

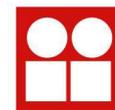
XXIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA  MÉXICO 2021



Compilación de
Trabajos Completos:
XXIX Congreso
Latinoamericano de
Hidráulica



ASOCIACIÓN
MEXICANA
DE
HIDRÁULICA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

COMPILACIÓN DE
TRABAJOS
COMPLETOS: XXIX
CONGRESO
LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA

EDITORES:

MOISÉS BEREZOWSKY VERDUZCO
ALEJANDRO MENDOZA RESÉNDIZ
MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

15 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2021
EVENTO VIRTUAL | MÉXICO

Compilación de Trabajos
Completos XXIX Congreso
Latinoamericano de
Hidráulica

EDITORES:

Moisés Berezowsky Verduzco
Alejandro Mendoza Reséndiz
Maritza Liliana Arganis Juárez

Compilación de Trabajos Completos: XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica

Libro Digital: PDF, descarga y online
ISBN 979-888722468-8

1. Ingeniería Hidráulica. 2. Mecánica de Fluidos Aplicada, 3. Hidrología e Hidrosfera

El presente contenido: texto y figuras de los trabajos completos, son propiedad exclusiva de los autores.

Editado y hecho en México

**XXIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
MÉXICO, 15 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2021
EVENTO VIRTUAL**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O SOFTWARE SPILLWAYPRO E A
METODOLOGIA ANALÍTICA NA DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES
ATUANTES EM UM VERTEDOIRO DE CALHA LISA**

***Fabiane Aquino da Silva¹, Matheus Kunrath Oliveira¹, Vanessa Cristina dos Santos Adamatti¹,
Aline Saupe Abreu¹, Carolina Kuhn Novakoski¹, Rute Ferla¹, Mauricio Dai Prá¹, Marcelo
Giulian Marques¹, Eder Daniel Teixeira¹, Daniela Guzzon Sanagiotto¹, Luiz Augusto Magalhães
Endres¹, Edgar Fernando Trierweiler Neto²***

*1 Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil
fabianaquino7@gmail.com, matheuskunrath92@gmail.com, vanessa_cristina97@hotmail.com, alsaupe@gmail.com,
carolkn04@gmail.com, ruteferla@hotmail.com, mdaipra@gmail.com, mmarques@iph.ufrgs.br,
eder.teixeira@ufrgs.br, dsanagiotto@ufrgs.br, endres@ufrgs.br*

2 Corpo Técnico - Furnas Centrais Elétricas, Rio de Janeiro/RJ – Brasil - edtrier@furnas.com.br 1

RESUMO:

O presente trabalho visa apresentar um comparativo entre resultados de velocidades atuantes sobre a calha de um vertedouro obtidas pelo software *SpillwayPro*, desenvolvido pelo US Bureau of Reclamation (USBR), e a metodologia analítica comumente utilizada no estudo de estruturas hidráulicas vertentes. Foram utilizadas informações existentes da Usina Hidrelétrica de Furnas, localizada em Minas Gerais - Brasil, considerando informações dos mapeamentos realizados ao longo da estrutura do vertedouro, de maneira a identificar posições com potenciais danos no concreto. Foram avaliados os registros históricos de vazões vertidas e os principais parâmetros hidráulicos do vertedouro para a determinação das velocidades, em ambos os métodos apresentados neste trabalho. As velocidades obtidas pela metodologia analítica se mostraram superiores quando comparadas aos resultados definidos pelo software em uma mesma seção de interesse. As diferenças encontradas nos resultados obtidos podem ser associadas às hipóteses simplificativas adotadas no método analítico, que considera toda energia potencial, nos pontos verificados na estrutura, convertida em energia cinética no escoamento.

ABSTRACT:

The present work aims to present a comparison between results of velocities acting on a spillway gutter obtained by the *SpillwayPro* software, developed by the US Bureau of Reclamation (USBR), and the analytical methodology commonly used in the study of sloped hydraulic structures. Existing information from the Furnas Hydroelectric Power Plant, located in Minas Gerais - Brazil, was used, considering information from the mappings carried out along the spillway structure, in order to identify positions with potential damage to the concrete. Historical records of spilled flows and the main hydraulic parameters of the spillway were evaluated for the determination of velocities, in both methods presented in this work. The speeds obtained by the analytical methodology were superior when compared to the results defined by the software in the same section of interest. The differences found in the results obtained can be associated with the simplifying hypotheses adopted in the analytical method, which considers all potential energy, at the points verified in the structure, converted into kinetic energy in the flow.

PALABRAS CLAVES: Vertedouro; Cavitação; Potenciais danos

INTRODUÇÃO

As barragens desempenham um papel de importância significativa para a humanidade por possuírem diversos usos, tais como, proteção contra enchentes, geração de energia, abastecimento de água, entre outros. Nessas estruturas faz-se necessária a construção de sistemas extravasores dentre os quais se destacam os vertedouros como principal dispositivo. De forma geral, os vertedouros possuem a finalidade de descarregar o volume excedente de água garantindo a integridade do barramento durante o período das cheias.

Os vertedouros, estruturas hidráulicas geralmente construídas em concreto, são submetidas a fluxos de água com elevadas velocidades podendo, com isso, apresentar danos na sua superfície, comprometendo a eficiência e segurança do empreendimento. A partir dos anos 1980, segundo Vieira e Gontijo (2011), foi constatado que existe um aumento no número de estruturas hidráulicas de concreto que têm sofrido com processos que aceleram a sua deterioração. Dentre esses processos, a cavitação pode ser citada como grande responsável pelo desgaste na superfície do material.

O fenômeno da cavitação é um dos mais complexos de explicar e definir na hidráulica, uma vez que é influenciado por muitas características e em função das escalas praticadas em estudos experimentais com modelos reduzidos, tornando difícil sua observação em laboratório (KORMANN et al., 2001). Estudos realizados por Galperin et al. (1971) mostram que a resistência do concreto a ser utilizado nas construções de vertedouros, para evitar a ocorrência de danos por cavitação, deve considerar as velocidades admissíveis e a concentração de ar fornecida pela aeração. Um aumento na concentração de ar no escoamento cria uma camada de proteção da superfície protegendo o concreto contra os efeitos de cavitação sendo, portanto, menor a necessidade de aumentar a resistência do material.

Segundo Ball (1976), a velocidade máxima permitida para não ocorrência da cavitação vai depender da forma e do tamanho das irregularidades observadas na superfície do concreto e, conforme a camada do fundo é aerada, as consequências do fenômeno são minimizadas de forma significativa. Em vertedouros de calha lisa é sabido que irregularidades ao longo da calha e impurezas na água, associadas a altas velocidades de escoamento, podem favorecer o processo de cavitação (FALVEY 1990).

Visando compreender melhor os danos causados nas estruturas e os motivos pelos quais ocorrem, é necessário realizar uma análise dos parâmetros hidráulicos envolvidos no processo de danos ocasionados pela cavitação. A velocidade do escoamento sobre os vertedouros é um importante parâmetro hidráulico que precisa ser analisado, visto que possui relação direta com o fenômeno da cavitação buscando, desta forma, maximizar a eficiência e vida útil das estruturas de concreto.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo estimar as velocidades atuantes em um vertedouro de calha lisa a partir de duas metodologias, sendo uma delas o método analítico e, a outra, empregando o software *SpillwayPro*, com o objetivo de apresentar a comparação dos resultados obtidos. Os dados apresentados neste artigo fazem parte do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento: “Estudo de Concreto para Superfícies Hidráulicas”, financiado por Foz do Chapecó Energia com participação de Furnas Centrais Elétricas e Universidade Federal do Rio Grande (UFRGS) através do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) - Laboratório de Obras Hidráulicas (LOH).

REFERENCIAL TEÓRICO

- **Cavitação**

De acordo com Arndt (1981), em termos hidráulicos, a cavitação pode ser definida como a formação de bolhas de vapor em regiões de baixa pressão no escoamento, ocasionados à temperatura constante. Em virtude do fluxo, essas bolhas são levadas para zonas de alta pressão, onde tendem a implodir, gerando danos à superfície do concreto.

No caso de extravasores e dissipadores de energia de calha lisa, não ocorrem locais característicos de ocorrência majoritária de baixas pressões na superfície do concreto. Por esse motivo a cavitação é, normalmente, associada a um escoamento em alta velocidade, que favorece que

ocorram pontos de baixa pressão devido a pequenas imperfeições no concreto ou mesmo a impurezas presentes na água, podendo formar as bolhas de vapor. Os problemas podem ser leves quando atingem valores em torno de 15 m/s e problemas mais graves quando estiver acima de 25 m/s, quando não analisada previamente (MAY, 1987).

A bibliografia estabelece a possibilidade de prever quais pressões e velocidades podem desencadear o processo de cavitação a partir do índice de cavitação (σ), definido pela equação [1] (FALVEY, 1990).

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\rho \frac{V_m^2}{2}} \quad [1]$$

Sendo:

P_0 = Carga de pressão de referência (pressão local + pressão atmosférica) (m.c.a);

P_v = Carga de pressão de vapor do líquido (m.c.a);

ρ = Massa específica da água (kg/m^3);

V_m = Velocidade de referência (m/s).

De acordo com Falvey (1990), quanto menor for o índice de cavitação calculado, mais crítico se torna o problema. Em virtude disso, visando proporcionar uma estimativa de previsão relacionada às características hidráulicas que propiciam o fenômeno da cavitação, foram propostos valores de índice de cavitação críticos (σ_{cr}). Em vertedouros com calha lisa, os valores correspondentes ao índice crítico são:

- $\sigma_{cr} \leq 0,20$ (BALL, 1959; ARNDT, 1977 e FALVEY, 1982);
- $\sigma_{cr} \leq 0,25$ para irregularidade na superfície (FALVEY, 1990).

• Irregularidades na superfície do concreto

Conforme indicado por Quintela e Ramos (1980), a ocorrência do fenômeno da cavitação em estruturas hidráulicas submetidas a um fluxo intenso deve-se, principalmente, às irregularidades na superfície, sendo classificadas em:

- Irregularidades superficiais, como rachaduras, fissuras e demais patologias existentes no concreto;
- Elementos estruturais como blocos de queda e amortecimento, juntas de dilatação, blocos, etc.;
- Materiais inapropriados para o acabamento da superfície;

Ball (1976) identificou algumas regiões onde se observou “desgaste” na superfície do concreto e classificou as irregularidades que podem ocorrer na superfície do material. No caso de pequenas irregularidades da ordem de poucos milímetros, a velocidade de escoamento deve ser considerada abaixo da velocidade média se a camada limite estiver bem desenvolvida, fato que é geralmente observado nas calhas de vertedouros.

Em velocidades na ordem de 40 m/s e altas concentrações de vazão, acima de $20 \text{ m}^3/\text{s/m}$, o efeito da camada limite não é suficiente para reduzir o risco de cavitação. Sendo assim, as flutuações de pressão ocasionadas pela turbulência do escoamento devem ser as responsáveis pelo aparecimento de baixas pressões, acarretando cavitação. Ball (1976) apresentou as relações máximas que as irregularidades na superfície do concreto e a velocidade média do escoamento devem possuir, sendo:

- a) 20H:1V são aceitáveis para velocidades entre 12 e 28 m/s;
- b) 50H:1V são aceitáveis para velocidades entre 28 e 37 m/s;

c) 100H:1V para velocidades acima de 37 m/s.

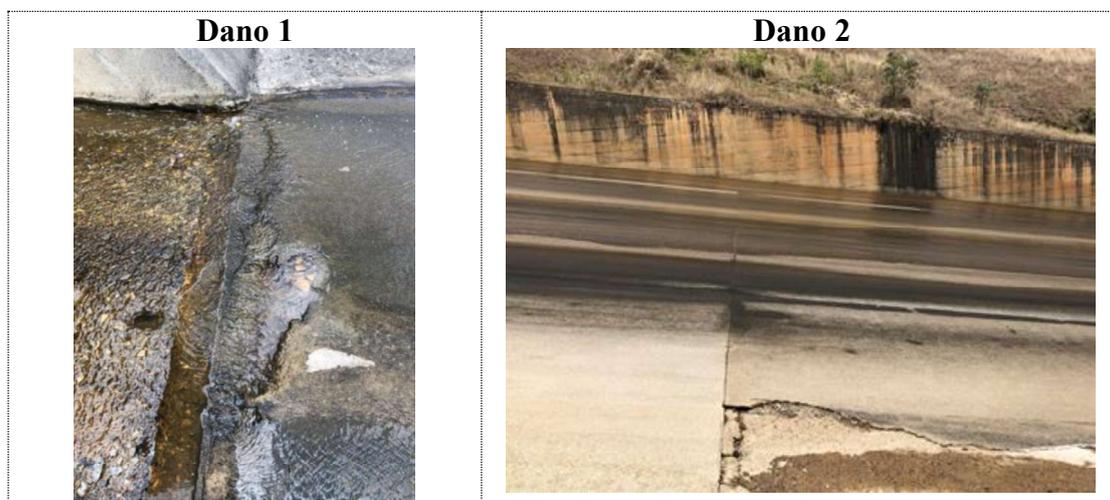
METODOLOGIA

O vertedouro analisado no presente trabalho é do tipo calha lisa com salto esquí, projetado para uma vazão máxima de projeto de 13.000,00 m³/s, ou 161,49 m³/s/m, e pertence à Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas (Figura 1), localizada no estado de Minas Gerais, Brasil.



Figura 1.- Usina Hidrelétrica de Furnas. Disponível em:<www.furnas.com.br>. Acesso em: 09/09/21

Em setembro de 2019 foi realizada uma vistoria no vertedouro da UHE Furnas pela equipe técnica deste projeto, tendo como objetivo avaliar a calha do vertedouro da usina, observando as condições do material construtivo, suas irregularidades e alterações geradas pela constante operação da estrutura vertente. A partir de registros fotográficos desta visita foram identificados 5 (cinco) locais de potenciais danos, classificados em zonas de deslocamento, próximas às juntas de concretagem da estrutura, e de exposição de agregados, próximas ao final da calha. Os potenciais danos observados não comprometem a segurança do empreendimento tendo sido, em sua maioria, atribuídos ao longo tempo de uso da usina. Entretanto, tais avarias podem vir a favorecer e ampliar a ocorrência do fenômeno da cavitação. A Figura 2 apresenta aspectos dos potenciais danos observados na superfície do concreto da estrutura, numerados de 1 a 5, de montante para jusante.



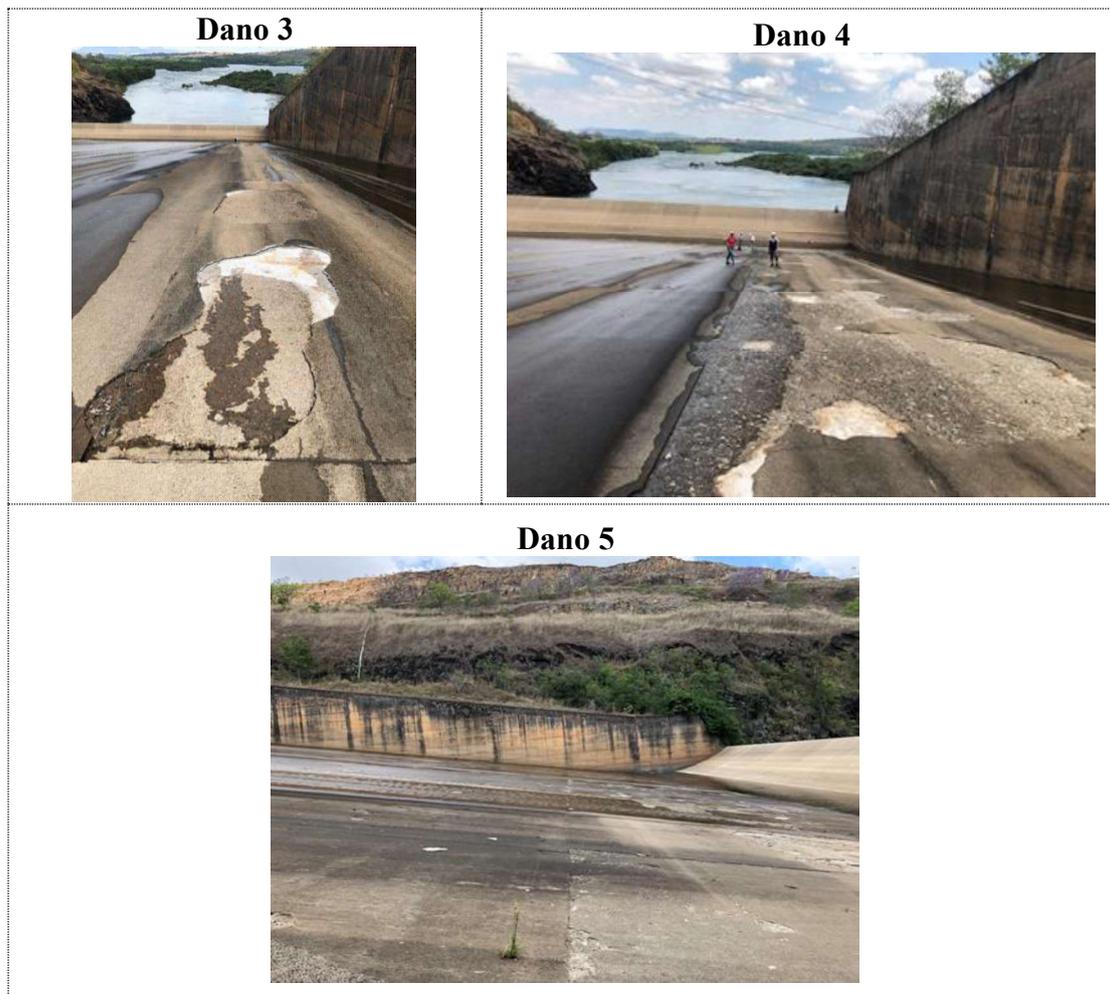


Figura 2.- Potenciais danos observados na superfície de concreto do vertedouro, de montante para jusante.

Os locais de registro dos potenciais danos foram usados como seções de interesse para estimar as velocidades a partir de ambas as metodologias analisadas, sendo utilizado, também, uma seção auxiliar para facilitar o entendimento dos resultados obtidos. A Figura 3 esquematiza as seções transversais consideradas, conjuntamente com a seção auxiliar definida, enquanto que na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estruturais e as vazões de escoamento que foram adotados nas metodologias de análise.

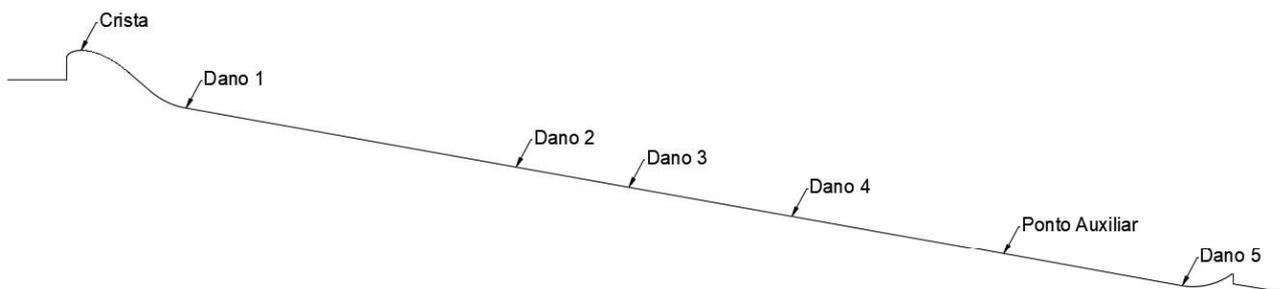


Figura 3.- Perfil longitudinal da calha com representação dos pontos de interesse.

Tabela 1.- Parâmetros gerais e as vazões de escoamento usados nas duas metodologias apresentadas.

Parâmetro	Método analítico	SpillwayPro	Unidade
Vazões analisadas (Q)	788,88; 3.800,00; 13.000,00		[m ³ /s]

Vazão específica (q)	9,8; 47,21; 161,49	[m ³ /s/m]
Cota do nível normal	768,00	[m]
Cota da crista	750,80	[m]
Largura do vão	11,50	[m]
Posição “x” da crista	-	866,59
Número de vãos	7	[unidade]
Profundidade inicial	-	2,79
Declividade inicial	-	-0,021
Rugosidade	-	0,001

As vazões de escoamento simuladas fazem parte do histórico de vertimento da usina, sendo utilizadas neste estudo a vazão média (788,88 m³/s), a máxima vertida (3.800,00 m³/s) e a vazão máxima de projeto (13.000,00 m³/s). De forma comparativa, este estudo apresenta uma metodologia analítica e a planilha eletrônica do software *SpillwayPro* para obter as velocidades atuantes no vertedouro da UHE Furnas. A seguir, são apresentadas estas metodologias de forma individual.

- **Método analítico**

A metodologia analítica consiste na equação de Conservação de Energia [2] para fluxo constante entre duas seções transversais. A seção na comporta foi usada como seção de referência.

$$\frac{V_0^2}{2g} + \frac{P_0}{\gamma} + Z_0 = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z + H_p \quad [2]$$

Sendo:

P = pressão (Pa); P_0 = pressão na seção de referência (Pa); V = velocidade do fluxo (m/s); V_0 = velocidade do fluxo na seção de referência; Z = elevação (m); Z_0 = elevação na seção de referência (m); g = aceleração gravitacional (m/s²), γ = peso específico da água (N/m³) e H_p = perda de carga (m).

Para os casos analisados foram consideradas simplificações na aplicação da equação de Conservação de Energia. Desta forma, foram desconsideradas as perdas de carga entre a seção de referência e as seções de interesse, resultando a expressão da equação de Bernoulli e considerou-se não haver diferença de carga de pressão entre as seções.

- **Software *SpillwayPro***

O *SpillwayPro*, desenvolvido pelo Hydraulic Laboratory do U.S. Bureau of Reclamation (USBR), Denver - USA, trata-se de um programa com licença livre, originalmente programado em linguagem *FORTRAN*. Entretanto, neste trabalho foi utilizada sua versão adaptada para uso em planilha eletrônica. O *SpillwayPro* emprega um fluxo unidimensional nas suas simulações, sendo possível obter, além das velocidades, diversos parâmetros hidráulicos como pressão, profundidade de lâmina de água, índice de cavitação e outros. O programa faz uso da Equação [2] para obter as velocidades, portanto, sem aplicar as simplificações adotadas no método analítico.

A planilha eletrônica faz uso das características hidráulicas do vertedouro como parâmetros de entrada para realizar as simulações, sendo dividido em abas de entrada de dados e abas com dados de saída das características do escoamento. A Figura 4 apresenta o layout inicial da aba *Input Geometry*, onde são colocados os dados de entrada para obtenção das velocidades, além de mostrar as demais abas do programa.

INPUT - Spillway Geometry									
Highlight Input Cells		FURNAS				Compute Invert Curvatures		Compute Flow Profile & Cavitation Properties	
Clear Highlights						Show Section Help			
Discharge	Initial Depth	Initial Slope	Computation Direction	Units	Default Rugosity	Crest Station	Crest Elevation	Reservoir Elevation	
m ³ /s	m				m	m	m	m	
428.5714286	2.18377019	-0.0213592	DS	Metric	0.001	866.5975	750.8001	767.73	
Section	Station	Invert Elevation	Width, Diameter, or Invert Radius	Side Slope, Upper Fillet or Crown Radius	Height or Side Radius	Lower Radius or Height of Crown Radius	Pier Width or Height of Side Radius	Invert Curvature Radius	Rugosity
	m	m	m	- or m	m	m	m	m	m
Rectangular	867.098	750.776	11.500					-627.3	0.001
Rectangular	867.598	750.751	11.500					-6.7	0.001
Rectangular	868.098	750.689	11.500					-232.7	0.001
Rectangular	868.598	750.625	11.500					-8.6	0.001
Rectangular	869.098	750.531	11.500					-18.7	0.001
Rectangular	869.598	750.423	11.500					-16.9	0.001
Rectangular	870.098	750.299	11.500					-16.5	0.001
Rectangular	870.598	750.158	11.500					-18.9	0.001
Rectangular	871.098	750.002	11.500					-18.1	0.001
Rectangular	871.598	749.830	11.500					-19.9	0.001
Rectangular	872.098	749.643	11.500					-20.9	0.001
Rectangular	872.598	749.441	11.500					-21.0	0.001
Rectangular	873.098	749.224	11.500					-22.3	0.001

Figura 4.- Dados de entrada do *SpillwayPro*.

Dentre os parâmetros de entrada já expostos na Tabela 1, o programa também faz uso do raio de curvatura invertido (1/raio de curvatura) para cada seção transversal, além do perfil em coordenadas “x” e “y” para realizar as simulações.

RESULTADOS

Após a realização das simulações de escoamento, em cada vazão analisada, foi possível obter as velocidades para as seções de interesse ao longo da calha do vertedouro. Os resultados alcançados se encontram apresentados na Figura 5, Figura 6 e Figura 7. O perfil do vertedouro é apresentado juntamente aos resultados obtidos, visando a correta interpretação referente à posição longitudinal de cada seção estudada, bem como a seção auxiliar.

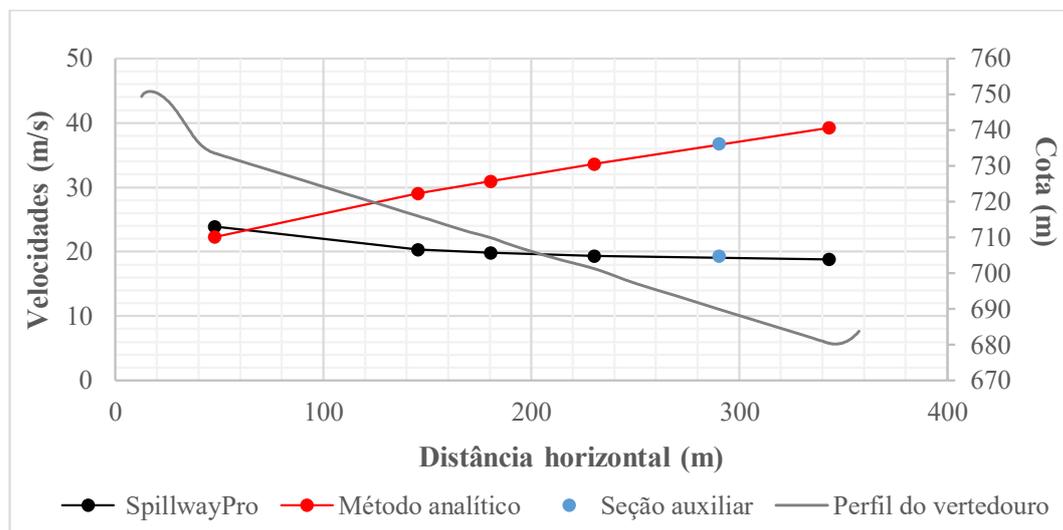


Figura 5.- Comparação das velocidades obtidas para o escoamento da vazão média com valor de 788,88 m³/s ou 9,8 m³/s/m.

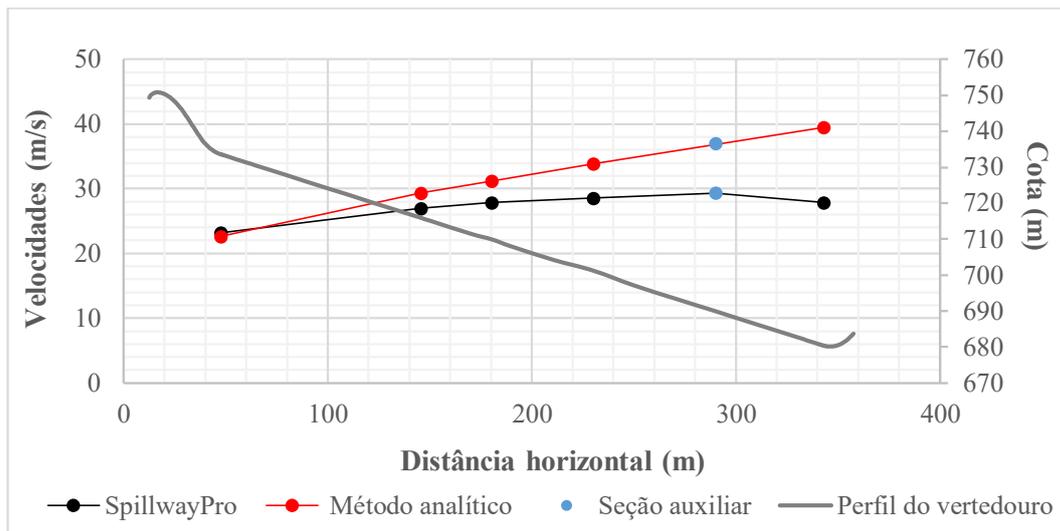


Figura 6.- Comparação das velocidades obtidas para o escoamento da vazão máxima vertida com valor de $3.800,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $47,20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

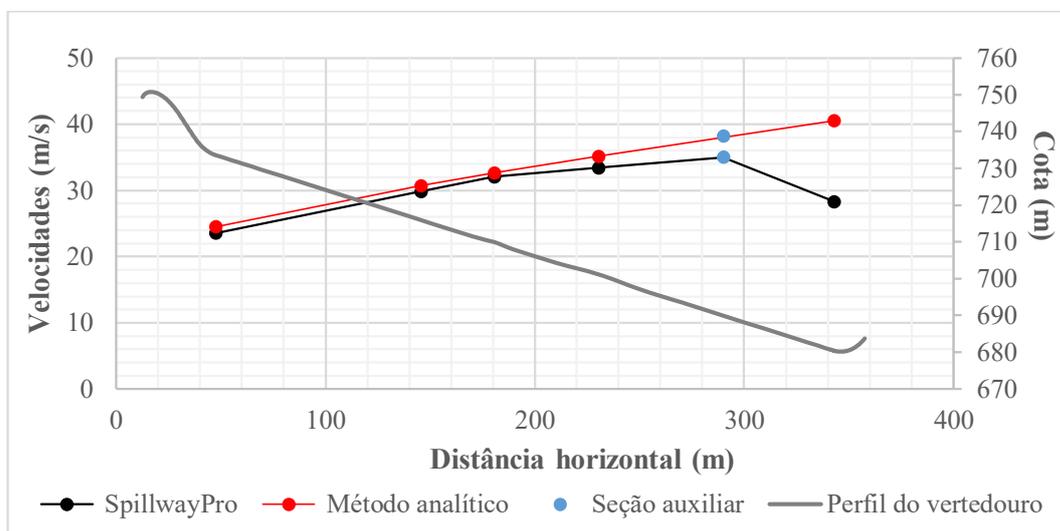


Figura 7.- Comparação das velocidades obtidas para o escoamento da vazão de projeto com valor de $13.000,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $161,49 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

A menor vazão simulada (Figura 5, $Q = 788,88 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $q = 9,8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$) mostrou um comportamento diferente das demais vazões analisadas neste estudo. As velocidades das duas metodologias apresentaram valores de $22,28 \text{ m/s}$ para o método analítico e $23,90 \text{ m/s}$ para o método *SpillwayPro* na posição $\approx 47,7 \text{ m}$ (Dano 1). Posteriormente, a jusante desse, as velocidades da metodologia analítica atingiram valores maiores do que a metodologia por meio do software, quando comparadas as mesmas regiões da calha. O método analítico alcançou valores de $39,23 \text{ m/s}$, enquanto que as velocidades do *SpillwayPro* assumiram o valor de $18,8 \text{ m/s}$ na última seção transversal analisada (Dano 5) no vertedouro da UHE Furnas.

Conforme a Figura 6, observou-se valores de velocidade em torno de 23 m/s na posição da primeira seção de interesse (Dano 1) para ambos os métodos apresentados. Na posição $\approx 145 \text{ m}$ (Dano 2) os valores de velocidade atingiram valores de $\approx 27 \text{ m/s}$ para as velocidades obtidas a partir do software e $29,31 \text{ m/s}$ para o método analítico. Conforme o escoamento se desenvolve, em direção a jusante, assim como observado na menor vazão analisada, as velocidades aumentam. Entretanto, na última seção transversal analisada (Dano 5), a velocidade obtida pelo *SpillwayPro* diminuiu em relação à seção de interesse anterior (Seção auxiliar), atingindo valor de $27,82 \text{ m/s}$. Nesta mesma seção, o método analítico obteve $38,45 \text{ m/s}$, diferenças consideráveis entre si.

Com relação à vazão máxima de projeto (Figura 7), o comportamento das velocidades para as duas metodologias resultaram valores mais próximos quando comparados as mesmas posições na calha. No início da superfície do vertedouro, as velocidades do método *SpillwayPro* atingiram resultados de $\approx 23,6$ m/s, sendo que, para a metodologia analítica, os valores foram próximos a 24,5 m/s. Na posição ≈ 180 m (Dano 3), as velocidades foram em torno de 32 m/s para os dois métodos, enquanto que na seção de interesse próxima ao Dano 4, posição de ≈ 230 m, os valores de velocidade se diferenciam levemente, alcançando o valor de 35,2 m/s para o método analítico e 33,4 m/s para o *SpillwayPro*. Como observado na vazão de 3.800,00 m³/s, na última seção transversal (Dano 5) a velocidade do método *SpillwayPro* diminuiu, resultando no valor de 28,3 m/s, enquanto que no método analítico, para a mesma posição, obteve-se a velocidade de 40,5 m/s.

De maneira geral, observa-se que as velocidades apresentaram um comportamento crescente conforme o escoamento desenvolve-se ao longo da calha. Com relação às velocidades do método analítico, estas mostraram valores superiores aos estimados pelo método *SpillwayPro*. Além disso, nota-se que, conforme a vazão é aumentada, as velocidades tendem a crescer quando considerada uma mesma posição da calha. No entanto, para uma mesma vazão de escoamento analisada, percebe-se que as duas metodologias, de forma comparativa, apresentam diferenças maiores entre seus resultados. Essa diferença torna-se mais evidente na última seção de interesse, local onde a seção auxiliar facilita esta observação.

CONCLUSÕES

Em conclusão, percebe-se que:

- Os maiores valores de velocidade foram encontrados para as maiores vazões, conforme o esperado. Entretanto, esse comportamento foi observado de maneira mais evidente no método *SpillwayPro*;
- As velocidades encontradas a partir do método analítico mostraram valores semelhantes para todas as vazões estudadas no presente artigo. Esse comportamento pode ser justificado em virtude das hipóteses simplificativas adotadas para esta metodologia como, por exemplo, considerar toda a energia potencial do escoamento sendo convertida em energia cinética ao longo da calha;
- O método *SpillwayPro* apresentou valores de velocidades menores que o método analítico. O software leva em consideração a rugosidade da calha, a qual, por oferecer resistência ao escoamento, tende a reduzir as velocidades atuantes aproximando-as das condições reais do vertedouro da UHE Furnas;
- A vazão de projeto (Figura 7) mostrou maior semelhança entre os resultados de aplicação das duas metodologias apresentadas. Segundo Peterka (1964), quanto maior for a vazão, menor a perda de carga justificando, assim, a semelhança entre as velocidades estimadas pelos dois métodos.
- Analogamente, com relação à perda de carga, a maior diferença observada na última seção de interesse deve-se pela sua localização na concha de lançamento, onde o escoamento exerce maior pressão sobre a calha, que por sua vez oferece maior influência e resistência ao escoamento.

Objetivando a melhor compreensão dos resultados obtidos e, conseqüentemente, dos parâmetros estudados, bem como sua relação com o fenômeno da cavitação, está sendo efetuada a continuidade das análises das velocidades de escoamento atuantes no vertedouro da UHE Furnas, assim como para outras usinas hidrelétricas de posse de Furnas Centrais Elétricas e Foz do Chapecó Energia. A continuidade dos estudos tem como objetivo analisar possíveis locais de danos superficiais e as velocidades atuantes nessas regiões, desenvolvendo propostas de metodologias que auxiliem a estimar as condições que propiciam o fenômeno da cavitação. Assim, o prosseguimento dos estudos visa, também, contribuir para a eficiência e segurança dos sistemas extravassores das UHEs, prolongando sua vida útil.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao LOH/IPH/UFRGS, à Foz do Chapecó Energia e à Furnas Centrais Elétricas, pelo apoio à pesquisa e ao Laboratory of Hydraulic do United States Bureau of Reclamation (USBR) pela contribuição neste projeto. Estendemos os agradecimentos ao apoio financeiro parcial da CAPES – Brasil e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arndt, R. E. A.** (1981) Cavitation in fluid machinery and hydraulic structures. Annual Review of Fluid Mechanics. v. 13, p. 273-328.
- Arndt, R. E. A.** (1977) Discursion on “cavitation from surface irregularities in high velocity” ASCE Jnl of Hyd Div. April 1977,103(HY4).
- Ball, J. W.** (1959) Hydraulica Characteristic of Gate Slots. ASCE Jnl Hyd Div. October 1959, 85(HY10).
- Ball, J. W.** (1976) Cavitation from Surface Irregularities in High Velocity. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 102, No. HY9, pp. 1283-1297
- Bureau of RECLAMATION,** (2019) “SpillwayPro Engineering Monograph 42 (EM42) Cavitation in Chutes and Spillways”. Disponível em: <<https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/software/EM42/index.html>>. Acesso em: 28, 05 e 2021.
- Falvey, H. T.** (1982). Predicting Cavitation in Tunnell Spillways, Water Power an Dam Construction, August
- Falvey, H. T.** (1990). Cavitation in Chutes and Spillways. Bureau of Reclamation Engineering Monograph, n. 42, Denver, EUA
- Galperin, R.; et al.** (1971) Hydraulic structures operation under cavitation conditions. Internacional Association for Hydraulic Research
- Kormann, A. C. et al.** (2001) Processos erosivos em superfícies de concreto de barragens – Mecanismo e recuperação. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza - CE. 11p
- May, R. W. P.** (1987) Cavitation in Hydraulic Structures: occurrence and prevention. Hydraulics Research. Report n. 79, Wallingford, Oxfordshire,
- Peterka, A. J.** (1964). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators (No. 25). US Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- Quintela, A. C., Ramos, C. M;** (1980) Protecção Contra a Erosão de Cavitação em Obras Hidráulicas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Ministério de Habilitação e Obras Públicas. Lisboa
- Vieira JR., L. P.; Gontijo, M. C.** (2011) Deterioração, proteção e reabilitação de barragens de concreto. Revista Concreto e Construções – IBRACON São Paulo, SP