ESTIMATIVA DA PEGADA HÍDRICA DA USINA HIDRELÉTRICA DE BARRA GRANDE

Vitor Goline Gomes [1] *& Pedro Luiz Borges Chaffe* [2]

Resumo – A estimativa do consumo de água nas cadeias produtivas tem se tornado uma prática cada vez mais utilizada para estabelecer a pressão destas sobre os recursos hídricos. Sendo assim, a energia elétrica utilizada também deve ser considerada na estimativa de consumo de água, já que esta possui um consumo associado. Os estudos de estimativa de consumo de água para geração de energia elétrica têm encontrado dificuldade na definição de metodologias de cálculos, principalmente na geração hidrelétrica. Isso se justifica pelo início recente dos estudos, pelo uso de parâmetros ambientais nos cálculos, que apresentam grande variação, e pela falta de dados que garantam precisão dos resultados. Como ainda existem divergências quanto ao melhor método para o cálculo da pegada hídrica, será discutido neste artigo, a utilização do parâmetro energia assegurada ao invés da energia gerada. Será mostrado que o uso da energia assegurada apresenta maior estabilidade frente as grandes variações na energia gerada. Essas variações acontecem tanto por fatores climatológicos quanto pela operação centralizada do sistema interligado brasileiro. Este artigo vai se limitar a calcular a pegada hídrica da Usina Hidrelétrica de Barra Grande, devido à disponibilidade e precisão dos dados.

Palavras-Chave – Pegada hídrica, Usina Hidrelétrica, Energia assegurada.

WATER FOOTPRINT ESTIMATION OF BARRA GRANDE HYDROPOWER PLANT

Abstract – Estimating water consumptions in production chains became a common practice to establish the pressure on water resources. Therefore, the electricity used in the process also have to be considered in the estimating of water consumption, as it's have a related consumption. The scientific researches of the estimation of water consumption in the electricity generation are facing difficulties to define the more suitable calculation methodology, mainly in hydroelectric generations. This situation can be justified for the recent begin of the researches, for the use of environmental parameters, that show huge variations and for the lack of data that assure precision of results. As still have divergences about the best water footprint calculation methodology, this article will discuss the use of assure energy parameter instead the generated energy. It will be shown that the use of the assured energy presents greater stability against the large variations in the energy generated. These variations happen both because of climatological factors and because of the centralize operation of the Brazilian interconnected system. This article is limited to the water footprint calculation of the Barra Grande hydropower plant, due the availability and accuracy of its data.

Keywords – Water footprint, Hydropower plant, Assured energy.

[1] Graduando de Engenharia Santiária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: vitor_goline@hotmail.com.
[2] Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: pedro.chaffe@ufsc.br

INTRODUÇÃO

Como um indicador de consumo de água podemos usar o conceito de pegada hídrica, que mede o volume de água consumida e/ou poluída em uma cadeia de produção (HOEKSTRA, 2011). A utilização desse conceito poderia demonstrar a real pressão nos recursos hídricos causada pela geração hidrelétrica (MEKONNEN, 2011). Este artigo se restringe a quantificação da pegada hídrica azul da usina em estudo e foca no uso consuntivo de água relacionado a evaporação da água do reservatório associado a ela.

A comunidade técnica e científica ainda não apresentou consenso quanto a metodologia de cálculo da pegada hídrica. Isso acontece por esse conceito ser relativamente novo e consequentemente as suas ferramentas de cálculo também e por ainda existirem poucos experimentos práticos publicados. Além disso, a pegada hídrica depende fortemente de fatores climáticos, topográficos, hidrológicos, tecnológicos e de gestão, que a torna muito específica para cada usina. Desta forma, são várias as críticas à generalização de um valor médio global para caracterização da pegada hídrica de usinas hidrelétricas (HOEKSTRA, 2011).

Além do cálculo de evaporação real associada ao reservatório, para o cálculo da pegada hídrica ainda é usado o parâmetro energia elétrica gerada. Porém, como no Brasil o sistema elétrico é todo interligado e é operado por um órgão centralizado, que determina qual usina deve operar, em qual momento, e com qual intensidade, a geração de energia sofre muitas variações que não dependem apenas da operação interna da usina (FARIA, 2004). Além disso, a geração de energia ainda está sujeita a variações climáticas. Com base nessa constatação será apresentado também o resultado da pegada hídrica calculada com o uso do parâmetro energia assegurada. A energia assegurada do sistema elétrico brasileiro é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo do tempo, simulando a ocorrência de milhares de possibilidades de sequências de vazões criadas estatisticamente, admitindo certo risco de não atendimento à carga. Assim, a determinação da energia assegurada independe da geração real e está associada principalmente a variabilidade hidrológica à qual a usina está submetida (ANEEL, 2005).

A partir do exposto, o presente trabalho busca levantar questionamentos sobre a metodologia de estimativa de pegada hídrica eficiente e condizente com o sistema elétrico brasileiro. Demonstrando que o parâmetro energia assegurada traz uma constância maior e mais justa a pegada hídrica dos empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Para o estudo de caso será analisada a Usina Hidrelétrica de Barra grande (UHE Barra Grande). Ela foi escolhida devido a precisão e a periodicidade dos dados disponíveis. Primeiramente vamos estimar as perdas de água do reservatório por evaporação, depois levantar suas gerações de energia ao longo do período analisado e a estimativa de energia assegurada, e por fim, comparar os resultados de pegada hídricas usando os dois parâmetros.

METODOLOGIA

Área de Estudo

Como mostra a Figura 1 a seguir a UHE Barra Grande se localiza na divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O empreendimento possui um reservatório em cota máxima de 95 km² e tem 690 MW de potência instalada. (BAESA, 2016).

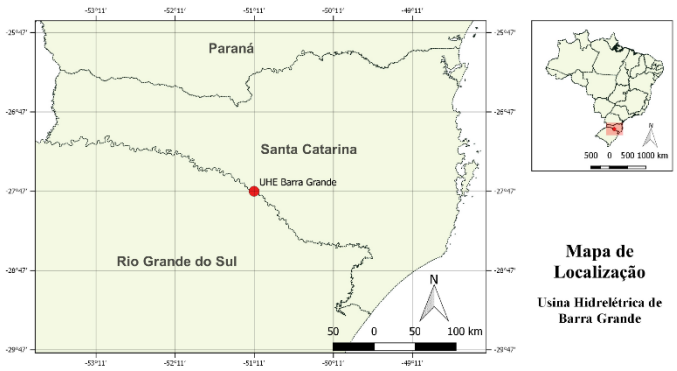

Figura 1 – Mapa de localização da Usina Hidrelétrica de Barra Grande

Estimativa de Evaporação pelo Modelo WREVAP

O programa WREVAP calcula a evapotranspiração real de superfícies terrestres, de lagos rasos e de lagos profundos, todos baseados nas publicações de Morton (1983a,b; 1986). O programa é uma modificação da versão do WREVAP do Morton (1983a,b; 1986) e consiste em um módulo (WREVAP data) e cinco sub-rotinas (crae, crwe, crele1, crle2 e sub1). A crle2, que será utilizada no artigo, calcula a evaporação dos lagos assumindo que a profundidade do lago varia mensalmente.

Os dados necessários para computar o método são: para cada mês, a média da temperatura do ar (ºC), a média da umidade relativa do ar (%), a média das horas de exposição à radiação solar (horas/dia) e a profundidade média do lago (m); e como dados pontuais, a precipitação média anual (mm), a latitude (graus decimais), a elevação da estação (m) e a salinidade da água (ppm). As saídas do modelo são a radiação líquida na superfície do corpo hídrico, a evaporação potencial e a evaporação real do lago. Morton (1986) ainda observou que, em números, o crle2 apresenta dados de saída com alterações irrelevantes para variações de altitude inferiores a 200m, salinidade inferior a 5000ppm, latitude inferior a 1º e variação de profundidade média inferior a 5% nos parâmetros de entrada (MCMAHON, 2013b).

Dados

A Tabela 1 apresenta um resumo das fontes de dados primários utilizados para o cálculo das estimativas de pegadas hídricas. Buscando a maior precisão possível nos dados, foram utilizados os dados medidos diretamente pela equipe de operação e manutenção (O&M) da UHE Barra Grande. Os dados que não haviam medições realizadas pelo empreendimento, foram adquiridos nas fontes referenciadas.

Tabela 1 – Fonte de dados.

Dados	Unidade	Periodicidade	Fonte
Altitude	m	Pontual	UHE Barra Grande
Salinidade	ppm	Pontual	UHE Barra Grande
Precipitação	mm	Diária	INMET(2017) e UHE Barra Grande
Profundidade do reservatório	m	Horária	UHE Barra Grande
Temperatura média do ar	ºC	Diária	INMET(2017) e UHE Barra Grande
Umidade relativa média do ar	%	Diária	INMET(2017)
Insolação	horas/dia	Diária	INMET(2017)
Área superficial	km²	Horária	UHE Barra Grande
Energia Gerada	MWh	Mensal	UHE Barra Grande
Energia Assegurada	MWh	Mensal	UHE Barra Grande

Para a composição dos dados climatológicos foram utilizadas três estações meteorológicas da região de estudo. A Tabela 2 a seguir mostra os dados das estações. Devido a indisponibilidade de todos os dados da estação mais próxima (Pinhal da Serra/RS), foi feito um compilado dos dados das três estações, dando preferência para as estações mais próximas da barragem da UHE Barra Grande.

Tabela 2 – Estações meteorológicas

Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Distância da barragem
Pinhal da Serra - RS	1026	27°53’32’’ S	51º10’51’’ W	958 m	12.81 km
Campo Belo do Sul - SC	1014	27°55’46’’ S	50°48’30’’ W	978 m	41.18 km
Lages - SC	83891	27°48’36’’ S	50º19’48’’ W	937 m	84.83 km

Para os dados de cota do reservatório foram utilizadas as medições horárias realizadas pela equipe de O&M da UHE Barra Grande. Como para dar entrada no modelo WREVAP é necessário a profundidade, foi associada a profundidade à cota. Considerando que, Segundo Paim e Ortiz (2006), a profundidade média do reservatório na cota máxima é de 100 metros. A Figura 2 a seguir mostra a variação de cota ao longo do período em estudo.

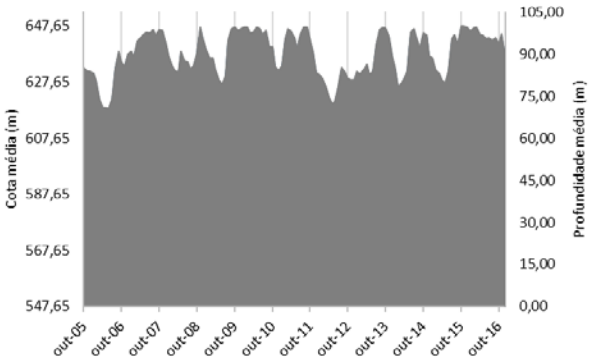

Figura 2 - Cota e profundidade média do reservatório.

A partir do levantamento topobatimétrico realizado no reservatório, foi traçada a curva Cota x Volume x Área, como mostra a Figura 3 a seguir.

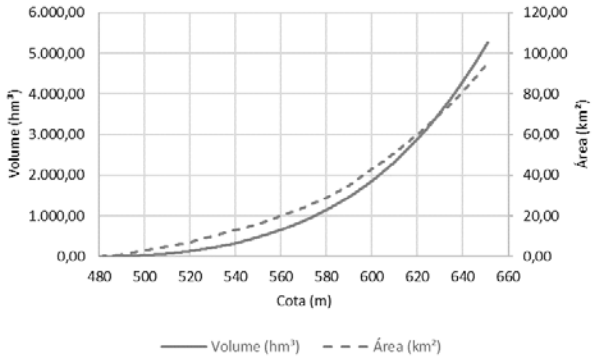

Figura 3 - Cota x Volume x Área do reservatório.

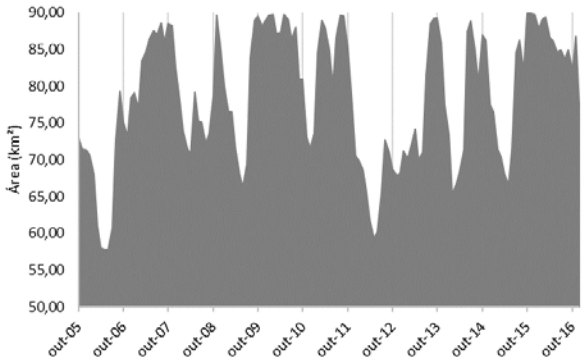

Figura 4 - Área do espelho d’água do reservatório.

A partir da curva Cota x Área e das cotas apresentadas na Figura 2, foi possível calcular a área média mensal do espelho d’água do reservatório, como mostra a Figura 4 acima. Essa área é utilizada posteriormente para o cálculo da pegada hídrica do aproveitamento hidrelétrico.

Quando calculamos a média da área ao longo do período em estudo, obtemos o valor de 78.36 km², que é cerca de 11.50 km² menor do que a área quando o reservatório está na sua cota máxima. Na Figura 5 a seguir é possível verificar a comparação entre as medições históricas de energia gerada e o que é esperado de energia assegurada.

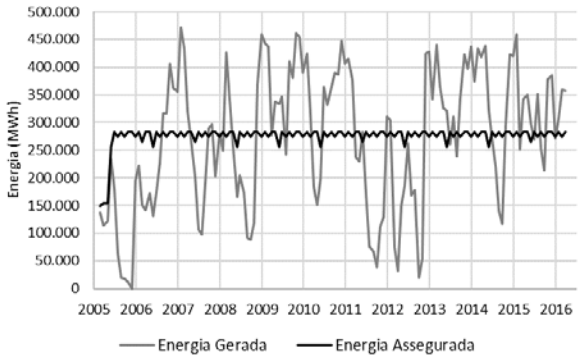

Figura 5 - Energia gerada x Energia assegurada.

Utilizando a metodologia proposta por Mekonnen e Hoekstra (2012), adotou-se a Equação 2 e 3 para o cálculo da pegada hídrica. Onde serão analisadas as diferenças dos resultados de pegada hídrica, considerando a energia gerada e a energia assegurada. Para atingir o resultado de evaporação real total deve-se utilizar a Equação 1.

$$\text{Evaporação Real Total} = \text{Evaporação Real} \times \text{Área do espelho d'água} \quad (1)$$

$$\text{Pegada Hídrica} = \frac{\text{Evaporação Real Total}}{\text{Energia Gerada}} \quad (2)$$

$$\text{Pegada Hídrica} = \frac{\text{Evaporação Real Total}}{\text{Energia Assegurada}} \quad (3)$$

RESULTADOS

Evaporação Real Total

Os resultados mostraram uma variação sazonal de aumento da evaporação após os meses mais quentes e de maior duração de insolação e diminuição nos demais. A Figura 6 a seguir apresenta a variação da evaporação real ao longo do período de estudo.

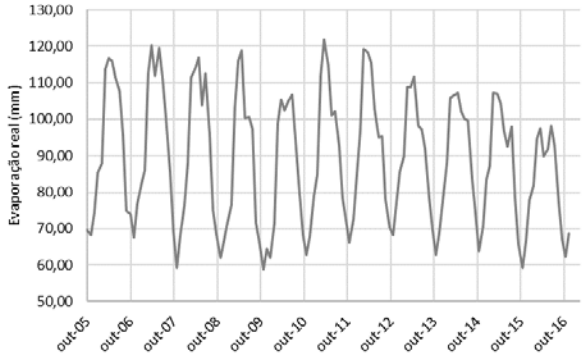

Figura 6 - Evaporação real (saída do modelo crle).

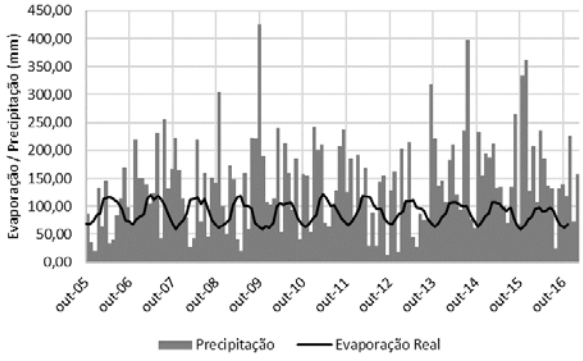

Figura 7 - Evaporação real x Precipitação.

A Figura 7 acima mostra a comparação entre a evaporação calculada e a precipitação medida na região. Apesar de a evaporação atingir valores elevados, na maioria dos casos a precipitação sobre o reservatório é maior, o que na metodologia cálculo de pegada hídrica apresentada por Herath et al. (2011) iria anular ou reduzir consideravelmente a pegada hídrica do reservatório.

A Figura 8 a seguir mostra o resultado da Equação 1 apresentada anteriormente. Utilizando a área do espelho d'água variando mensalmente, de acordo com a metodologia apresentada neste trabalho os resultados apresentam uma média geral de 6,95 x 10^6 m³, enquanto usando a área máxima do espelho d'água a média geral seria 8,03 x 10^6 m³, ou seja, 16% a mais.

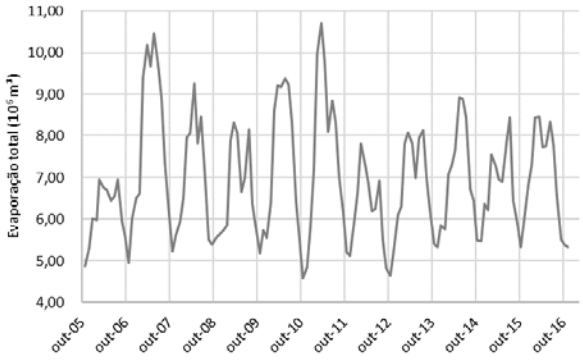

Figura 8 - Evaporação real total do reservatório.

Pegada Hídrica

Para o cálculo da pegada hídrica apresentada na Figura 9 foi utilizada a Equação 2, que tem como divisor a energia gerada mensalmente pela usina hidrelétrica. Os resultados apresentaram variação com um mínimo de 11,85 m³/MWh e um máximo de 520,56 m³/MWh. Para apresentação gráfica foi desconsiderada a pegada hídrica registrada para o mês de agosto de 2006 quando a energia gerada foi de 17,09 MWh ocasionando uma pegada hídrica de 407.175,30 m³/MWh. A variação de pegada hídrica se dá principalmente pela variação na energia gerada.

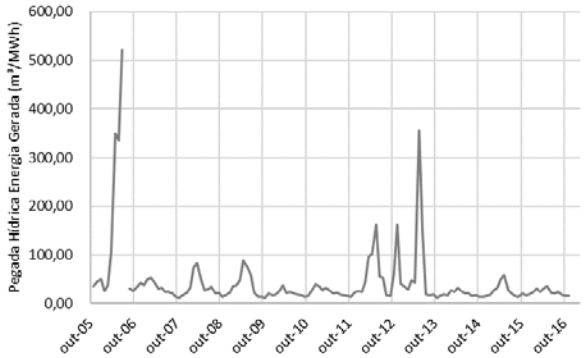

Figura 9 - Pegada Hídrica usando a energia gerada.

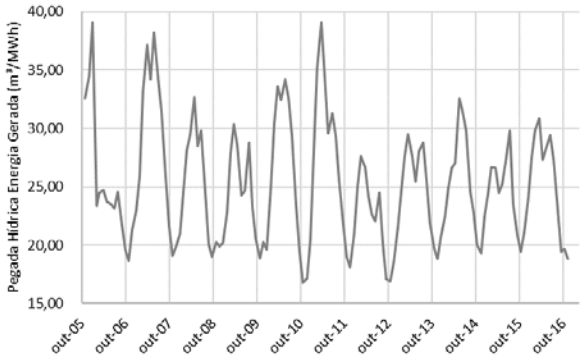

Figura 10 - Pegada Hídrica usando a energia assegurada.

A Figura 10 por sua vez, apresenta a pegada hídrica utilizando como divisor a energia assegurada associada à usina. Utilizando a energia assegurada, a variação de pegada hídrica é consideravelmente menor, com um mínimo de 16,76 m³/MWh e um máximo de 39,12 m³/MWh.

Colocando os dois resultados na mesma escala, mesmo que retirando os extremos da pegada hídrica calculada com a energia gerada, é possível verificar a diferença na variação dos resultados. A Figura 11 a seguir ilustra essa comparação.

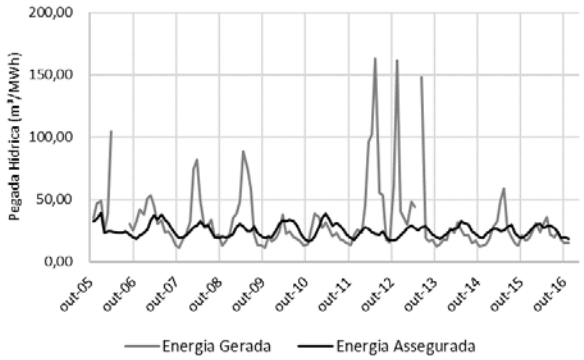

Figura 11 - Comparação entre a Pegada Hídrica mensal usando a energia gerada e a energia assegurada.

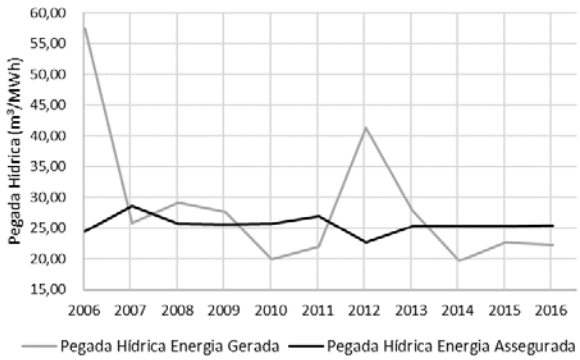

Figura 12 - Comparação entre a Pegada Hídrica anual usando a energia gerada e a energia assegurada.

A Figura 12 acima mostra a mesma comparação anterior, porém em intervalo de tempo anual, o que diminui as distorções extremas. Apesar disso, ainda é possível verificar a maior estabilidade da pegada hídrica calculada utilizando a energia assegurada.

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a pegada hídrica da usina em estudo é consideravelmente mais estável utilizando o parâmetro energia assegurada no cálculo, com isso a medição da pressão deste empreendimento sobre os recursos hídricos também se torna menos variável ao longo do tempo. Com essa estabilidade é possível fazer comparações entre as pressões que os aproveitamentos hidrelétricos geram sobre os recursos hídricos de maneira mais consistente, mesmo antes da construção.

Assim, estudos que abrangessem uma quantidade e variedade maior de empreendimentos de geração hidrelétrica poderiam dizer se a utilização desse parâmetro, energia assegurada, tem o mesmo efeito para os demais.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Energia Assegurada. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Brasília, DF, p. 18. 2005.

BAESA, E. B. G. S. A. Usina Hidrelétrica de Barra Grande, 2016. Disponivel em: <www.baesa.com.br>. Acesso em: 26 November 2016.

FARIA, E. T. Aplicação de Teoria dos Jogos à Repartição da Energia Firme de um Sistema Hidrelétrico. PUC - Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 167. 2004.

HERATH, I. E. A. The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New Zealand. Journal of Cleaner Production, v. 19, n. 14, p. 1582-1589, 2011. ISSN 0959-6526. Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611001636>.

HOEKSTRA, A. Y. E. A. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Earthscan, 2011. ISSN 9781849712798. Disponivel em: <http://doc.utwente.nl/78458/>.

INMET. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2017. Disponivel em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 26 abril 2017.

MCMAHON, T. A. E. A. Morton WREVAP Fortran code. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2013. Disponivel em: <http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeel/morton.html>. Acesso em: 20 July 2016.

MEKONNEN, M. M. E. H. A. Y. The wate footprint of electricity from hydropower, Value of Water Research Report. UNESCO-IHE Institute for Water Education. The Netherlands. 2011.

MORTON, F. I. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. Journal of Hydrology, v. 66, n. 1-4, p. 1-76, 1983a. ISSN 0022-1694. Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169483901774>.

MORTON, F. I. Operational estimates of lake evaporation. Journal of Hydrology, v. 66, n. 1, p. 77-100, 1983b. ISSN 0022-1694. Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169483901786>.

MORTON, F. I. Pratical Estimates of Lake Evapotranspiration. Journal of Climate and Applied Meteorology, v. 25, n. 3, p. 371-387, 1986. ISSN 0733-3021.