

ANÁLISE FLUIDO ESTRUTURAL UTILIZANDO O ANSYS®

Adailton Silva Borges

Universidade Federal de Uberlândia, Avenida João Naves de Ávila, 2121 Bairro Santa Mônica, Uberlândia MG
Asborges@mecanica.ufu.br

Wellington Luziano Paulo Júnior

wellington@mec.ufu.br

Domingos Aves Rade

Domingos@ufu.br

Resumo: Problemas de interação fluido-estrutural surgiram em diferentes áreas da engenharia onde o sistema estrutural considerado ou alguns de seus componentes estão diretamente em contato com o fluido. Exemplos desses casos são o mais diversos, como aeronaves, motores a jato, tubos para passagem de óleo, reatores nucleares e químicos, pontes, torres, plataformas offshore, etc.

No passado esta análise computacional era feita confiando em um total ou substancial desacoplamento entre os fenômenos relacionados ao fluido e aqueles pertinentes aos sistemas estruturais. Hoje em dia, sabe-se que para uma análise mais refinada dos efeitos fluidos estruturais é necessário contabilizar os efeitos provocados por estes dois meios de forma acoplada. Modernas técnicas de análise e maior poder computacional fizeram com esta nova metodologia se tornasse viável.

Dentro deste contexto serão apresentados brevemente os fundamentos teóricos sobre as principais formas de um escoamento introduzir vibração em uma estrutura. Será apresentado um modelo simplificado modelado no software Ansys®, onde será possível visualizar o fluxo de dados através dos meio e fluido.

Palavras-chave: Interação fluido estrutura, ansys, análise fluido estrutural.

1. INTRODUÇÃO

Problemas de interação fluido-estrutural surgiram em diferentes áreas da engenharia onde o sistema estrutural considerado ou alguns de seus componentes estão diretamente em contato com o fluido. Exemplos desses casos são o mais diversos, como aeronaves, motores a jato, tubos para passagem de óleo, reatores nucleares e químicos, pontes, torres, plataformas offshore, etc.

Em muitos casos, o fluido representa um importante papel na determinação do comportamento de uma estrutura de interesse. O flutter (instabilidade estrutural induzida pelo escoamento) é apenas um dentre os diversos exemplos de interação fluido-estrutural que desafiam a engenharia atual. A título de exemplo, as asas de uma aeronave podem enfrentar, em condições de operação, uma pressão de até 280 kgf/cm². Forças desta magnitude exigem um constante estudo, buscando novos materiais, novas geometrias e configurações que tornem os aparelhos mais seguros e eficientes. Na Figura 1 é possível observar o efeito do flutter sobre a maquete de uma aeronave em túnel de vento.



Figura 1: Maquete de uma aeronave em túnel de vento sofrendo os efeitos do flutter.

Existe um crescente interesse da comunidade científica mundial para soluções cada vez mais acuradas dos problemas de interação fluido-estrutura. Alguns setores da engenharia civil têm-se preocupado, por exemplo, com os efeitos dos ventos sobre edifícios altos e pontes (ver Figura 2), ou com os terremotos em usinas hidroelétricas e nucleares, ou mesmo com ondas de choque provenientes de explosões sobre construções.



Figura 2: Famoso caso da ponte Tacoma Narrows, onde o efeito de ventos provocou a sua destruição em 1940.

Para prevenir estes acidentes, é preciso buscar técnicas eficientes para a determinação de características estruturais, em particular, frequências naturais, fatores de amortecimento e resistência à fadiga da estrutura na presença de fluido. No passado esta análise computacional era feita confiando em um total ou substancial desacoplamento entre os fenômenos relacionados ao fluido e aqueles pertinentes aos sistemas estruturais. Hoje em dia, sabe-se que para uma análise mais refinada dos efeitos fluidos estruturais é necessário contabilizar os efeitos provocados por estes dois meios de forma acoplada. Modernas técnicas de análise e maior poder computacional fizeram com esta nova metodologia se tornasse viável.

A seguir, com o intuito de estudar técnicas de modelagem fluido-estrutural, serão apresentados brevemente os fundamentos teóricos sobre as principais formas de um escoamento introduzir vibração em uma estrutura.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Vibrações induzidas pelo escoamento

Fontes de excitação para ambos, corpos ou fluidos, são numerosas e de difícil caracterização. De acordo com (Naudascher and Rockwell, 1994), estas excitações são classificadas em três tipos:

- Indução externa de excitação (EIE);
- Excitação induzida por instabilidade (IIE);
- Excitação induzida por movimento (MIE).

A indução externa de excitação (EIE) é causada por flutuações da velocidade de escoamento ou pressão, independentes de qualquer instabilidade fluida originada da estrutura analisada ou movimento estrutural, exceto para os efeitos de massa adicionada e amortecimento provocado pelo fluido. Um exemplo é mostrado na Figura 3a, em que um corpo foi impactado por um escoamento turbulento à sua montante, o que produziu a indução de vibrações. Outro exemplo deste tipo de excitação é mostrado na figura 3b, em que um tubo cheio de fluido compressível é excitado por um alto falante. Observa-se que nos dois casos apresentados, a fonte de excitação é externa, ou seja, independente da estrutura que está sendo excitada. Esta força de excitação na maioria das vezes é de natureza aleatória; em raros casos, é possível encontrá-la na forma periódica.

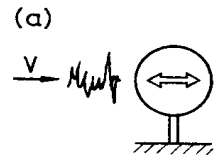
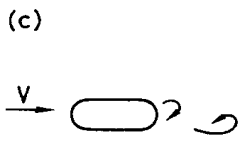
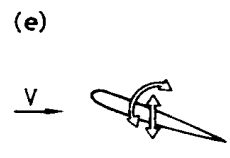
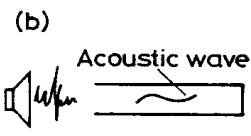
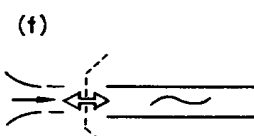
	EIE	IIE	MIE
BODY OSCILLATOR	(a)  Turbulence buffeting	(c)  Vortex shedding	(e)  Flutter
FLUID OSCILLATOR	(b)  Noise (from loudspeaker)	(d)  Impinging shear layer	(f)  Oscillating shock front

Figura 3: Exemplo de corpos e fluidos oscilantes.
(Naudascher and Rockwell, 1994).

A instabilidade induzindo excitação (IIE) é provocada na maioria das vezes por instabilidades oriundas do escoamento. Como regra, esta instabilidade é intrínseca ao sistema fluido. Em outras palavras, o escoamento instável é inerente ao escoamento criado pela estrutura considerada. Neste tipo de excitação enquadram-se os mais comuns casos encontrados na indústria. Podem-se citar os mais variados exemplos, como o escoamento através de pilares de pontes, *risers* usados na indústria petrolífera, etc. Na Figura 3c é possível observar que vibração é induzida pelo desprendimento de

vórtices (VIV) formado a jusante de um cilindro. Na Figura 3d observa-se oscilações de um jato livre próximo ao bocal. A força de excitação é produzida por meio de um processo fluido (ou fluido instável) que leva à formação de oscilações fluidas locais. O mecanismo de excitação pode, conseqüentemente, ser descrito como auto-excitável, ou seja, a excitação é provocada pelo escoamento ao passar pela estrutura submersa, diferentemente do caso anterior (Naudascher and Rockwell, 1994).

O movimento induzindo excitação (MIE) é devido à flutuação de forças que surgem de movimentos de corpos vibratórios ou fluidos oscilatórios. Esta situação pode ser descrita em termos de uma instabilidade dinâmica de um corpo oscilante, dada por um aumento de energia transferida de um fluxo principal para o oscilador, conforme ilustra a Figura 3e para o problema de aeroelasticidade. A Figura 3f mostra um tubo aberto sujeito a um escoamento supersônico, no qual uma onda estacionária é mantida por MIE envolvendo movimento oscilatório de um choque frontal.

Freqüentemente, as vibrações induzidas pelo escoamento em sistemas complexos são compostas, uma mistura de: (a) oscilações envolvendo ao mesmo tempo corpos e fluidos ou ainda (b) EIE, IIE, e MIE simultaneamente. Por exemplo, a estrutura cilíndrica da Figura 3c pode ser excitada por uma turbulência, além da excitação provocada pelo desprendimento de vórtices (excitações provocadas por EIE e IIE).

Em casos raros, a vibração induzida pelo escoamento é devida à excitação paramétrica. Estes casos envolvem a variação com o tempo de um ou mais parâmetros do sistema vibratório como massa, amortecimento e rigidez. Esta excitação pode ser de ambas as variedades EIE ou MIE.

Em resumo, a busca de possíveis vibrações induzidas por escoamento em um sistema envolve primeiramente uma completa busca por:

- a) Todos os corpos oscilantes;
- b) Todos os fluidos oscilantes;
- c) Todas as fontes de excitação externa;
- d) Todas as fontes de excitações provocadas por instabilidades;
- e) Todas as fontes de excitações provocadas por movimentos induzidos;
- f) Todas as fontes de excitações paramétricas.

Em segundo lugar é necessário fazer uma busca de todas possíveis combinações de oscilações estruturais e fluidas que surgem a partir de (a) e (b) em conjunto com (c) por meio de (f). Estas combinações, quando coincidem com suas freqüências naturais, podem provocar efeitos indesejáveis. A estimativa destas freqüências naturais, bem como a freqüência dominante de possíveis EIE e IIE pode, conseqüentemente, se tornar uma parte integral de uma avaliação fluido-estrutural.

Na literatura é possível encontrar diversas referências em que os autores estudaram uma vasta gama de casos de vibrações induzidas pelo escoamento. Dentro deste contexto, pode-se citar o trabalho de Habaul et al. (2003), em que os autores mostram como modos ressonantes podem ser usados para expressar o comportamento vibratório de uma estrutura imersa em um fluido. Neste artigo, os autores propuseram um exemplo mostrando que os modos de ressonância são descritos na reposta no tempo do sistema fluido/estrutura. Em (Rodriguez, 2006) foram determinados experimentalmente as freqüências naturais, fatores de amortecimento e modos de uma turbomáquina.

Já Gabbai (2004) faz uma revisão na literatura de modelos matemáticos utilizados para investigar indução de vibração provocada por vórtices (VIV) em cilindros circulares. Modelos de ondas de oscilação de um grau de liberdade, decomposição de forças e outras aproximações são discutidas com detalhes neste trabalho.

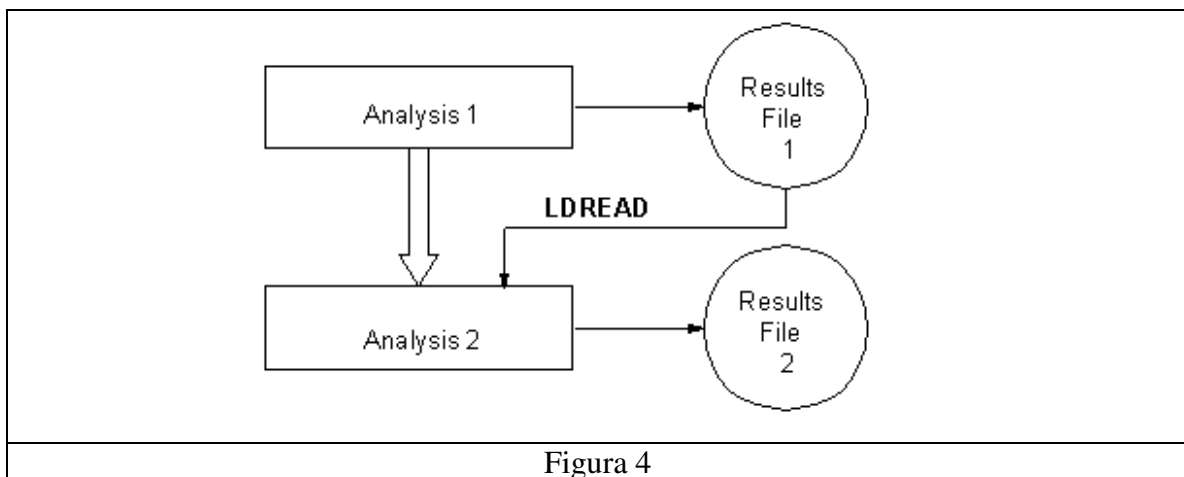
Em Mittal et al. (2001) aplica-se o método de elementos finitos, utilizando um modelo de espaço de estado, para investigar a indução de vibração provocada por vórtices em um cilindro circular sujeito ao escoamento incompressível uniforme com número de Reynolds variando de 10^3 a

10⁴. Em Nieves (2004) é possível encontrar uma análise estática e dinâmica em tubos através de modelos de elementos finitos.

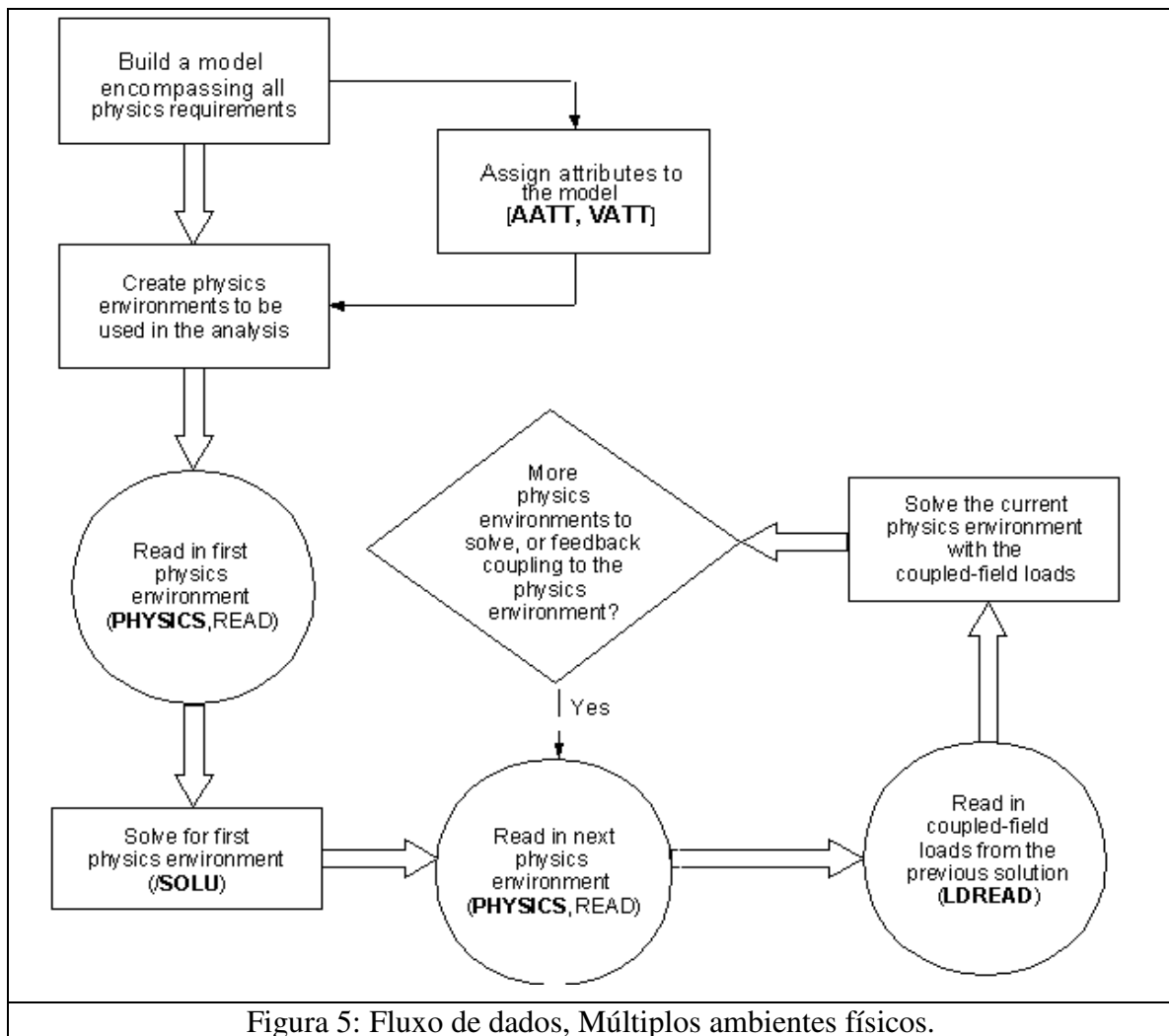
O modelo preliminarmente utilizado é uma estrutura elástica submetida ao escoamento turbulento (vide figura 3a), esta análise será usada como um embasamento teórico para posteriores simulações.

3. MODELO DE SIMULAÇÃO NUMÉRICO

Nesta seção, serão estudadas as principais características para análise fluido-estrutural utilizando o software Ansys®. Este software permite transferir carregamento entre dois campos de análise usando uma base de dados separados ou ainda uma base com múltiplos ambientes físicos. A Figura 4 mostra o fluxo de dados para uma típica transferência de carregamento entre campos de análise acoplados usando uma base de dados separados. Observa-se que cada base de dados contém um apropriado modelo, elementos, carregamentos e etc. O acoplamento ocorre quando as informações provenientes do arquivo de resultados da primeira base de dados são introduzidas em outra base. É importante ressaltar que elementos de números de nós devem ser consistentes entre a base de dados e o arquivo de resultados que foi carregado.



A figura 5 mostra o escoamento de dados usando uma única base e múltiplos ambientes físicos. Nesta aproximação, a base de dados deve conter os elementos e nós para todas as análises físicas. Para cada elemento ou entidade sólida, deve-se definir um atributo, incluindo o tipo de elemento, número de material, constantes reais, e um sistema de coordenadas. Todos esses números permanecerão constantes em todas as análises. Entretanto, uma propriedade atual associada com um dado número de atributo pode variar ao longo de todos os ambientes físicos, como definição em um parâmetro na constante real de um tipo de elemento. Neste tipo de abordagem, uma região no modelo pode ficar inativa para uma solução física particular.



3.1 Modelos em análise

Nesta primeira etapa será utilizado um modelo simples, para que se possa fazer uma análise transiente dos dados utilizados. Para este exemplo, foi utilizando um modelo previamente contido no software Ansys®. Mas diferentemente da análise feita nesta demonstração (análise estática), será feita a análise fluido-estrutural transiente. Ou seja, o modelo estrutural será excitado pelo ambiente fluido em um determinado passo de tempo que será posteriormente devolvido ao fluido na forma da velocidade e deslocamento. A figura 6 mostra o fluxograma do algoritmo utilizado para realização desta análise.

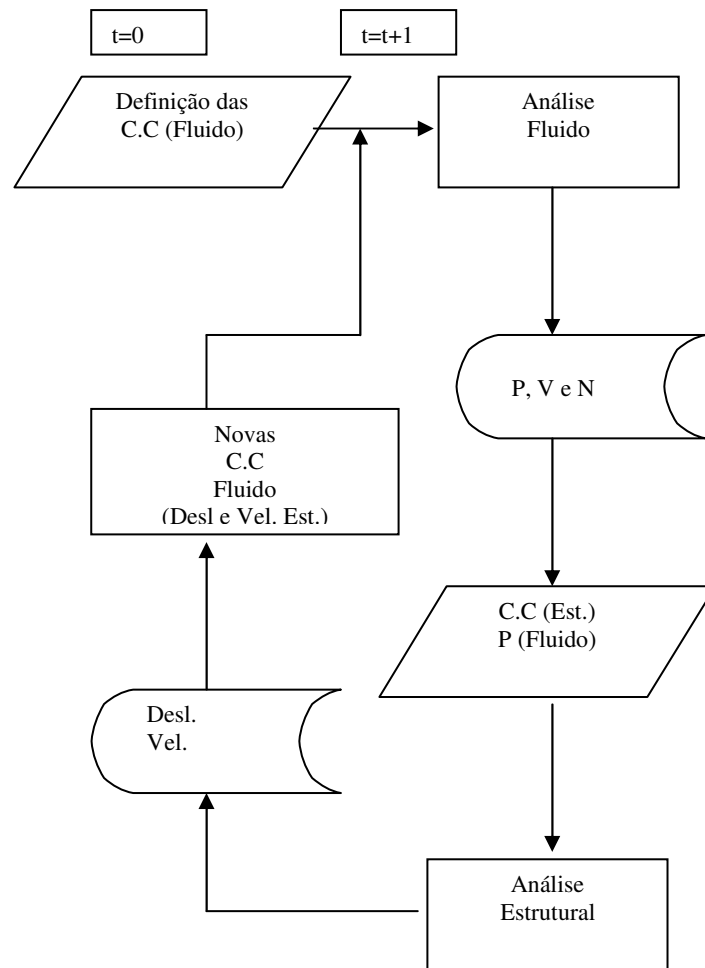
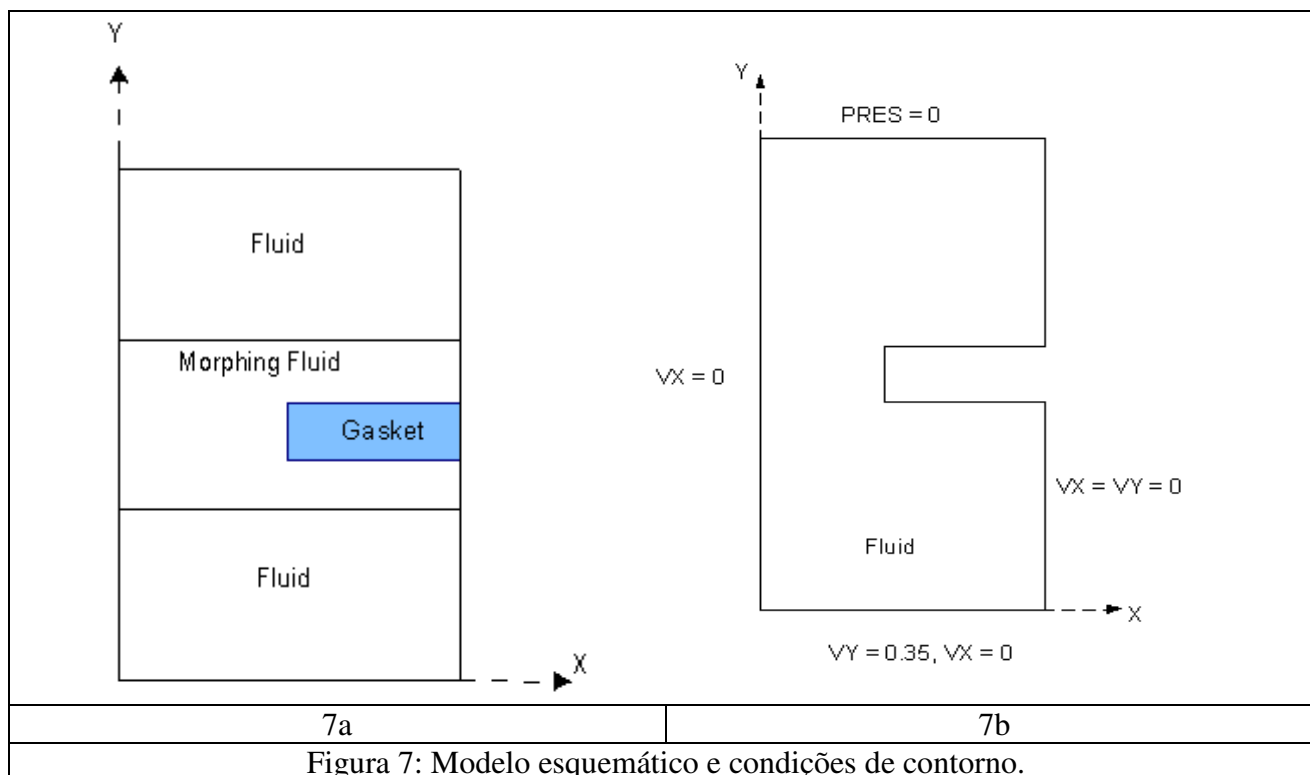


Figura 6: Fluxograma do algoritmo implementado no Ansys®.

Um passo importante a ressaltar é que após a análise fluida, deve-se utilizar um software auxiliar para que se possam armazenar as posições nodais, bem como, os resultados de interesse nestas posições. Neste caso, isso foi feito utilizando um algoritmo implementado no Matlab®, ou seja, os dados obtidos tanto na análise fluida como na análise estrutural foram pós-processados em um ambiente externo ao Ansys®.

Na figura 7a é apresentado esquematicamente o modelo utilizado, composto de dois meios físicos: estrutura e fluido, na figura 7b são apresentadas as condições de contorno.



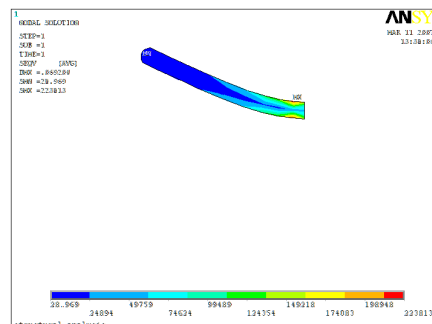
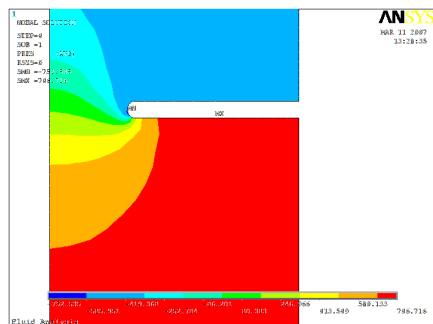
O fluido foi modelado com elementos FLUID141, enquanto que a estrutura foi modelada com elementos HYPER56. A tabela 1 apresenta as constantes reais destes dois elementos:

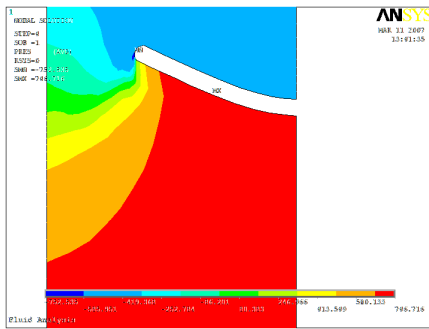
Tabela 1: Constantes dos elementos utilizados.

Fluido	Densidade	1000 Kg/m ³
	Viscosidade	$4,6 \cdot 10^{-4}$ N.s/m ⁻²
Estrutura	Módulo de Young	$2,82 \cdot 10^6$ N/m ²
	Coeficiente de Poisson	0,49967

A Figura 8 mostra os primeiros passos implementados. Na figura 8a pode-se observar o resultado obtidos após a realização da análise fluida que são as linhas de velocidade. Os carregamentos obtidos nesta análise serão aplicados como condições de contorno na análise estrutural. Na figura 8b é possível observar o deslocamento estrutural obtido com os esforços provocados pelo fluido.

Já na figura 8c é possível observar o ultimo passo neste laço, que constituído da atualização da malha fluida, bem como a transferência de dados entre estes dois ambientes físicos.





8c

4. CONCLUSÃO

Inicialmente, com o intuito de estudar técnicas de modelagem fluido-estrutural, foram apresentados os fundamentos teóricos sobre as principais formas de um escoamento introduzir vibração em uma estrutura.

Em uma segunda fase, foram estudadas as principais formas de realizar uma análise multi-física utilizando o Software Ansys®. Nesta análise preliminar foi utilizado o modelo em que o escoamento de dados utiliza uma única base e múltiplos ambientes físicos.

Dado o estágio inicial destas simulações, foram apresentados somente os resultados preliminares, onde se observou a transferência de dados entre os dois meios e aplicações de suas implicações, carregamentos, tanto no domínio fluido como estrutural.

Em uma fase posterior os dados obtidos serão validados a partir de dados encontrados na literatura. Esta análise proporcionará uma melhor avaliação dos resultados obtidos com simulação.

5. REFERÊNCIAS

- Gabbai R.D., Benaroya H., 2004, "An overview of modeling and experiments of vortex-induced vibration of circular cylinders", journal of sound and vibration.
- Habault D.;Filippi, P.J.T.; 2003, "A numerical method for the computation of the resonance frequencies and modes of a fluid-loaded plate: application to the transient response of the system", journal of sound and vibration.
- Mittal, S.; Kumar, V.; 2001, Flow-Induced vibration of a light circular cylinder at Reynolds number 10^3 to 10^4 , journal of sound and vibration.
- Naudasche, E.; Rockwell, 1994; "Flow-Induced Vibrations - An Engineering Guide Book"
- Nieves, V. R.; 2004, "Static and Dynamic Analysis of a Piping System", Dissertação de Mestrado, Universidade de Porto Rico.

FLUID STRUCTURAL ANALISYS USING ANSYS®

Adailton Silva Borges

Federal University of Uberlandia, Avenida João Naves de Ávila, 2121 Neighborhood Santa Monica, Uberlândia MG
Asborges@mecanica.ufu.br

Wellington Luziano Paulo Júnior

wellington@mec.ufu.br

Domingos Aves Rade

Domingos@ufu.br

Abstract: *Problems of fluid-structural interaction emerged in different areas of engineering where the structural system considered or some of its components are directly in contact with the fluid. Examples of such cases are as diverse as aircraft, the jet engines, pipes for passage of oil, chemical and nuclear reactors, bridges, towers, offshore platforms, and so on.*

In the past this computational analysis was done relying on a total or substantial decoupling between the phenomena related to fluid and those relevant to structural systems. Today, we know that for a more refined analysis of the fluid effects, It is necessary to account for effects caused by these two modes of coupled manner. Modern techniques of analysis and greater computational power have led this new methodology to become viable.

Within this context will be presented briefly the theoretical foundations on the main forms of a disposal introduce vibration in a structure. You will see a simplified model modeled in software Ansys ®, which will show the flow of data through the middle and fluid.

Keywords: *Fluid-structure interaction, ansys, fluid structural analyses*