

ESCADARIA DRENANTE COM CANAIS LATERAIS REBAIXADOS: CONCEPÇÃO E ANÁLISE EMPREGANDO CFD

*Paloma Chaves Menezes¹; André Luiz Andrade Simões²; Luciano Matos Queiroz³;
Gemima Santos Arcanjo⁴; Harry Edmar Schulz⁵ & Rodrigo de Melo Porto⁶*

RESUMO – Bairros situados em encostas são acessados através de escadarias que funcionam como via de pedestres e como parte do sistema de drenagem durante períodos chuvosos, sendo conhecidas como escadarias drenantes. Para que essas estruturas desempenhem adequadamente suas funções, diversos projetos têm sido propostos desde 1979. O presente trabalho faz uma proposição inédita com dois trechos laterais rebaixados em relação ao trecho central da escada, possibilitando a drenagem lateral e o trânsito de pessoas pela parte central, sem que ocorra competição entre escoamento e usuários. Os resultados obtidos através da dinâmica dos fluidos computacional apresentaram coerência com dados experimentais para a energia dissipada e para a previsão dos regimes de escoamento, confirmando a modelagem proposta. A eficiência da escadaria em termos da porcentagem da vazão veiculada pelos canais laterais, para as três vazões testadas, resultou superior a 90%.

ABSTRACT– City neighborhoods located on hillsides are accessed through stairs that function as a pedestrian path and as part of the drainage system during rainy periods, known as drainage stairs. In order for these structures to properly perform their functions, several projects have been proposed since 1979. The present work brings up an unprecedented proposal with two lowered lateral parcels of the stair steps, in relation to the central parcel of the steps, allowing lateral drainage and the transit of people through the central parcel, without competition between flow and users. The results obtained through computational fluid dynamics showed consistency with experimental data for the dissipated energy and for the prediction of flow regimes, confirming the proposed model. The efficiency of the staircase, for the three flows tested, was greater than 90%.

Palavras-Chave – Canal em degraus, Dinâmica dos Fluidos Computacional, escadaria drenante.

1 INTRODUÇÃO

O número crescente de barragens construídas com o concreto compactado a rolo e consequentes especificações de vertedouros em degraus fez crescer de forma significativa o número de estudos sobre escoamentos em canais com o fundo em degraus. Antes, entretanto, o trabalho de Essery e Horner (1978) identificou a existência de dois regimes de escoamento: (1) *nappe flow* ou escoamento em quedas sucessivas e (2) *skimming flow* ou escoamento deslizante sobre turbilhões. Trabalhos posteriores confirmaram a existência de tais regimes, como o de Sorensen (1985), e

1) Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador – BA, palomamenezes@hotmail.com

2) Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador – BA, andre.simoese@ufba.br

3) Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador – BA, lmqueiroz@ufba.br

4) Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador – BA, gemima.arcanjo@ufba.br

5) Hydro-Engineering Solutions (Hydro-LLC), Auburn, Alabama, 36830, USA, prof.harryschulz@gmail.com

6) Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento – USP, São Carlos-SP, rodrigo@sc.usp.br

foram além, definindo sub-regimes, como descrito em Chanson (2002). Outras características dos escoamentos também foram investigadas, como a aeração, pressões e cavitação, dissipação de energia e transferência interfacial de massa. Nesse contexto, projetos de outras estruturas hidráulicas que utilizam canais em degraus se beneficiaram do conhecimento produzido a partir dos vertedouros em degraus. Entre essas estruturas estão as denominadas “descidas d’água em degraus” empregadas em taludes, algumas estruturas da arquitetura decorativa e as escadarias drenantes.

Escadarias drenantes são estruturas hidráulicas empregadas como via de pedestres e como canais de evacuação de água durante períodos chuvosos. Segundo Mangieri (2012), durante os trinta anos desde a concepção da primeira escadaria drenante, em 1979, foram propostos seis diferentes tipos de escadarias e construídas mais de 370 estruturas na cidade de Salvador, Bahia. Tais escadas devem ter a capacidade de desviar o escoamento superficial para o sistema auxiliar de drenagem subsuperficial, permitindo que as pessoas possam utilizar a escada sem a necessidade de competir com o escoamento. Até o ano de 2012, a análise da literatura existente não identificou a realização de estudos em modelos físicos ou a proposição de metodologias para o dimensionamento e análise das escadarias drenantes. O trabalho de Mangieri (2012) foi o primeiro a abordar o tema com o emprego das equações ligadas aos estudos de escoamentos em canais em degraus.

Simões *et al.* (2015), empregaram a dinâmica dos fluidos computacional e simularam escoamentos em um domínio tridimensional de uma escadaria drenante com orifícios no patamar superior, que dão acesso a uma escada sob a escadaria principal. Os autores incluíram também um obstáculo sobre o piso de um dos degraus, com forma semelhante a um pé humano, para o cálculo da força de arrasto. Ao obstruir 5 dos 10 orifícios, os autores constataram um aumento da força de arrasto sobre o obstáculo, evidenciando a necessidade de manutenção de uma adequada drenagem. Esse aspecto integrou os objetivos do trabalho de Simões *et al.* (2015), uma vez que moradores próximos às escadas realizaram intervenções que fecharam total ou parcialmente os orifícios responsáveis pela drenagem. Essa ação dos moradores visou evitar acidentes com crianças que se deslocam na área dos patamares onde ficam as grelhas das bocas de lobo, assim como evitar o acesso à parte superior dos pisos e degraus por parte de roedores que habitam a parte inferior dessas estruturas, conforme demonstrado em Mangieri (2012) por meio de relatos e fotografias.

Oliveira *et al.* (2018), com as equações de conservação de massa, de Navier-Stokes com médias de Reynolds (RANS) sob a forma do modelo não homogêneo e com o modelo de turbulência k- ϵ , simularam o escoamento de água e de um fluido tão denso quanto a areia em um canal em degraus em regime de quedas sucessivas. Como resultados, os autores identificaram a ocorrência de sedimentação do fluido mais denso na parte inicial do piso. Tal constatação, ainda

que pela via numérica, corresponde a mais uma contribuição ao conhecimento sobre escoamento em quedas sucessivas passível de aplicação às escadarias drenantes por demonstrar a possibilidade de acúmulo de lama e possível aumento do risco de quedas quando não há manutenção adequada. Em estudo posterior, Simões *et al.* (2019) simularam escoamentos 2D em canais em degraus de baixa declividade e identificaram a localização do ponto de estagnação sobre cada um dos pisos dos degraus. A ocorrência de um ponto de estagnação sobre o piso divide o escoamento que segue para jusante daquele que permanece recirculando sobre o piso, sendo esse o provável mecanismo de captura dos sedimentos.

Rodrigues *et al.* (2020) estudaram o comportamento do escoamento em uma escadaria drenante executada em alguns bairros de Salvador, Bahia, composta por grelha convencional de boca de lobo no patamar superior que dá acesso a uma caixa que por sua vez encaminha a água para uma tubulação sub superficial. Entre as conclusões do trabalho, foi demonstrada a ocorrência de pressões elevadas no pé da tubulação, razão pela qual podem ter ocorrido rompimentos relatados em Mangieri (2012). Rodrigues *et al.* (2020) demonstraram também que, para a vazão simulada, a grelha foi capaz de capturar apenas 23% da vazão total, indicando baixa eficiência.

Considerando os problemas descritos nos trabalhos citados, Simões *et al.* (2020) desenvolveram uma escadaria com canal central rebaixado em relação aos degraus laterais. Com essa proposta, os autores calcularam escoamentos 3D com as equações de conservação de massa, RANS, modelo não homogêneo e o modelo $k-\epsilon$, tendo sido encontradas soluções para as quais praticamente não há escoamentos nos trechos mais altos, dispensando a drenagem subsuperficial.

Ribeiro *et al.* (2021) realizaram experimentos em um modelo reduzido de escadaria drenante com captação por meio de grelha de boca de lobo no patamar superior e, entre suas análises, incluíram obstáculos sobre os pisos dos degraus com o intuito de calcular as vazões que resultavam na instabilidade dos obstáculos. No mesmo trabalho foi desenvolvido um modelo matemático baseado nas leis físicas básicas para a determinação das condições de instabilidade dos obstáculos que, de forma aproximada, atuaram como representantes de possíveis usuários da escadaria.

Os estudos citados aqui evidenciam a necessidade de aperfeiçoamento dos projetos existentes das escadarias drenantes, com vistas ao atendimento das suas funções básicas e sem gerar novos problemas para os moradores, como no caso do risco de acidente com os pés de crianças nas grelhas e o estímulo ao trânsito de ratos nas proximidades das casas. A baixa eficiência das grelhas de bocas de lobo e a fragilidade do sistema de drenagem subsuperficial devido ao risco de ruptura de tubulações e obstruções por resíduos sólidos são mais uma demonstração da necessidade de elaboração de novos projetos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo propor uma

escadaria drenante com parcelas laterais dos degraus rebaixasadas em relação à parcela central, de tal maneira que a maior parte da vazão total escoe ao longo dos assim formados “canais laterais”, deixando a parcela central das escadas livre para o trânsito de pessoas. Os objetivos específicos são: (1) analisar a energia dissipada em comparação a dados da literatura; (2) analisar a eficiência dos canais laterais e (3) analisar os regimes de escoamento sobre os trechos da escada desenvolvida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Definição da forma da escadaria drenante

A escadaria concebida, ilustrada na Figura 1, é composta por degraus com altura $s = 0,16$ m, comprimento do piso $l = 0,32$ m, largura total de 2,40 m, largura de cada um dos três trechos igual a 0,80 m e 3,2 m de altura entre o patamar superior e o inferior. A largura da escada, assim como sua altura, depende das condições locais de implantação, sendo as presentes dimensões consideradas factíveis em relação às escadarias observadas. Vale mencionar que nos bairros situados em encostas normalmente há pouco espaço para atender as larguras da NBR 9050 (ABNT, 2015) conjuntamente nos trechos rebaixasados e no trecho central, que propõe largura mínima de 1,80 m, razão pela qual foram empregadas larguras menores de 0,80 m por trecho. Como pode ser visto na escada da Figura 1a, não há drenagem subsuperficial e a geometria mostra que o escoamento será desviado para os canais laterais devido à introdução do degrau adicional no patamar superior, que deve ser provido de portão de acesso e placa sinalizadora para evitar acidentes.

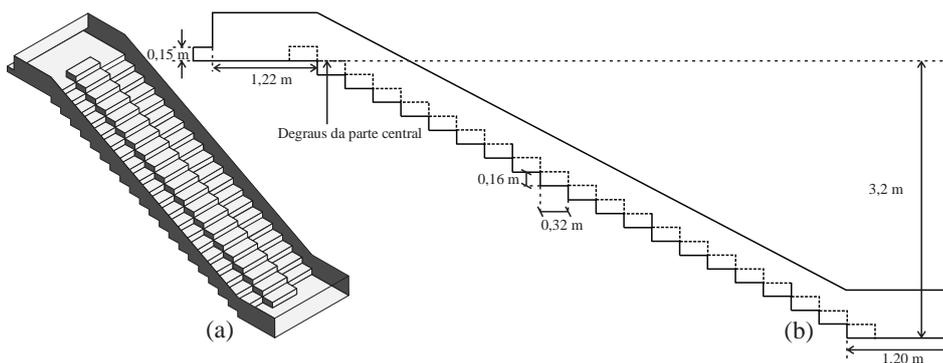


Figura 1 – Escadaria desenvolvida no presente trabalho: (a) vista isométrica; (b) seção longitudinal.

2.2 Modelagem física-matemática do problema

Para elevados números de Reynolds e problemas com grandes dimensões, a realização de simulação numérica (DNS) direta ainda é inviável, por exigir o uso de malhas com elevado número de elementos de tal maneira que sejam capturadas as menores escalas de Kolmogorov, além das limitações relativas à memória, uma vez que a turbulência é variável, exigindo simulações em regime não permanente. Dessa forma, para a solução de problemas típicos da engenharia, torna-se

necessária a modelagem da turbulência. No presente trabalho foi empregada a equação de conservação de massa, as equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds na forma do modelo multifásico não homogêneo e o modelo de turbulência k- ϵ , através do software Ansys CFX[®]. A seguir é apresentada uma breve descrição das equações do modelo não homogêneo, com base em CFX (2021). Destaca-se que as simulações foram realizadas em regime permanente.

A equação 1 corresponde à conservação de massa, para o modelo não homogêneo.

$$\frac{\partial}{\partial t} (r_\alpha \rho_\alpha) + \nabla \cdot (r_\alpha \rho_\alpha \vec{V}_\alpha) = S_{MS\alpha} + \sum_{\beta=1}^{N_p} \Gamma_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

em que, r_α é a fração volumétrica da fase alfa, de tal maneira que o somatório de r_α para todas as fases seja igual a unidade; ρ_α é a massa específica da fase alfa, \vec{V}_α é o campo de velocidades da fase alfa, $S_{MS\alpha}$ é um termo fonte e $\Gamma_{\alpha\beta}$ é a taxa de transferência de massa da fase beta para a fase alfa, por unidade de volume, N_p é o número total de fases.

A equação 2 corresponde à equação de Navier-Stokes, com a forma do modelo não homogêneo.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (r_\alpha \rho_\alpha \vec{V}_\alpha) + \nabla \cdot (r_\alpha \rho_\alpha \vec{V}_\alpha \vec{V}_\alpha) = & -r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot \left(r_\alpha \mu_\alpha \left(\nabla \vec{V}_\alpha + (\nabla \vec{V}_\alpha)^T \right) \right) + \dots \\ & \dots + \sum_{\beta=1}^{N_p} (\Gamma_{\alpha\beta}^+ \vec{V}_\beta - \Gamma_{\beta\alpha}^+ \vec{V}_\alpha) + S_{M\alpha} + M_\alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

em que, p_α é o campo de pressão da fase alfa, que é o mesmo para todas as N_p fases, condição necessária para fechar o sistema de equações; μ_α é a viscosidade da fase alfa; $(\Gamma_{\alpha\beta}^+ \vec{V}_\beta - \Gamma_{\beta\alpha}^+ \vec{V}_\alpha)$ representa a transferência de quantidade de movimento entre as fases induzida pela transferência de massa entre as fases. O termo $S_{M\alpha}$ é um termo fonte para a transferência de quantidade de movimento linear ocasionada por forças de campo, como a força peso. M_α corresponde às forças interfaciais atuando na fase α devido à presença das demais fases.

2.3 Condições de contorno, malhas e métodos numéricos

As condições de contorno incluem a entrada, saída, topo do domínio computacional, fundo e paredes laterais. Para a entrada do domínio, foram fixadas velocidades médias, em uma área retangular com 0,15 m de altura e 2,4 m de largura. A saída foi modelada com derivadas nulas para as grandezas, condição adequada para saídas com escoamentos supercríticos, sob o ponto de vista da parte hiperbólica das equações. O topo foi considerado aberto para o ar e fechado para a água e

as paredes e fundo foram modeladas com leis de parede, com rugosidade absoluta equivalente igual a 1,0 mm, valor representativo para o concreto com acabamento normal (PORTO, 2006).

As vazões escolhidas para a realização das simulações, apresentadas na Tabela 1, correspondem a valores de s/h_c , em que h_c = altura crítica, que resultam na ocorrência do escoamento em quedas sucessivas para as simulações 1 e 2 e no escoamento de transição que existe entre os escoamentos em quedas sucessivas e o deslizante sobre turbilhões, para a simulação 3. As previsões de ocorrência desses regimes foram realizadas com base no gráfico da Figura 2, elaborado com base em equações propostas por diferentes autores e que mostra a existência de regiões no plano $s/l - s/h_c$ para as quais há concordância entre as equações (cores contínuas) e divergência entre as equações ou apenas uma equação (cores pontilhadas).

Tabela 1 – Vazões e grandezas relacionadas utilizadas nas simulações.

Simulação	Q [m³/s]	B [m]	q [m²/s]	h_c [m]	s/h_c	s/l	h_e [m]	V_e [m/s]
1	0,0871	2,4	0,036	0,051	3,1	0,5	0,15	0,242
2	0,1991	2,4	0,083	0,089	1,8	0,5	0,15	0,553
3	0,4168	2,4	0,174	0,145	1,1	0,5	0,15	1,158

Simbologia: Q = vazão; B = largura do canal; q = Q/B ; h_c = altura crítica; s = altura do degrau; l = comprimento do piso do degrau; h_e = altura da entrada do domínio; $V_e = q/h_e$, velocidade média na entrada do domínio.

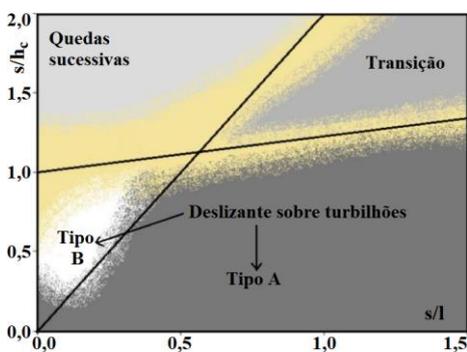


Figura 2 – Regiões para a previsão dos regimes de escoamento em canais escalonados com base em estudos experimentais de diversos autores. Fonte: Simões *et al.* (2011).

Foram adotados esquemas numéricos de volumes finitos, com método de alta resolução para a parte advectiva e para a turbulência. Adotou-se como critério de parada, resíduos menores que 10^{-4} , considerando esse valor como RMS (*root mean square*). Para cada simulação foram adotadas malhas não estruturadas tetraédricas com 3.334.775 de elementos, tendo sido necessárias aproximadamente 24 horas de simulação para cada vazão, em um computador com processador i7-1165G7 e RAM instalada de 16GB. Testes com malhas menos refinadas indicaram a convergência para a malha adotada.

3 RESULTADOS

Soluções numéricas tridimensionais obtidas via CFD podem ser exploradas por diferentes tipos de gráficos. Para o presente trabalho, é de interesse prático saber a posição da superfície livre da água e a localização do escoamento. Desse modo, foram geradas isosuperfícies da fração

volumétrica de ar igual a 0,90, valor normalmente empregado em estudos sobre vertedouros em degraus, como pode ser visto em Chanson (2002), por exemplo. Para o trecho rebaixado, constatou-se a ocorrência do escoamento em quedas sucessivas para a menor vazão simulada. Utilizando uma seção longitudinal situada no centro do trecho rebaixado, foram determinadas as alturas de escoamento nas extremidades finais de cada piso, representadas aqui com h_1 . Com essas alturas e a equação 3, apresentada em Chanson (2002), foram calculadas as perdas de carga adimensionalizadas, $\Delta H/H_{max}$, com o intuito de comparar os resultados com dados experimentais disponíveis na literatura.

$$\frac{\Delta H}{H_{max}} = 1 - \left(h_1 + \frac{h_c^3}{2h_1^2} \right) / \left(z + \frac{3}{2} h_c \right), \quad (3)$$

em que z = eixo positivo para baixo, com origem no patamar superior, $H_{max} = z + 1,5h_c$.

A Figura 3 contém os resultados numéricos obtidos no presente trabalho e dados experimentais para $s/l = 0,42$, de Horner (1969) e $s/l = 0,47$, de Jahromi *et al.* (2008). Embora exista uma diferença entre os valores de s/l e o $s/l = 0,5$ deste trabalho, nota-se uma relativa aproximação entre os pontos numéricos e os dados experimentais, indicando a consistência da solução obtida.

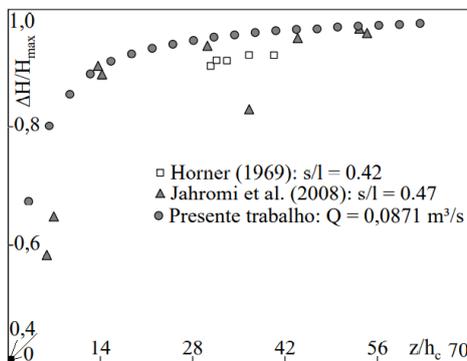


Figura 3 – Resultados numéricos da simulação 1 e dados experimentais de Horner (1969) e Jahromi *et al.* (2008).

A Figura 4a, correspondente à menor vazão, indica que ocorreu o desvio do escoamento para os trechos laterais rebaixados, deixando a parte central do canal praticamente livre.

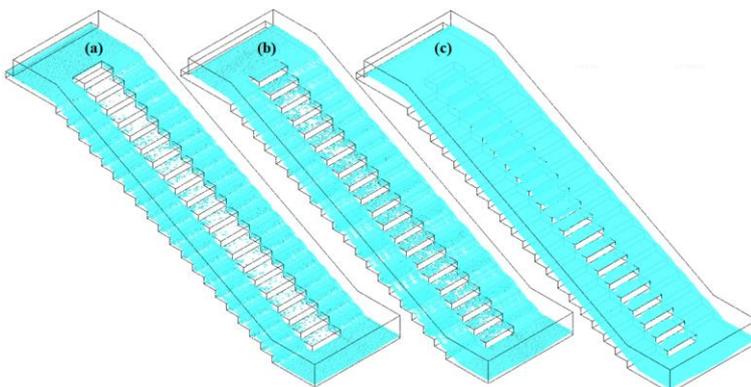


Figura 4 – Resultados das simulações: (a) Simulação 1; (b) Simulação 2; (c) Simulação 3.

A Figura 4b apresenta um padrão semelhante, mas com um volume de água maior sobre os pisos, quando comparado à simulação de menor vazão. Os resultados obtidos para a maior vazão, conforme ilustrado na Figura 4c, mostram que o canal central passa a operar com um volume significativo nos primeiros degraus, havendo um espalhamento lateral subsequente.

O cálculo das vazões para cada trecho com a integração das distribuições de velocidades levou aos resultados indicados na Tabela 2, para superfícies no patamar superior. Para as simulações 1 e 2, os resultados correspondem a aproximadamente 100%, sendo coerentes com as imagens das isosuperfícies das Figuras 4a e 4b. A simulação 3 apresentou eficiência de 93,5%, resultado que concorda com a Figura 4c, embora menos evidente, exigindo a sua quantificação.

Tabela 2 – Resultados para os trechos laterais.

Simulação	Q_{laterais} [m ³ /s]	Ef %	q_{lateral} [m ² /s]	h_{c^*} [m]	s/h_{c^*}
1	0,087	100,0	0,05	0,07	2,38
2	0,199	99,7	0,12	0,12	1,38
3*	0,390	93,5	0,24	0,18	0,88

Simbologia: Q_{laterais} = vazões nos trechos laterais; Ef = eficiência = Q_{laterais}/Q ; q_{lateral} = vazão específica em um trecho lateral; h_{c^*} = altura crítica calculada com q_{lateral} . *Para a simulação 3, Ef varia ao longo do canal em degraus.

Cabe destacar também a ocorrência do padrão de escoamento em quedas sucessivas para a simulação 1, como indicado na Figura 5a, que indica a ocorrência de jatos que sucessivamente impactam com os pisos dos degraus subsequentes e a formação de cavidades de ar sob os jatos. As imagens da Figura 5 consideram um plano longitudinal vertical situado em um dos canais laterais. O valor de s/h_{c^*} da Tabela 2 em conjunto com a Figura 2 demonstra a coerência entre a simulação e o gráfico obtido pela via experimental. O padrão da simulação 2 não é tão regular quanto o da simulação 1, sendo este resultado coerente com a previsão da Figura 2, que indica uma zona de divergência entre as metodologias, certamente pelo caráter indefinido do regime de escoamento. Na Figura 5c, os degraus estão completamente submersos em uma condição semelhante à do escoamento deslizante sobre turbilhões.

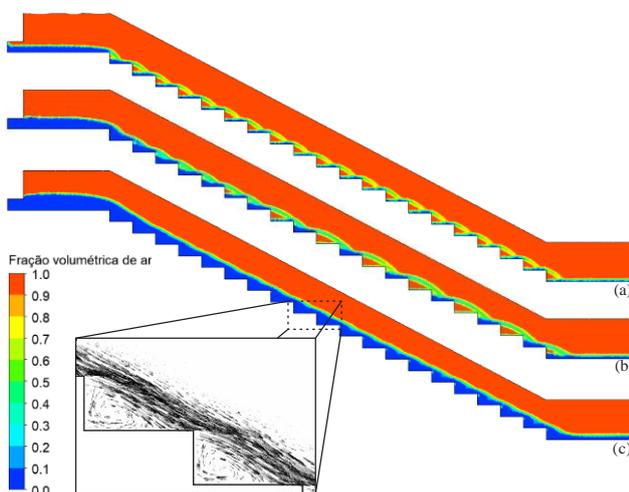


Figura 5 – Resultados das simulações (a) 1, (b) 2 e (c) 3, em vistas laterais.

Esse resultado também concorda com a Figura 2 e é confirmado pela ocorrência dos grandes turbilhões entre degraus, como indicado por meio do campo de velocidades destacado na Figura 5c.

Os resultados da Tabela 2 mostram que a maior parte da vazão escoava pelas partes laterais da escada. A eficiência, E_f , para a simulação 3 cresce ao longo da escada, alcançando 99,8% no 8º degrau, de cima para baixo. O escoamento deslizante sobre turbilhões (maior vazão) decorre de chuvas com maior período de recorrência. Mas mesmo essa condição mostra que o ser humano não estará sujeito à totalidade da força de arraste do escoamento, mas a cerca de 7% da vazão que produz esta força. As vazões menores aqui testadas (precipitações com menor tempo de recorrência) indicam que a parte central da escada estará viável para o uso seguro.

4 CONCLUSÕES

Os resultados tridimensionais obtidos para o canal proposto no presente trabalho indicam que sua concepção levou a um comportamento que tem o potencial de possibilitar o trânsito de pessoas de forma segura ao longo do trecho central da escada. Os resultados numéricos obtidos apresentam aderência a dados experimentais disponíveis na literatura para a energia dissipada adimensional, indicando a coerência da modelagem adotada. A definição de eficiência com base na capacidade do canal em desviar o escoamento para os trechos laterais resultou em eficiências de 100% e 99,7% para as simulações com vazões menores e eficiência de 93,5% para a simulação 3, com vazão maior em relação às demais. Os regimes de escoamento observados através das isosuperfícies com fração volumétrica de ar igual a 0,90 resultaram coerentes com a previsão baseada em metodologias desenvolvidas a partir de dados experimentais, confirmando novamente a adequação da metodologia adotada no presente trabalho. Os resultados sugerem a elaboração de normas técnicas que considerem degraus com partes rebaixadas para os projetos de vias populares seguras nas encostas povoadas de cidades com topografia acidentada.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 2015.

CHANSON, H. (2002). *The hydraulics of stepped chutes and spillways*. The Netherlands: A. A. Balkema Publishers. 384 p.

ESSERY, I.T.S.; HORNER, M.W. (1978). *The hydraulic design of stepped spillways*. 2a ed London: Construction Industry Research and Information Association. 45p. (Ciria Report 33).

HORNER, M.W. (1969). *An analysis of flow on cascades of steps*. Tese (Doutorado) – Universidade de Birmingham, UK.

JAHROMI, H.; BINA, M.; SALMASI, F. (2008). *Physical and numerical modeling of the Nappe flow in the stepped spillways*. Journal of Applied Sciences 8 (9); 1720-1725.

MANGIERI, L. S. G. (2012). *Avaliação dos sistemas de escadarias e rampas drenantes implantadas em assentamentos espontâneos na cidade do Salvador – Bahia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica.

PORTO, R. M. (2006). *Hidráulica básica*. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

OLIVEIRA, V. S. G.; SIMÕES, A.L.A.; QUEIROZ, L. M. (2018). *Transporte de sedimentos em canais com o fundo em degraus: mecanismos e proposição de estruturas desarenadoras*. In: V COBESA, Juazeiro.

RIBEIRO, H. B.; SIMÕES, A.L.A.; LUZ, L. D.; MANGIERI, L. S. G.; SCHULZ, H. E. (2021). *Stability of Solids in Stepped Flume Nappe Flows: Subsidies for Human Stability in Flows*. Journal of Applied Fluid Mechanics, v. 14, p. 681-690.

RODRIGUES, I. M.; SIMÕES, A.L.A.; LUZ, L. D.; QUEIROZ, L. M.; MANGIERI, L. S. G. (2020). *Estudo numérico do desempenho de uma escadaria com drenagem subsuperficial empregando tubulação*. In: XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Porto Alegre. v. 1. p. 1-10.

SIMÕES, A. L. A.; SCHULZ, H. E.; LOBOSCO, R. J.; PORTO, R. M. (2011). *Stepped spillways: theoretical, experimental and numerical studies*. In: SCHULZ, H. E.; SIMÕES, A. L. A. LOBOSCO, R. J. Hydrodynamics – Natural Water Bodies, ISBN 978-953-307-893-9, InTech Open Access Publisher.

SIMÕES, A. L. A.; SCHULZ, H. E.; PORTO, R. M.; LUZ, L. D.; MANGIERI, L. S. G.; MATOS, J. E. R. (2015). *Contribuição numérica para o estudo de escoamentos em quedas sucessivas e aplicações a drenagem*. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 8 p., 2015.

SIMÕES, A. L. A.; FRANÇA, T.I.S.; PEREIRA, L.J.; QUEIROZ, L.M.; SCHULZ, H.E. (2019). *Localização numérica do ponto de estagnação em canal escalonado de baixa declividade*. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu – PR, 9 p., 2019.

SIMÕES, A. L. A.; MENEZES, P.; LIMA, L.; SCHULZ, H. E.; PORTO, R. M. (2020). *Concepção de uma escadaria drenante com canal central rebaixado empregando simulações numéricas*. In: XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. Porto Alegre, 12 p., 2020.

SORENSEN, R.M. (1985). *Stepped spillways hydraulic model investigation*. Journal of Hydraulic Engineering, v.111, n.12, p.1461-1472. Dec..

AGRADECIMENTOS

À CAPES, Brasil, através do código de financiamento 001; à FAPESB, Bahia, Brasil, através do convênio PIE0021/2016; Ao CNPq, Brasil, através da bolsa IC concedida à primeira autora.