

# PERDA DE RENDIMENTO EM TURBO BOMBAS POR AÇÃO DO *LIMNOPERNA FORTUNEI*

Edwin Andres Mancilla Rico<sup>1</sup>, Tâmara Rita da Costa Souza<sup>2</sup>, Ana Letícia Pilz de Castro<sup>3</sup>, Carlos Barreira Martinez<sup>4</sup> e Denise de Almeida Maciel Diniz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutor em engenharia mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, <sup>2</sup>Doutoranda Programa de pós-graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, <sup>3</sup>Professora do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto,

<sup>4</sup>Professor Titular da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), <sup>5</sup> Professora Engenharia Civil IBMEC, Brasil.

E-mail: ing.andresmancilla@hotmail.com, tamararcosta@hotmail.com, analeticiapilz@hotmail.com, martinez@cce.ufmg.br, cmartinez@unifei.edu.br, denisemadiniz@gmail.com

## Introdução

A eficiência de uma turbina Francis, está relacionada as perdas internas da máquina. Essas perdas ocorrem no rotor, no sistema distribuidor, na caixa espiral e no tubo de sucção. Sofrendo grande influência do projeto e do tipo de material utilizado na fabricação. No caso a variação da rugosidade superficial pode provocar um impacto significativo no rendimento das turbinas. Dentro desse contexto os eventos de bioincrustação de *Limnoperna fortunei*, *L. fortunei*, popularmente conhecido como mexilhão dourado, provocam um aumento da rugosidade superficial, causando a elevação da perda de carga e redução de eficiência do sistema.

A presença de *L. fortunei* em território brasileiro foi detectada em 1998, no Delta do Rio Jacuí, RS, (MANSUR et al., 1999, 2003), nesse sentido foram encontrados diversos relatos da ocorrência de aparição do molusco em diferentes locais no Brasil, em 2012, o molusco foi encontrado nas Usinas Hidrelétricas de Mascarenhas de Moraes (Peixoto); Marimbondo e Luiz Carlos Barreto de Carvalho (Estreito); sendo estas quatro usinas situadas no Rio Grande entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, em 2015 confirmou-se o primeiro registro da espécie na bacia do rio São Francisco, divisa entre a Bahia e Pernambuco, no reservatório de Sobradinho e no canal de transposição do rio São Francisco (BARBOSA et al 2016).

Este trabalho apresenta o resultado de uma pesquisa que permite estimar a influência dessa bioincrustação em sistemas hidráulicos (canal de adução, caixa espiral e tubo de sucção em uma pequena turbina Francis com diversas alturas de queda (15 a 200m), com vazões nominais variando de 7,38 m<sup>3</sup>/s a 0,58 m<sup>3</sup>/s, e potência de 1000 kW.

## Metodología

O “f” é um parâmetro adimensional que sofre influência de outros parâmetros, como o número de Reynolds e a rugosidade relativa. Pode ser determinado através do Ábaco de Moody ou através de equações como a de Colebrook & White (1939), para escoamentos turbulentos, equação (1).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \quad [1]$$

Nesse sentido, de acordo com Souza (2016), a partir desta equação, é possível determinar erros máximos consideráveis para determinação de um valor inicial de “f” e desta forma fazer diversas iterações para chegar ao valor ideal de “f”. A Equação (2) de Buzzelli (2008), determina o valor de “f”, através de duas raízes B1 e B2, considerando apenas o número de Reynolds, rugosidade relativa e o diâmetro da tubulação como parâmetros para determinação do fator de perda de carga de

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = B_1 - \left( \frac{B_1 + 2 \log_{10} \left( \frac{B_2}{Re} \right)}{1 + \frac{2,18}{B_2}} \right) \quad [2]$$

Sendo:

$$B_1 = \frac{(0,777 \ln (Re)) - 1,41}{\left( 1 + 1,32 \cdot \sqrt{\frac{e}{D}} \right)} \text{ e;}$$

$$B_2 = \frac{e}{3,7 \cdot D} \cdot Re + 2,51 \cdot B_1$$

Dentro das principais características desta equação, tem-se valor máximo do número de Reynolds de 1.108,  $e_{\max} = -0,1345$  e  $e/D = 7,5 \times 10^{-2}$ . Através desta equação é possível chegar a valores de “f”.

Nesta pesquisa optou-se por trabalhar com a equação de Buzzelli (2008) para o cálculo do fator de perda de carga, pois a mesma atende às condições das variáveis estudadas, como o limite da rugosidade relativa (k), etc., considerando as velocidades e os diâmetros, sendo necessário obter os valores do f, para o cálculo da perda de carga nos dois componentes (caixa espiral e tubo de sucção) no sistema.

Após de calcular o fator de perda de carga “f” mediante a equação de Buzzelli anteriormente mencionada, se faz necessário a estimativa da perda de carga em condutos forçados com e sem infestação de *L. fortunei*, sendo determinada por médio da formula universal descrita pela equação (4):

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad [4]$$

No entanto para nosso caso a equação antes mencionada será reescrita da seguinte forma e utilizada para os respetivos cálculos, equação (5);

$$h_f = \frac{8 * f * l * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad [5]$$

Sendo:

f: fator perda de carga

l: comprimento (m)

Q: vazão (m<sup>3</sup>/s)

g: gravidade (m/s)

D: diâmetro (m)

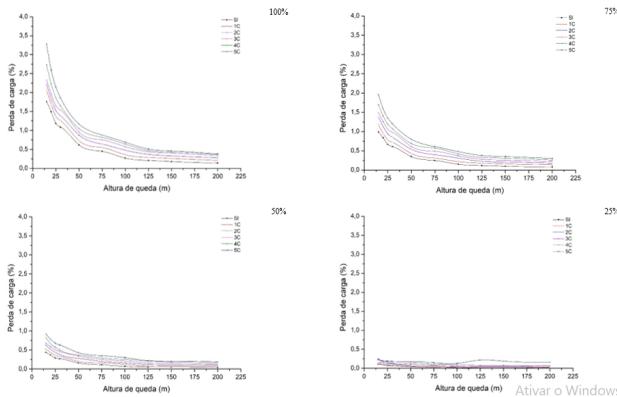
## Resultados

A Tabela 1., apresenta os valores calculados do “f”, para a faixa de diâmetros máximo e mínimo da caixa espiral, na condição inicial sem incrustação de mexilhão dourado (SI), e com incrustação para cada camada (1C, 2C, 3C, 4C e 5C), considerando que a partir da primeira camada de incrustação o diâmetro inicial é reduzido em função da espessura e do número de camadas.

**Tabela 1.-** Variação do fator de perda de carga ( $f$ ), devido à incrustação de *L. Fortunei*.

Local	Altura de queda	Diâmetro inicial	Fator de perda de carga ( $f$ )					
			SI	1C	2C	3C	4C	5C
Caixa espiral	15m	2,169	0,0309	0,0309	0,0310	0,0311	0,0312	0,0313
		0,114	0,0803	0,0861	0,0816	0,0791	0,0843	0,0864
	30m	1,533	0,0340	0,0342	0,0343	0,0345	0,0346	0,0347
		0,081	0,0864	0,0861	0,0864	0,0829	0,0843	0,0864
	50m	1,188	0,0368	0,0370	0,0372	0,0374	0,0376	0,0379
		0,063	0,0864	0,0848	0,0843	0,0846	0,0851	0,0864
	75m	0,970	0,0393	0,0395	0,0398	0,0401	0,0404	0,0407
		0,051	0,0848	0,0861	0,0854	0,0854	0,0861	0,0873
	100m	0,840	0,0412	0,0415	0,0419	0,0423	0,0426	0,0431
		0,044	0,0864	0,0867	0,0876	0,0876	0,0867	0,0864
Tubo de succão	125m	0,751	0,0428	0,0432	0,0436	0,0441	0,0445	0,0450
		0,040	0,0873	0,0870	0,0864	0,0864	0,0870	0,0870
	150m	0,686	0,0441	0,0446	0,0451	0,0457	0,0462	0,0468
		0,036	0,0864	0,0873	0,0864	0,0864	0,0870	0,0873
	200m	0,594	0,0465	0,0471	0,0477	0,0484	0,0491	0,0499
		0,031	0,0863	0,0873	0,0867	0,0867	0,0873	0,0870
	15m	1,350	0,0354	0,0355	0,0357	0,0359	0,0361	0,0362
		2,764	0,0289	0,0290	0,0290	0,0291	0,0291	0,0292
	30m	0,790	0,0420	0,0424	0,0428	0,0432	0,0437	0,0441
		2,087	0,0312	0,0312	0,0313	0,0314	0,0315	0,0316
	50m	0,650	0,0450	0,0455	0,0461	0,0467	0,0472	0,0479
		1,718	0,0303	0,0330	0,0332	0,0333	0,0334	0,0335
	75m	0,520	0,0488	0,0496	0,0503	0,0512	0,0521	0,0531
		1,368	0,0352	0,0354	0,0356	0,0357	0,0359	0,0361
	100m	0,560	0,0475	0,0482	0,0488	0,0496	0,0504	0,0513
		1,477	0,0344	0,0346	0,0347	0,0349	0,0350	0,0352
	125m	0,380	0,0551	0,0564	0,0577	0,0593	0,0609	0,0628
		1,005	0,0398	0,0391	0,0393	0,0396	0,0399	0,0402
	150m	0,380	0,0551	0,0564	0,0577	0,0593	0,0609	0,0628
		1,005	0,0398	0,0391	0,0393	0,0396	0,0399	0,0402
	200m	0,380	0,0551	0,0564	0,0577	0,0593	0,0609	0,0628
		1,005	0,0398	0,0391	0,0393	0,0396	0,0399	0,0402

A figura 1, é apresentado a relação da perda de carga consolidada da caixa espiral e do tubo de succão, em função da altura de queda, para diferentes porcentagens de carga nominal da máquina (25, 50, 75 e 100%), considerando a incrustação do *L. fortunei* até 5 camadas.



Como foi mencionado anteriormente, para esta pesquisa foram utilizadas alturas de queda desde 15m até 200m, sendo elas divididas em três grupos baixas, médias e altas quedas respectivamente. Nesse sentido na figura 6.22, observa-se uma tendência decrescente, onde a (%) de perda de carga é maior em alturas de queda menores no caso 15m, em comparação com alturas maiores (200m), tendo como influência o número de camadas de incrustação de mexilhão dourado.

Observa-se também que o maior aumento de perda de carga, se apresenta quando a máquina é operada com 100% da carga nominal e com influência de 5 camadas de incrustação de mexilhão dourado, já no caso de cargas menores (25%) o porcentual de perda de carga é menor, mesmo sendo influenciada pela incrustação.

No entanto podemos observar que a variação da porcentagem de perda de carga, entre carga nominal de 100% para 75% é

considerável quase o dobro, tendo uma porcentagem de 3,28% para 100% e de 1,96% para 75%, com a condição de incrustação de 5 camadas, no caso nas outras camadas a variação continua sendo consideravelmente alta.

No caso da comparação entre a maior carga nominal e a menor, a variação da % de perda de carga é quase quatro vezes maior, considerando 3,28% para 100% e de 0,23% para 25%, sendo proporcionalmente decrescente conforme diminui o número de camadas de incrustação de mexilhão dourado. Já na comparação entre as cargas de 50% e 25%, a variação da perda de carga pode ser considerada menos significativa, no entanto continua sendo uma variação alta, no caso de 0,92% de 50% para 0,23 de 25% de carga nominal da máquina.

## Conclusão

Nesse sentido pode-se concluir que as alturas de baixa queda, são as que maiores aumentos significativos de perda de carga apresentam em comparação com as outras alturas de queda, decorrente da incrustação de *L. fortunei*, no caso do aumento de números de camadas.

A incrustação de *L. fortunei*, ocasiona a redução da seção de escoamento no interior da turbina e consequentemente o aumento da velocidade do escoamento de forma irregular na caixa espiral. Isso pode alterar a velocidade do fluxo direcionado pelas pás diretrizes indicando a necessidade de novos estudos uma vez que esse fenômeno pode causar vibração na turbina e perda de eficiência da mesma.

De forma geral, essa incrustação de *Limnoperna fortunei*, resultará em um elevado custo de manutenção das máquinas como das usinas, uma vez que os aumentos significativos de perda de carga verificados inviabilizam a possibilidade de se aumentar a pressão na entrada nas tubulações, para se alcançar a mesma vazão em transito e compensar assim o aumento da rugosidade e a diminuição dos diâmetros internos.

## Agradecimentos

Os autores manifestam seus agradecimentos à ANEEL, à CEMIG, à ELETROBRAS-FURNAS, a FAPEMIG ao CNPq, CAPES, pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

## Referências

- Mansur, M.C.D.; Richiniti, L.M.Z.; Dos Santos, C. P. Limnoperna fortunei (Dunker 1857), molusco bivalve invasor na bacia do Guaíba Rio Grande do Sul, Brasil. Biociências vol.69: 99-116. 1999.
- Mansur, M.C.D.; Santos, C.P.; Darrigran, G.; Heydrich, I.; Callil, C.T.; Cardoso, F.R.; Primeiros dados qualitativamente do Mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. Rev Bras Zool 20: 75-84. 2003.
- Barbosa, N.P.U.; Silva, A.F.; Oliveira, M.D.; Neto, M.A.D.S.; Carvalho, M.D.; Cardoso, A. V. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (molusca, Bivalvia Mytilidae), first record in the São Francisco river basin, Brazil. Checklist 12(1): 1846, 2016.
- Colebrook, C. F.; Turbulent Flow in Pipes, with particular reference to the Transition Region between the Smooth and Rough Pipe Law, in: Colebrook on turbulent flow in pipes, p. 133-156, Inglaterra, 1939.
- Souza, D.C.T.R., Análise do aumento da perda de carga em sistemas fluido mecânicos por ação de bio incrustantes, *Limnoperna fortunei*: uma correlação com o tempo de operação desses sistemas. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- Buzzelli, D., Calculating friction in one step: a new method eliminates the tedium of determining pipe friction.(FLUID POWER) Machine Design 2008 vol:80 iss:12 pg:54 -55. <http://machinedesign.com/marketing-resource-center-home>