



MAQUETE DE HIDRÁULICA: Vertedouro Tipo Creager e Dissipador de Energia em Rolo Tipo Salto Esqui

Hydraulic model: Creager Spillway and Ski jump bucket Dissipator

Submissão: 25/09/2020

Aprovação: 25/10/2020

Esdras Pereira Miranda¹

Leonardo Araujo²

Márcio Ferreira de Araujo Mendes³

RESUMO

Os vertedouros tipo Creager e os dissipadores de energia em Concha tipo Salto Esqui são estruturas hidráulica largamente utilizadas em grandes empreendimentos de armazenamento de água. O dimensionamento dessas duas estruturas é feito, em muitos casos, de forma empírica e experimental. No presente trabalho descreve-se o passo-a-passo do dimensionamento dessas estruturas hidráulicas e apresenta-se o dimensionamento de uma maquete hidráulica contendo essas duas estruturas hidráulicas que podem ser utilizadas em aulas práticas de hidráulica.

Palavras-chave: Vertedouro Tipo Creager, Dissipador em Concha.

ABSTRACT

Creager spillways and Bucket dissipator are hydraulic structures widely used in large water storage development. The dimensioning of these two structures is done, in many cases, in an empirical and experimental way. The present work describes the step-by-step of the design of these hydraulic structures and presents the design of a hydraulic model containing these two hydraulic structures that can be used in practical hydraulic classes.

Keywords: Creager spillways, Bucket Dissipator.

¹Aluno do curso de graduação em Engenharia Civil da PUC Minas, unidade Praça da Liberdade. E-mail: esdrasmiranda@hotmail.com.br

² Aluno do curso de graduação em Engenharia Civil da PUC Minas, unidade São Gabriel. E-mail: leonardoaraujoquadros@gmail.com

³Professor Assistente IV do curso de Engenharia Civil da PUC Minas, Mestre em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ e Graduado em Engenharia Civil pela UFMG. E-mail: mmendes@pucminas.br

1 INTRODUÇÃO

Vertedouros são estruturas comumente utilizadas para proporcionar o extravasamento seguro do excesso de água afluyente a reservatórios. Assim como, dissipadores de energia são estruturas utilizadas para diminuir a energia do escoamento a jusante de vertedouros, de forma a garantir o retorno desse escoamento ao leito natural com segurança, evitando erosões devido às altas velocidades.

Assim, no presente trabalho tem-se como objetivo principal o desenvolvimento da maquete de uma estrutura hidráulica compreendendo um vertedouro tipo Creager associado a um dissipador de energia em Concha tipo Salto Esqui.

Além disso, como objetivo secundário, pretende-se apresentar de forma sucinta o passo-a-passo para o dimensionamento das estruturas hidráulicas supracitadas.

2 VERTEDOURO TIPO CREAGER

Vertedouro é uma estrutura hidráulica que pode ser utilizada para diferentes finalidades, sendo as principais, medição de vazão e controle de vazão.

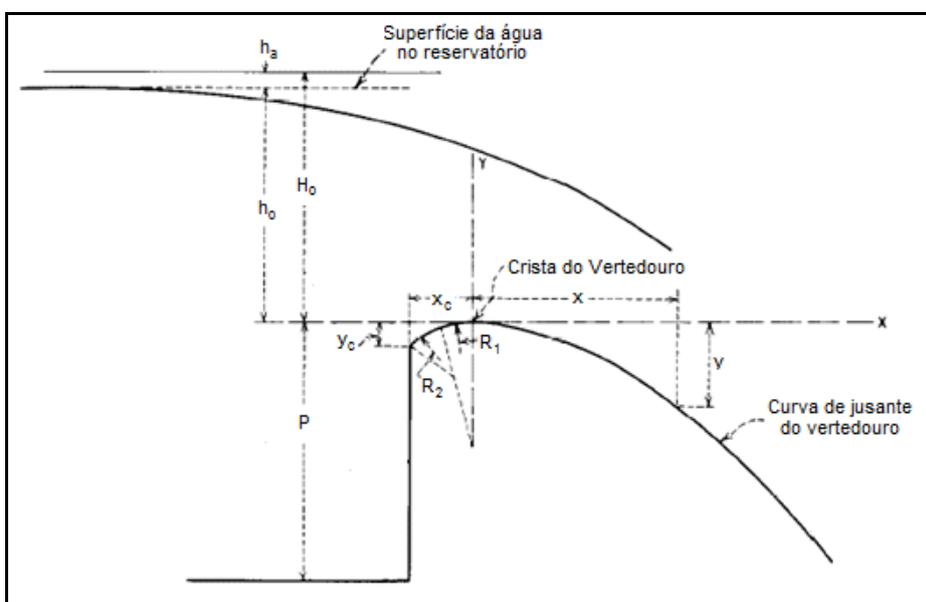
Em barragens, o excesso de água no reservatório deve ser descarregado para jusante de forma segura e isto pode ser feito de diferentes formas, sendo a principal delas com o uso de vertedouros, por onde a água em excesso verte e extravasa.

Os vertedouros podem ser do tipo controlado ou não controlado. No primeiro caso existem comportas que tem como intuito controlar o nível de água no reservatório através de alteração nas suas aberturas e fechamentos, seja para extravasar o excedente de água para baixar o nível de água a montante da barragem ou interromper o vertimento que favorece a elevação do nível de água do reservatório. No segundo caso o vertimento acontece sem nenhum tipo de controle, fazendo que o nível do reservatório seja controlado apenas pela capacidade de escoamento pelo vertedouro. Esses dispositivos também são chamados de vertedouros de crista livre.

Em obras cujas de vazões transportadas são de grande magnitude, é comum a escolha de um perfil que melhor gere o assentamento da lâmina vertente sobre toda a soleira. A ideia básica do projeto de uma soleira é desenhá-la seguindo a forma tomada pela face inferior de uma lâmina vertente que sai de um vertedouro retangular de parede delgada (AZEVEDO NETO; FERNÁNDEZ, 2018).

Segundo Azevedo Neto e Fernández (2018), a fim de obter perfis geométricos de soleira que proporcionem a maior eficiência geométrica possível e que se evite o surgimento de efeitos nocivos responsáveis pelos processos de deterioração da estrutura, tais como: pressões negativas que provocam cavitação (formação de cavas devido a pressões negativa); pulsação da veia líquida que provocam vibrações; e, velocidades excessivas que provocam erosões, têm-se o Perfil tipo Creager (Figura 1), que se assemelha ao perfil de uma lâmina d'água vertente em queda livre e cujo dimensionamento é puramente experimental.

Figura 1 – Vertedouro do Tipo Creager



Fonte: Adaptado de United State Bureau of Reclamation (1987).

Tal eficiência se dá quando a lâmina do líquido vertente tem aderência com a estrutura, sendo assim, é notável que a vazão vai definir o traçado do perfil que vai melhor atender as expectativas.

Desta forma, para o dimensionamento do perfil tipo Creager, a carga hidráulica a montante do vertedouro (H_o), que é a soma da carga potencial a montante do vertedouro (h_o) mais a carga cinética de aproximação (h_a), pode ser calculada através da seguinte equação:

$$Q = C \cdot L \cdot H_o^{3/2} \quad (1)$$

onde, Q é a vazão escoada (m^3/s); C é o coeficiente de descarga do vertedouro; e, L é a largura do vertedouro se seção retangular (m).

A velocidade de aproximação (v_a) pode ser calculada através da seguinte equação:

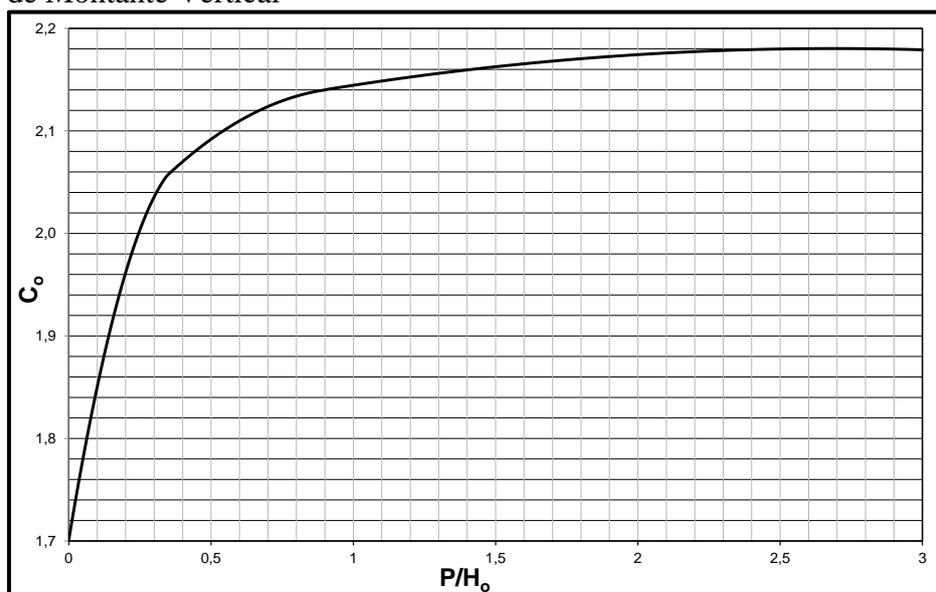
$$v_a = \frac{Q}{(P+h_o) \cdot L} = \frac{Q}{(P+H_o-h_a) \cdot L} = \frac{Q}{\left(P+H_o-\frac{v_a^2}{2g}\right) \cdot L} \quad (2)$$

onde, P é a altura do paramento de montante (m).

Inicia-se o dimensionamento estimando-se o valor do coeficiente de descarga (C). Por exemplo, faz-se $C = 2,2$, que é ligeiramente superior ao valor máximo deste coeficiente. Em seguida calcula-se o valor de H_o utilizando-se a Equação 1.

Para vertedouro tipo Creager com paramento de montante vertical, o valor do coeficiente de descarga de partida (C_o) pode ser determinado através do ábaco apresentado na Figura 2, a seguir.

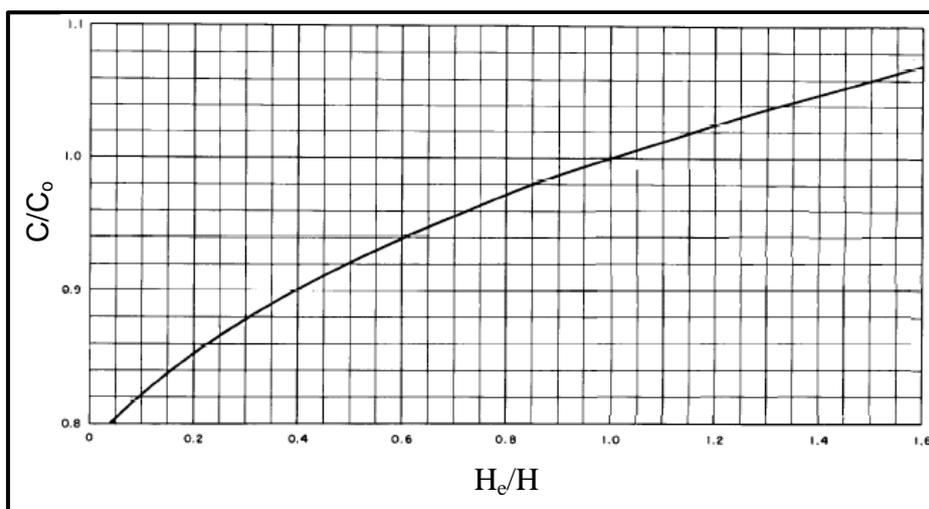
Figura 2 – Coeficiente de descarga de Partida (C_o) para Vertedouro Creager com Paramento de Montante Vertical



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando a possibilidade de dimensionamentos para cargas diferentes da carga de projeto, ou seja, H_e diferente de H_o , pode-se utilizar o ábaco apresentado na Figura 3, a seguir, para se determinar o valor do coeficiente de descarga (C).

Figura 3 – Coeficiente de Descarga para Diferentes Cargas de Projeto com Paramento de Montante Vertical

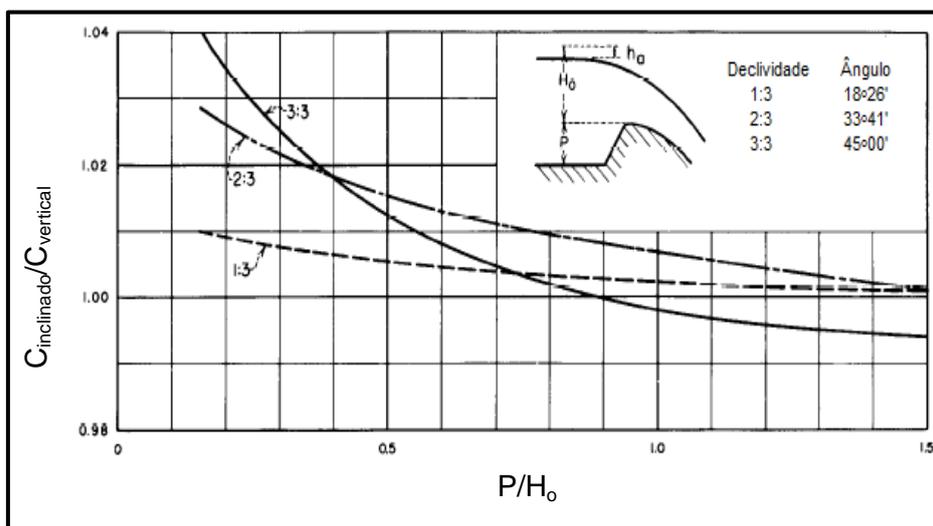


Fonte: Adaptado de United State Bureau of Reclamation (1987).

Esse procedimento é iterativo e deve ser repetido até que o valor de C inicial não seja significativamente diferente do valor de C final.

Além disso, no caso do paramento de montante ser inclinado, deve-se aplicar uma correção para determinação do coeficiente de descarga mais adequado, conforme apresentado no ábaco da Figura 4, apresentado a seguir.

Figura 4 – Correção do Coeficiente de Descarga para Paramentos de Montante Inclinados

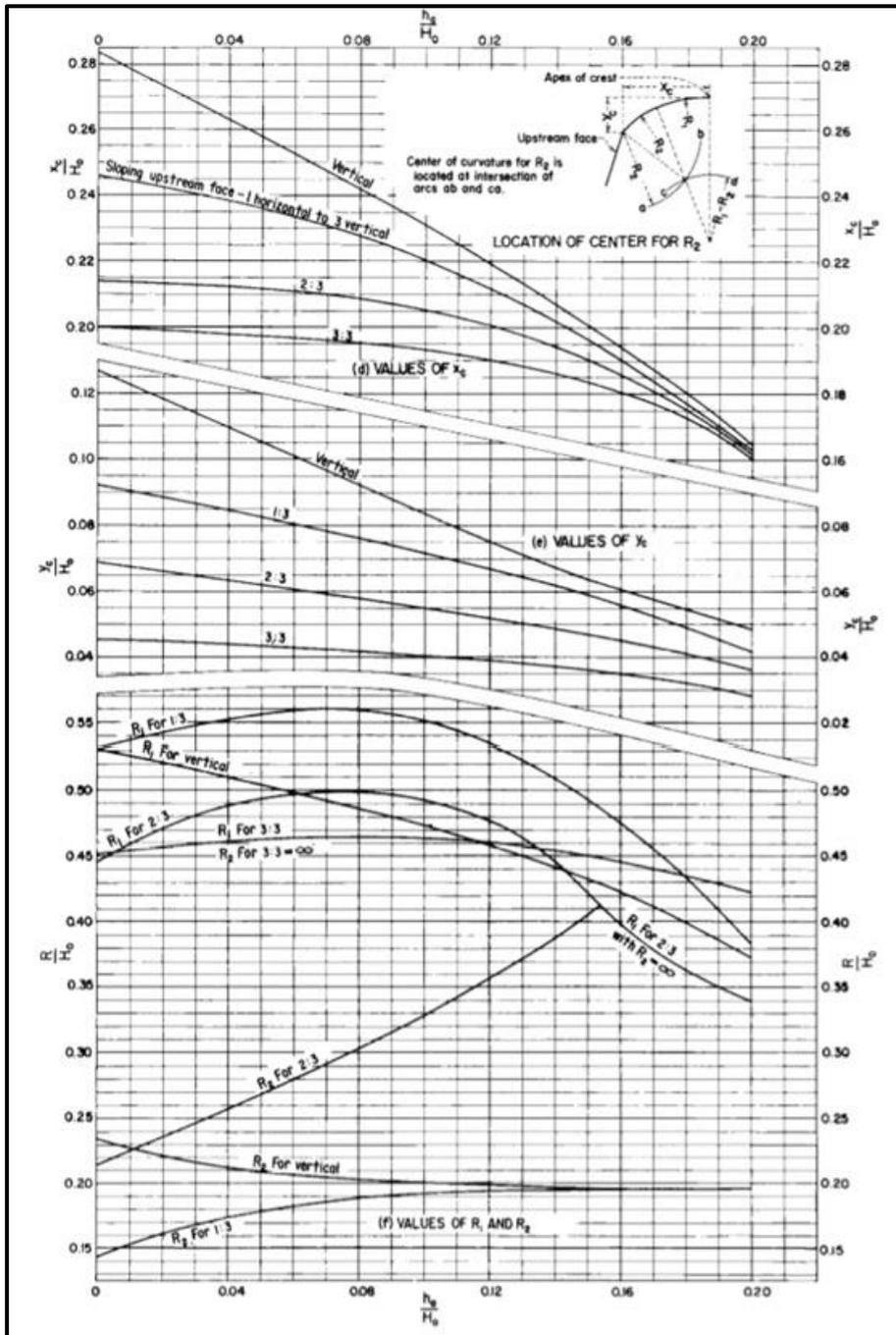


Fonte: Adaptado de United State Bureau of Reclamation (1987).

No dimensionamento do perfil Creager deve-se levar em conta duas curvaturas sendo uma a montante e outra a jusante da crista do vertedouro, como mostrado na Figura 1.

Para a curva a montante da crista do vertedouro é necessário o conhecimento dos parâmetros X_c , Y_c , R_1 e R_2 , que podem ser determinados utilizando-se os ábacos apresentados na Figura 5, a seguir, a partir da razão entre a carga cinética e a carga hidráulica a montante do vertedouro (h_a/H_0) e a inclinação do paramento de montante.

Figura 5 – Fatores para Definição da Curva a Montante da Crista do Vertedouro Tipo Creager



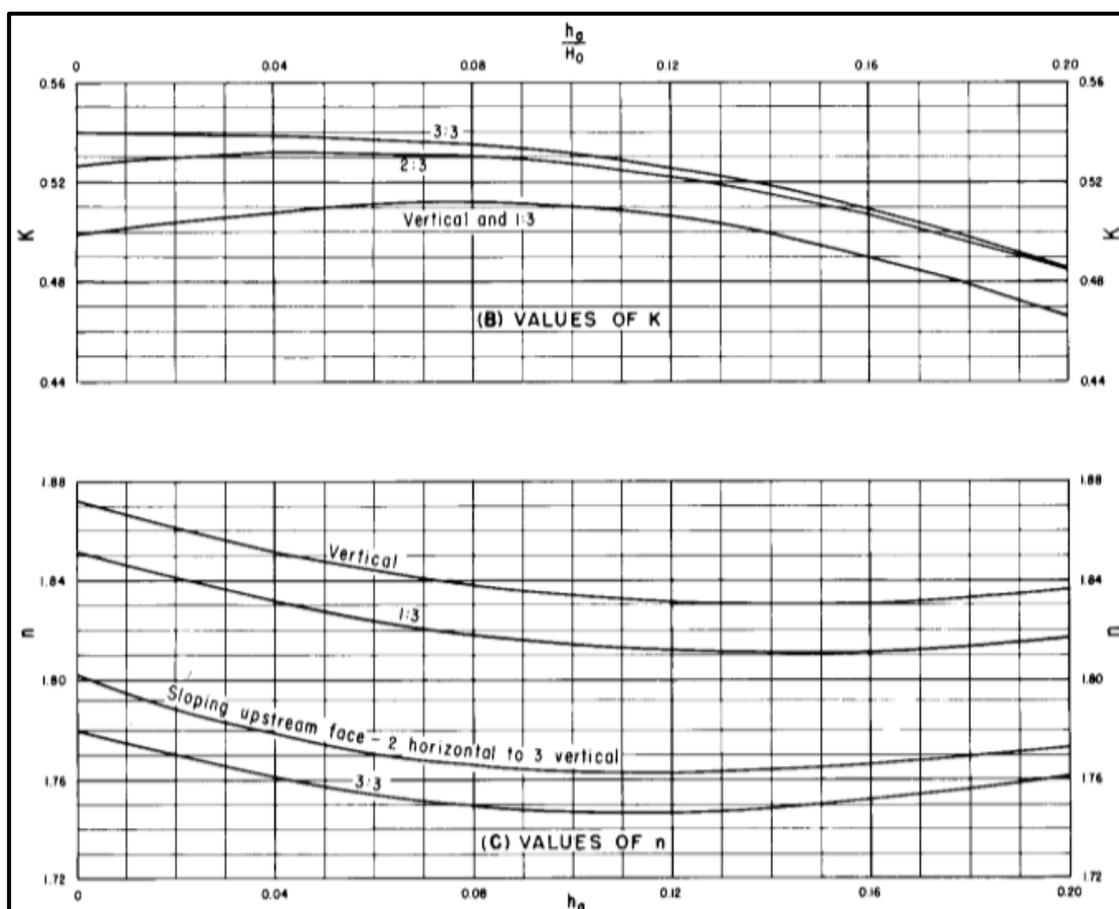
Fonte: United State Bureau of Reclamation (1987).

No caso da curva a jusante da crista do vertedouro, existe um formato bem definido, dado pela equação apresentada a seguir.

$$\frac{y}{h_0} = k \cdot \left(\frac{x}{h_0}\right)^n \quad (3)$$

onde x e y são as coordenadas cartesianas; k e n são constantes determinadas a partir dos ábacos apresentados na Figura 6, a seguir; e h_0 é carga de pressão a montante do vertedouro.

Figura 6 – Fatores para Definição da Curva a Jusante da Crista do Vertedouro Tipo Creager



Fonte: United State Bureau of Reclamation (1987).

3 DISSIPADOR EM CONCHA

Existem diferentes tipos de estruturas utilizadas com a finalidade de dissipação de energia hidráulica. Disposto disso, é necessário buscar um método que atenda a necessidade do empreendimento, analisando fatores como: eficiência e viabilidade financeira. Segundo

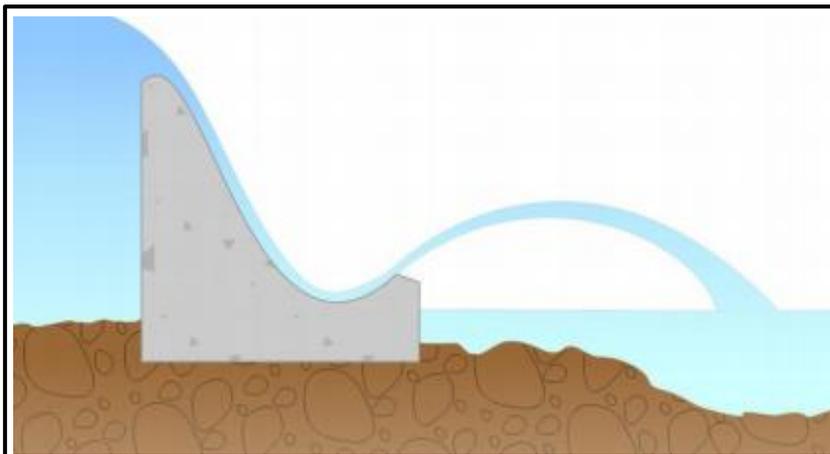
Canellas (2016) a tendência é optar por estruturas compactas, onde parte da Energia Hidráulica é dissipada no seu interior e parte é absorvida pelo leito do rio a jusante.

Dentro dessas estruturas compactas está o dissipador em Concha, esse tipo de dissipador vem sendo utilizado em grandes obras no Brasil, tal como na Usina Hidroelétrica de Itaipu.

A dissipação de energia nesse tipo de dissipador ocorre devido a incorporação do ar na massa líquida, devido ao atrito e à turbulência do jato. Segundo Baptista e Coelho (2014) há três casos possíveis para dissipadores em Concha.

Quando o lançamento da água no final da rampa ocorre acima do nível de água da bacia de jusante, o dissipador em Concha é denominado Salto Esqui, como apresentado na Figura 7.

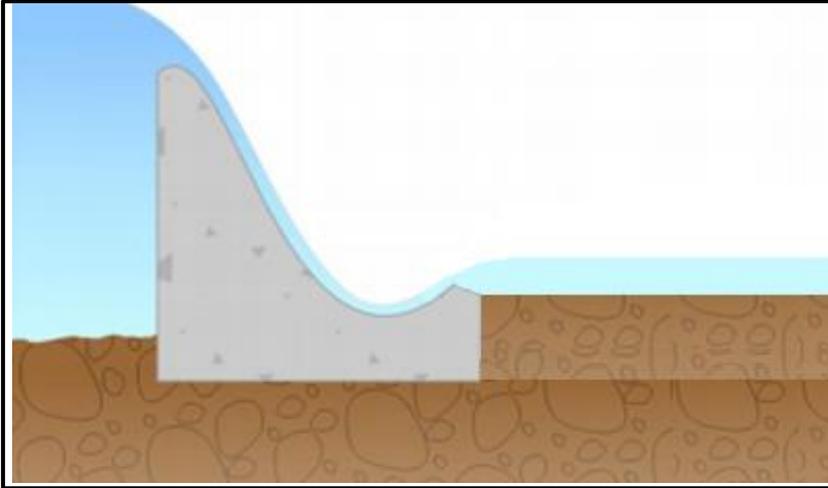
Figura 7 – Dissipador em Concha Tipo Salto Esqui



Fonte: Davila (2018).

Para o lançamento da água no final da rampa no mesmo nível do nível de água de jusante, denomina-se o dissipador em Concha tipo Concha de Arremesso, como mostrado na Figura 8.

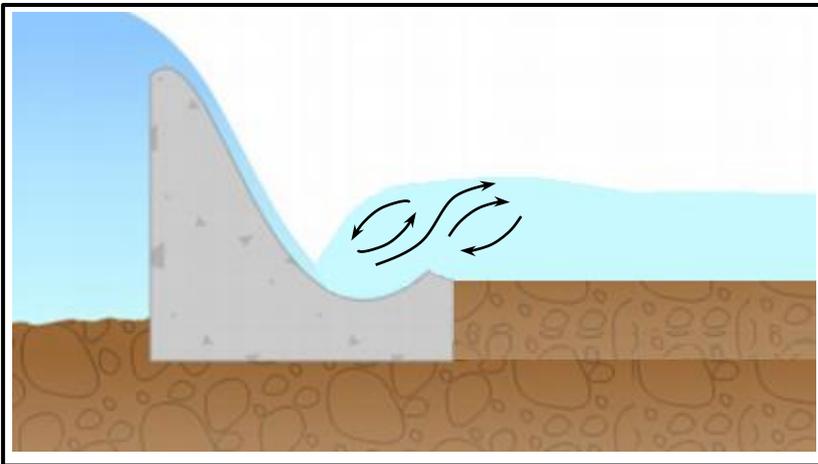
Figura 8 – Dissipador em Concha Tipo Concha de Arremesso



Fonte: Adaptado de Davila (2018).

Para o lançamento da água no final da rampa abaixo do nível do nível de água de jusante, denomina-se o dissipador em Concha de Ressalto Hidráulico, caracterizado pela existência de dois rolos, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Dissipador em Concha Tipo Ressalto Hidráulico



Fonte: Adaptado de Davila (2018).

No caso de um dissipador de energia em Concha tipo Salto Esqui, estrutura objeto de dimensionamento deste trabalho, a variável essencial para o dimensionamento é o número de Froude no final da rampa, início da concha. Esse número de Froude pode ser calculado conforme apresentado na fórmula a seguir.

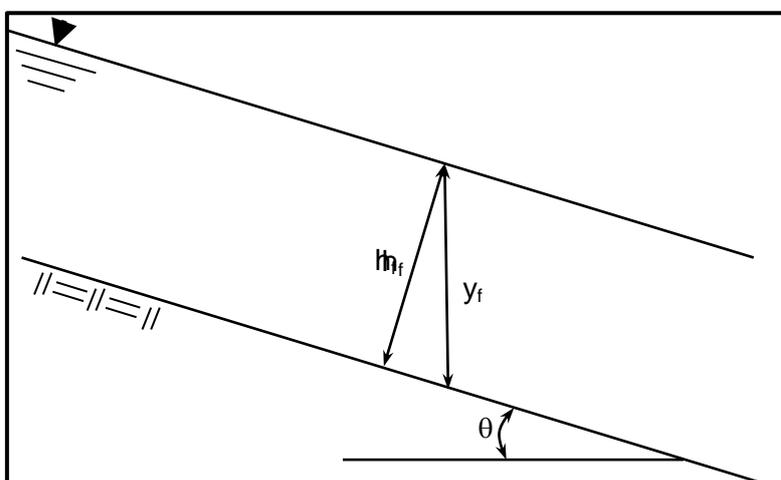
$$Fr_f = \frac{U_f}{\sqrt{g \cdot h_{hf}}} \quad (4)$$

Onde, Fr_f é o Número de Froude no final da rampa; U_f é a velocidade média do escoamento no final da rampa (m/s); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); e, h_{hf} é a profundidade hidráulica do escoamento no final da rampa (m).

Por se tratar de um canal de seção retangular, a profundidade hidráulica se confunde com a profundidade do escoamento, ou seja, $h_{hf} = h_f$.

Caso a inclinação no final da rampa seja elevada (maior que 10%) é preciso fazer a correção entre a altura da lâmina d'água medida na vertical (y_f) e a altura da lâmina d'água medida perpendicularmente ao fundo (h_f), conforme descrita na Figura 10 e representada pela Equação 5 a seguir.

Figura 10 – Alturas da Lâmina d'Água Conforme a Inclinação da Rampa



Fonte: Elaborada pelos autores.

$$h_f = y_f \cdot \cos \theta \quad (5)$$

A velocidade do escoamento no final da rampa pode ser estimada através da equação de Bernoulli aplicada entre o início da rampa (índice i) e o final da rampa (índice), como mostrado a seguir.

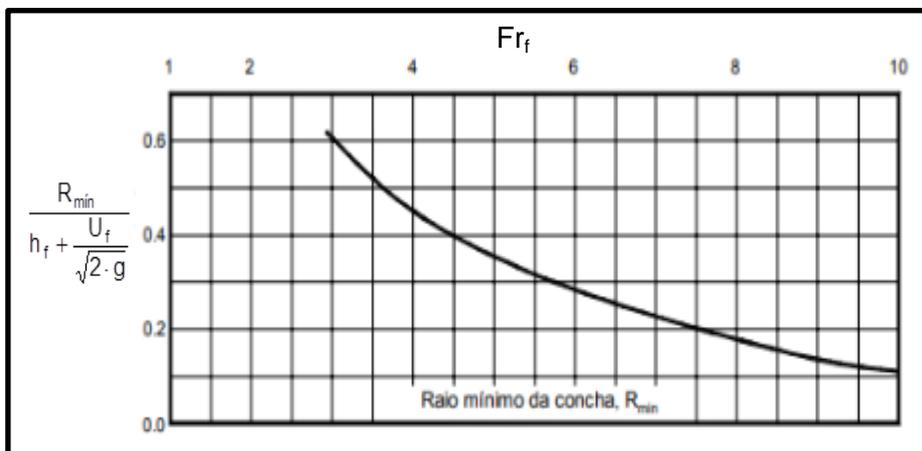
$$Z_i + y_i + \frac{U_i^2}{2 \cdot g} = Z_f + y_f + \frac{U_f^2}{2 \cdot g} + \Delta h_{i-f} \quad (6)$$

onde: Z é a cota do fundo do canal (m); y é a altura da lâmina d'água vertical (m); U é a velocidade média do escoamento (m/s); e, Δh é a perda de carga (m).

Para a determinação do raio mínimo da curva da concha (R_{\min}) utiliza-se o ábaco apresentado na Figura 11, a seguir, onde a partir dos valores de número de Froude (Fr_f), altura

de lâmina de água perpendicular ao fundo (h_f) e a velocidade média do escoamento (U_f), determinados para o final da rampa, calcula-se o raio mínimo.

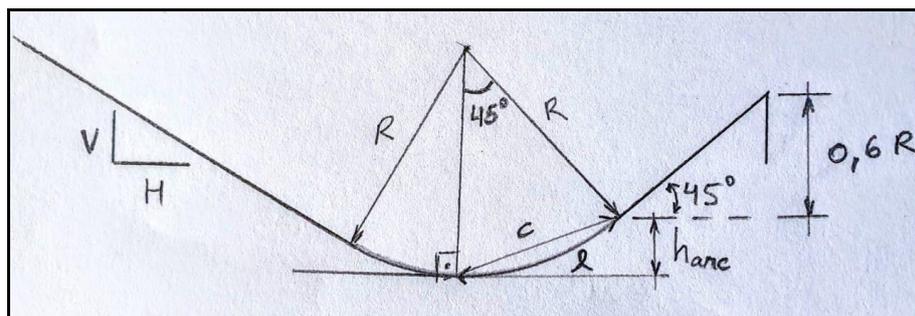
Figura 11 – Ábaco para Determinação do Raio Mínimo da Curva da Concha



Fonte: Adaptado de United State Bureau of Reclamation (1987).

O formato da concha pode ser visto na Figura 12, a seguir, onde apresenta-se os parâmetros geométricos dessa concha, sendo R o raio adotado para a concha, ℓ o comprimento do arco final da concha, c a corda do arco final da concha e h_{arc} a altura do arco final da concha.

Figura 12 – Parâmetros Geométricos do Dissipador em Concha



Fonte: Elaborado pelos autores

Os parâmetros arco, corda e altura da do arco da concha podem ser calculados pelas seguintes equações:

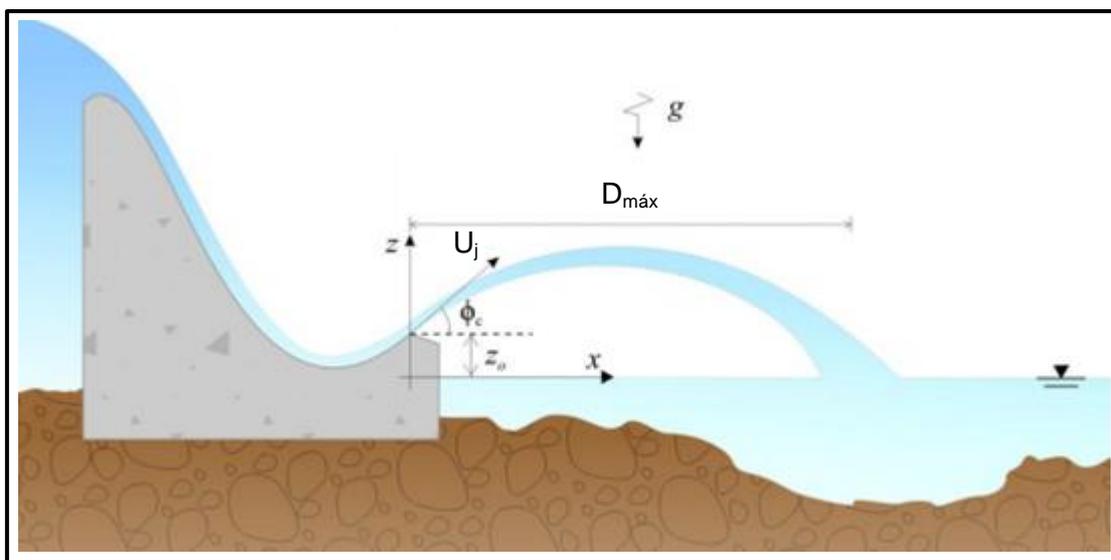
$$\ell = \frac{45^\circ \cdot \pi \cdot R}{180^\circ} \quad (7)$$

$$c = \text{sen} \left(\frac{45^\circ}{2} \right) \cdot 2 \cdot R \quad (8)$$

$$\text{sen}(22,5^\circ) = \frac{h_{arc}}{c} \quad (9)$$

A distância do jato pode ser calculada a partir da formulação apresentada por Davila (2018), conforme apresentado na Figura 13 e Equação 10, a seguir. A trajetória do jato é similar a um movimento parabólico, sendo que está diretamente ligada a velocidade do jato e o ângulo de lançamento na saída da concha.

Figura 13 – Distância de Alcance do Jato



Fonte: Adaptado de Davila (2018).

$$D_{\text{máx}} = \frac{U_j}{g} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot g \cdot z_0}{U_j^2}} \quad (10)$$

onde $D_{\text{máx}}$ é a distância de alcance do jato (m); U_j é a velocidade média do jato no fim da concha (m); e, z_0 é o desnível entre o final da concha e a lâmina da água no reservatório a jusante (m).

4 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

Nesse item descreve-se o passo-a-passo do dimensionamento do vertedouro tipo Creager e do dissipador de energia em concha que fazem parte da maquete de hidráulica a ser desenvolvida neste trabalho.

Os dados básicos para iniciar o dimensionamento são a vazão que será escoada (Q), a largura do vertedouro (L), pois o vertedouro possui seção retangular, e a altura do paramento de montante do vertedouro (P), a qual está indicada na Figura 1, já apresentada.

Os valores adotados para a maquete a ser montada foram:

- a) $Q = 1,71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$;
- b) $L = 0,15 \text{ m}$;
- c) $P = 0,15 \text{ m}$.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO TIPO CREAGER

Para iniciar o dimensionamento do Vertedouro Tipo Creager é preciso calcular a carga hidráulica a montante do vertedouro (H_0), conforme indicado na Figura 1. Para tanto, temos que estimar o valor inicial do coeficiente de descarga do vertedouro (C) e, então, aplica a Equação 1.

Fazendo-se C igual a 2,18, tem-se: $H_0 = 0,03 \text{ m}$.

Próximo passo será o cálculo da velocidade de aproximação (v_a) que é pela Equação 2. Note que não é um cálculo simples, pois a variável v_a não é explicitável. Desta forma, deve-se adotar uma estratégia para o cálculo dessa variável.

Levando-se em conta os valores das outras variáveis da Equação 2, foi determinado o valor de v_a igual a 0,065 m/s.

Como a carga cinética de aproximação (h_a), vide Figura 1, é dada por $v_a^2/2g$, tem-se: $h_a = 0,0002 \text{ m}$.

Logo, a carga potencial a montante do vertedouro (h_0), vide Figura 1, que é soma de H_0 com h_a , assume o valor de aproximadamente de: $h_0 = 0,03 \text{ m}$.

Com essas variáveis calculadas, pode-se iniciar o cálculo da correção do valor inicial de C .

Inicialmente, determina-se graficamente (Figura 2) o valor do coeficiente de descarga de partida (C_0) a partir da relação P/H_0 .

Para P/H_0 igual a 5, tem-se o trecho horizontal da curva apresentada na Figura 2, fazendo o coeficiente de descarga de partida assumir o valor: $C_0 = 2,18$.

Admitindo-se que a carga de projeto (H_e) será igual a carga hidráulica a montante do vertedouro (H_0) e aplicando-se esse resultado ao gráfico da Figura 3, tem-se a relação entre o coeficiente de descarga do vertedouro (C) e o coeficiente de descarga de partida dado por: $C/C_0 = 1$.

Desta forma, o valor do coeficiente de descarga do vertedouro corrigido é dado por: $C = 2,18$.

Considerando que o paramento de montante do vertedouro será sem inclinação, ou seja, vertical, não há necessidade de mais correções ao coeficiente de descarga do vertedouro.

Considerando-se que a relação entre a carga cinética e a carga hidráulica a montante do vertedouro é: $h_a/H_0 = 0,0066$ e aplicando-se as relações apresentadas nos gráficos da Figura 5, tem-se os seguintes resultados apresentados na tabela a seguir.

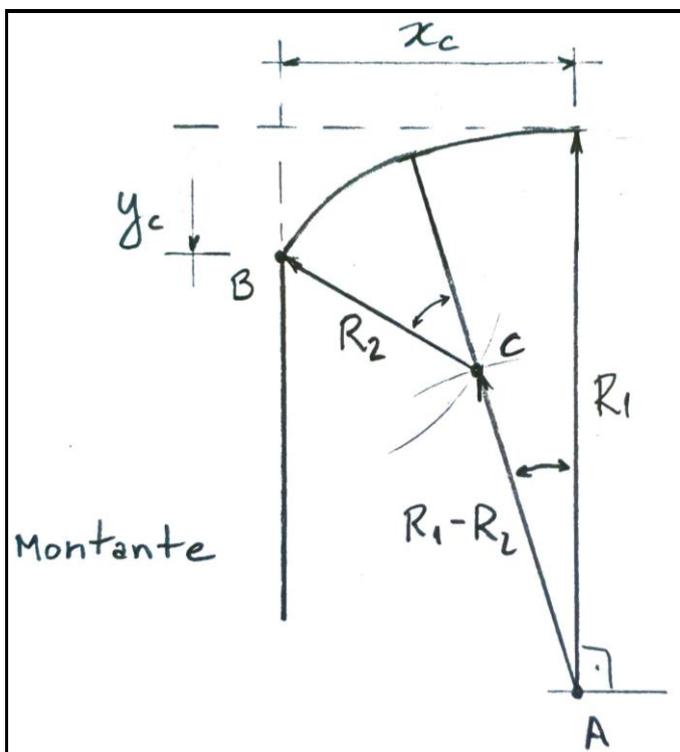
Tabela 1– Dimensões da Curva Inicial do Vertedouro Tipo Creager

Relação	Valor
$x_c/H_0 = 0,25$	$x_c = 0,008$ m
$y_c/H_0 = 0,096$	$y_c = 0,003$ m
$R_1/H_0 = 0,25$	$R_1 = 0,015$ m
$R_2/H_0 = 0,25$	$R_2 = 0,006$ m

Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 14, a seguir, apresenta o traçado a curva inicial do vertedouro tipo Creager.

Figura 14 – Traçado da Curva Inicial do Vertedouro Tipo Creager



Fonte: Elaborado pelos Autores

Note-se que a localização do ponto C na Figura 14 é a intercessão de dois círculos, sendo um de raio R_2 e centro em B e outro de raio $(R_1 - R_2)$ e centro em A.

A curva do vertedouro Creager, a jusante da crista, é dada pela Equação 3, onde os parâmetros k e n são obtidos dos gráficos da Figura 6.

Dado a relação $h_a/H_0 = 0,0066$, tem-se: $k = 0,511$. E sendo $H_0 = 0,03$ m, tem-se: $n = 1,841$.

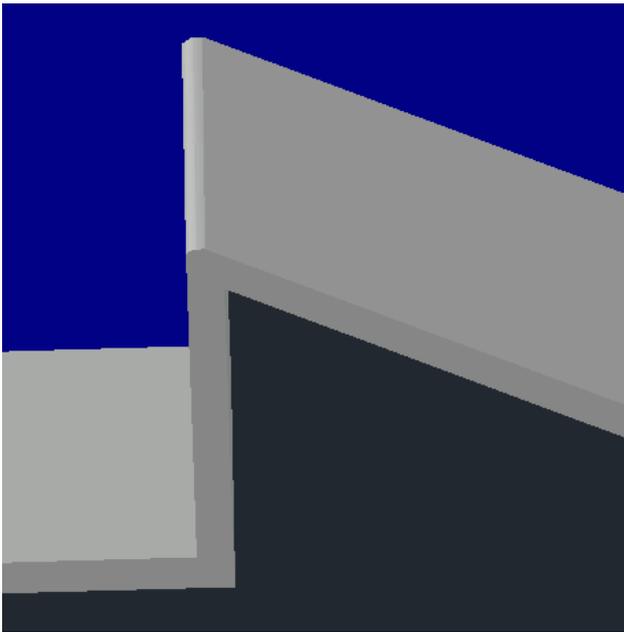
Desta forma, a equação da curva do vertedouro, a jusante da crista, é a seguinte.

$$\frac{y}{h_0} = 0,511 \cdot \left(\frac{x}{h_0}\right)^{1,841} \quad (11)$$

Essa curva irá se estender até o início da rampa, que para o caso da maquete deste trabalho foi considerada com inclinação 1:2 (V:H).

A Figura 15, a seguir, apresenta o vertedouro tipo Creager desenvolvido nesse trabalho e projetado no AutoCad.

Figura 15 – Vertedouro Tipo Creager Projetado



Fonte: Elaborado pelos Autores

4.2 DICIONAMENTO DO DISSIPADOR EM CONCHA

O dimensionamento do Dissipador em Concha parte do valor do número de Froude no final da rampa de descida do vertedouro. Entretanto, como a declividade da rampa é elevada não é válida a teoria da pressão hidrostática e, desta forma, a relação entre a altura da lâmina

d'água medida na vertical (y_f) e a altura da lâmina d'água medida perpendicularmente ao fundo (h_f) é dada pela Equação 5.

Como a inclinação da rampa é 1:2 (V:H), o ângulo da inclinação (θ) é igual a $26,565^\circ$ e, por consequência, $\cos\theta = 0,894$.

Aplicando-se a lei de conservação da energia (equação de Bernoulli) entre o início e o final da rampa (Equação 6), admitindo-se desprezível a perda de carga no trecho e considerando-se um desnível vertical $z_i - z_f = 0,205$ m, tem-se $h_f = 0,00531$ m.

Logo, para a seção de canal retangular com largura igual a 0,015 m, a velocidade no final da rampa $U_f = 2,15$ m/s e o número de Froude no final da rampa (Equação 4) $Fr_f = 9,42$.

A partir desse número de Froude utiliza-se o ábaco apresentado na Figura 11 para se determinar a relação entre esse número de Froude o raio mínimo da curva da concha (R_{\min}). O valor obtido do gráfico é igual a 0,11 e, por consequência, o valor do raio mínimo fica $R_{\min} = 0,0264$ m.

Para efeito de simplificação foi adotado o raio da curva da concha $R = 0,05$ m. E a partir disso foram calculados os parâmetros geométricos da concha: $\ell = 0,049$ m; $c = 0,038$ m; e $h_{\text{arc}} = 0,015$ m.

Para se determinar a velocidade média do jato no fim da concha (U_j), conforme apresentado na Figura 13, aplica-se raciocínio análogo ao utilizado para determinação da velocidade ao final da rampa. Ou seja, aplica-se a lei da conservação da energia (equação de Bernoulli) entre o final da rampa e o início do jato no fim da concha.

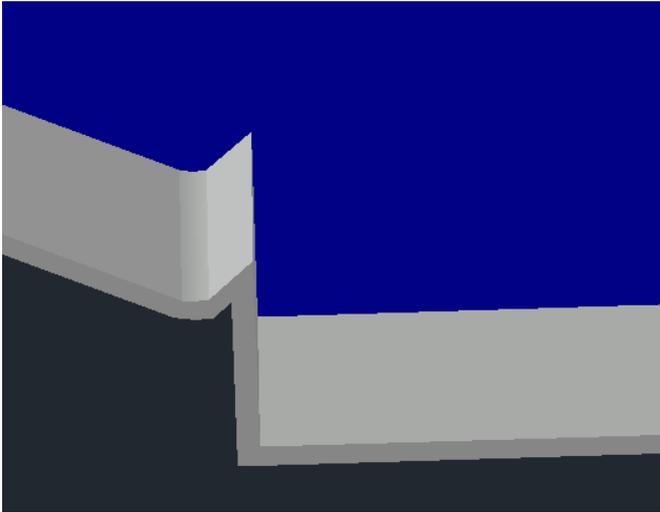
Como resultado chega-se ao valor da velocidade média do jato no fim da concha $U_j = 2,00$ m/s.

Finalmente, pode-se calcular a distância do alcance do jato através da fórmula apresentada na Equação 10.

Adotando-se $z_o = 0,15$ m chegou-se a um $D_{\max} = 0,50$ m.

A Figura 16, a seguir, apresenta o dissipador em concha desenvolvido nesse trabalho e projetado no AutoCad.

Figura 16 – Dissipador em Concha Projetado



Fonte: Elaborado pelos Autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do trabalho, que era o desenvolvimento da maquete de uma estrutura hidráulica compreendendo um vertedouro tipo Creager associado a um dissipador de energia em Concha tipo Salto Esqui, foi parcialmente atendido com o projeto, em AutoCad, dessa estrutura.

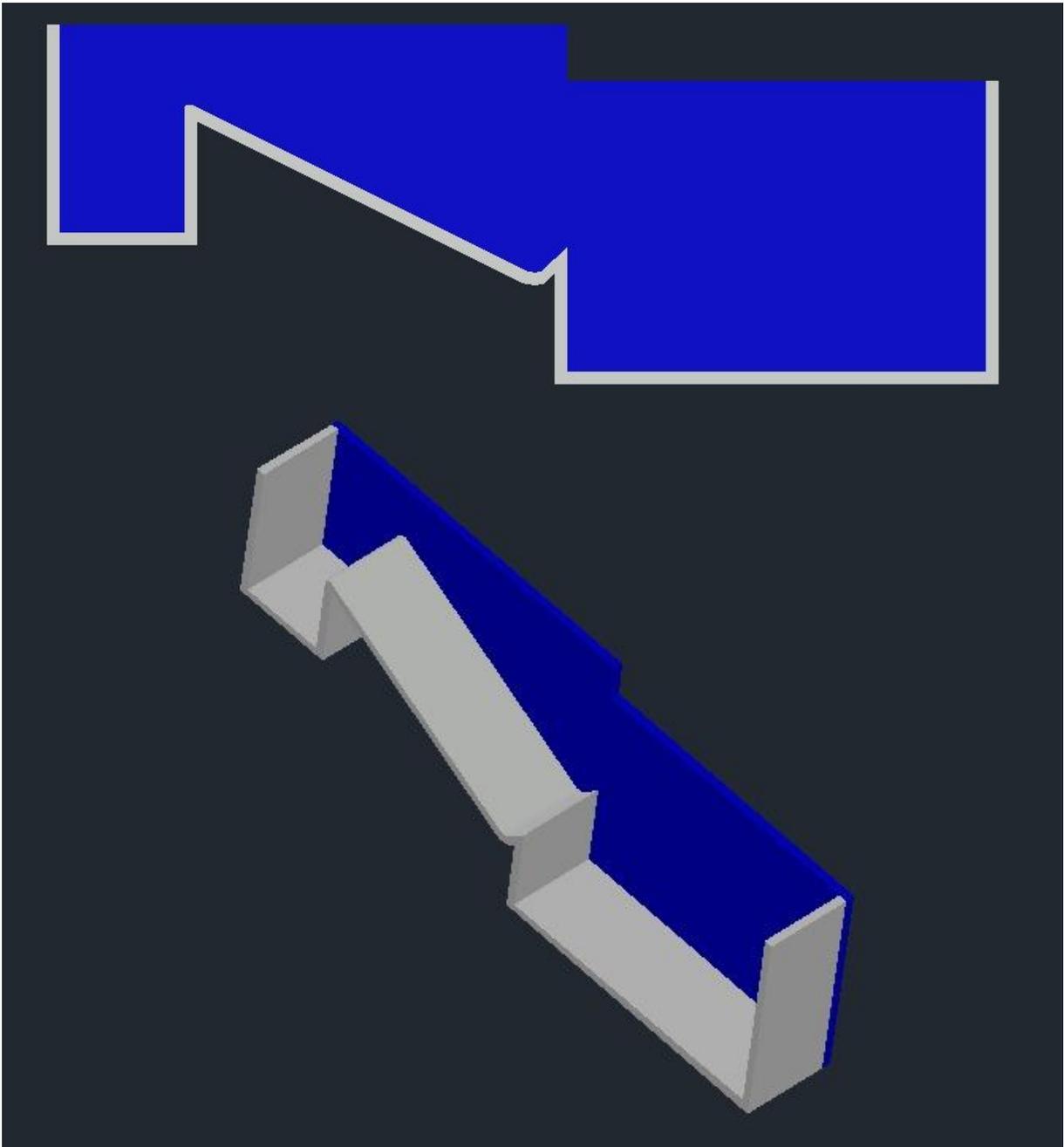
A Figura 17, a seguir, apresenta o projeto da maquete de hidráulica desenvolvido compreendendo o vertedouro tipo Criager seguido do dissipador de energia em Concha tipo Salto Esqui.

Infelizmente, devido a pandemia da COVID 19, somente testes iniciais puderam ser empreendidos na impressão 3D do referido projeto.

Entretanto, o objetivo secundário que era apresentar de forma sucinta o passo-a-passo para o dimensionamento das estruturas hidráulicas envolvidas na maquete, foi completamente atingido.

Pretende-se, assim que a situação sanitária permitir, retomar as ações para a confecção da impressão 3D da maquete desenvolvida nesse trabalho.

Figura 17 – Projeto da Maquete de Hidráulica – Vertedouro Tipo Creager e Dissipador de Energia em Concha tipo Salto Esqui



Fonte: Elaborado pelos Autores

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETO, José Mariano de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcio Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

CANELLAS, Alba Valéria Brandão *et al.* Características das flutuações de pressão a jusante de dissipadores tipo concha com ângulo de 45°. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21 p. 134 – 142, 2016. Disponível em: [https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/182189/001077310.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[10183/182189/001077310.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/182189/001077310.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 28 jul. 2020

DAVILA, Victor Oscar Rendon. **Modelamiento Hidraulico de Aliviaderos con Dissipadores de Energia del Tipo Salto de Esquí**. Tese (grau de Engenheiro Civil) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018. Disponível em: [http://repositorio.unsa.edu.pe/](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6594/ICmoalra.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[bitstream/handle/UNSA/6594/ICmoalra.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6594/ICmoalra.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 14 nov. 2019.

UNITE STATE BUREAU OF RECLAMATION. **Design of Small Dams**. 3^a ed. Washington, DC: Unite State Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1987. Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2019.