

HYDRODYNAMIC INVESTIGATION TO IDENTIFY AN OPTIMAL CONFIGURATION OF CYLINDRICAL POROUS STRUCTURES APPLIED TO SHELLFISH CULTURE SUBJECT TO TRANSVERSE FLOW

Nardin. V¹, Valentim. L.M.L¹, Alvarenga. J.A.M¹, Kubelka. B.G², Casas W.³, Pinto. W.T¹.

¹Laboratório de Interação Fluido Estrutura – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

²Estação Marinha de Aquicultura – Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

³Grupo de Mecânica Aplicada – Departamento de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

vnardin94@gmail.com; lml.valentim@hotmail.com; jesusalencar@furg.br ; kubelkabruno@gmail.com; walter.paucar.casas@ufrgs.br; waldir.pinto@gmail.com.

Introdução

A geometria complexa e irregular das estruturas de cultivo de mexilhões é um desafio em estudos de engenharia de aquicultura e oceânica. Estudos anteriores indicam que as meias de cultivo de mexilhões se assemelham à cilindros com alta rugosidade e perfurados (Plew et al., 2009; Buck et al.). Diante do grande desafio no projeto de fazendas de cultivo em alto mar, surge a motivação para o presente trabalho, que busca esclarecer melhor os fenômenos físicos envolvidos na incidência de correntes sobre essas estruturas através de experimentos laboratoriais baseadas no movimento relativo entre a água e dois cilindros distintos, um com as paredes lisas, e outro com perfurações de 8,5 mm de diâmetro.

Metodologia

Para a realização dos ensaios de laboratório foram utilizados três cilindros de PVC de 40 mm de diâmetro com o mesmo comprimento (40 cm submerso na coluna de água). O primeiro com uma área frontal sem furos e os outros dois com perfurações com furos de 8,5 mm e 10 mm, distribuídos uniformemente pela sua superfície. Estas perfurações reuultaram em um parâmetro de permeabilidade (β) de 14% e 20 % (Osgood, 2000), respectivamente. Nota-se que a β para o cilindro sem furos é igual a 0%.

Os três cilindros foram deslocados em um tanque com uma plataforma reboque por uma distância de dez metros (Figura 1). O experimento foi realizado no tanque experimental do Laboratório de Interação Fluido Estrutura (LIFE) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil. Isso foi feito através da movimentação dos cilindros ao longo do tanque de água na velocidade $0,3 \text{ m s}^{-1}$. O cilindro foi posicionado de forma que sua parte inferior estivesse submersa na água, enquanto que a parte superior permanecesse presa à célula de carga, conforme a Figura 1.

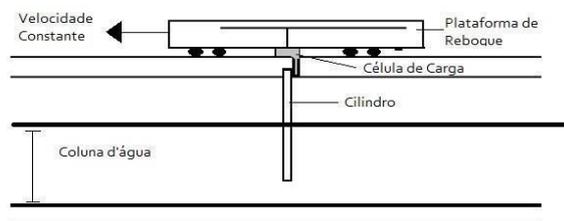


Figura 1.- Esquema do arranjo experimental utilizado no tanque de ensaios com plataforma reboque do LIFE da FURG.

Duas células de carga foram instaladas entre a plataforma e os cilindros de maneira que uma fizesse a aquisição da força de arrasto e outra da força de sustentação, paralela à direção da velocidade do cilindro, e perpendicular, respectivamente. Os dados foram

aquisitados através do software LABVIEW em uma frequência de amostragem de 100 amostras por segundo. Em seguida, o MATLAB foi utilizado para analisar os dados no domínio do tempo e da frequência. Para evitar ruídos de amostragem um filtro “passa-baixa” foi aplicado aos sinais aquisitados, anteriormente as análises.

Uma estrutura cilíndrica sujeita a um escoamento uniforme transversal tem seu padrão de fluxo descrito adimensionalmente por esta relação entre influências inerciais e viscosas, conhecido como número de Reynolds (Re – descrito na Equação [1]).

$$Re = \frac{U D}{\nu} \quad [1]$$

Onde U é a velocidade média do escoamento, D é o diâmetro do cilindro e ν é a viscosidade cinemática do fluido.

A força de arrasto neste regime de escoamento resultante do deslocamento do cilindro na coluna pode ser adimensionalizada pelas características da estrutura e do fluido adjacente (Equação [2]).

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho D U^2} \quad [2]$$

Onde ρ é a massa específica do fluido e F_D é a força de arrasto medida experimentalmente.

Resultados

O Re calculado, pela Equação [1] para duas velocidades ajustadas para os experimentos, $0,3 \text{ m s}^{-1}$, foram $1,35e^4$, respectivamente. Ambos os casos, segundo Lienhard (1966), apresentam a esteira completamente turbulenta com pontos de separação laminares, a montante dos pontos de separação o escoamento é laminar e a jusante a camada limite é turbulenta.

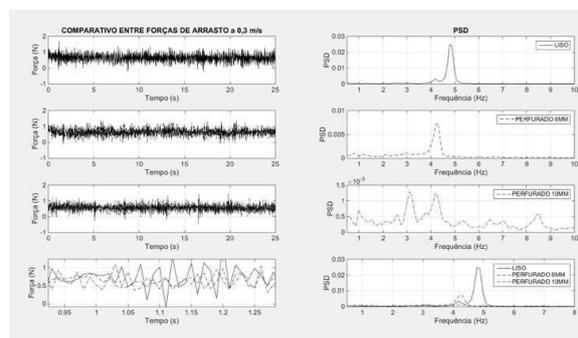


Figura 2.- Gráficos para comparação das três permeabilidades dos

cilindros. A esquerda as análises no domínio do tempo e a direita as no domínio da frequência da força de arrasto para $Re = 1,35e^4$.

Na Figura 2, a força de arrasto máxima foi de 1,71 N para o cilindro sem perfuração ($\beta=0\%$), 1,63 N para o cilindro com perfuração de 8,5 mm de diâmetro ($\beta=14\%$) e 1,48 N para o cilindro com perfuração de 10 mm ($\beta=20\%$). Estas forças resultaram nos coeficientes de arrasto (C_D) apresentados na Tabela 1. O coeficiente de arrasto para o cilindro sem perfuração (liso - $\beta=0\%$) observado está dentro da faixa observada em outros estudos (Tringbo, 2013; Plew, 2005) neste regime de escoamento ($Re = 1,35e^4$).

Pela Tabela 1 e Figura 2, fica evidente a atenuação do arrasto exercido sobre o cilindro rebocado pela coluna de água a um número de Reynolds de $1,35e^4$, na medida que a área perfurada do cilindro (parâmetro de permeabilidade) aumenta. Outros estudos comentam sobre a diminuição do coeficiente de arrasto com o aumento da permeabilidade do cilindro (Alridge et al., 1978; Plew et al., 2009; Kubelka, 2014). A análise no domínio da frequência da força de arrasto apoia os resultados no domínio do tempo na Figura 2 fica evidente a diminuição da energia do pico do espectro de frequência observado no gráfico mais em baixo a direita (Figura 2). A linha contínua mostra a maior intensidade da força de arrasto no cilindro sem perfurações (liso - $\beta=0\%$) se comparado as linhas tracejadas (cilindros permeáveis). Pela Tabela 1 foi possível observar também uma diminuição na frequência em que ocorre o pico de energia nos espectros de energia com cilindro perfurados. Kubelka (2014) observou comportamento semelhantes da força de arrasto no domínio da frequência.

Tabela 1.- Resultados no domínio do tempo e da frequência dos ensaios realizados com cilindros com diferentes parâmetros de permeabilidades (β). Re corresponde ao número de Reynolds, C_D representa o coeficientes de arrasto. E_D e E_L correspondem a frequência de maior intensidade de energia para as forças de arrasto e sustentação, respectivamente.

β [%]	Re	C_D	E_D [Hz]	E_L [Hz]
0	$1,35e^4$	0,95	4,883	1,367
14	$1,35e^4$	0,91	4,297	1,367
20	$1,35e^4$	0,82	4,102	1,367

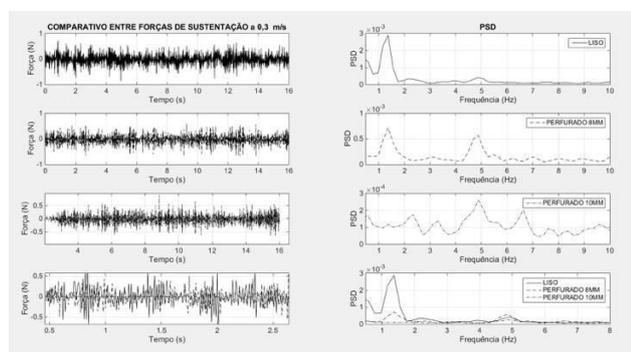


Figura 3.- Gráficos para comparação das três permeabilidades dos cilindros. A esquerda as análises no domínio do tempo e a direita as no domínio da frequência da força de sustentação para $Re = 1,35e^4$.

Na figura 3, a força de sustentação máxima foi de 0,64 N para o cilindro sem perfuração ($\beta=0\%$), 0,54 N para o cilindro com perfuração de 8,5 mm de diâmetro ($\beta=14\%$) e 0,48 N para o cilindro com perfuração de 10 mm ($\beta=20\%$).

Pela Figura 3, fica evidente a atenuação da sustentação exercida sobre o cilindro rebocado pela coluna de água a um número de Reynolds de $1,35e^4$, na medida que a área perfurada do cilindro (parâmetro de permeabilidade) aumenta. Pouco foi estudado do comportamento do força de sustentação em cilindros perfurado, pois no âmbito de estruturas de cultivo a força de arrasto é a principal força levada em consideração na fadiga de estruturas de cultivo (Plew, 2005). No entanto, Kubelka (2014) já havia observado atenuações significativas, tanto no domínio do tempo como da frequência, da força de sustentação.

Nos espectros de energia observado na Figura 3, para a força de sustentação, não se observou uma alteração na frequência em que se concentra mais energia. Este resultado fica bem claro pelos dados apresentados na Tabela 1.

Conclusão

A perfuração de cilindros sujeitos a um escoamento transversal permite a passagem de um escoamento interno as paredes dos cilindros. Isto resulta em uma alteração no campo de pressão, portanto nas intensidades e frequências de oscilação das forças hidrodinâmicas exercidas sobre a estrutura. Os resultados aqui apresentados são experimentos preliminares de um estudo do comportamento de estruturas de cultivo de mar aberto que obteve resultados satisfatório se comparados a literatura. Fato que permite a validação de modelos numéricos a partir de comparações no domínio do tempo e da frequência.

Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos experimentalmente serão utilizados em validações de modelos numéricos. Uma vez realizadas as validações será possível realizar simulações com a ferramenta de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD – “Computational Fluid Dynamics”) para geometrias mais complexas que se sejeama ainda mais semelhantes as estruturas de cultivo reais. Além disso, o Laboratório de Interação Fluido Estrutura possui outros equipamentos de análise hidrodinâmica e estrutural que pretendem ser inseridos nos ensaios, i.g. cameras de laser PIV (“Particle Image Velocimeter”) e acelerômetros.

Referencias Bibliográficas

- Alridge, T. R., Piper, B. S., Hunt, J. C. R. (1978). “The drag coefficient of finite aspect-ratio of perforated cylinder”. Journal of Industrial Aerodynamics 3, p. 251-257.
- Kubelka, Bruno G. (2014). “Hidrodinâmica de cilindros perfurados sujeitos a um escoamento uniforme transversal”. Rio Grande, Brasil.
- Lienhard, John L. (1966). “Synopsis of lift, drag, and vortex frequency data for rigid circular cylinders”. Washington. 32 p.
- Osgood, David B. (2000). “Oscillating flow about perforated cylinder. Monterrey. Dissertação de Mestrado. 19 p.
- Plew David R., Enright, Mathew P., Nokes, Roger I. Dumas, Jennifer K. (2009). “Effect of bio-pimping on the drag and flow around a mussel crop rope”. Journal Aquacultural Engineering 40, p. 55-61.
- Plew David R. (2005). “Hydrodynamics Effects of Long-line Mussel Farms”. Nova Zelândia. Tese Doutorado. 330 p.