Montante). Adicionalmente, é relevante registrar que a vazão específica média na bacia de 2,90 l/s.Km² foi associado um desvio padrão consideravelmente alto (1,11 l/s.Km²).

A Tabela 4, por sua vez, apresenta as vazões máximas outorgáveis em cada estação fluviométrica considerada neste trabalho, considerando o critério de outorga vigente no Estado.

Tabela 4: Vazões máximas outorgáveis para os postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim

Estação	Somatório das vazões outorgáveis (m ³ /s)	Vazão máxima outorgável por usuário (m ³ /s)
Castelo	1,12	0,56
Coutinho	2,50	1,25
Usina Paineiras	7,43	3,71
Terra Corrida Montante	1,23	0,61
Ibitirama	0,68	0,34
Rive	3,52	1,76

Segundo Stalnaker (1995), a utilização da vazão $Q_{7,10}$, como referencia no estabelecimento das vazões outorgáveis é usualmente considerada uma postura extremamente rigorosa, o que beneficiaria a preservação do equilíbrio aquático. No entanto, para a garantia ampla de que o valor de 50% da vazão $Q_{7,10}$, seja suficiente para a manutenção do meio aquático, seriam necessários estudos hidrológicos aprofundados para cada corpo d'água, ou ainda para cada trecho do corpo d'água considerado.



Correção das vazões máximas outorgáveis considerando a sazonalidade

A partir dos valores de vazões médias mínimas mensais registrados cada estação fluviométrica estudada foram obtidos os fatores de correção (FC) reunidos na Tabela 5.

Tabela 5: Fator Correção para as vazões mínimas outorgáveis

Estação	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Terra Corrida Montante	2,11	2,08	1,95	1,89	1,64	1,46	1,29	1,14	1,05	1,00	1,32	1,77
Ibitirama	3,43	3,20	2,93	2,45	1,85	1,48	1,27	1,04	1,00	1,13	2,46	3,66
Rive	2,74	2,58	2,50	2,28	1,87	1,57	1,37	1,13	1,02	1,00	1,52	2,29
Castelo	2,69	2,58	2,19	2,24	1,82	1,49	1,33	1,11	1,00	1,01	1,48	2,26
Coutinho	3,29	2,98	2,78	2,72	2,27	1,86	1,54	1,13	1,00	1,08	1,86	2,79
Usina Paineiras	2,73	2,30	2,10	2,13	1,73	1,48	1,26	1,08	1,00	1,02	1,50	2,43

A aplicação dos fatores de correção permitiu a definição de novos limites máximos para as vazões outorgáveis em cada estação fluviométrica estudada. As vazões máximas outorgáveis propostas para cada mês, considerando-se a sazonalidade, bem como os limites definidos pelo critério em vigor no estado, estão reunidos na Tabela 6.

Tabela 6: Vazões máximas outorgáveis para os postos fluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim

Estação	Vazão máxima outorgável pelo critério vigente (m ³ /s)	Vazão máxima outorgável considerando a sazonalidade (m ³ /s)											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Terra Corrida Montante	1,23	2,59	2,54	2,38	2,32	2,01	1,79	1,58	1,40	1,29	1,23	1,62	2,16
Ibitirama	0,68	2,32	2,16	1,98	1,65	1,25	1,00	0,86	0,70	0,68	0,77	1,66	2,47
Rive	3,52	9,64	9,08	8,80	8,02	6,57	5,53	4,81	3,99	3,58	3,52	5,36	8,05
Castelo	1,12	3,01	2,89	2,45	2,51	2,04	1,67	1,49	1,24	1,12	1,13	1,65	2,54
Coutinho	2,50	8,22	7,44	6,96	6,79	5,67	4,66	3,85	2,83	2,50	2,70	4,64	6,97
Usina Paineiras	7,43	20,28	17,11	15,62	15,85	12,88	10,97	9,37	8,05	7,43	7,57	11,17	18,05

Nos gráficos das figuras 1 e 2 estão apresentados, respectivamente para as estações de Terra Corrida Montante e Ibitirama, os valores da vazão de referência (vazão $Q_{7,10}$), a vazão máxima outorgável (50% da vazão $Q_{7,10}$), e os valores de vazão de referência e de vazão máxima outorgável corrigidos segundo critério discutido neste trabalho.



Figura 1: Vazões de referência e máximas outorgáveis para a estação Terra Corrida - Montante.

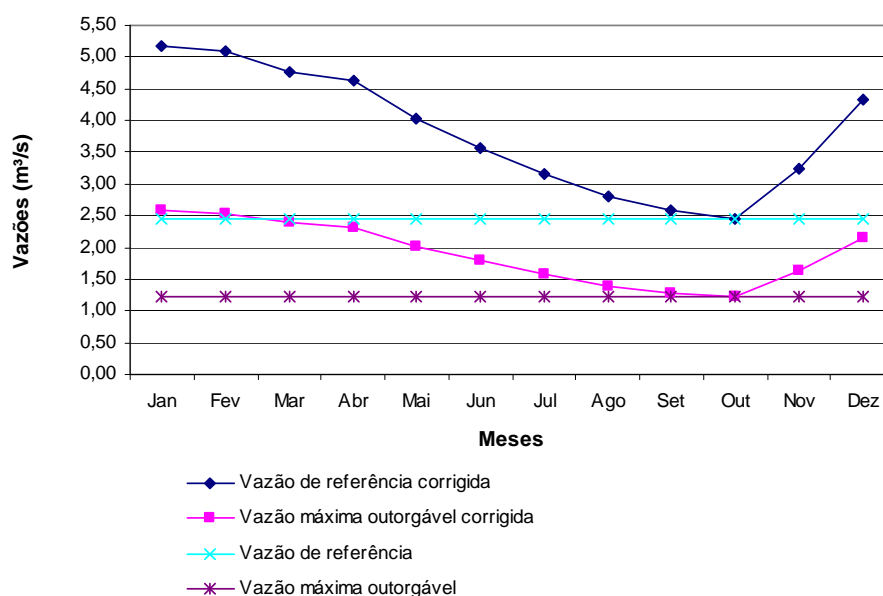
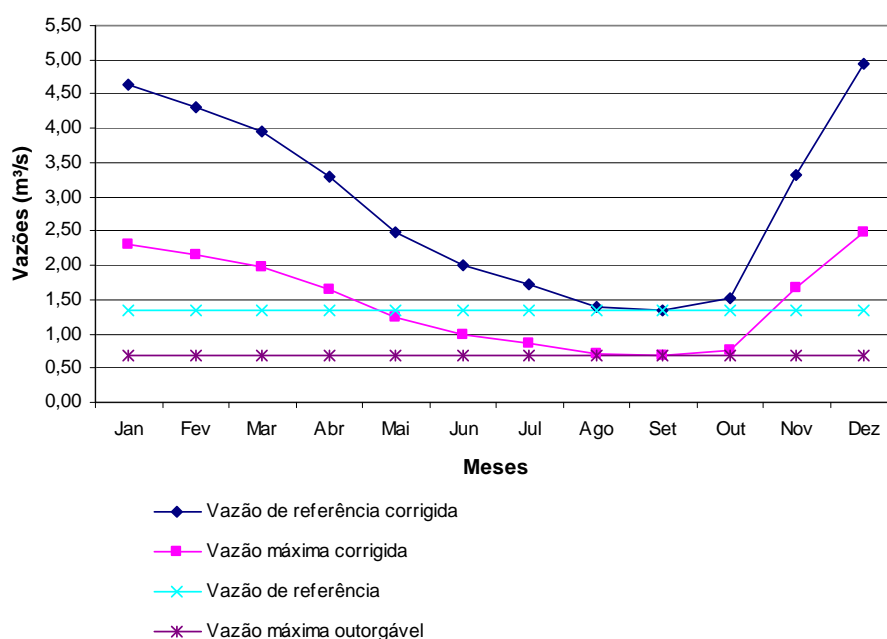


Figura 2: Vazões de referência e máximas outorgáveis para a estação Ibitirama.



Da análise dos resultados produzidos neste trabalho são relevantes as seguintes observações:

- Admitindo-se o uso de um fator de correção que considere a sazonalidade dos cursos d'água, o valor limite para outorga na estação de Terra Corrida, superaria o dobro do valor disponibilizado pelo critério vigente ($1,23 \text{ m}^3/\text{s}$), durante os meses de janeiro e fevereiro (nestes meses, a flexibilização do critério em vigor permitiria outorgar $2,59$ e $2,54 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente). A estação de Ibitirama, por sua vez, teria o limite outorgável ($0,68 \text{ m}^3/\text{s}$) substancialmente ampliado; nos meses de dezembro e janeiro, a vazão máxima outorgável seria elevada para $2,47 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente;



- Nas estações de Ibitirama, Rive, Castelo, Coutinho e Usina Paineiras seria possível outorgar vazões superiores à vazão de referência $Q_{7,10}$ em, no mínimo, cinco meses do ano hidrológico.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões deste trabalho podem ser sumarizadas da seguinte forma:

- Os valores específicos da $Q_{7,10}$ apresentam considerável variação entre os postos fluviométricos estudados da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Os resultados indicam que, na condição de recessão descrita pela vazão $Q_{7,10}$, a produção hídrica varia entre 1,09 l/s.km² (estação fluviométrica de Coutinho) e 4,07 l/s.km² (estação fluviométrica de Terra Corrida Montante);
- A avaliação das vazões máximas outorgáveis, por meio de um fator de correção que considere a sazonalidade mensal dos valores de vazão, propiciaria a flexibilização da vazão outorgável em meses de maior disponibilidade hídrica;
- Nas estações de Ibitirama, Rive, Castelo, Coutinho e Usina Paineiras a adoção da flexibilização discutida neste trabalho permitiria outorgar vazões superiores à vazão de referência (vazão $Q_{7,10}$) em, no mínimo, cinco meses do ano hidrológico.

A partir das discussões estabelecidas neste trabalho, consideram-se relevantes as seguintes recomendações:

- Em função da considerável variação entre os valores específicos de vazões para os postos fluviométricos estudados, é relevante a elaboração de um estudo específico que busque analisar a diferenciação da disponibilidade hídrica entre as estações estudadas na bacia do rio Itapemirim;
- Como o critério de outorga vigente no Estado adota como vazão mínima de referência a vazão $Q_{7,10}$, avaliar a construção de fatores de correções que considerem a relação entre valores de vazão $Q_{7,10}$ associados aos diferentes meses de um ano hidrológico;
- Tendo como foco a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos, tornam-se relevantes estudos voltados para a apropriação das vazões mínimas remanescentes nos cursos d'água, vazões habitualmente denominadas ecológicas. Estes valores de vazão, particulares para os diferentes cursos d'água, deveriam substituir as vazões remanescentes apropriadas pelo atual critério de outorga, que uniformiza o tratamento para os diferentes cursos d'água do Estado, sem qualquer referência às características ecológicas do rio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPOS, N.; STUDART, T. **GESTÃO DE ÁGUAS: Princípios e Práticas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.
2. LIMA, G. de; BOLDRIN, R. S.; CASTRO, M. A. S.; SOUZA, M.P. de; e MAUAD, F. F. **Crerios Técnicos para a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. In: XVI Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos, João Pessoa. Anais do Simpósio da ABRH. João Pessoa: ABRH, 2005.
3. SILVEIRA, A. L. L. e SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.
4. STALNAKER, C. et. Al. **The Instrean Flow Incremental Metodology A Primer for IFIM**. National Biological Service. U.S. Department of. The interior. Biological Reporter 29, 1995.
4. VILLELA, S e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.