

AVALIAÇÃO DO RISCO ASSOCIADO À ENERGIA FIRME DE UM SISTEMA HIDRELÉTRICO

Heinz Dieter Fill¹ & Guilherme Périgo²

Resumo – O presente artigo apresenta uma avaliação do risco (expresso pelo tempo de retorno) implícito da energia firme para sistemas hidrelétricos. É utilizado o método da energia natural para estimar a energia firme mediante simulação sobre a série histórica de afluições. O risco associado a uma demanda igual à energia firme é avaliado usando a teoria estocástica dos reservatórios como proposto por Gomide (1986). Como resultado obteve-se um tempo de retorno de aproximadamente 80 anos para o SIN (Sistema Interligado Nacional) e 44 anos para o subsistema Sul/Sudeste.

Palavras-Chave – Energia Firme, Sistema Hidrelétrico, Risco de Déficit.

EVALUATION OF THE RISK ASSOCIATED FOR A FIRM ENERGY OF A HYDROELECTRIC SYSTEM

Abstract – This paper presents an evaluation of the risk (given by the return period) for the firm energy of a hydroelectric system. The firm energy was computed by simulation over the series of past observed inflows. The associated risk is then estimated using stochastic reservoir theory as proposed by Gomide (1986). The estimated return period was about 80 years for the SIN (Brazilian Interconnected System) and 44 years for the South/Southeastern subsystem.

Keywords – Firm Energy, Hydroelectric System, Deficit Risk.

INTRODUÇÃO

A avaliação da capacidade energética de um sistema hidrelétrico obviamente constitui-se em um dado fundamental para orientar o planejamento da expansão deste sistema. A metodologia utilizada para tal até meados dos anos 1980 foi a simulação da operação do sistema com base na série histórica de afluições obtendo-se a energia firme.

A energia firme era definida como sendo a máxima demanda média que poderia ser atendida na repetição das afluições históricas com o uso da totalidade da energia armazenada nos reservatórios (CANAMBRA, 1969).

A simulação era feita para o sistema agregado em uma usina e reservatório equivalente pelo chamado método da energia natural (CANAMBRA, 1969), ou detalhadamente considerando para cada uma das principais usinas do sistema.

Esta metodologia remonta aos estudos da CANAMBRA realizados na década de 1960 para o planejamento da expansão dos sistemas Sul/Sudeste. A partir de 1975, o chamado método histórico recebeu várias críticas cuja essência se constitui no fato de (1) ser improvável uma repetição do passado no futuro, (2) não associar a possível falha do sistema a uma probabilidade (risco) e (3) essa probabilidade, no caso desconhecida, depender da extensão do período histórico considerado e ser, portanto, variável.

¹ Professor Titular Emérito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental / Departamento de Hidráulica e Saneamento – PPGERHA/DHS da Universidade Federal do Paraná – UFPR (heinzfill@yahoo.com).

² Engenheiro da Electra Power Geração de Energia S/A e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental / Departamento de Hidráulica e Saneamento - PPGERHA/DHS da Universidade Federal do Paraná – UFPR (guilherme_perigo@yahoo.com.br).

Por outro lado, os defensores do método histórico argumentam que mesmo sem fixar uma probabilidade de falha, um sistema que seria bem sucedido no passado o será também no futuro. Também afirmam que a determinação de uma probabilidade de falha (risco) exige que se façam hipóteses não comprováveis sobre a natureza do processo estocástico subjacente às aflúências.

Entretanto, a partir da década de 1980 o chamado método probabilístico que associa uma probabilidade explícita à falha do sistema foi operacionalizado e implementado na prática do planejamento energético no Brasil.

O presente artigo, sem desmerecer o grande esforço de pesquisa dedicado à operacionalização do método probabilístico, tem por objetivo avaliar, embora de forma aproximada, o risco de falha implícito no uso da energia firme para estimar a capacidade energética de um sistema hidrelétrico. Serão analisadas neste contexto dois sistemas hidrelétricos, a saber, o Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil e um sistema composto pelos subsistemas Sul/Sudeste do Brasil.

MÉTODOS DE ANÁLISE

Para alcançar o objetivo proposto neste trabalho serão necessários dois passos:

- (i) Determinar a energia firme dos sistemas analisados para a série de aflúências históricas abrangendo o período de 1931 a 2010 sendo o período crítico de abril/1951 a novembro/1956.
- (ii) Estimar o risco de não atendimento à uma demanda igual a energia firme utilizando técnicas baseadas na teoria estocástica dos reservatórios como proposto por Gomide (1986).

Em ambos os passos será aplicado o método da energia natural (CANAMBRA, 1969) que consiste em agregar as aflúências às usinas mediante a transformação das vazões naturais em energias, multiplicando aquelas pela produtividade de cada usina e posteriormente somando as energias naturais afluentes de todas as usinas do sistema como apresentado abaixo.

$$EN(t) = \sum_{i \in R} K_i Q_i(t) \quad (1)$$

Sendo $K_i = gH_i\eta_i / 1000$ a produtividade da usina i , $Q_i(t)$ a vazão natural da usina i , R o conjunto de usinas do sistema, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ é a aceleração da gravidade, H_i e η_i respectivamente a queda média e rendimento da usina i .

As capacidades dos reservatórios também podem ser agregadas em um único reservatório de energia equivalente cuja capacidade máxima é dada por:

$$A_{m\acute{a}x} = \sum_{j \in R} \frac{V_j}{2,628} \left(\sum_{i \in J} K_i \right) \quad (2)$$

Sendo V_j o volume útil do reservatório j , R o conjunto dos reservatórios e J o conjunto de usinas a jusante do reservatório j .

Com este procedimento a análise da capacidade energética do sistema fica reduzida ao estudo da regularização de um único reservatório. Assim, o primeiro passo do estudo será efetuado mediante uma simulação através do seguinte algoritmo.

Arbitra EF

$$A(0) = A_{máx}$$

Para $t = 1, 2, \dots, T$

$$A(t) = \text{mín} \begin{cases} A_{máx} \\ A(t-1) + EN(t) - EF \end{cases}$$

Variar EF até que $A_{mín} = 0$

Obtida a energia firme EF determinam-se os seguintes parâmetros adimensionais propostos por Gomide (1986):

$$\mu = \frac{\bar{E} - EF}{\sigma} \quad (3)$$

$$a = \frac{A_{máx} - \phi_i EF}{\sigma} \quad (4)$$

Sendo \bar{E} a media e σ o desvio padrão das aflúências médias anuais e ϕ o coeficiente de regularização intra-anual (Gomide e Cunha, 1981).

Estes parâmetros definem o tempo de retorno (T_R) (valor esperado entre duas falhas do sistema) para um dado modelo probabilístico das aflúências (normal, log-normal, etc.). Para um tempo de retorno fixo é possível definir uma relação entre μ e a (Fill, 1989), com sendo:

$$\mu = \alpha e^{-\beta a} \quad (5)$$

com os parâmetros α e β função do tempo de retorno.

Para o caso de uma distribuição Log-Normal LN3 com assimetria $\gamma = 0,4$ e autocorrelação de 1ª ordem com $\rho = 0,25$ obtiveram-se os valores de α e β dados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes α e β para diferentes T_R .

T_R (anos)	α	β
20	1,54	0,71
45	1,79	0,53
100	2,00	0,45

As características das aflúências acima citadas foram inspiradas em várias análises do registro histórico (Gomide, 1986; Kelman, 1987; Fill, 1989; CEHPAR, 1987) e também corresponde aos valores amostrais das séries dos sistemas avaliados neste estudo para o período de 1931-1980.

Conferidos os valores de μ e a dos sistemas estudados pode-se obter o tempo de retorno correspondente interpolando os valores apresentados na Tabela 1.

RESULTADOS

Para os sistemas SIN e Sul/Sudeste obtiveram-se os valores característicos para a série de aflúncias 1931-2010 apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos sistemas avaliados.

Parâmetros	SIN	Sul/Sudeste
Média (MW/ano)	57300	43000
Desvio Padrão (MW/ano)	10700	8790
Coef. de Variação (adim.)	0,186	0,204
Armazenamento (MWano)	23100	17700
Coef. Intra-anual (adim.)	0,187	0,183

A energia firme dos sistemas SIN e Sul/Sudeste foi obtida por simulação ao longo das séries históricas de aflúncias naturais com discretização mensal. Obtiveram-se 46300 MWano/ano para o SIN e 35100 MWano/ano para o sistema Sul/Sudeste.

A partir destes valores e utilizando as características dos sistemas dados na Tabela 2 obtiveram-se os índices adimensionais para os sistemas avaliados através das equações (3) e (4), como apresentado na Tabela 3, que mostra também os coeficientes α e β que satisfazem a equação (5).

Tabela 3 – Índices de aflúncia e armazenamento adimensionais.

Índices	SIN	Sul/Sudeste
μ	1,02	0,90
a	1,35	1,28
α	1,93	1,78
β	0,47	0,54

Finalmente, interpolando os valores de α e β na Tabela 1 obteve-se tempo de retorno de aproximadamente 80 anos para o SIN e 44 anos para o sistema Sul/Sudeste. O risco de falha dos sistemas foi obtido utilizando-se a conhecida fórmula para converter tempo de retorno em risco sobre n anos (Fill e Périco, 2012):

$$r_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n \quad (6)$$

Verifica-se que os tempos de retorno encontrados implicam em um risco de falha dos sistemas ao longo de 30 anos (correspondente à duração das concessões de aproveitamentos hidrelétricos) equivalente a 31,5 % para o SIN e 49,8 % para o sistema Sul/Sudeste. Para um período de 80 anos, equivalente à extensão do período histórico obtiveram-se 63 % e 84 % para o SIN e sistema Sul/Sudeste.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o risco associado à energia firme de um sistema hidrelétrico é aproximadamente de 50 % ao longo de um período igual à vida útil contábil das usinas (30 anos).

Acredita-se que para o SIN o tempo de retorno real deve ser inferior ao valor calculado de 80 anos devido a limitações no sistema de transmissão entre os subsistemas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste.

Há de se considerar que a análise apresentada neste artigo considera válidas as hipóteses de (1) aplicabilidade do método da energia natural (CANAMBRA, 1969), (2) separação da regularização sazonal, da geração térmica e da geração de pequenas usinas, (3) modelo LN3/AR1 para aflúências e (4) sistema estacionário. Entretanto essas hipóteses, no caso de sistemas bem regularizados e com sistema de transmissão adequado, não conduzem a grandes erros de avaliação (CANAMBRA, 1969; Fill, 1989; Gomide, 1986).

Contudo, da análise efetuada fica evidente que o risco associado à energia firme pode variar consideravelmente entre diferentes sistemas.

REFERÊNCIAS

CANAMBRA (1969). Canambra Engineering Consultants. *Power Study of Brazil*. Appendix XVII. Curitiba – PR.

CEHPAR (1987). Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. *Modelo simplificado de avaliação de risco – MSAR, Comparação com um modelo de simulação com séries sintéticas a subsistemas equivalentes (MSSSE)*. Curitiba – PR, v. 1, v. 2, Projeto HG-60, Consultoria em estudos energéticos e PCH.

FILL, H. D. (1980). O método da energia natural como técnica de simulação nos estudos energéticos. *Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná – IEP*, Curitiba – PR, n. 20, pp. 38-44.

FILL, H. D. (1989). Avaliação analítica da energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica. In *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu – PR, ABRH, pp. 122-129.

FILL, H. D.; PÉRICO, G. (2012). Importância dos reservatórios de regularização em sistemas hidrelétricos. *Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná - IEP*, Curitiba – PR, v. 4, pp. 33-37.

GOMIDE, F. L. S. (1986). Teoria Estocástica dos Reservatórios aplicada ao planejamento de sistemas hidrelétricos. Curitiba – PR. Paginação irregular. *Tese (titular)*, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná – DHS/UFPR.

GOMIDE, F. L. S.; CUNHA, L. M. (1981). Dimensionamento de reservatórios para regularização de vazões. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Fortaleza – CE, ABRH, pp. 551-568.

KELMAN, J. (1987). Modelos estocásticos no gerenciamento de recursos hídricos. In *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo, Nobel / ABRH, v. 1, cap. 4, pp. 326-424.