

IX-080 - DESEMPENHO HIDRÁULICO DE DISSIPADORES CONTÍNUOS EM DEGRAUS E SUA RELAÇÃO COM O RESSALTO HIDRÁULICO: ESTUDO EXPERIMENTAL

Maria da Glória Braz⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC e Coordenadora e Professora da Faculdade Novos Horizontes. Diretora da EH2 – Estudos Hidrológicos e Hidráulicos Ltda.

Maria Elizabeth Monteiro Vidal Ferreira⁽²⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC.

Rafael Anderson Resende Souza⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil e Bolsista de Iniciação Científica pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 – Bairro Cruzeiro – Belo Horizonte- Minas Gerais - CEP: 30310-190 - Brasília -
Tel: +55 (31) 3228-3000 - e-mail: gloriabraz@fumec.br

RESUMO

Em sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, os dissipadores de energia por descidas d'água em degraus são utilizados para conduzir, para fora do corpo da via, a vazão proveniente da pista ou dos cortes (de altura superior a três metros), objetivando reduzir ou eliminar o efeito erosivo das águas pluviais. Uma das características associadas a essas estruturas, além do caráter de dissipação, refere-se à mudança de seções de escoamento, tais como condutos circulares desaguardando em condutos retangulares.

Verifica-se, na prática, que o projeto dessas estruturas muitas vezes não é realizado de acordo com as especificações exigidas e suas dimensões não são capazes de comportar a ocorrência do ressalto. Assim sendo, na maioria dos casos, ele se manifesta sobre as quedas de amortecimento (degraus) sem a devida normalização do fluxo a jusante e, portanto, sem sua correta inserção no sistema de dissipadores contínuos. Isto reduz a eficiência do processo de dissipação, podendo ocasionar impactos adversos.

Face ao exposto, é recomendável, estabelecer, através da realização de estudos experimentais em laboratório, através de modelos, a simulação das condições hidráulicas entre a saída do canal circular e entrada do canal retangular, bem como o comprimento do alcance do jato nos degraus e o valor da energia sobre a estrutura.

Para a realização desses estudos, foram e estão sendo implantados dissipadores em escala reduzida, capazes de simular as condições hidráulicas que ocorrem nas unidades padronizadas pelos órgãos municipais responsáveis pelos sistemas municipais de águas pluviais. Os ensaios laboratoriais adotarão a técnica de visualização através da captura de imagens fotográficas, com determinada frequência, que permitirá identificar o comportamento do fluxo hidráulico em cada simulação. Conhecidas as características dos condutos circulares parcialmente cheios e o ressalto produzido para cada situação, será possível definir, em cada experimento, as vazões máximas recomendáveis para cada diâmetro, além de indicar as possíveis soluções para estruturas já construídas e que não tem bom funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE: Dissipadores Contínuos, Desempenho, Degraus, Ressalto Hidráulico.

INTRODUÇÃO

Em sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, os dissipadores de energia por descidas d'água em degraus são utilizados para conduzir, para fora do corpo da via, a vazão proveniente da pista ou dos cortes, objetivando reduzir ou eliminar o efeito erosivo das águas pluviais. Uma das características associadas a essas estruturas, além do caráter de dissipação, refere-se à mudança de seções de escoamento, tais como condutos circulares desaguardando em condutos retangulares.

Verifica-se, na prática, que o projeto dessas estruturas muitas vezes não é realizado de acordo com as especificações exigidas e suas dimensões não são capazes de comportar a ocorrência do ressalto ou, até mesmo, absorver as características hidráulicas inseridas no escoamento real.

Assim sendo, na maioria dos casos, ele se manifesta sobre as quedas de amortecimento (degraus) sem a devida normalização do fluxo a jusante e, portanto, sem sua correta inserção no sistema de dissipadores contínuos, reduzindo a eficiência do processo de dissipação, podendo ocasionar impactos adversos.

O objetivo geral do presente trabalho é estudar o comportamento do escoamento em dissipadores contínuos, no conjunto plataforma e degraus.

Este estudo busca determinar, para diferentes vazões e diâmetros de canais, qual a extensão da plataforma de transição, onde ocorre o ressalto hidráulico e o comportamento hidráulico respectivo com e sem a plataforma de acomodação do fluxo.

COMPORTAMENTO HIDRAÚLICO EM DISSIPADORES CONTÍNUOS E A PRÁTICA DE SUA UTILIZAÇÃO NA ENGENHARIA

No escoamento permanente bruscamente variado, as características de fluxo variam repentinamente de uma seção para a outra. Ele é fortemente dependente das condições de contorno e ocorre, geralmente, associado a singularidades e estruturas hidráulicas, tais como: transições bruscas, dissipadores de energia em degraus, obstáculos, entre outros.

Considerando um canal retangular com o leito em degraus, para pequenas vazões e uma determinada geometria, o escoamento pode apresentar um padrão caracterizado por quedas sucessivas. De acordo com HORNER (1969), este é um dos tipos ou regimes de escoamento, denominado *nappe flow*, ou escoamento em quedas sucessivas. O segundo tipo de escoamento chamado *skimming flow*, possui padrão diferente do anterior, pois o fluxo deixa de escoar em quedas sucessivas com o aumento da vazão e, entre os degraus, são formados vórtices turbulentos mantidos pelas tensões provenientes do escoamento que ocorre sobre eles e em direção ao fim do canal. Assim, esse escoamento se denomina deslizante sobre vórtices ou sobre turbilhões.

Há várias estruturas que dissipam energia, mas a escolha é função de uma série de fatores de projeto, principalmente custo e eficiência, podendo-se destacar, em meio urbano, a utilização em ampla escala, dos dissipadores contínuos ou descidas d'água em degraus.

Esses dispositivos, quando empregados de forma correta, têm a função de controlar a velocidade de descida, reduzindo o potencial erosivo no deságue, garantindo velocidades baixas durante a descida, minimizando, assim, a abrasão do concreto por sedimentos carregados pelo fluxo, segundo estudos de CHAMANI e RAJARATNAM (1999), CHANSON e TOOMBES (2003) e CHRISTODOULOU (1993). Dessa forma, as descidas d'água requerem dissipação de energia e revestimento no deságue, quando esse ocorre no terreno.

Verifica-se, na prática, que o projeto dessas estruturas muitas vezes não é realizado de acordo com as especificações exigidas e suas dimensões não são capazes de comportar a ocorrência do próprio ressalto. Assim sendo, na maioria dos casos ele se manifesta sobre as quedas de amortecimento (degraus) sem a devida normalização do fluxo a jusante e, portanto sem sua correta inserção no sistema de escadas. Isto reduz a eficiência do processo de dissipação, podendo ocasionar impactos adversos (BAPTISTA e COELHO, 2006).

Embora tenha sido estudado por muitos autores ao longo dos anos, não se encontra na literatura referências sobre o comportamento do ressalto em decorrência da variação de uma seção circular para outra retangular e a sua relação com o escoamento em degraus, o que torna este estudo de grande interesse prático.

A transição entre a geometria circular do conduto com determinada declividade associada à geometria retangular com declividade nula, deve possuir, claramente, extensão para o desenvolvimento do ressalto hidráulico para, posteriormente, ser conduzido aos degraus.

O ressalto hidráulico é um fenômeno que ocorre na descontinuidade do fluxo. Caracteriza-se pela transição de um regime de escoamento rápido (supercrítico) para outro lento (subcrítico), em que há brusca elevação do

nível d'água, associado a grandes turbulências e perdas de energia (BAPTISTA e COELHO, 2006). Embora tenha sido estudado por muitos autores ao longo dos anos, não se encontra na literatura referências sobre o comportamento do ressalto em decorrência da variação de uma seção circular para outra retangular, o que torna o assunto de grande interesse prático, tendo em vista que os dissipadores de energia desse tipo são muito utilizados no Brasil e o desconhecimento do real comportamento hidráulico desses dispositivos torna difícil projetá-los de maneira adequada.

OBJETIVOS DO ESTUDO

Este estudo busca determinar a localização da região onde ocorre o ressalto hidráulico e o comportamento hidráulico respectivo nas descidas d'água indicadas pelas especificações da SUDECAP (2008), através de modelo reduzido.

Ressalta-se que, em função do tempo de desenvolvimento da presente pesquisa, somente serão apresentados os resultados qualitativos de uma descida d'água em degraus com altura de 3m e ângulo de inclinação 45°. É importante afirmar que essa pesquisa é de cunho contínuo, e, dessa forma, posteriormente serão simulados vários cenários de declividade, diâmetros e comprimentos de plataformas de recebimento.

METODOLOGIA

Primeiramente, foram levantadas informações sobre a utilização das descidas d'água em degraus, bem dos parâmetros estabelecidos pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP - que regem a concepção desses dissipadores para o município de Belo Horizonte e, posteriormente, parâmetros adotados no Brasil. Desses parâmetros, foi escolhido um, por não se dispor de tempo, até o momento, para cobrir todos os parâmetros existentes, conforme abordado anteriormente.

A segunda etapa do trabalho experimental se constituiu na elaboração dos modelos, segundo as especificações de diâmetros definidos para o protótipo, conforme pesquisa na 1ª etapa, que simularam o comportamento hidráulico nos degraus.

Durante os ensaios laboratoriais foi adotada a técnica de visualização através da captura de imagens fotográficas, com determinada frequência, o que permitiu identificar, ainda que de maneira macroscópica, o comportamento do fluxo em cada simulação.

A determinação destes parâmetros permitiu a obtenção de outras características do escoamento em degraus, por meio da aplicação de cálculos.

Seguindo os parâmetros da SUDECAP, e conhecidas as características dos condutos circulares parcialmente cheios, foi possível definir em cada experimento as vazões máximas obtidas para o diâmetro adotado, em princípio.

No entanto, no presente trabalho, apresenta-se, apenas a visão qualitativa dos processos estudados, dado que os cálculos e possíveis modelos matemáticos associados ainda estão em estudo e merecem refinamento, uma vez que os experimentos continuam adotando cenários diversos.

RESULTADOS OBTIDOS

Foram simulados os comportamentos hidráulicos referentes à chegada da tubulação na plataforma de recebimento dos dissipadores contínuos com as declividades de 5%, 10%, 15% e 20% com os tirantes d'água $y/D=0,20, 0,30, 0,50, 0,80$ e seção plena.

As figuras 1 a 10, a seguir, mostram o comportamento do fluxo em diversas situações ensaiadas.

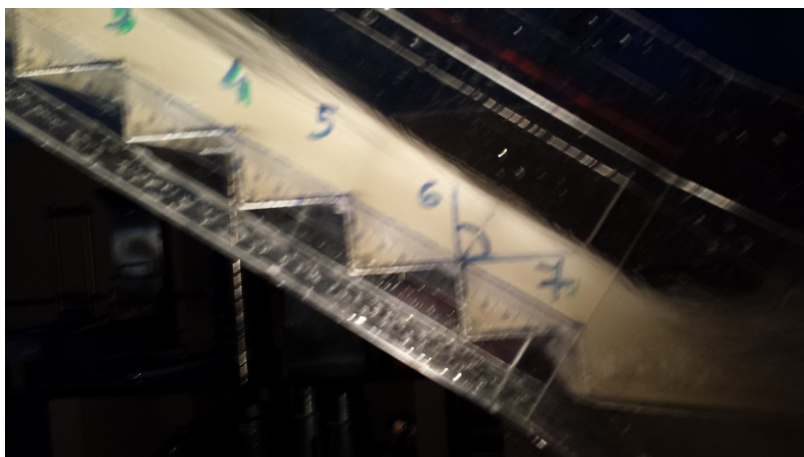


Figura 1 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade 5% e $y/D=0,8$

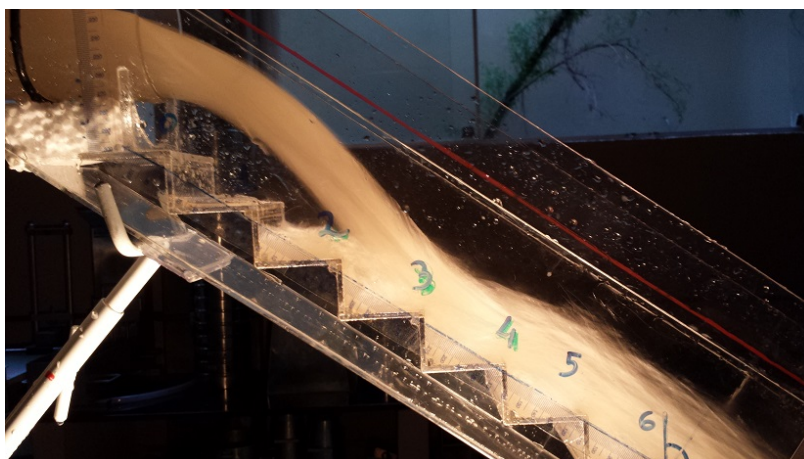


Figura 2 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade 20% e $y/D = 0,8$

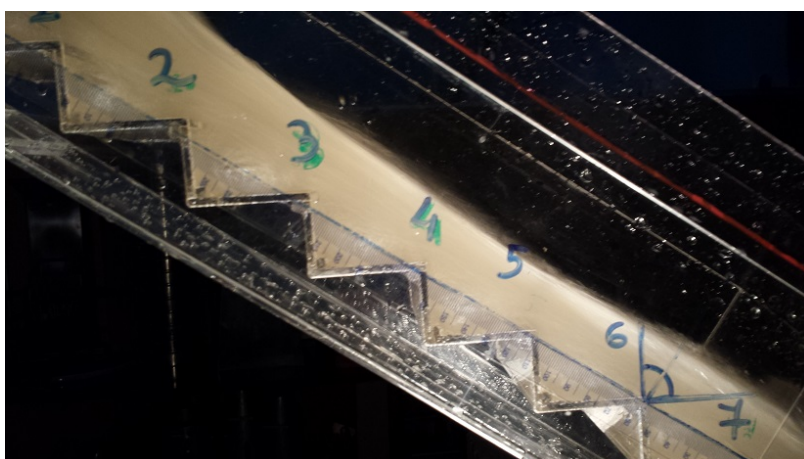


Figura 3 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade 5% e Seção Plena

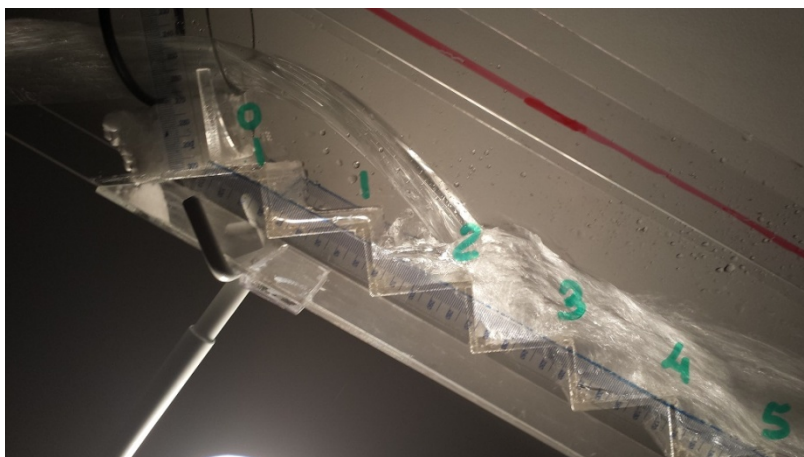


Figura 4 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade de 20% e $y/D = 0,50$

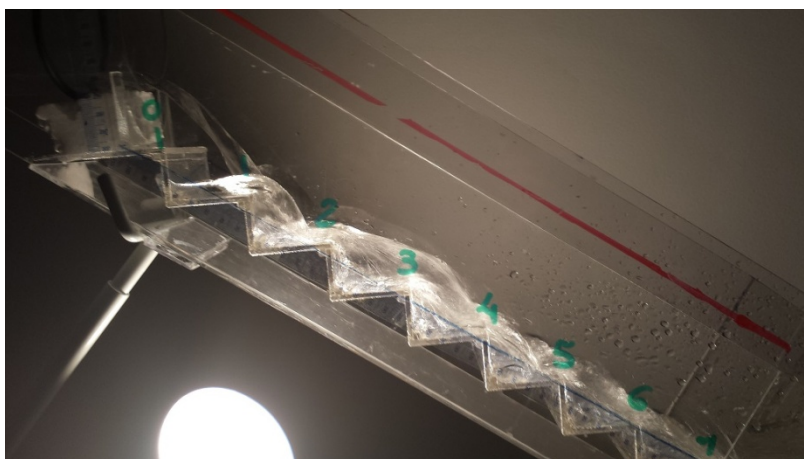


Figura 5 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade de 20% e $y/D=0,20$ (*Nappe Flow* até Degrau 5)



Figura 6 - Comportamento com Tubulação de Chegada com Declividade de 20% e $y/D=0,30$ (*Skimming Flow*)

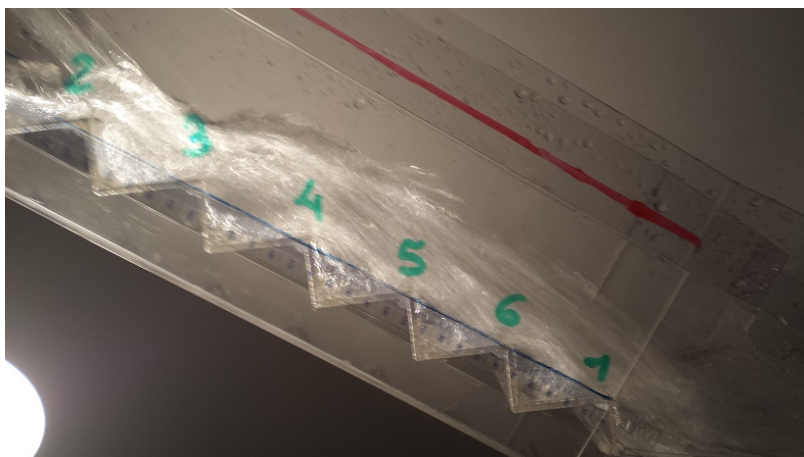


Figura 7 – Detalhe do Escoamento (*Skimming Flow*) com Tubulação de Chegada com Declividade 20% e $y/D=0,30$



Figura 8 – Detalhe do Escoamento (*Nappe Flow*) com Tubulação de Chegada com Declividade 20% e $y/D=0,10$

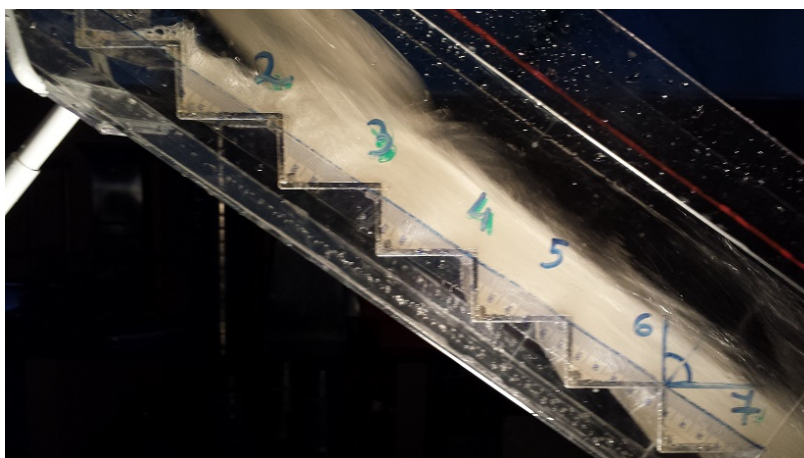


Figura 9 – Detalhe do Escoamento (*Skimming Flow*) com Tubulação de Chegada com declividade 10% e Seção Plena



Figura 10 – Vista Frontal do Escoamento (*Skimming Flow*) com Tubulação de Chegada com declividade 15% e Seção Plena (Notar a Grande Turbulência e Energia na Bacia de Dissipação)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar de, ainda, só se ter simulado o escoamento para protótipos de diâmetro 800mm e declividade de 45%, com altura de 3 metros, verifica-se que a perda de energia esperada para esse dispositivo de drenagem não se constatou no modelo, com base nas observações das simulações, uma vez que, na maioria delas, o escoamento se manifestou sobre as quedas de amortecimento (degraus) sem a devida normalização do fluxo a jusante e, portanto sem sua correta inserção no sistema de escadas. Isto reduz a eficiência do processo de dissipação, podendo ocasionar impactos adversos.

Pode-se observar, em praticamente todas as simulações, que o comportamento *Nappe Flow* só existiu quando da ocorrência de pequenas vazões, não importando a declividade da chegada da tubulação de deságue, podendo-se concluir a necessidade imperativa de uma soleira de recebimento, que deve possuir extensão adequada para o desenvolvimento do ressalto hidráulico no sentido de acalmar o fluxo para, posteriormente, conduzi-lo aos degraus.

É importante destacar, entretanto, que a presente pesquisa é de fluxo contínuo e tem o objetivo de estudar o comportamento do escoamento em dissipadores contínuos, no conjunto plataforma e degraus, determinando, para diferentes vazões e diâmetros de canais, qual a extensão da plataforma de transição, onde ocorre o ressalto hidráulico e o comportamento hidráulico respectivo com e sem a plataforma de acomodação do fluxo.

Dessa forma, posteriormente será verificado se os resultados obtidos se enquadram às especificações da SUDECAP (2008) para os diversos gradientes de talude e, assim, poderá se propor sugestões e alternativas metodológicas para o melhor planejamento destas estruturas de dissipação de energia, de maneira a minimizar a atuação adversa causada pela ausência da plataforma de acomodação do fluxo, caso isto seja constatado.

Para fins práticos, também serão avaliados os diferentes comportamentos do ressalto hidráulico a partir das variações de inclinação da plataforma em que ele ocorrerá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTA, M.; COELHO, M.M.L.P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Editora UFMG, 2^a ed. Belo Horizonte, 2006.
2. CHOW, V.T.. Open-Channel Hydraulics. McGrall-Hill Book Company, International Editions.1959.
3. CARVALHO, P. D. Aeração de escoamento de alta velocidade em canais de forte declividade. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos -Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 1997.

4. CHAMANI, M. R.; RAJARATNAM, N. Characteristics of skimming flow over stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, v.125, n. 4 , p. 361 – 368. 1999.
5. CHANSON, H.; TOOMBES, L. Strong Interactions between Free-Surface aeration and turbulence in an open channel flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 27, p 525-535. 2003
6. CHRISTODOULOU, G. C. Energy dissipation on stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*., ASCE, v. 119, n. 5, p. 644 – 649. 1993.
7. GOMES, J. F. Campo de Pressões. Condições de Incipiência à Cavitação em Vertedouros em Degraus com Declividades 1V:0,75H. Tese (Doutorado), Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2006
8. HORNER, M. W. An Analysis of Flow on Cascades of Steps. Ph.D. thesis, Univ. of Birmingham, UK. 1969
9. KANASHIRO, W. H. Vertedores em degraus: avaliação de efeitos do escoamento dos degraus na dissipação de energia. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1995
10. MATOS, J. S. G.; QUINTELA, A. C. Emulsão de ar e energia específica residual do escoamento em descarregadores de cheias em degraus. In: Congresso da Água, 3., Lisboa, 1996; Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, 7., Lisboa, 1996. [Anais] Lisboa: APRH, ABES, v. 2, p. 495-503. 1996.
11. RAJARATNAM, N. Skimming flow in stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, v. 116, n. 4, p. 587 – 591. 1990.
12. SORENSEN, R. M. Stepped spillway hydraulic model investigation. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, v. 111.n. 12, p. 1461 – 1472. 1985.
13. SUDECAP. Caderno de encargos / Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Diretoria de planejamento e Gestão. – 3ª. ed. v.1,v.2 – Belo Horizonte: SUDECAP, 2008.
14. TOSCANO, M. Estudo de Dissipadores de Energia para obras hidráulicas de pequeno porte. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1999.