



Estudo de regionalização de vazões características e da disponibilidade hídrica na bacia do Alto Tocantins

Study of the regionalization of characteristic discharges and the water availability in the Upper Tocantins basin

Raissa Bahia Guedes¹

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora^{2(*)}

Resumo

Este trabalho trata da regionalização de vazões características e do estudo da disponibilidade hídrica da sub-bacia do Alto Tocantins contribuinte até a UHE Serra da Mesa. Foi realizado o levantamento de postos com série histórica de vazões disponível na plataforma Hidroweb, da Agência Nacional de Águas. Em seguida, procedeu-se ao cálculo das vazões Q95% mensal, Q95% diário, Q7,10 e média de longo termo, bem como as vazões para os tempos de retorno de 2,33, 5, 10, 20, 25 e 100 anos. A partir destas vazões, foram definidas as curvas de regionalização em função da área de drenagem. Para o cálculo da disponibilidade hídrica, foram levantados os dados de outorga de uso dos recursos hídricos junto à Agência Nacional de Águas e à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás. A disponibilidade hídrica resultante até a UHE Serra da Mesa permitiu inferir que os usos consuntivos outorgados não são consideráveis em relação à vazão ainda passível de ser outorgada.

Palavras-chave: regionalização; disponibilidade hídrica; Alto Tocantins.

Abstract

This work is about the regionalization of characteristic discharges and the study of water availability of the Upper Tocantins watershed. First, it was conducted the survey of streamflow stations that had streamflow time series available on

- ¹ Formada em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, atualmente mestranda pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e trabalhando como especialista em Recursos Hídricos na AGEVAP.
- ² Doutora; Engenheira Civil; Professora Adjunta na Universidade Federal Fluminense (UFF); Endereço: Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: dahora@vm.uff.br (*) Autora para correspondência.

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 Ed. Especial p. 869 - 879 Novembro 2016 ISSN 2175 - 9405
DOI:10.5935/ambiencia.2016.Especial.12



Hidroweb platform, from the National Water Agency. From these time series, it was calculated the characteristic streamflow of each station, i.e., monthly Q_{95} , daily Q_{95} and $Q_{7,10}$ (minimum flows), extreme flows for the return periods of 2.33, 5, 10, 20, 25 and 100 years (peak flows) and the maximum annual averages and long term averages (averages flows). From these flows, the regionalization was calculated by regression, resulting in a curve and an equation of regionalization for each one. The calculated curves had good fits. For the calculation of water availability, it was raised data of the grant of use of water resources from the National Water Agency and from the Department of Environment and Water Resources from the State of Goiás. The water availability calculated for the chosen reference point was considered positive.

Key words: regionalization; water availability; Upper Tocantins.

Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída através da Lei 9433/97, foi idealizada visando consolidar a gestão de recursos hídricos no país, de forma que se assegurasse à geração atual e às futuras a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados.

Para que essa gestão de recursos hídricos seja eficaz e sustentável, os órgãos competentes fazem uso de muitas ferramentas para contornar a dificuldade de obtenção de dados. O hidrólogo foi levado, assim, a buscar formas de transferir informações de um local para outro dentro de uma bacia (TUCCI, 2013). A regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em

locais sem dados ou com dados insuficientes (TUCCI, 2013). O termo regionalização é utilizado para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. Uma das questões mais importantes é a representatividade dos resultados, que depende de séries longas e representativas, bacias com tamanhos diferentes e representatividade espacial dos condicionantes hidrológicos (TUCCI, 2002).

Neste artigo, serão calculadas e regionalizadas as vazões máximas, mínimas e médias das estações fluviométricas da sub-bacia do Alto Tocantins, como subsídio para a estimativa da disponibilidade hídrica, tomando como base para cálculo as vazões outorgadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos.



Material e Métodos

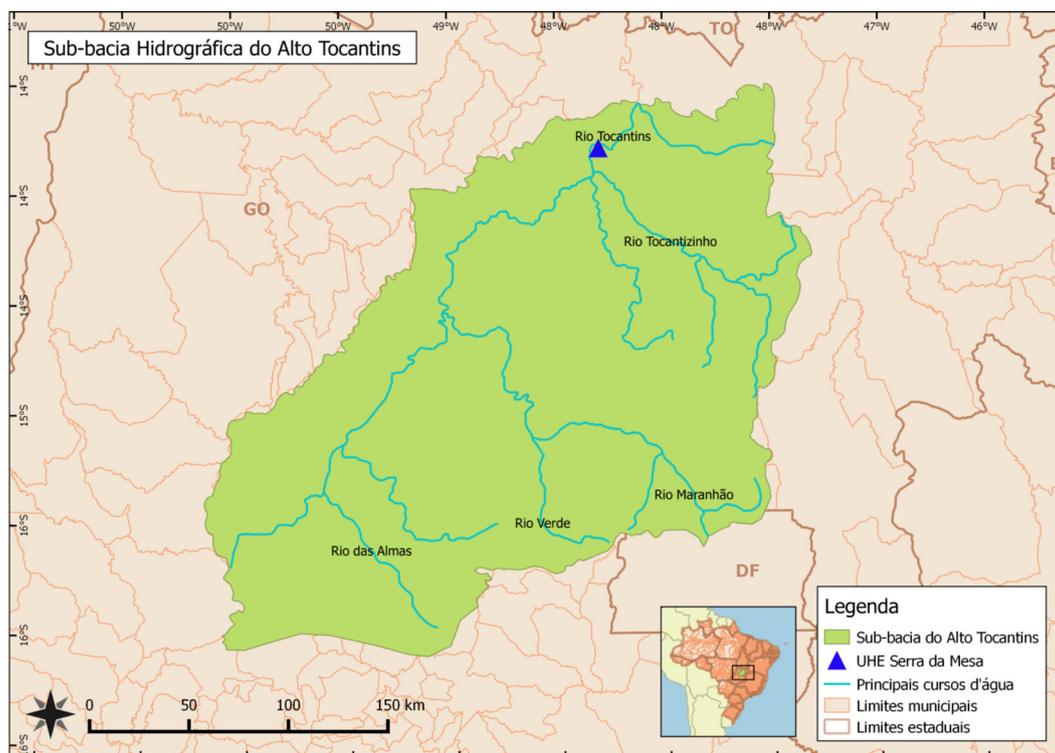
Caracterização da Bacia Hidrográfica do Alto Tocantins

A bacia hidrográfica do rio Tocantins insere-se na região hidrográfica Tocantins-Araguaia, que abrange parte do território das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do país. A bacia compreende parcialmente as unidades federativas do Maranhão, Pará, Tocantins, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal.

A sub-bacia do Alto Tocantins

(Figura) foi adotada neste trabalho como sendo a área de drenagem contribuinte ao reservatório da UHE Serra da Mesa e igual a 51.300 km. Este aproveitamento hidrelétrico tem grande importância no panorama energético brasileiro. Suas três unidades geradoras totalizam 1.275 MW, sendo parte indispensável no atendimento do mercado de energia elétrica do Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste. Além disso, é responsável pela ligação entre esse sistema e o Norte/Nordeste, sendo o elo da Interligação Norte-Sul (FURNAS, 2014).

Figura - Sub-bacia hidrográfica do Alto Tocantins





Para a região em estudo, foram levantados os postos fluviométricos inseridos na sub-bacia hidrográfica do Alto Tocantins através da plataforma Hidroweb, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para o estudo de regionalização de vazões, fez-se necessária a seleção de postos

fluviométricos dentro daqueles levantados, segundo o critério de série histórica de vazões disponível. Dentro dos 70 postos levantados, apenas nove possuem série histórica de vazões, exceto a Colônia dos Americanos, com pelo menos 20 anos de dados consistidos, como ilustrado na tabela.

Tabela - Postos fluviométricos levantados para estudo de regionalização de vazões

Nome	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)	Início da Observação	Fim da Observação
Ponte Quebra Linha	-14:58:39	-48:40:26	11.200	01/01/1966	01/12/2012
Jaraguá	-15:43:06	-49:19:18	1.970	01/12/1964	01/02/2012
Fazenda Novo Uru	-15:59:58	-49:59:30	334	01/03/1965	01/12/1971
Uruana	-15:29:46	-49:41:27	3.700	01/01/1965	01/03/2012
Colônia dos Americanos	-14:44:23	-49:03:50	18.400	01/10/1973	01/01/1998
Porto Uruaçu	-14:31:07	-49:02:30	34.600	01/07/1966	01/09/1996
Porto Rio Bagagem	-14:11:01	-48:05:25	2.910	01/03/1970	01/09/1996
Tocantinzinho	-13:59:17	-47:55:44	4.680	01/12/1971	01/09/1996
Ponte Rio Preto	-13:59:17	-47:55:44	878	01/05/1979	01/09/2006

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M. A. G. M. (2015).

Vazões Mínimas

Na gestão dos recursos hídricos, é importante o conhecimento das vazões mínimas dos rios principais e seus afluentes para a aplicação do instrumento de outorga, pois a repartição dos recursos hídricos disponíveis (outorgáveis) entre os diversos requerentes deve ser feita com uma garantia de manutenção de fluxo residual nos cursos de água (ANA, 2014).

Para o cálculo das vazões mínimas de

referência de cada posto, foi o utilizado o *software* Hidro, disponibilizado pela ANA, que calcula o valor das vazões Q95% diária, Q95% mensal e Q7, 10 a partir da série histórica de vazões.

A partir das vazões Q95% de cada posto, foi possível calcular a vazão máxima outorgável (VMO), que representa a máxima vazão passível de outorga para uso em um curso d'água. No presente estudo, foi adotado que a VMO será representada pela parcela de 70% da Q95%, tendo em vista



que o rio Tocantins é de domínio da União e sua gestão está vinculada aos critérios preconizados pela ANA.

Vazões Máximas e Média de Longo Termo

A vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. É utilizada na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas, tais como condutos, canais e bueiros. Junto com o hidrograma de projeto, é necessária também, na atenuação dessas enchentes numa determinada área, o dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, perímetro de irrigação, diques e extravasores de barragens, por exemplo. A estimativa desses valores tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia, sendo falhas em barragens relatadas devidas ao subdimensionamento de vertedores (TUCCI, 2013).

Os estudos de vazões extremas devem ser realizados conforme a disponibilidade de dados na bacia e na região do aproveitamento, ou seja, ou o local dispõe de uma série de vazões médias ou o local não dispõe de dados. Caso não exista disponibilidade de dados, os eventos extremos poderão ser gerados a partir da regionalização através de valores extremos calculados para bacias circunvizinhas ou utilização de hidrograma sintético do Soil Conservation Service (ELETROBRAS, 1999). Quando existe a disponibilização de uma série de vazões médias, como no caso

dos postos deste trabalho, utiliza-se o ajuste de uma distribuição estatística aos eventos máximos anuais da série como método.

A análise de frequência de valores extremos tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de vazões máximas e os tempos de retorno a elas associados. Esta análise baseia-se na análise probabilística dos máximos registros fluviométricos anuais, portanto, um conjunto que pode ser interpretado como uma amostra da variável aleatória “vazão máxima anual” (ELETROBRAS, 1999).

No presente estudo, foram utilizadas as distribuições de probabilidade de Gumbel e exponencial de dois parâmetros, como preconizado em Eletrobras (1999). A escolha da distribuição é função do coeficiente de assimetria da série, expresso por:

$$a_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (1)$$

Onde x_i , $i=1, 2, \dots, n$, são as realizações da variável aleatória, no caso as vazões máximas anuais de cada posto; n , o número total de realizações, ou seja, o tamanho da amostra; e s , o desvio padrão da amostra. Para amostras com o coeficiente de assimetria maior que 1,5, utiliza-se a exponencial a dois parâmetros; e para coeficientes menores que 1,5, utiliza-se a distribuição de Gumbel.

A vazão máxima x_T associada ao tempo de retorno T é calculada para ambas as distribuições da seguinte forma:



a. Exponencial a dois parâmetros:

$$x_0 = \bar{x} + s \quad (2)$$

$$\beta = s \quad (3)$$

$$x_T = x_0 - \beta \times \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4)$$

Onde β e x_0 são os parâmetros da distribuição, \bar{x} é a média e s o desvio padrão da amostra. T é o período de retorno em anos.

b. Gumbel

$$\alpha = 0,78^x s \quad (5)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,577^x \alpha \quad (6)$$

$$x_T = \mu - \alpha \times \left(\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \quad (7)$$

Sendo α e μ os parâmetros da distribuição; \bar{x} , a média; e s , o desvio padrão da amostra. T é o período de retorno em anos.

No que tange à vazão média, de acordo com TUCCI (2013), ela permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético, entre

outros usos. A vazão média de longo termo (MLT) é a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia.

Curvas de Regionalização de Vazões

A partir dos valores estimados de vazões para os postos fluviométricos selecionados, foram definidas as curvas de regressão dessas variáveis, relacionadas com as respectivas áreas de drenagem. As equações encontradas são expressas por:

$$Q = a \cdot (A)^b \quad (8)$$

Assim, tem-se que Q é a vazão, em $m^3 s^{-1}$; a e b são coeficientes; e A , a área de drenagem contribuinte ao posto fluviométrico, em km^2 .

Cálculo da disponibilidade hídrica

Para o estudo da disponibilidade hídrica da sub-bacia do Alto Tocantins, foram levantadas as outorgas de uso consultivo existente dentro da área contribuinte da sub-bacia até a UHE Serra da Mesa.

Foram discriminadas, primeiramente, as outorgas concedidas pela ANA em rios considerados federais por banharem mais de um estado. Tais outorgas se encontram na tabela 2.



Tabela 2 - Outorgas de uso federais na sub-bacia do alto Tocantins

Nº	Usuário	Vazão Captada (m ³ s-1)	Finalidade
1	CODEMIN S.A.	0,0972	Indústria
2	Planalto Extração de Areia Ltda	0,0972	Mineração
3	Uruaçu Açúcar e Álcool Ltda	0,1944	Indústria
4	Anglo American Brasil Ltda.	0,0972	Indústria
5	Anglo American Brasil Ltda.	0,0869	Mineração
6	Teccon S/A Construção e Pavimentação	0,0001	Outro
7	Antonio Francisco Bessa	0,0059	Irrigação
	Total	0,5789	

Fonte: ANA, 2014.

Em seguida, após solicitação dos dados cadastrais, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH) forneceu as outorgas estaduais dos usuários dos 33 municípios pertencentes, inteira ou parcialmente, à área de drenagem contribuinte à UHE Serra da Mesa, a saber: Água Fria de Goiás, Alto Paraíso de Goiás, Barro Alto, Carmo do Rio Verde, Ceres, Cocalzinho de Goiás, Goianésia, Goiás, Heitorai, Hidrolina, Itaberaí, Itapaci, Itapuranga, Jaraguá, Mimoso de Goiás, Mossamedes, Niquelândia, Nova Glória, Padre Bernardo, Petrolina de Goiás, Pirenópolis, Planaltina, Rialma, Rubiataba, Santa Isabel, Santa Rita do Novo Destino, Santa Rosa de Goiás, São Joao D'Aliança, São Luiz do Norte, Taquaral de Goiás, Uruaçu, Uruana e Vila Propício.

A disponibilidade hídrica (DH) será, então, calculada através da diferença entre a VMO (em nível mensal e diário) e a soma do total das vazões outorgada pela SEMARH (VTO) e expressa por:

$$DH_{\text{mensal}} = VMO_{\text{mensal}} - VTO \quad (9)$$

$$DH_{\text{diária}} = VMO_{\text{diária}} - VTO \quad (10)$$

Resultados e Discussão

A tabela 3. Vazões mínimas Q₉₅ diária, Q₉₅ mensal e Q_{7,10} e VMO mensal e diária, em m³ s⁻¹. apresenta, respectivamente, as vazões mínimas, máximas e MLT calculadas em m³ s⁻¹ para cada posto fluviométrico selecionado para o estudo.



Tabela 3 - Vazões mínimas Q_{95} diária, Q_{95} mensal e $Q_{7,10}$ e VMO mensal e diária, em $m^3 s^{-1}$

Nome	Rio	Q_{95} Diária	Q_{95} Mensal	$Q_{7,10}$	VMO Diária	VMO Mensal
Ponte Quebra Linha	Rio Maranhão	41,6	42,3	30,3	29,12	29,61
Jaraguá	Rio das Almas	7,12	7,46	2,13	4,984	5,222
Fazenda Novo Uru	Rio Uru	0,625	0,64	0,096	0,4375	0,448
Uruana	Rio Uru	10,5	11,5	2,63	7,35	8,05
Colônia dos Americanos	Rio das Almas	81,7	89,5	49,9	57,19	62,65
Porto Uruaçu	Rio Maranhão	140	146	95,3	98	102,2
Porto Rio Bagagem	Rio Bagagem	10,2	11	6,8	7,14	7,7
Tocantinzinho	Rio Tocantinzinho	18,5	19,5	6,51	12,95	13,65
Ponte Rio Preto	Rio Preto	1,65	1,75	1,4	1,155	1,225

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M.A. G. M. (2015).

Tabela - Vazões correspondentes aos tempos de retorno de 2,33, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, em $m^3 s^{-1}$.

Código	Posto	$Q_{FR=10}$	$Q_{FR=20}$	$Q_{FR=25}$	$Q_{FR=50}$	$Q_{FR=100}$
20050000	Ponte Quebra Linha	1954,57	2296,78	2405,33	2739,73	3071,66
20100000	Jaraguá	262,72	315,12	331,98	384,38	436,77
20150000	Fazenda Novo Uru	65,49	73,09	75,50	82,92	90,29
20200000	Uruana	548,19	628,50	653,97	732,45	810,34
20490000	Colônia dos Americanos	3018,11	3546,65	3714,30	4230,78	4743,44
20500000	Porto Uruaçu	7063,82	8439,08	8875,33	10219,21	11553,17
20700000	Porto Rio Bagagem	1874,73	2292,96	2425,62	2834,31	3239,98
20900000	Tocantinzinho	1313,74	1573,70	1656,16	1910,19	2162,34
20950000	Ponte Rio Preto	340,68	390,06	405,72	453,98	501,88

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M.A. G. M. (2015).



Tabela - Valores de vazões MLT, em m³ s⁻¹

Código	Posto	Área	MLT
20050000	Ponte Quebra Linha	11200	141,87
20100000	Jaraguá	1970	33,61
20150000	Fazenda Novo Uru	334	4,10
20200000	Uruana	3700	61,88
20490000	Colônia dos Americanos	18400	332,35
20500000	Porto Uruaçu	34600	569,52
20700000	Porto Rio Bagagem	2910	58,46
20900000	Tocantinzinho	4680	84,24
20950000	Ponte Rio Preto	878	15,72

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M.A. G. M. (2015).

As equações das curvas de regionalização definidas para cada vazão característica calculada encontram-se relacionadas na tabela.

Tabela - Equações de regionalização das vazões características para a sub-bacia do Alto Tocantins

Vazão característica	Equação	R ²
Q ₅ diária	Q = 0,0007.A ^{1,1882}	r ² = 0,9906
Q ₅ mensal	Q = 0,0007.A ^{1,1914}	r ² = 0,9901
Q _{7,10}	Q = 5E-05.A ^{1,4059}	r ² = 0,9491
VMO diária	Q = 0,0003.A ^{1,1882}	r ² = 0,9906
VMO mensal	Q = 0,0003.A ^{1,1914}	r ² = 0,9901
TR=10	Q = 0,4316.A ^{0,9222}	r ² = 0,8799
TR=20	Q = 0,4645.A ^{0,9327}	r ² = 0,8767
TR=25	Q = 0,4754.A ^{0,9355}	r ² = 0,8759
TR=50	Q = 0,5097.A ^{0,9427}	r ² = 0,8738
TR=100	Q = 0,5445.A ^{0,9485}	r ² = 0,8722
MLT	Q = 0,0135.A ^{1,0231}	r ² = 0,9884

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M.A. G. M. (2015).



Em relação ao conteúdo da informação disponibilizada pela SEMARH na lista de outorgas, não foram observadas informações sobre as coordenadas de localização para todos os cadastros. Além disso, algumas outorgas não apresentavam a indicação das unidades das vazões associadas. Apesar das dificuldades encontradas, foi possível aproveitar 401 cadastros de outorga, dos 466 fornecidos pela SEMARH, que totalizaram 27,32 m³ s⁻¹ outorgados, dos quais 73,75% são destinados à irrigação, e o restante dividido entre as finalidades de bombeamento (25,73%), mineração (0,29%), piscicultura

(0,21%) e abastecimento público (0,02%).

Utilizou-se como ponto de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica o barramento da UHE Serra da Mesa, que está à jusante das outorgas levantadas. Como o barramento não possui dados de série histórica no Hidroweb, para o cálculo das vazões mínimas de referência, foram aplicadas as equações de regionalização da Q₉₅ diária e da Q₉₅ mensal, relacionadas na tabela 6. O resultado das VMO, em nível diário e mensal, é ilustrado na tabela 7. Cálculo das vazões características do ponto de referência para o estudo de disponibilidade hídrica.

Tabela 7 - Cálculo das vazões características do ponto de referência para o estudo de disponibilidade hídrica.

	Equação de regionalização	Área de drenagem (A, km ²)	Resultado (m ³ s ⁻¹)	VMO (m ³ s ⁻¹)
Q ₉₅ diária	$Q = 0,0007 * A^{1,1882}$	51.300	276,47	193,53
Q ₉₅ mensal	$Q = 0,0007 * A^{1,1914}$	51.300	286,24	200,36

Fonte: Guedes, R. B.; Hora, M. A. G. M. (2015).

Da aplicação das equações (9) e (10), os resultados alcançados de DH, em nível diário, e DH, em nível mensal, foram, respectivamente, 166,43 m³ s⁻¹ e 172,45 m³ s⁻¹.

Considerações Finais

Através do estudo das séries históricas de vazões dos postos fluviométricos selecionados para este trabalho, foi possível o cálculo das vazões características e o estabelecimento das

curvas de regionalização. A análise do ajuste de cada curva nos permite concluir que estas são representativas da bacia. Em 100% das curvas, obteve-se ajuste maior que 0,87. Essa representatividade pode ser explicada pelo tamanho das séries de vazões, superiores a 20 anos, para 8 das 9 estações selecionadas.

A disponibilidade hídrica pode ser considerada positiva para a região. Os valores de 166,43 m³ s⁻¹ para a disponibilidade hídrica diária e de 172,45 m³ s⁻¹ para a mensal é



um indicativo de que os usuários outorgados utilizam apenas 14% dos recursos hídricos disponíveis para outorga na região em estudo. Porém, cabe pontuar que existe na bacia uma carência de registros de informações no que

concerne ao uso dos recursos hídricos, podendo, assim, haver usuários ainda não cadastrados e regularizados. Consequentemente, resulta em uma disponibilidade hídrica inferior à estimada neste trabalho.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**. Brasil, 2014. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

Eletrobras Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Brasil, 1999. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS4AB3DA57PTBRIE.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

SISTEMA FURNAS DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO. **Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa**. Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_hidr_serramesa.asp>. Acesso em: 25 jun. 2014.

TUCCI, Carlos E. M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. 943 p.