

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA DE ONDAS GERADAS EM LAGOS POR IMPACTO DE MATERIAL GRANULAR. Marcello Augusto Betarelli Leite, Geraldo de Freitas Maciel – Inter-Áreas – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Civil – UNESP – Campus de Ilha Solteira.

A geração de ondas de submersão, dependendo da magnitude do impacto, pode ser capaz de causar sérios danos às estruturas interceptadas, com possibilidade de ocasionar perdas humanas, bens materiais e infra-estrutura.

Um exemplo da gravidade que esses fenômenos podem alcançar foi o acidente no Reservatório de Furnas, localizado no Rio Grande, na cidade de Passos-MG, no ano de 1969, relatado por Jorge (1984), citado por Nascimento (2001), em que “um bloco de rocha escorregou para dentro do reservatório. Esse escorregamento provocou a formação de uma onda intensa que chegou a romper quatro cabos de 1/2 polegada, que amarravam duas balsas de 36 toneladas de capacidade, ao quebrar no paramento de montante da barragem”.

Devido à série de consequências causadas por esses fenômenos de impactos em maior ou menor magnitude, torna-se importante quantificar os riscos potenciais que uma onda gerada pode causar. Esse risco está ligado à energia da onda, ou seja, sua altura. A energia que a onda possui dependerá, em muito, da energia da massa deslizante, ou seja, fatores tais como velocidade de queda e massa deslocada.

Numa escala internacional, acidentes dessa natureza e de magnitude mais expressiva são relatados na literatura, tais como os ocorridos em Vaiont (Itália), Baía de Lituya (Alaska), Chungar (Peru), Shimabara (Japão), etc, onde massas rochosas instáveis se deslocaram de encostas íngremes junto a corpos d'água e por impacto gerou ondas de translação devastadoras causando danos. No caso específico de deslizamentos de terra junto a reservatórios, a onda resultante poderá comprometer as estruturas da barragem, e em caso de "overtopping", causar danos a jusante ou ainda em casos extremos o colapso da própria barragem.

Neste trabalho, de caráter experimental, propõe-se investigar os efeitos da queda de material sólido granulado em meio fluido estacionário, utilizando-se recursos de visualização, uma operacionalização da cadeia de medição e a otimização do aparato experimental

A parte experimental do trabalho foi todo realizado no Laboratório de Hidráulica e Hidrometria, da FEIS - UNESP, num canal de ondas de dimensões 0,3×0,5×10m, com uma rampa metálica com 27° de declividade posicionado a montante, com fechamento de acrílico e uma comporta acionada mecanicamente por meio de um solenóide. O canal é mostrado na Figura 01.

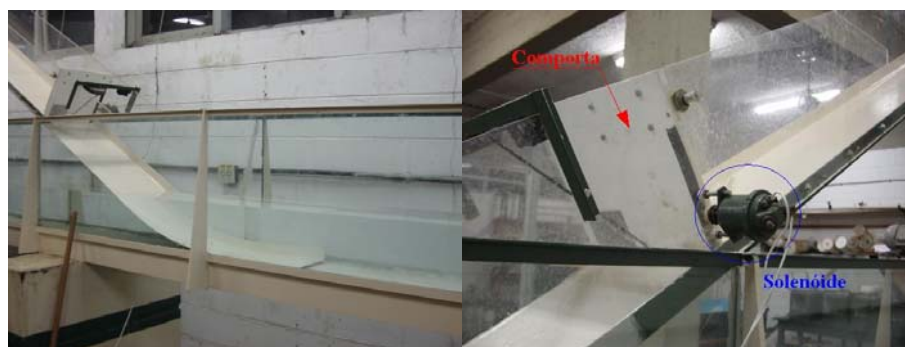


Figura 01 - Detalhes do canal experimental, comporta e solenóide.

Duas sondas capacitivas microcontroladas com 2 fios (Pícolo, 2002, 2003) foram utilizadas para o registro da variação do nível d'água provocada pela intrusão de material sólido no canal. Esses sensores funcionam pela variação da capacitância de um fio de cobre mergulhado na água, quando esta sofre oscilação. As sondas capacitivas utilizadas nestes ensaios possuem ainda um contador digital, o micro-controlador, e dispõem de programa próprio, sendo este desenvolvido na FEIS/Unesp pela equipe de trabalho.

Os materiais utilizados para a geração de onda no canal experimental foram seixos rolados com granulometria estabelecida pelas peneiras de abertura 12,5mm e 19mm com densidade média, igual a 2,67g/ml, para seixo pequeno e 2,61g/ml para seixo grande, padronizadas segundo a ABNT e bolas de gude com diâmetro médio geral igual a 19,88mm e massa específica igual a 2,53g/ml. Os materiais estão mostrados na Figura 02.



Figura 02 – Respectivamente temos o seixo pequeno, seixo grande e gude.

A aquisição da imagem para obtenção de um campo de velocidade da massa deslizando no meio líquido foi feita pela filmadora JVC DV CAMCORDER GY-DV500. As filmagens foram controladas por um monitor (televisor de 14" conectado diretamente à câmera filmadora); desse modo a qualidade da filmagem pôde ser melhor controlada, no que diz respeito à iluminação e ajustamento de foco. Posteriormente essas filmagens foram recuperadas em um computador provido de uma placa de captura (DV 500 plus da Pinnacle®), para serem tratadas e analisadas via software de tratamento de imagens (Adobe Premiere).

Esses filmes oferecem a quantidade de 30 imagens estáticas para cada segundo de movimento. Posteriormente as filmagens dos deslizamentos foram capturadas por um computador e então foram convertidas em imagens estáticas (fotografias). Sendo assim, essas fotografias foram levadas ao software AutoCAD, onde tiveram suas escalas devidamente convertidas, de modo que uma distância medida na fotografia, equivalesse à verdadeira distância do experimento (adotou-se como medida conhecida a altura do canal: 50 cm). Sabendo-se a distância percorrida pela frente do deslizamento e do centro de massa entre certa fotografia e outra, e também que o intervalo de tempo entre uma fotografia e sua subsequente é de 1/30s, pôde-se inferir sobre as velocidades de translação das massas deslizando.

A Figura 03 ilustra um exemplo de como essas imagens foi tratada quadro a quadro. A linha em azul indica a posição da frente de deslizamento e a linha rosa indica o centro de massa.

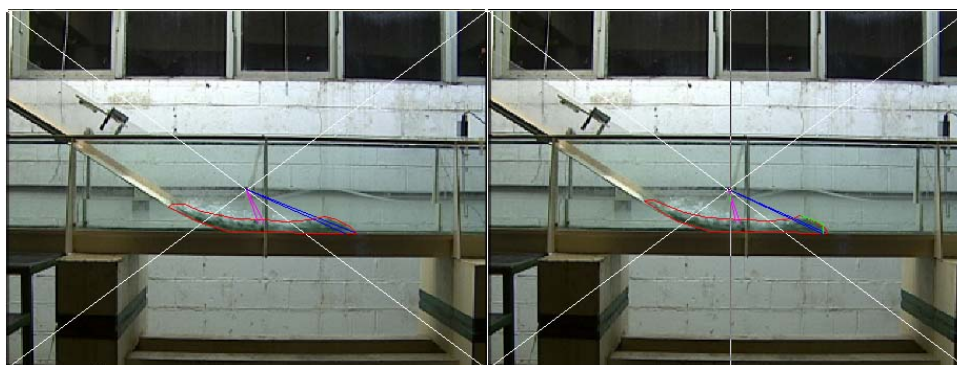


Figura 03 – Tratamento de imagens no AutoCAD.

Com auxílio dos recursos gráficos do Excel, obtiveram-se os diagramas de velocidade x tempo via frente e centróide para cada material.

A geometria da massa deslizando foi feita através da aproximação por uma geometria conhecida. No perfil da frente aproximou-se a geometria da massa deslizando à de um “pseudo-bloco” (Figura 04). O traçado da geometria da frente foi feito para o instante anterior ao impacto do material em meio líquido, e os instantes subsequentes foram escolhidos com base na disposição do material incidente.

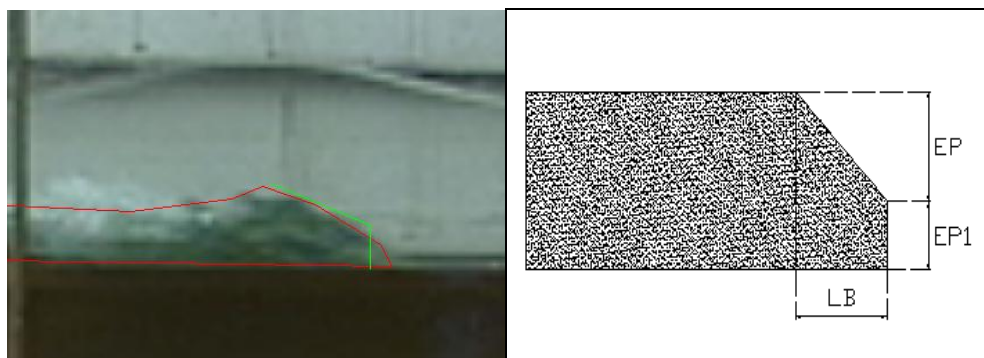


Figura 04 – Geometria do material granular aproximado a um bloco num certo instante ou posição.

De cada ensaio realizado no canal experimental, foram feitas duas repetições, e a partir dessas foram feitos gráficos de velocidade x tempo, para frente de deslizamento e centro de massa, assim como a definição da geometria do material granular. A Figura 05 mostra o gráfico de velocidade de frente deslizante para bolas de gude com lâmina de 15cm.

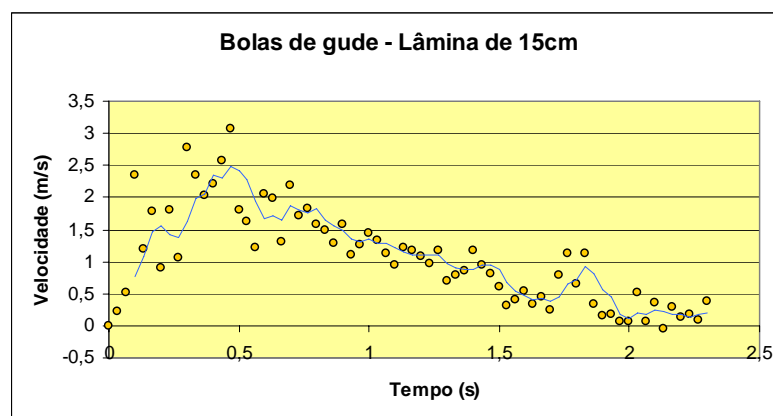


Figura 05 – Velocidade da frente deslizante onde cada ponto representa um quadro da filmagem.

Desenvolveu-se um modelo numérico a partir da modelagem matemática mostrada em V-2, na linguagem Fortran, para uma tentativa de reprodução do perfil da onda gerada nos ensaios experimentais com os materiais granulares.

As ondas geradas nos ensaios experimentais são mostradas a seguir em forma gráfica juntamente com as ondas geradas no ensaio numérico de forma a facilitar a comparação visual deste modelo. A Figura 06 mostra essa comparação para bolas de gude com lâmina de 15cm.

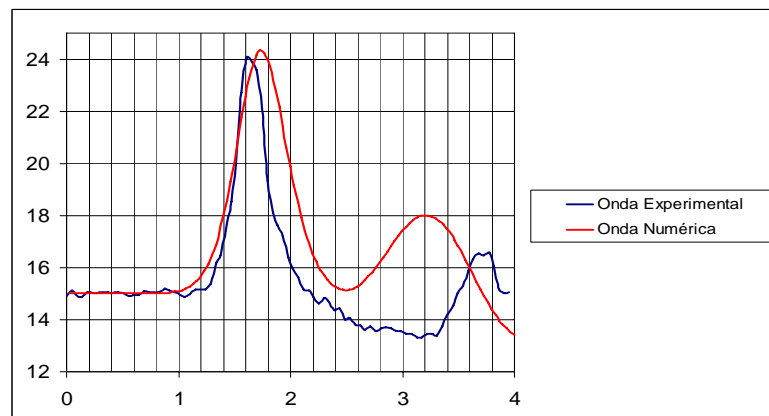


Figura 06 - Ondas geradas experimentalmente e numericamente pelas bolas de gude na lâmina de 15cm.

Foram realizados os cálculos de transferência de energia para os casos em que o perfil de onda gerado foi de onda solitária. Sendo assim, calculou-se a transferência de energia para a geração de ondas com as esferas de vidro. Na Tabela 01 podem-se encontrar resumos dos cálculos realizados com as alturas de lâmina d'água experimental e numérica.

Coeficiente de Transferência de Energia de Boussinesq Experimental	12,95%
Coeficiente de Transferência de Energia de Boussinesq Numérico	13,57%
Coeficiente de Transferência de Energia de Serre Experimental	17,14%
Coeficiente de Transferência de Energia de Serre Numérico	18,08%
Número de Froude	2,12

Tabela 01 - Resumo dos cálculos de transferência de energia realizados para ensaio com esferas de vidro: lâmina d'água de 15 cm.

A partir dos ensaios experimentais realizados com o deslizamento dos materiais em meio líquido, pôde-se observar a geração de dois tipos de onda, solitária (gerada pelas bolas de gude) e senoidal (geradas pelos materiais granulares).

As maiores diferenças apresentadas entre os valores numérico e experimental para determinados deslizamentos podem ter ocorrido devido à dificuldade em obter o real deslocamento e velocidade do material, embora o procedimento utilizado venha a ser o mais adequado até agora empregado.

O modelo numérico proposto para a simulação dessas ondas por impacto de material granular apresenta-se adequado, pois respondeu bem à maior intenção desse trabalho, que era reproduzir os valores da primeira onda gerada (caso considerado como mais crítico, pois na maioria das vezes é a onda de maior altura).

Os cálculos dos coeficientes de transferência de energia para os 3 ensaios com esferas de vidro sugerem que num intervalo de 10 a 20% da energia cinética disponível no momento do impacto foi transformada em energia mecânica de onda. Esses valores encontrados estão em concordância com a literatura utilizada como referência (Nascimento(2001), Huber(1980), Maciel(1991), *et.al.*). Além disso, ressalta-se que ocorre um empilhamento do material granular sobre a rampa quando de sua intrusão na água, com velocidade característica baixa e taxa de transferência de quantidade de movimento lenta se comparada à de um material indeformável, por exemplo. O escorregamento desse material apresenta um aspecto colisional e friccional entre suas partículas, fazendo com que grande parte de sua energia seja dissipada internamente.

Referências Bibliográficas

HUBER, A., *Schwallwllen in Seen als Folge von Felsstürzen (Surges in lakes as a consequence of rockfalls)*, *Mitteilungen der Versuchsanstalt für wasserbau, Hydrologi und Glaziologie*, n.º 47, p.156-163, 1980.

MACIEL, G.F., NAAIM, M., VILA, J.P., et al., Physical and numerical analysis of a landslide in a reservoir - Congresso de Grandes Barragens (1991) - Viena – Áustria, 1991.

MACIEL, G. F., NASCIMENTO, M. F., Validação do modelo de Serre para descrever ondas de submersão geradas pelo impacto de corpos sólidos em massas líquidas, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 7, Nº 3, 2001.

MACIEL, G. F.; PICCOLO, R. A.. Sondas capacitivas microcontroladas para medição de amplitudes de onda em canais de laboratório. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Desafios à gestão da água no limiar do século XXI, 2003.

NASCIMENTO, M. F., “Aproximação das equações da “classe Boussinesq” no processo de geração de onda na interface sólido-líquido: uma abordagem numérico-experimental com compromisso de engenharia.”, Tese de M.Sc., Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP, 2001, 110p.

Bolsa: CNPq