

ESTUDO EXPERIMENTAL DA ATENUAÇÃO DO FENOMENO DE VIV

Daniel Felicio de Medeiros

dfmedeiros@hotmail.com

Prof. Dr. Julio R. Meneghini

jmeneg@usp.br

Resumo. A análise de vida útil de “risers” depende fortemente do fenômeno de Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV). Para o critério de projeto que impõe uma vida útil superior a 200 anos, o fenômeno de VIV deve ser evitado, o que implica na adoção de sistemas de supressão ou ao menos atenuação de VIV.

Algumas soluções atualmente aplicadas para minimizar essas VIV são extremamente onerosas, chegando à cifra de 4 milhões de dólares por riser instalado e podendo alcançar 80 milhões de dólares por sistema de produção! Assim, analisar a natureza dos fenômenos, estudar sua influência sobre conjuntos de estruturas e propor novas soluções viáveis que reduzam os efeitos danosos e aumente a durabilidade dos dutos são fundamentais.

O presente estudo buscará avaliar experimentalmente um dos métodos de atenuação do fenômeno de VIV mais utilizados e que apresenta interesse prático de aplicação pela Petrobras: os “strakes”. A síntese do projeto é a obtenção dos parâmetros ótimos de strakes e uma melhor compreensão do fenômeno a qual proporcionará as condições para o desenvolvimento de novos mecanismos de atenuação de VIV.

Neste projeto pretende-se investigar o fenômeno segundo duas abordagens distintas, mas complementares: obtenção da curva de resposta $A/D \times V_r$, para cilindros com strakes montados em base elástica e obtenção dos campos de vorticidade utilizando sistema PIV.

Para a realização dos ensaios o projeto contemplou o desenvolvimento de uma base elástica com mancais a ar, com baixos parâmetros de massa e amortecimento, para permitir a simulação dos fenômenos reais, envolvendo Vibrações Induzidas por Vórtices, através da utilização de modelos em escala montados no canal de águas circulantes do NDF. Os ensaios mostraram que todos os modelos com strake ensaiados apresentaram redução da amplitude de oscilação. O caso que apresentou a menor resposta foi aquele com passo $p=10D$ e $h=0.2D$. O strake com pequena altura ($h=0.1D$), apresentou uma amplitude de oscilação da ordem de 50% da amplitude do cilindro liso, muito superior a amplitude de oscilação do strake com altura maior ($h=0.2D$) que foi de aproximadamente 10% da amplitude do cilindro liso. Conclui-se a princípio que o parâmetro de maior relevância no projeto dos strakes é a altura do strake e não o passo.

Palavras chave: atenuadores, supressores, strakes, VIV, base elástica.

1. Introdução

Estruturas não afiladas submetidas a um escoamento são caracterizadas por grandes regiões de instabilidade e de separação da camada limite, proporcionando a formação de vórtices. Um cilindro circular é o exemplo clássico do que conveciona-se chamar “corpo rombudo”, neste tipo de estrutura, ocorre formação de vórtices para valores de Reynolds próximos a 50.

A formação de vórtices pode modificar sensivelmente a dinâmica da estrutura, provocando flutuações no campo de pressões e conseqüentemente alterações nas forças de sustentação e arrasto. Se o cilindro estiver livre para oscilar esta flutuação gera o fenômeno conhecido como Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV).

Estruturas como os “risers” submetidas a VIV podem apresentar estresse dinâmico e oscilações de grande amplitude, isso porque um corpo submetido a VIV está sujeito a um efeito não linear, chamado “lock-in” no qual a oscilação da estrutura e a formação de vórtices possuem a mesma frequência. Existe uma faixa de velocidades na qual a geração de vórtices se sincroniza com a oscilação do corpo, aumentando a amplitude de oscilação.

Nessas condições, pode haver uma redução substancial da vida útil de um “riser” devido à fadiga, além do perigo de impacto entre “risers” adjacentes. As conseqüências de uma falha decorrente de um dos problemas citados podem envolver desde a diminuição da produção de óleo até mesmo o ocasionamento de um gravíssimo desastre ecológico, com perdas de bilhões de dólares e reparos irreversíveis ao meio ambiente.

Desta forma, a análise de vida útil de “risers” depende fortemente do fenômeno de Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV). Os valores calculados de vida-útil, associados aos movimentos de primeira e segunda ordem e ao fenômeno de VIV, devem ser devidamente ponderados com as probabilidades de ocorrência associadas às duas direções.

Para o critério de projeto que impõe uma vida útil superior a 200 anos, o fenômeno de VIV deve ser evitado. Isto implica na adoção de sistemas de supressão ou ao menos atenuação de VIV.

No final da década de 80 e início da década de 90, uma série de trabalhos em estabilidade hidrodinâmica mostrou que é impossível suprimir totalmente o desprendimento de vórtices no escoamento ao redor de corpos rombudos acima de um valor do número de Reynolds próximo a 80.

No entanto uma série de mecanismos de atenuação do fenômeno de VIV foi desenvolvida com sucesso nos últimos anos e sua atuação tem se mostrado bastante eficaz. Estes mecanismos em geral envolvem a alteração geométrica do corpo, introduzindo uma tridimensionalidade no escoamento.

O princípio de operação dos “strakes” baseia-se no fato que na presença destes a correlação das forças fluidodinâmicas ao longo da envergadura do cilindro é quebrada. A tridimensionalidade introduzida no escoamento interfere com a periodicidade da formação e desprendimento dos vórtices na esteira fazendo com que a intensidade destes seja menor quando comparada àquela de vórtices predominantemente bidimensionais.

Devido ao baixo custo e facilidade de fabricação, os “strakes” são os mecanismos de atenuação de VIV que apresentam a melhor relação custo/benefício. Apesar da eficiência destes não ser tão elevada quanto àquela encontrada em outros atenuadores, o baixo custo para fabricação compensaria este fator. O principal inconveniente destes mecanismos reside no fato de haver um aumento substancial do coeficiente de arrasto.

2. Objetivos

O presente projeto de pesquisa visa investigar vibrações induzidas por geração e desprendimento de vórtices (VIV) e analisar o comportamento dinâmico de um cilindro com strakes. O objetivo deste estudo é, essencialmente, responder à questão de eficiência do strake e compreender os mecanismos hidrodinâmicos responsáveis pela atenuação de VIV causada por esse tipo de supressor.

Em um modelo com strakes torna-se possível a complexa análise dos efeitos da presença deste tipo de atenuador no fenômeno de VIV. Será realizado um estudo para identificar a adequação de strakes como aparato atenuador de VIV, determinar as amplitudes das oscilações e verificar a existência de fenômenos de sincronismo entre as excitações do meio fluido e as oscilações da estrutura. Com o sistema de medição do campo de velocidade Laser-PIV (Particle Image Velocimeter) será possível reconhecer os padrões de emissão de vórtices nas esteiras dos corpos rombudos e mapear o campo de velocidade na esteira próxima aos cilindros.

Pretende-se obter as curvas de resposta A/D versus V_r , para cilindros com strakes com valores de passo p no intervalo $5D < p < 15D$ e alturas h no intervalo $0.1D < h < 0.2D$.

Neste projeto pretende-se investigar o fenômeno segundo duas abordagens distintas, mas complementares: obtenção da curva de resposta e obtenção dos campos de vorticidade utilizando sistema PIV-Laser.

A síntese do projeto é a obtenção dos parâmetros ótimos de strakes e uma melhor compreensão do fenômeno a qual proporcionará as condições para o desenvolvimento de novos mecanismos de atenuação de VIV.

3. Projeto Base Elástica Mancais a Ar

O presente estudo prevê o desenvolvimento de um aparato experimental para o estudo de respostas associadas com vibrações induzidas por vórtices em cilindros rígidos.

Os critérios definidos por Khalak e Williansom [2] para o desenvolvimento de uma base elástica satisfatória são:

- Extrema linearidade do sistema;
- Baixo parâmetro de massa (m^*);
- Baixo parâmetro de amortecimento (ζ);
- Medição instantânea e direta de posição;
- Controle das condições de contorno.

A estratégia de projeto será traçada a partir da otimização desses critérios, considerando-se ainda os parâmetros físicos do canal e parâmetros dos ensaios experimentais.

A solução escolhida para obtenção de uma base elástica que possuisse as características apontadas acima é análoga à desenvolvida pela doutoranda Masã Brankovic [9] em 2004 no Imperial College, para a realização de seus ensaios experimentais a cerca da atenuação do fenômeno de VIV em cilindros com baixo amortecimento e massa.

A Figura 1 mostra a vista lateral da base elástica unidimensional. A base consiste em um engaste que suporta o cilindro verticalmente em meio ao fluido. Duas molas foram utilizadas de modo que a frequência de oscilação do sistema massa-mola seja próxima a frequência de liberação de vórtices do

sistema imerso. Neste caso o cilindro está livre para oscilar no sentido transversal do canal, ou seja, perpendicularmente ao sentido do escoamento.

O engaste possui ainda dois eixos de acrílico que são acoplados a quatro mancais aerostáticos que fornecem baixo amortecimento estrutural. Dessa forma, é formado um filme de ar por onde o eixo desliza sem contato direto com os mancais. O engaste é formado por uma placa de baixo peso, onde são fixados os dois eixos dos mancais e o cilindro de teste, o que fornece um sistema rígido e bastante leve.

A massa baixa é obtida utilizando-se materiais de baixa densidade em todas as etapas de construção da base, além de um projeto simplificado de todos os dispositivos e alívios de peso no engaste.

O cilindro de testes estende-se até o piso do tanque com um espaço de menos de 10 mm entre a extremidade inferior do cilindro e o assoalho e também deve ser construído em material de baixa densidade e vedado na parte inferior de modo que não seja possível a entrada de água em seu interior, o que acabaria aumentando a massa do sistema oscilante.

As duas molas possuem, cada uma delas, uma extremidade fixa em uma pequena placa de alumínio retangular que por sua vez é fixa em um par de mancais e a outra extremidade fixa no engaste. Todo o sistema está fixo ao canal por meio de uma placa rígida com uma abertura central que possibilita a oscilação do cilindro de testes. Qualquer tipo de flexão desta base de apoio deve ser evitado para que o deslizamento dos eixos nos mancais não seja afetado.

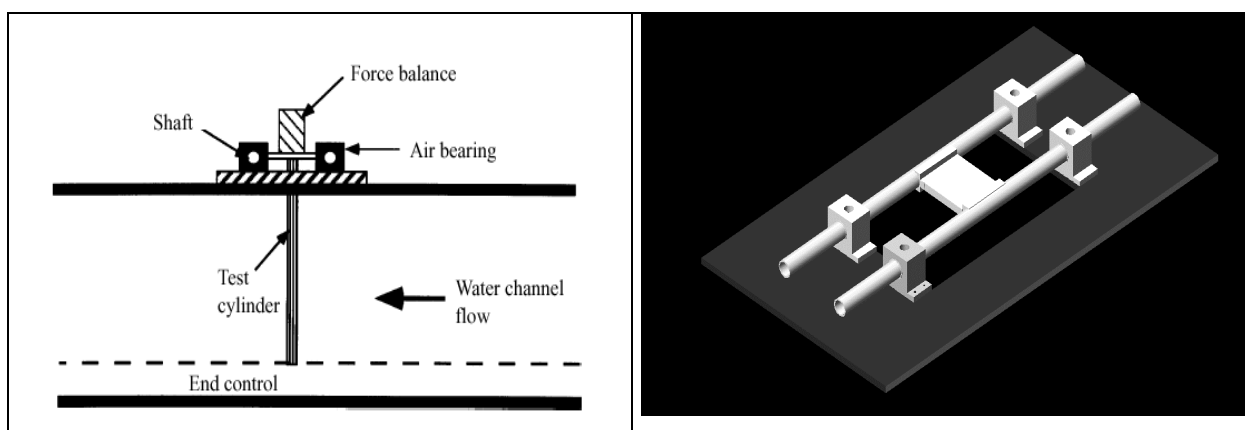


Figura 1 – Esquema da base elástica com mancais a ar.

Cuidado especial foi tomado na usinagem do aparato, uma vez que as reduzidas folgas entre eixos e mancais requeriam um elevado índice de alinhamento e acabamento. Dessa forma, toda a usinagem foi realizada com grande precisão, os eixos foram retificados e as tolerâncias foram reduzidas.

Algumas fotos da base elástica com mancais a ar durante a instalação da mesma no canal de águas circulantes do NDF podem ser vistas na Figura 2 abaixo:

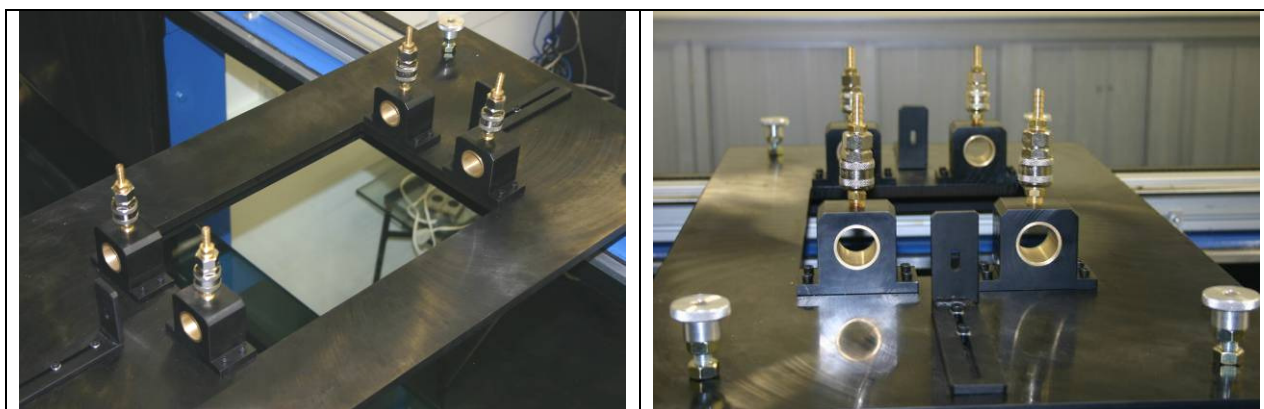


Figura 2 – Fotos da base elástica com mancais a ar sendo instalada no canal de águas circulante do NDF. (ainda sem guias, engaste e molas).

4. Base Elástica com Lâminas Fletoras

Na primeira etapa do presente projeto não foi possível a utilização da base elástica com mancais a ar, por isso os ensaios foram realizados utilizando-se uma base elástica de laminas fletoras. O aparato foi projetado e construído por Assi [10] e será apresentado a seguir:

A primeira base construída, chamada de Base Fletora, foi baseada no modelo simples de uma plataforma sustentada por um conjunto de lâminas esbeltas livres para fletir em uma direção. Fugarra [11], em seus experimentos de VIV com um cilindro rígido, empregou com sucesso uma base elástica similar com dois graus de liberdade.

A base é composta por duas plataformas usinadas em alumínio. A plataforma superior é engastada na estrutura do canal, enquanto a plataforma inferior está livre para oscilar na direção de menor rigidez das lâminas. As duas plataformas são ligadas apenas pelo conjunto de lâminas, de modo que não há escorregamento ou rotação entre quaisquer componentes, apenas flexão das lâminas de aço-mola. Esta característica confere à base fletora um baixo parâmetro de amortecimento, já que um único conjunto de lâminas é responsável pelo suporte do modelo e força de restauração elástica do oscilador. Nesta base não há mancais de escorregamento nem molas extras para ajustar o coeficiente de restauração elástica. Conseqüentemente, esta base fletora também apresenta uma reduzida massa, visto que os elementos que oscilam com o cilindro são apenas as leves lâminas de aço e a plataforma oscilante inferior.

A medição do deslocamento transversal do cilindro foi obtida de maneira indireta pela flexão das laminas. Nas faces internas do par de lâminas foram instalados quatro extensômetros nos pontos de máxima tensão. Os quatro extensômetros foram conectados formando uma ponte de Wheatstone completa, de modo que o sinal de saída da ponte tem relação linear com o sinal de entrada proporcional à deflexão das lâminas. Resumindo, a base elástica não é apenas o sistema oscilador, mas o próprio transdutor do sinal de deslocamento.

O maior problema do equipamento descrito é que não é possível a obtenção de grandes faixas de velocidade devido à flambagem das laminas decorrente da força de arrasto. O problema da flambagem poderia ser resolvido ajustando-se as dimensões das lâminas, mas a nova frequência natural não seria compatível com a faixa de velocidades dos canais. Assim, uma terceira lâmina idêntica foi instalada enrijecendo o sistema na direção longitudinal e evitando a flambagem do conjunto, mantendo a frequência natural na mesma ordem de grandeza da anterior.

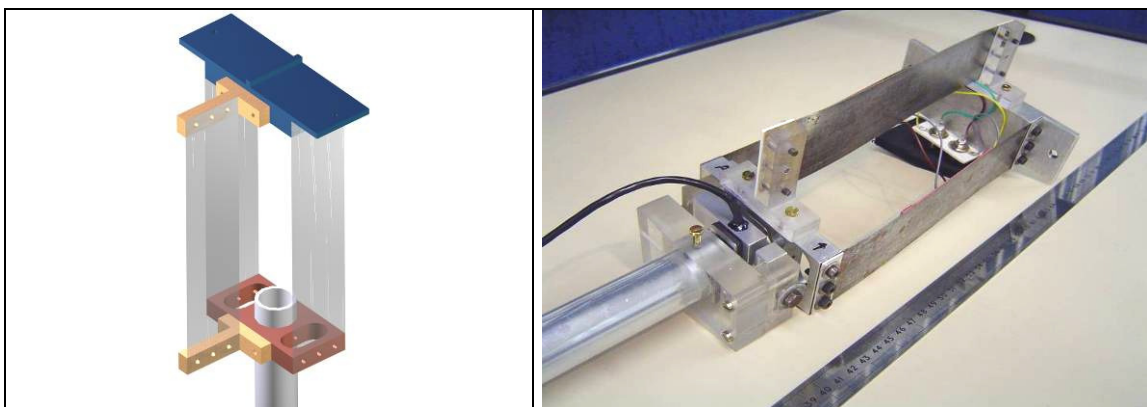


Figura 3 - Base fletora tripla para um cilindro isolado.

Mais detalhes sobre o equipamento descrito, bem como todos os cálculos de dimensionamento podem ser encontrados em Assi [10].

5. Construção dos Modelos com Strakes

Os modelos com strakes a serem ensaiados foram construídos em acrílico com 32 mm de diâmetro externo e 26 mm de diâmetro interno. A opção pelo acrílico deve-se a baixa densidade de tal material, fator de grande importância para a boa condução dos experimentos, bem como da facilidade de fixação dos strakes em tal material utilizando-se super bonder.

Os strakes foram construídos em borracha rígida com 2 mm de espessura, 0,06 D. A borracha foi considerada a melhor opção por ser facilmente moldável a geometria do strake e ser de fácil fixação.

Todos os modelos foram confeccionados com três strakes igualmente espaçados. As diversas configurações de strakes foram obtidas variando os parâmetros de passo e altura do strake. As seguintes configurações de modelos com strakes foram ensaiadas:

Tabela 1. Descrição dos casos ensaios de cilindros com strakes.

Descrição	Passo do <i>Strake</i>	Altura do <i>Strake</i>	Massa dos Modelos
5D01D	5D	0.1D	318,8 g
5D02D	5D	0.2D	375,4 g
10D01D	10D	0.1D	352,5 g
10D02D	10D	0.2D	372,0 g
15D01D	15D	0.1D	344,8 g
15D02D	15D	0.2D	353,6 g
Liso	-	-	318,8 g

Após a realização da primeira etapa do projeto onde foram obtidas as primeiras conclusões sobre o fenômeno, surgiu a idéia da construção de modelos com passo infinito, ou seja, modelos cujos strakes estão em apenas uma direção, paralelos ao comprimento do cilindro.

Tabela 2. Descrição dos casos ensaios de cilindros com strakes.

Descrição	Passo do <i>Strake</i>	Altura do <i>Strake</i>	Massa dos Modelos
Inf01D	∞	0.1D	345,6 g
Inf02D	∞	0.2D	369,3 g

A figura 4 a seguir ilustra um dos modelos construídos:

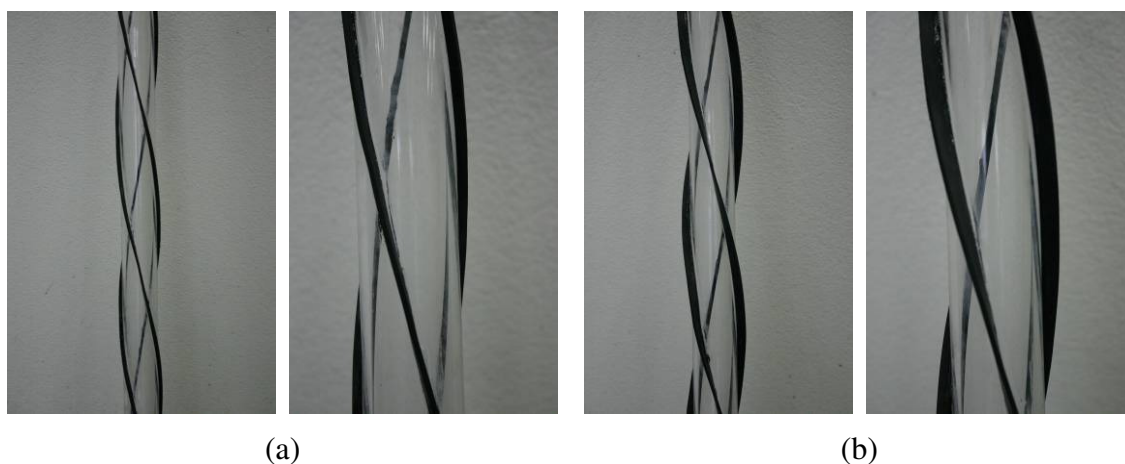


Figura 4 – (a) Modelo com strake 015D01D. (b) Modelo com strake 015D02D.

6. Metodologia

Os ensaios foram divididos em duas etapas: Ensaios com base elástica de laminas fletoras e ensaios com a base elástica com mancais a ar. Em ambos os casos foram realizados ensaios de decaimento em água para levantamento dos parâmetros de cada ensaio (frequência, amortecimento e m^*). Com a montagem do strake no cilindro, o valor de m^* teve uma pequena variação quando comparado com o valor deste parâmetro para o cilindro liso. No entanto, a diferença observada foi sempre inferior a 15%.

A tabela 3 descreve a comparação entre os parâmetros obtidos para a primeira e para a segunda série de ensaios. Percebe-se que para os ensaios utilizando-se a base elástica com mancais a ar o

amortecimento foi sempre inferior aos ensaios utilizando-se a base elástica fletora, no entanto o parâmetro de massa (m^*) foi bem maior.

Tabela 3. Descrição dos casos ensaiados de cilindros com strakes.

Descrição	Passo do Strake	Altura do Strake	M^* (Base Fletora)	M^* (Base a Ar)	ζ (Base Fletora)	ζ (Base a Ar)
5D01D	5D	0.1D	0,993	2,006	0,1173	0,0533
5D02D	5D	0.2D	1,054	2,109	0,1098	0,0702
10D01D	10D	0.1D	1,040	2,067	0,1605	0,0589
10D02D	10D	0.2D	1,096	2,102	0,1520	0,0883
15D01D	15D	0.1D	1,091	2,053	0,1866	0,0634
15D02D	15D	0.2D	1,056	2,069	0,1737	0,0890
INF01D	Infinito	0.1D	-	2,054	-	0,0736
INF02D	Infinito	0.2D	-	2,097	-	0,0741
Liso	-	-	1,277	2,006	0,0344	0,0344

Na obtenção das curvas de Amplitude por Velocidade Reduzida utilizou-se na primeira etapa a técnica de extensometria descrita na apresentação da base elástica de laminas fletoras. Já na segunda etapa, com a base elástica de mancais a ar, utilizou-se um sensor óptico para a medição das amplitudes.

Para todos os ensaios realizados utilizou-se uma lâmina de água $h = 69$ cm. Foi obtida uma série temporal de 60 segundos para cada valor de velocidade do canal variando-se a rotação da bomba de 25 rpm por medição. Foi levantada a média dos 10% maiores picos dessa série pra o levantamento da curva A/D versus V_r .

Na Figura 6 abaixo está apresentada a curva para um dos modelos ensaiados em comparação com a curva obtida para o cilindro liso.

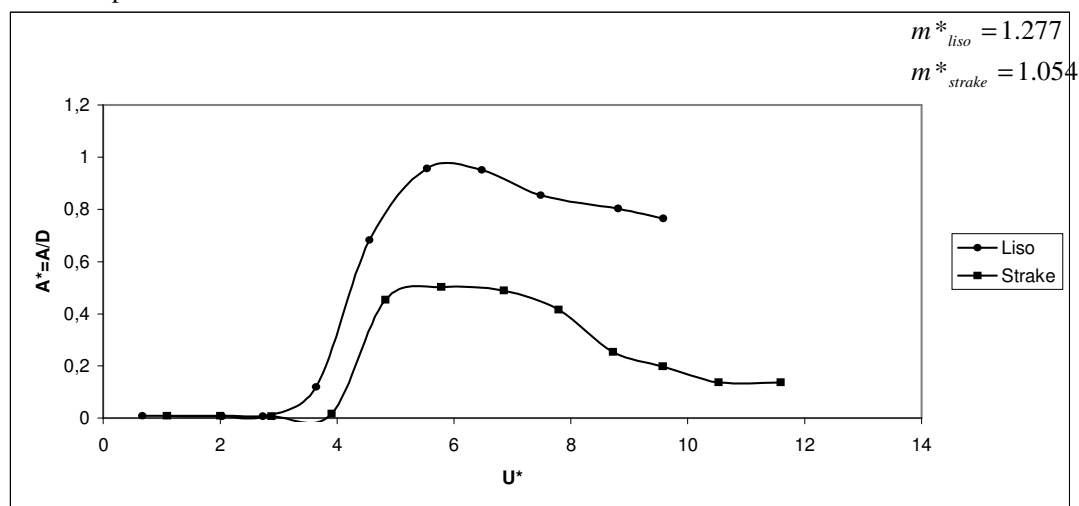


Figura 5 - Curva de resposta, cilindro com strake, passo $p=5D$ e altura $h=0.1D$

A técnica experimental de PIV (Velocimetria por Imagens de Partículas) de alta densidade de partículas foi empregada para obtenção do campo de velocidades na esteira. O plano transversal ao cilindro onde as imagens foram capturas está localizado na metade do comprimento do cilindro submerso, isto é, sua distância do fundo da seção de testes é $L/2$.

Para as visualizações do escoamento ao redor do cilindro com strakes foram feitos quatro mapeamentos para cada um dos casos ensaiados. O cilindro foi girado de um ângulo de 30° a partir da

posição com uma das lâminas do strake no ponto de estagnação frontal (Figura 10). Procurou-se obter cada uma das visualizações quando o cilindro encontrava-se na posição de máximo ao longo do ciclo (Figura 11). As visualizações foram feitas para uma velocidade reduzida $V_r \sim 6$, o que corresponde a um número de Reynolds $Re \sim 4200$.

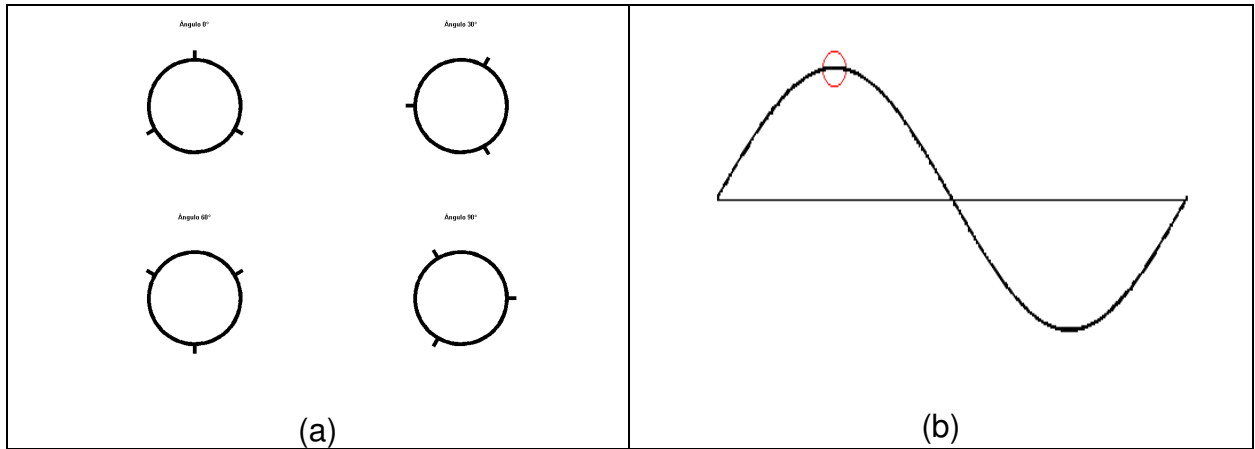


Figura 6 – (a) Da esquerda para direita, de cima para baixo respectivamente ângulo 0° , 30° , 60° e 90° . (b) Posição relativa no ciclo de oscilação das imagens obtidas com o sistema PIV.

7. Resultados e Conclusões

Todos os resultados dos ensaios de cilindros montados em base elástica com laminas fletoras estão sintetizados na Figura 8, já os ensaios realizados com abase elástica com mancais a ar está apresentado na Figura 9. Na legenda da figura são descritos os parâmetros de strakes: passo $p=5D$ e altura $h=0.1D$ (caso 5D01D), passo $p=5D$ e altura $h=0.2D$ (caso 5D02D), passo $p=10D$ e altura $h=0.1D$ (caso 10D01D), passo $p=10D$ e altura $h=0.2D$ (caso 10D02D), passo $p=15D$ e altura $h=0.1D$ (caso 15D01D), passo $p=15D$ e altura $h=0.2D$ (caso 15D02D), passo infinito e altura $h=0.1D$ e passo infinito e altura $h=0.2D$. A análise dos resultados torna evidente a importância da altura dos strakes no processo de supressão. A amplitude de oscilação é baixa para todos os cilindros com strakes com altura $h=0.2D$ (indicados pelas linhas azuis nessa figura). Os cilindros com strakes com altura $h=0.1D$ (linhas vermelhas), por sua vez, apresentaram oscilação elevada, porém abaixo da amplitude do caso do cilindro liso (linhas pretas na Figura 11). Dos cilindros ensaiados, o que apresentou a menor amplitude de oscilação foi aquele com $h=0.2D$ e passo $p=10D$. É também possível observar que o passo aparentemente afeta a extensão do intervalo de velocidade reduzida na qual se observa o ramo inferior da resposta. Quanto maior o passo, maior esse intervalo.

Os resultados obtidos com ambos os aparatos experimentais mostraram-se muito próximos o que garante a validade dos experimentos e também a eficiência do aparato desenvolvido.

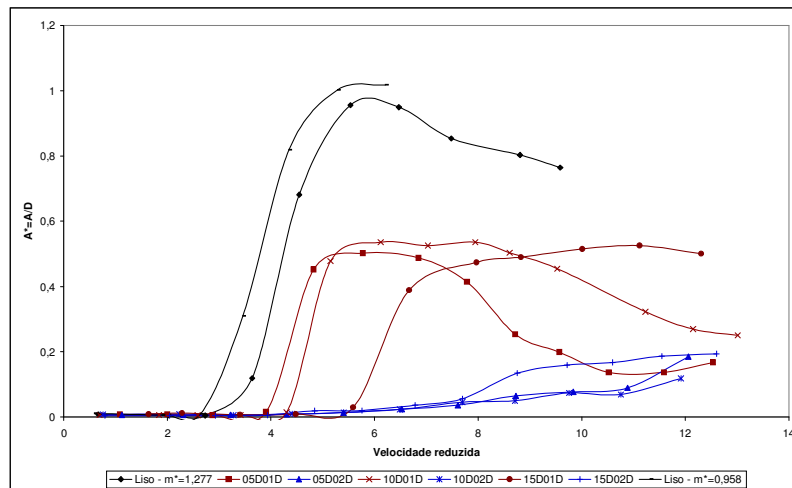


Figura 7 - Comparações das curvas de resposta: cilindros liso e com strakes.

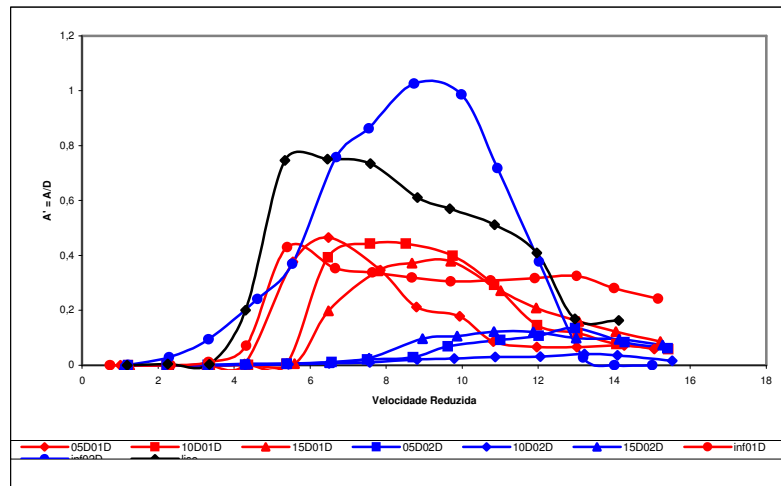


Figura 8 - Comparações das curvas de resposta: cilindros liso e com strakes.

Foram medidos os valores do coeficiente de arrasto, com os cilindros fixos, no intervalo de Reynolds dos ensaios. O arrasto foi medido utilizando uma célula de carga e foi considerada a área submersa do cilindro. Esses resultados são apresentados na Figura 10. Fica claro, analisando os resultados da figura, que o aumento do arrasto é o preço que se paga para uma eventual atenuação ou supressão de VIV através do uso de strakes. Os cilindros com maior altura de strakes apresentaram os maiores coeficientes de arrasto. Para o cálculo do coeficiente de arrasto utilizou-se o mesmo valor da área de referência para todos os cilindros. Para valores de Reynolds $Re > 3000$, o cilindro liso apresenta o menor coeficiente de arrasto, $C_d = 1,05$. O cilindro que apresentou o maior coeficiente em todo o intervalo de Reynolds ensaiado foi o cilindro com $p=10D$ e $h=0.2D$. Para esse caso, $C_d=1,6$ para $Re > 3000$.

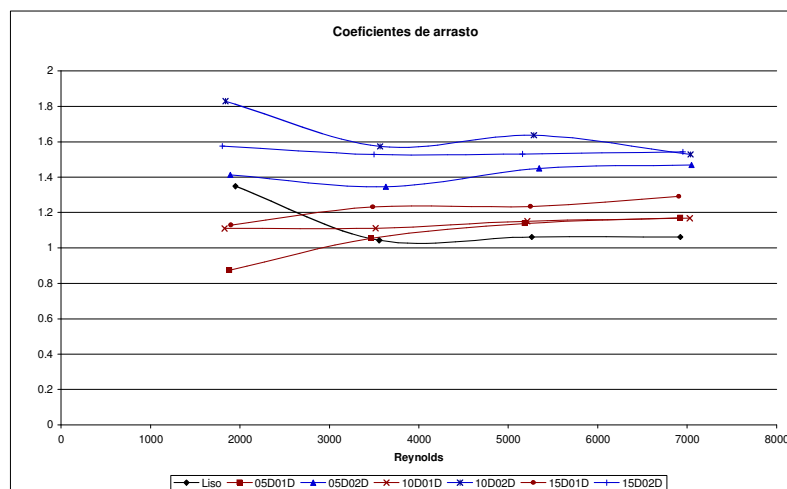


Figura 9 - Comparações do coeficiente de arrasto, cilindros lisos e com strake, mantidos fixos.

Na Figura 11 são apresentados quatro quadros de visualizações do campo de vorticidade no escoamento ao redor do cilindro com strakes de passo $p=10D$ e altura $h=0.1D$. Na Figura 11(a), um dos strakes está na posição ao longo da envergadura correspondente ao ponto de estagnação frontal, a figura (b) com o mesmo strake localizado a 30° para a direita, a figura (c) a 60° e a figura (d) a 90° . A análise das figuras mostra claramente a formação de um vórtice com rotação horária (cor azulada) e outro com rotação anti-horária (cor amarelada) na região próxima da parede do cilindro. Neste caso também a formação desses vórtices não ocorre em fase ao longo da envergadura. O strake com pequena altura ($h=0.1D$), não impediu a formação de vórtices em uma região muito próxima da parede do corpo. Apesar da hélice do strake ter causado um desprendimento não correlacionado ao longo da envergadura do corpo, esta falta de correlação não foi suficiente para diminuir substancialmente a amplitude de oscilação.

Na Figura 12 é apresentado o caso com passo $p=10D$ e $h=0.2D$. Esse foi aquele que apresentou a menor resposta de amplitude de oscilação. A análise das figuras mostra claramente que a camada cisalhante não se enrola próxima do corpo. Aqui, mais uma vez, a formação de vórtices não ocorre nas vizinhanças da parede do cilindro. A inexistência de uma região de baixa pressão próxima à parede é

claramente notada nas figuras. Esse fato, aliado a não observação de correlação ao longo da envergadura do corpo, faz com que a resposta seja de baixa amplitude.

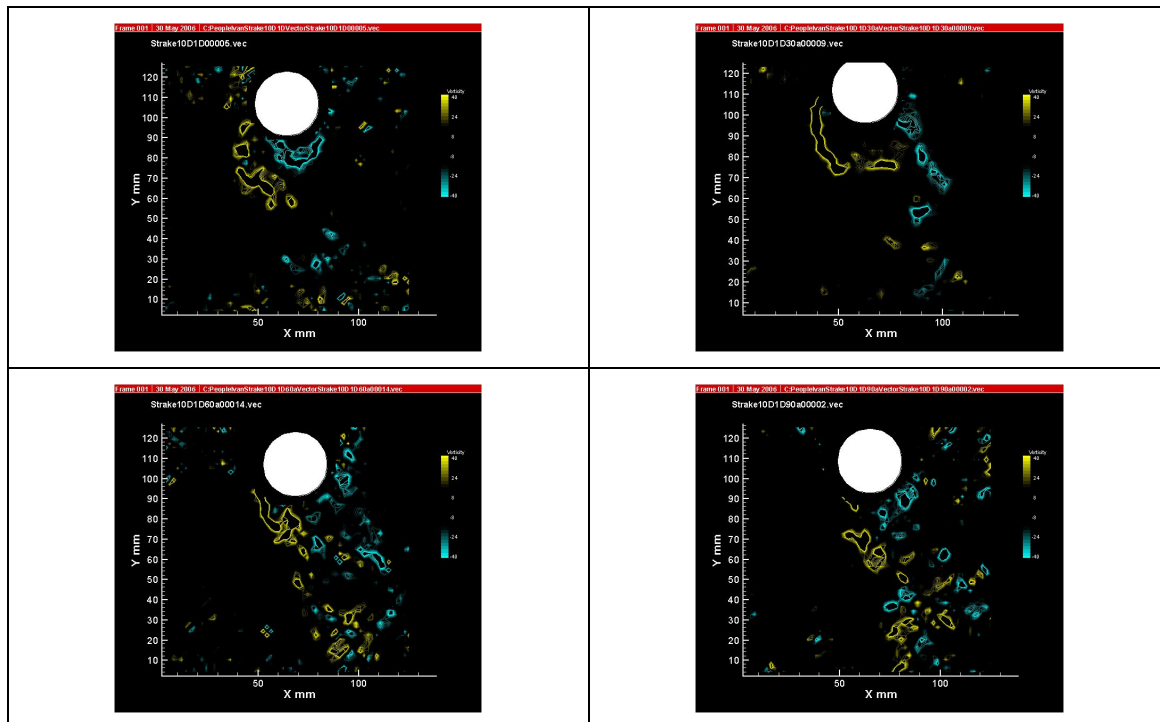


Figura 10 - Campo de vorticidade, passo $p = 10D$ e altura $h = 0.1D$. Da esquerda para direita, de cima para baixo respectivamente ângulo (a) 0° , (b) 30° , (c) 60° e (d) 90° .

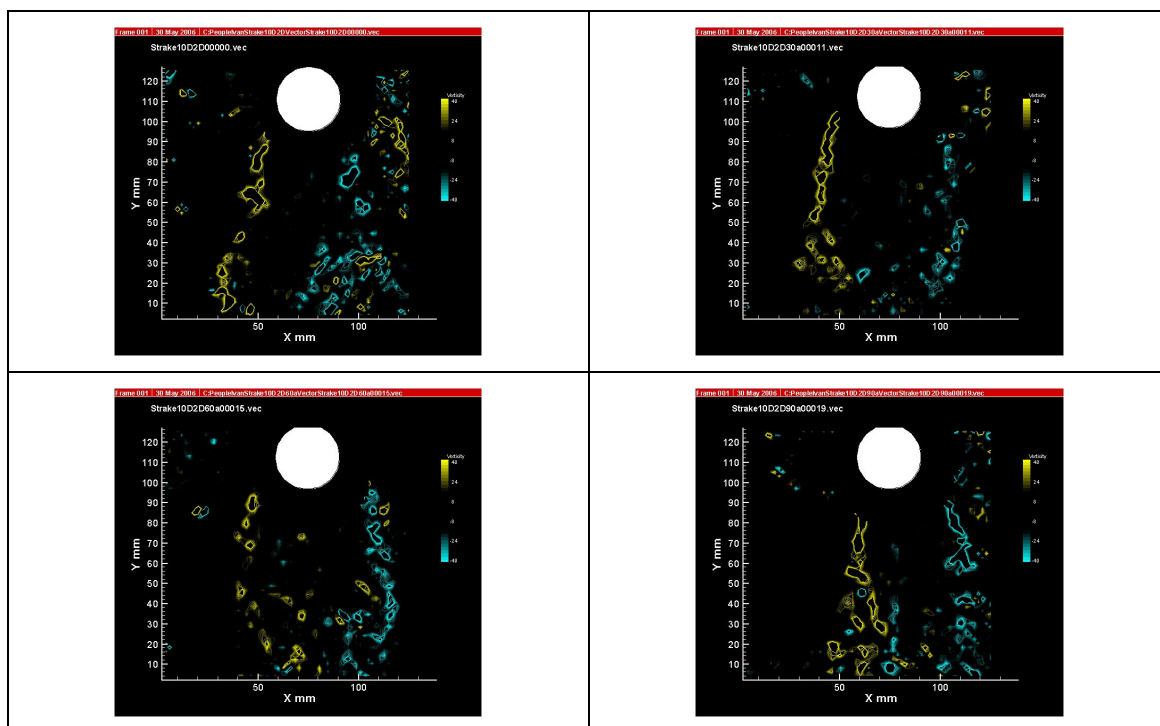


Figura 11 - Campo de vorticidade, passo $p = 10D$ e altura $h = 0.2D$. Da esquerda para direita, de cima para baixo respectivamente ângulo (a) 0° , (b) 30° , (c) 60° e (d) 90° .

Os resultados das visualizações mostram claramente qual é o principal efeito do strakes: este mecanismo de atenuação de VIV altera a maneira como ocorre a geração e desprendimento de vórtices na região próxima à parede. Não se forma uma esteira convencional de von Kármán. Aparentemente, para os

cilindros com strakes com altura $h=0.2D$, as camadas cisalhantes se formam e interagem a uma distância muito superior àquela que ocorre para o caso do cilindro liso e para os casos com strakes de altura $h=0.1D$. Para esses últimos, a altura da protuberância não foi suficiente para alterar a dinâmica de formação de vórtices a ponto de impedir que eles se formem próximos ao cilindro.

8. Agradecimentos

Agradeço a Petrobrás pelo apoio dado ao desenvolvimento deste projeto. Neste sentido a empresa contribuiu não somente com a motivação necessária, mas também com o patrocínio técnico e financeiro utilizado no desenvolvimento do projeto. Por ser um trabalho que faz parte de um projeto maior desenvolvido para a Petrobrás convém ressaltar que todas as informações presentes neste trabalho são de propriedade dos autores e da Petrobrás, ficando a publicação a cargo dos mesmos.

9. Referências Bibliográficas

- [1] MENEGHINI, J.R.; Projetos de pesquisa no tópico geração e desprendimento de vórtices no escoamento ao redor de cilindros.; Livre Docência; Escola Politécnica da USP; São Paulo; 2002.
- [2] KHALAK, A., WILLIANSOM, C.H.K.; Dynamics Of A Hydroelastic Cylinder With Low Mass And Damping ; Journal of Fluids and Structures 10 (1996): 455-472.
- [3] KHALAK, A., WILLIANSOM, C.H.K.; Fluid Forces and Dynamics Of A Hydroelastic Structure With Very Low Mass And Damping ; Journal of Fluids and Structures 11 (1997): 973-982.
- [4] KHALAK, A., WILLIANSOM, C.H.K.; Motions, Forces And Mode Transitions In Vortex-Induced Vibrations At Low Mass-Damping ; Journal of Fluids and Structures 13 (1999): 813-851.
- [5] GOVARDHAN , R., WILLIANSOM, C.H.K.; Modes of vortex formation and frequency response of a freely vibrating cylinder; Journal of Fluids Mechanicals 420 (2000): 85-130.
- [6] GOVARDHAN , R., WILLIANSOM, C.H.K.; Vortex-Induced Vibration; Annuary Review of Fluids Mechanicals 36 (2004): 413-455.
- [7] DOWNES , K., ROCKWELL, D.; Oscillations of a vertical elastically mounted cylinder in a wave: imaging of vortex patterns; Journal of Fluids and Structures 17 (2003): 1017-10331.
- [8] MENEGHINI, J.R.; Revisão Bibliográfica: Atenuadores de VIV; Programa de Simulação do Escoamento ao Redor de Risers: Flomar3d – Fase 2(VIV); Escola Politécnica da USP; São Paulo; 2005.
- [9] BRANKOVIC, M.; Vortex-induced vibration attenuation of circular cylinders with low mass and damping; PhD Thesis Imperial College; (2004); 68-91
- [10] ÁSSI, G.R.S.; Estudo Experimental do Efeito de Interferência no Escoamento ao Redor de Cilindros Alinhados; Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2005).
- [11] FUJARRA, A.L.C.; Estudos experimentais e analíticos das vibrações induzidas pela emissão de vórtices em cilindros flexíveis e rígidos; Tese de doutorado; Escola Politécnica da USP; São Paulo; 2002.

Experimental Studies in VIV Attenuation

Daniel Felicio de Medeiros
dfmedeiros@hotmail.com

Prof. Dr. Julio R. Meneghini
jmeneg@usp.br

Abstract. The life analysis in risers depends on the VIV phenomenon. For the project criterion, that imposes a life superior of 200 years, the phenomenon of VIV must be minimized through the adoption of VIV attenuation systems. Some solutions currently applied are extremely onerous, arriving at about 4 million dollar for each riser installed. Thus, to analyze the phenomena and to consider new viable solutions that reduce the VIV effects are very important. In the present study one method of VIV attenuation called strakes was experimentally investigated. The synthesis of the project is the attainment of the excellent parameters of strakes and the understanding of the phenomenon. In this project the phenomenon was investigated according to two distinct boardings: attainment of the amplitude curve and the fields of vorticity. For the accomplishment of the experiments was developed an elastic base with air bearings, with low parameters of mass and damping. The experiments had shown that all the models with strake had presented reduction of the amplitude of oscillation. The case that presented the lesser amplitude was that one with $p=10D$ and $h=0.2D$. Strake with $h=0.1D$, presented an amplitude of oscillation 50% shorter when compared with the smooth cylinder, whereas in strake with $h=0.2D$ the reduction was about 90%. It concludes that the parameter of more relevance in the strakes project is the height and not it step.

Keywords: VIV attenuation, strakes, elastic bases.