

EFEITO EJETOR EM USINA HIDRELÉTRICA DE BAIXA QUEDA ATRAVÉS DE CONDUTOS LATERAIS EM CONDIÇÃO SUBMERSA

Mauricio Romero¹, José Junji Ota¹, Tobias Bleninger¹, Paulo Cabral Dettmer², Fernanda Scheffer Yamakawa² e Guilherme Moreira Grossi³

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Centro Politécnico, Bloco V, 19011-81531-900- Curitiba, Paraná, Brasil.

²Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza (CEHPAR/LACTEC), Centro Politécnico da UFPR, Rodovia BR-116, Km 98, nº 8813, Jardim das Américas. Curitiba, Paraná, Brasil.

³Neoenergia. Condomínio Edifício Flamengo Comercial, Praia do Flamengo 78, Flamengo 22210904, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
E-mail: mauri.romero.merida@gmail.com, ota.dhs@ufpr.br, bleninger@ufpr.br, paulo.cabral@lactec.org.br, hernanda.hiromi@lactec.org.br, ggrossi@neoenergia.com

Introdução

O setor energético encontra-se em uma fase de transição no que se refere ao uso de tecnologias novas e readequação de outras anteriormente aplicadas. Nessa ótica, tem-se o foco marcante na geração de energia proveniente de pequenas usinas hidrelétricas (UHE), onde um aspecto fundamental é a maximização da potência hidráulica disponível nestas (Schiffer et al, 2015).

Uma visão atualmente aceita indica que a exploração de pequenas usinas hidrelétricas; desde 100 a 1.000 kW com diferenças de carga hidráulica muito pequenas (0.80 m), constitui-se no futuro de um aproveitamento energético atrativo desde o ponto de vista econômico e ecológico. No entanto, existem ainda problemas não resolvidos, entre eles, a ineficiência de pequenas usinas com turbinas e efeitos ecológicos negativos (Wiemann et al. 2007).

Neste sentido, o aproveitamento de usinas de baixa queda tem atraído o interesse de pesquisadores. Wiemann et al. (2007) apresentam em seu trabalho uma série de novas tecnologias geradas para pequenas usinas hidrelétricas de baixa queda, entre eles a Turbina Gorlov, o Hidro-Venturi, a Turbina Davis, a Turbina KHSP e a Turbina UEK, onde os autores indicam que as mesmas sofrem de baixas eficiências e altos custos de investimento.

O objetivo deste trabalho é apresentar inicialmente o estado de arte nesta temática no marco de um projeto de pesquisa a ser desenvolvido no Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza (CEHPAR/LACTEC) localizado no Campus III do Centro Politécnico da Universidade Federal de Paraná (UFPR).

Procura-se estudar e identificar as combinações das condições hidrodinâmicas de fluxo submerso 3D; para grandes vazões descarregadas, e fatores geométricos dos descarregadores de fundo laterais num modelo físico de uma usina hidrelétrica tipo, com a finalidade de conseguir um efeito ejedor satisfatório.

Efeito ejedor ou ejeção

O efeito ejedor para fins de aumento de geração elétrica em usinas de baixa queda tem como princípio a mistura do fluxo em excesso proveniente do vertedouro ou descarregadores de fundo com o fluxo de água que sai do tubo de sucção, transmitindo parte da energia cinética do fluxo de alta velocidade ao fluxo de baixa velocidade da turbina. Isto origina uma queda de pressão na saída do tubo de sucção que equivale a baixar o nível de água no canal de fuga a jusante. O resultado final é o incremento da carga efetiva na turbina (Schiffer et al., 2015).

O incremento da carga para uma vazão constante da turbina pode ser estimado como a diferença entre as cotas piezométricas com e sem ejeção na saída do tubo da sucção ou logo após o rotor, conforme ilustrado na Figura 1. Portanto, o efeito ejedor pode ser considerado como a redução adicional de pressão no tubo de sucção quando o excesso da vazão é descarregado por estruturas em suas proximidades (Slisskii, 1953).

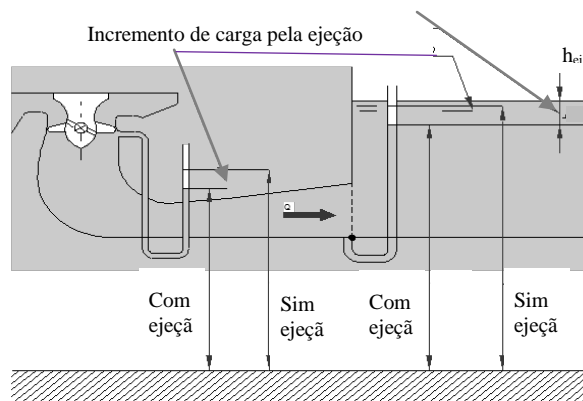


Figura 1.- Incremento da carga pela ejeção (Adaptado de Slisskii, 1953).

Kachanovskii (1947) e Egorov (1948); segundo Slisskii (1953), definem que a diferença entre o nível de água no canal de fuga, a uma certa distância da casa de força, e a cota piezométrica na saída do tubo de sucção é denominado efeito ejedor ou ejeção h_{ei} (ver Figura 1).

Equações de conservação de quantidade movimento linear e de energia

A análise da ejeção sempre começa pela aplicação das equações de conservação de quantidade movimento linear e de energia. A fim de desenvolver as equações de interesse para um volume de controle adotado (ver Figura 2), se partirá da formulação das leis básicas para um sistema de uma propriedade extensiva N (neste caso quantidade de movimento e energia). A propriedade intensiva (propriedade extensiva por unidade de massa) será designada por η .

Portanto, para um campo de velocidades \vec{V} e um volume do sistema \forall obtém-se as equações de conservação de momento linear (1) e de energia (2) (Fox et al., 2006):

$$\left(\frac{dm\vec{V}}{dt}\right)_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V}\rho d\forall + \int_{SC} \vec{V}\rho\vec{V} \cdot d\vec{A} \quad [1]$$

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} e\rho d\forall + \int_{SC} e\rho\vec{V} \cdot d\vec{A} \quad [2]$$

Onde $e = u + V^2/2 + gz$, u = energia interna no sistema; $V^2/2$ = energia cinética por unidade de massa; gz = energia potencial por unidade de massa e g = aceleração devida à gravidade.

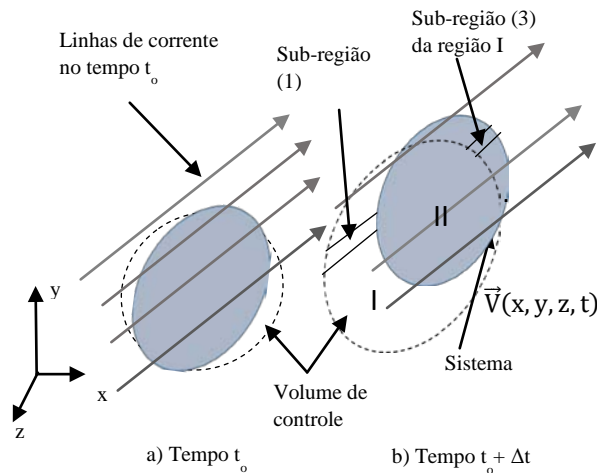


Figura 3.- Configuração de Sistema e de Volume de Control (Fox et al.,2006).

Revisão de literatura

A maioria dos estudos a respeito do efeito ejetor desenvolveu-se entre os anos 1900 – 1960's por pesquisadores da então União Soviética, onde se estudaram diversas usinas hidroelétricas por meio de modelos físicos em escala reduzida. Entre os trabalhos mais importantes destacam-se os de Egorov (1948), Slisskii (1953), Slisskii (1963) e Serkov (1967).

Em Slisskii (1953), apresentam-se as metodologias de análise de Veits (1947), Kachanovskii (1947) e Mustafin (1951), com conclusões e discussões a respeito do grau de aplicabilidade dos mesmos.

No entanto, Serkov (1967) indica que, apesar de que quase todos os projetos de usinas hidroelétricas naquele país permitem a aplicação do efeito ejetor e dos altamente elaborados desenhos de análises, os quais são baseados quase que exclusivamente em investigações de laboratório, os resultados de estudos em protótipo não foram descritos satisfatoriamente.

Após essas investigações, Schiffer et al. (2015) indicam que estes conceitos e estudos ficaram aparentemente no esquecimento, até serem aplicados na Áustria, para a construção de pequenas usinas hidroelétricas. Esses autores mencionam dois projetos de referência: as usinas hidroelétricas de Mühlalwehr (Drack, 2007) e de Waidhofen (Gruber, 2013).

Tomando como referência a planta de Waidhofen, Schiffer et al. (2015) construíram um modelo físico no Instituto para Maquinaria de Fluidos Hidráulicos da TU-Graz (Graz University of Technology, Áustria). O objetivo do estudo foi obter uma melhor percepção científica a respeito do uso energético do excesso de água, bem como a avaliação dos fatores mais significativos que influem no efeito de ejeção. Este modelo físico foi complementado posteriormente com simulações numéricas para fluxo multifásico (CFD-model).

Recentemente, no Brasil têm-se o estudo realizado por Yamakawa & Terabe (2016) no Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza (CEHPAR/LACTEC) em Curitiba. O estudo consistiu em avaliar a melhoria de um aproveitamento hidroelétrico, no qual, se buscava reduzir o nível de água a jusante da casa de força através do efeito ejetor, incrementando a carga hidráulica disponível para a unidade geradora.

Conclusões da revisão bibliográfica

Os casos e as premissas disponíveis na literatura são, em sua grande maioria, referente a casos envolvendo escoamento

bidimensional que de fato não ocorre. As equações disponíveis nas referências estudadas provêm de formulações relativamente simples, envolvendo velocidade média do escoamento e distribuição hidrostática de pressões no volume de controle a jusante das estruturas, o que também não ocorre e precisa ser investigado de maneira mais detalhada.

Outro ponto importante a ser observado é escassez de estudos referentes a escoamentos superficiais com resalto hidráulico submerso, que provavelmente será o tipo de escoamento mais comum de ocorrer no presente estudo.

As avaliações propostas para análise do efeito ejetor envolvem a comparação apenas dos níveis de jusante do canal de fuga com efeito ejetor, não levando em conta a relação entre vazão turbinada e a vazão descarregada pela estrutura ejetora.

Com relação à ejeção por descarregadores de fundo, os dados disponíveis na literatura mostram que as relações utilizadas descrevem o fenômeno com razoável precisão. No entanto, para escoamentos com grandes profundidades a jusante do canal de fuga, a relação teórica é discrepante das observações realizadas em laboratório e, portanto, merecem uma investigação detalhada.

Referências bibliográficas

- Drack, K.** (2007) *Effizienzsteigerung bei Klein-wasserkraftwerken durch Nutzung der „Ejektorwirkung“*. Beispiel Mühlalwehr. Firmenschrift der K.u.F Drack GmbH & Co. KG. Scharnstein.
- Egorov, S. A.** (1948). *Ejection at Tailrace of Hydroelectric Plants* (em Russo). Gosénergoizdat, 1948.
- Fox, R. A., McDonald, A.T. and Pritchard, P. J.** (2006). *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro.
- Gruber, R.** (2013). “Ejektorkraftwerk macht Standort an der Ybbs Wirtschaftlich”. *ZEK-Hydro* 5/2013, 2013, pp. 14 – 17.
- Kachanovskii, B. D.** (1947). “Determination of the Ejection Effect during the Discharge of Flood Water through the Bottom Outlets of an HPP” (em Russo). *Izvestiya VNIIG*, Vol. 34, 1947.
- Schiffer, J., Benigni, H., Jaberg, H., Fritsch, R.; and Gomez, J.** (2015). “Numerical and Experimental Investigation of the Ejector Effect Applicable to Low Head Vertical Kaplan Turbines”. *Proceedings of the 16th International Conference on Fluid Flow Technologies (CMFF'15)*, Budapest, Hungary.
- Serkov, V. S.** (1967). “Full-Scale Investigations of Ejection in Combined Hydroelectric Plants with Pressure Spillways” (em Russo). *Hydrotechnical Construction*, Vol. 1, Issue 4, April 1967, pp. 330–335.
- Slisskii, S. M.** (1953). *Ejection Into Tailraces of Hydropower Plants*. Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatel'stvo: Moskva–Leningrad, 1953.
- Slisskii, S. M.** (1963). “Analysis and Investigations of the Flow Capacity of Pressure Spillways and of Ejection in Hydroelectric Plants” (em Russo). *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, No. 7, 1963.
- Wiemann, P., Müller, G. and Senior, J.** (2007). “Review of Current Developments in Low Head, Small Hydropower”. *Proceedings of the 32nd IAHR Conference 2007*. Venice, Italy.
- Yamakawa, F. e Terabe, F.** (2016) Relatório Preliminar Efeito Ejetor Como Redutor do Nível de Energia No Canal de Fuga. *Relatório Técnico*, 2016. Curitiba: Institutos LACTEC – CEHPAR, 18 p.