

PORTFÓLIO DE SERVIÇO	
CÓDIGO	TA2EG01
LABORATÓRIO	TA2 – TÚNEL AERODINÂMICO 2
DIVISÃO	ACE – DIVISÃO DE AERODINÂMICA
SUBDIRETORIA	SDEG – SUBDIRETORIA DE ENGENHARIA
DESCRIÇÃO	ANÁLISE AEROELÁSTICA DE AERONAVES DE ASAS FIXAS E ROTATIVAS

Descrição do STE

Consiste na realização de análise numérica para identificação de instabilidades aeroelásticas utilizando programas dedicados para tal. A aeroelasticidade estuda a interação entre forças elásticas, inerciais e aerodinâmicas presentes em superfícies expostas ao escoamento do ar. Tais interações podem acarretar danos materiais e eventuais problemas na operação de superfícies estruturais. Um exemplo típico de interação aeroelástica com consequências catastróficas é o fenômeno denominado *flutter* que consiste de uma autoexcitação ocasionada pelo acoplamento dos modos de vibração realimentada por energia extraída do escoamento atmosférico.

A Figura 1 mostra um exemplo de ocorrência de *flutter* aeroelástico e consequente colapso de estrutura de uma ponte. Como entregável, lista-se um relatório redigido por especialista em aeroelasticidade informando a ocorrência ou não de fenômenos aeroelásticos na estrutura em estudo e sugestões de modificações na distribuição de massas e nas rigidezes dos materiais para mitigar a ocorrência de fenômenos catastróficos.

A Figura 2 exemplifica uma das etapas de realização de um estudo aeroelástico para o caso de uma superfície a ser defletida. Ao redor da geometria é confeccionada uma malha computacional composta por elementos prismáticos e tetraédricos para simulação da aerodinâmica em torno da estrutura. Feita a etapa aerodinâmica, procede-se com a interferência dos esforços aerodinâmicos nas características estruturais do modelo a ser estudado.



Figura 1 – Ocorrência de *flutter* aeroelástico e colapso de estrutura da ponte Tacoma Narrows nos Estados Unidos.

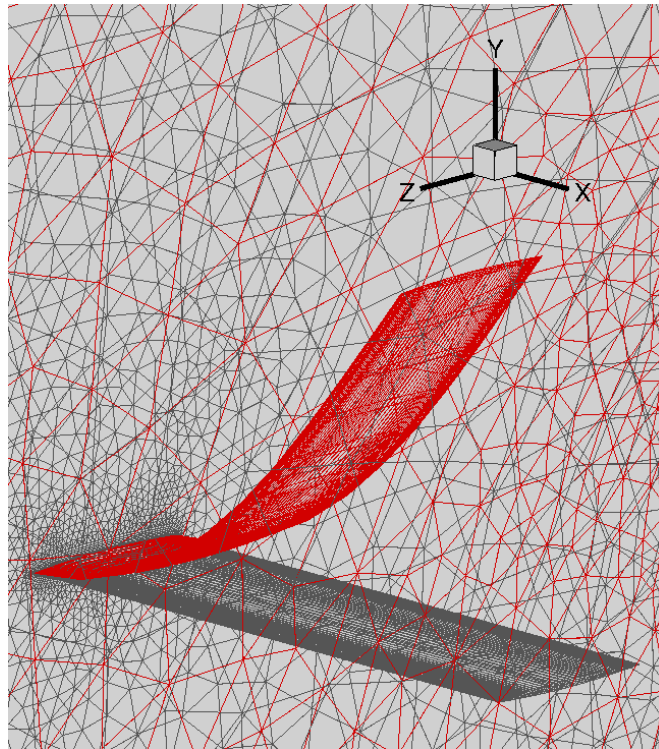


Figura 2 – Exemplo de atividade de confecção de malha e identificação de deflexão de superfície advinda de efeitos aeroelásticos.

Sequência ordenada de atividades e tarefas para a prestação do STE

A sequência ordenada de atividades e tarefas da ICT/IAE que serão realizadas para a prestação do serviço técnico especializado na área de aeroelasticidade é descrito em detalhes a partir do seguinte ordenado de etapas:

- **Etapa 1. Reunião inicial com o solicitante para a definição de figuras de mérito entregáveis:** Inicialmente, por uma reunião técnica, a configuração a ser analisada bem como os limites de suas condições de operação é apresentada pelo interessado. As etapas de análise de estabilidade são discutidas definindo-se os relatórios a serem entregues.
- **Etapa 2. Elaboração de modelo estrutural representativo:** Após a reunião preliminar e definida as condições de análise, uma análise estrutural da aeronave minuciosa é realizada com o objetivo de representar numericamente os deslocamentos estruturais por meio do método de elementos finitos. Para isto são utilizando programas de computador dedicados a este tipo de análise bem como computação gráfica. Entre os resultados desta etapa, está a estimativa das frequências naturais bem como os modos de vibração

associados como o ilustrado na Figura 3.

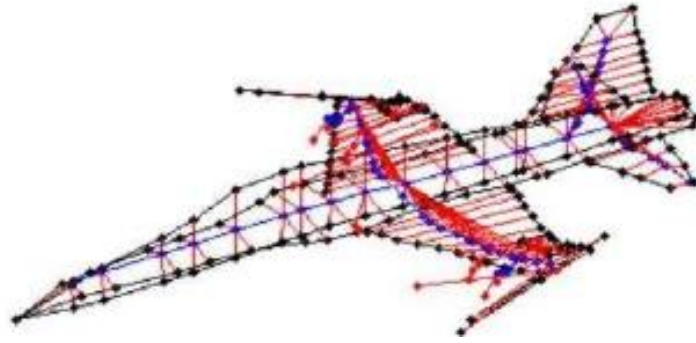


Figura 3 - Representação de um modo de vibrar do modelo estrutural de uma aeronave.

- **Etapa 3. Validação de modelo estrutural (Ensaio de vibração em solo *Ground Vibration Test - GVT*), caso necessário:** Uma vez que tenha sido concebido o modelo numérico estrutural, se faz necessário validar o modelo. Quando não existem dados da aeronave fornecidos pelos interessados que possibilitem correlacionar os resultados numéricos, é possível estimar estes dados experimentalmente. A aeronave em questão previamente instrumentada como acelerômetros e suspensa por suportes flexíveis. A aeronave é perturbada em pontos específicos por osciladores eletrodinâmicos. Por meio de processamento de sinais de entrada e saída estima-se as frequências naturais e modos de vibração estrutural associados, necessários para atualização e validação do modelo numérico-estrutural.
- **Etapa 4. Elaboração de modelo aerodinâmico:** Os esforços aerodinâmicos são transferidos numericamente por meio de painéis aerodinâmicos. As superfícies aerodinâmicas são representadas geometricamente por painéis de geometria simples discretizados ao longo da geometria externa da aeronave, como ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Malha adaptada para a simulação do modelo aerodinâmico para uma aeronave.

- **Etapa 5. Análise numérica da interação entre os modelos:** Utilizando programa dedicado à análise aeroelástica, a iteração de esforços estruturais, aerodinâmicos e inerciais é analisada identificando as condições de estabilidade e de instabilidade aeroelástica dentro dos limites de voo fornecidos pelo interessado.
- **Etapa 6. Preparação de Relatórios:** Uma vez identificadas às condições de estabilidades/instabilidades aeroelásticas, prepara-se um relatório com os resultados do modelo estrutural concebido, atualização e validação do modelo numérico com dados experimentais e as condições de estabilidade aeroelástica.

Pessoal envolvido para realização do STE

O pessoal da ICT necessário para a prestação da STE relacionado com a área de aero elasticidade é o efetivo da Seção de Aerodinâmica e de Aero elasticidade (ACE-LAA) da ICT/IAE. A eles, de acordo com o Regimento Interno do Instituto de Aeronáutica e Espaço, cabe a realização de pesquisa e desenvolvimento em aerodinâmica, aeroelasticidade, e dinâmica de fluidos teórica e computacional, bem como a proposição de procedimentos para ensaios em aerodinâmica, aeroelasticidade e dinâmica dos fluidos.

Tabela 1 – Definição de pesquisadores envolvidos.

Serviço técnico especializado	Pesquisadores envolvidos
Análise aeroelástica de aeronaves de asas fixas e rotativas	Todo o efetivo da <i>Seção</i> de Análise Aerodinâmica e de Aeroelasticidade (ACE-LAA) da ICT/IAE. Por ser o especialista mais experiente, o servidor civil <i>Adolfo Gomes Marto</i> será incumbido de chefiar as atividades do STE em aeroelasticidade.

Tabela 2 – Número de servidores de nível superior e nível técnico envolvidos nas etapas descritas na seção 4.1.2.

Etapa 1	1 Servidor de Nível Superior
Etapa 2	2 Servidores de Nível Superior
Etapa 3	2 Servidores de Nível Superior e 3 de Nível Técnico
Etapa 4	1 Servidor de Nível Superior
Etapa 5	1 Servidor de Nível Superior
Etapa 6	1 Servidor de Nível Superior

Insumos, equipamentos e laboratórios utilizados para a realização do STE

Não serão necessários insumos para a realização do STE em aeroelasticidade na

Seção de Análise Aerodinâmica e de Aeroelasticidade (ACE -LAA) da ICT/IAE, devido a atividade ser realizada inteiramente em ambiente computacional cujos programas já se encontram instalados no conjunto de computadores de alto desempenho e com grande capacidade de armazenamento da Seção. O único laboratório que possivelmente será requerido é o referente ao ensaio de vibração em solo - *Ground Vibration Test (GVT)*, disponível na infraestrutura da ICT/IAE. Reforça-se que a Seção dispõe de engenheiros mecânicos e aeronáuticos e de um corpo técnico preparados para a realização do serviço técnico especializado na área de aeroelasticidade.

Para realização das etapas descritas na seção 4.1.2 deste documento, a tabela a seguir elenca a infraestrutura necessária para realização de uma análise aeroelástica.

Cronograma de execução do STE

Utilizando como referência as etapas explicitadas na seção 4.1.2, estima-se que os tempos de execução atendam ao disposto na Tabela 3. Ressalta-se que variações são esperadas em função da complexidade da configuração estrutural a ser atendida pelo STE.

Tabela 3 – Cronograma das etapas para realização de análise de estabilidade aeroelástica

Etapa 1	1 semana
Etapa 2	2 semanas
Etapa 3	5 semanas
Etapa 4	2 semanas
Etapa 5	2 semanas
Etapa 6	1 semana

Tabela 4 – Infraestrutura necessária para realização das etapas de análise aeroelástica.

Etapa 1	Sala de reunião com recursos midáticos
Etapas 2 - 4 - 5	Programa de interpretação e manipulação do método elementos finitos FEMAP com NASTRAN-NX da SIEMENS.
Etapa 3	Acelerômetros Piezoelétricos Osciladores eletrodinâmicos Programa de processamento de sinais para análise modal - Bruel&Kaerj e LMS
Etapa 6	Computador com editor de texto

Eventuais certificações e garantias dos resultados obtidos do STE

Após a entrega do relatório final com a análise aeroelástica feita pela ICT/IAE no STE, o instituto emitirá uma certificação contendo informações técnicas e recomendações para a empresa atendida resolver o problema de engenharia proposto.

Formação dos custos unitários/globais do STE na área de aeroelasticidade

Para o dimensionamento dos custos, o setor administrativo da ICT/IAE será responsável por estabelecer o custo da Hora Laboratório (HL), da Hora Computador (HC) e do Homem Hora (HH) referentes a ICT/IAE. Para a HL, tem-se como composição as horas em energia, do custo de manutenção de operacionalidade do equipamento e do custo de obsolescência do equipamento diluído em horas utilizadas pelo STE. Para a HC, considera-se o custo dos programas utilizados, de sua atualização e de sua obsolescência. Para o HH, estabelecem-se os valores referentes aos custos de serviços de funcionários de Nível Superior e Nível Médio. A tabela a seguir exhibe a composição de custos com base nos valores de HL, HC e HH supracitados.

Tabela 5 – Composição de custos.

	Atividade	Qualificação	Carga Horária	Valor por Hora	Valor Total	
Mão de Obra Dedicada	Etapa 1	Nível Superior	30	R\$ 189,81	R\$ 5.694,30	
		Nível Técnico	0	R\$ 109,24	R\$ 0,00	
	Etapa 2	Nível Superior	30	R\$ 189,81	R\$ 5.694,30	
		Nível Técnico	0	R\$ 109,24	R\$ 0,00	
	Etapa 3	Nível Superior	60	R\$ 189,81	R\$ 11.388,60	
		Nível Técnico	90	R\$ 109,24	R\$ 9.831,60	
	Etapa 4	Nível Superior	30	R\$ 189,81	R\$ 5.694,30	
		Nível Técnico	0	R\$ 109,24	R\$ 0,00	
	Etapa 5	Nível Superior	30	R\$ 189,81	R\$ 5.694,30	
		Nível Técnico	0	R\$ 109,24	R\$ 0,00	
	Etapa 6	Nível Superior	30	R\$ 189,81	R\$ 5.694,30	
		Nível Técnico	0	R\$ 109,24	R\$ 0,00	
		SUBTOTAL	R\$ 49.691,70			

Equipamentos Dedicados e de Apoio (Consumo Energético e Depreciação)	Tipo de Equipamento (Dedicado ou de Apoio)	Equipamento	Valor de Compra (conforme BMP)	Potência do Equipamento (em Watts)	Tempo de Uso PARA A ATIVIDADE (min)	Tempo de Uso PARA A ATIVIDADE (horas)	Consumo em kWh – Durante o tempo de utilização	Custo de Energia (R\$0,78 por kWh)	Depreciação Estimada por Hora de Uso	Valor Depreciado durante o tempo de uso em R\$
	Etapa 2	Software FEMAP		0	1.800	30	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	Etapa 2	Computador DELL	R\$ 24.793,00	1.000	1.800	30	30,00	R\$ 23,40	R\$ 4,11	R\$ 123,39
	Etapa 3	Software HB&K		0	3.600	60	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	Etapa 3	Oscilador Dinâmico		500	3.600	60	30,00	R\$ 23,40	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	Etapa 4	Computador DELL	R\$ 24.793,00	1.000	1.800	30	30,00	R\$ 23,40	R\$ 4,11	R\$ 123,39
	Etapa 5	Computador DELL	R\$ 24.793,00	1.000	1.800	30	30,00	R\$ 23,40	R\$ 4,11	R\$ 123,39
	Etapa 6	Computador DELL	R\$ 24.793,00	1.000	1.800	30	30,00	R\$ 23,40	R\$ 4,11	R\$ 123,39
								R\$ 117,00		R\$ 493,56
									R\$ 610,56	

Depreciação de Instalações	Instalação (nome como é conhecido o prédio/laboratório)	Número / identificação do prédio	Valor estimado da obra	Tempo Estimado de Vida Útil – em anos	Tempo de Uso PARA A ATIVIDADE (horas)	Horas Estimadas de Vida Útil	Depreciação Estimada por Hora de Uso	Valor Depreciado durante o tempo de uso em R\$
		SUBDIVISÃO DE AERODINÂMICA – ACE-L (sala computacional)	E-236	R\$ 115.420,26	50	180	60280	R\$ 1,91
SUBTOTAL								R\$ 344,65

CÁLCULO DO VALOR FINAL DO SERVIÇO	
Mão de Obra Dedicada	R\$ 49.691,70
Consumo Energético e Depreciação dos Equipamentos	R\$ 610,56
Depreciação de Instalações	R\$ 344,65
Material de Consumo/Insumos	R\$ 0,00
TOTAL	R\$ 50.646,91

Informações que a contratante deve apresentar para apreciação do grau de inovação do STE

De acordo com o estabelecido na Política de Inovação da ICT/IAE, a contratante deve apresentar mediante Carta ao Instituto um compêndio de informações acerca da necessidade de realização de STE e que estejam enquadrados nos objetivos da Lei de Inovação de nº 10.973/04, mais especificamente os artigos 4º, 6º, 8º, 9º e 22º, e devidamente verificados pelo Chefe da VDIR-GI/IAE. Um encaminhamento formal será enviado para a Coordenadoria de Gestão da Inovação (DCTA-CGI), para enfim serem aprovados pelo Diretor da ICT/IAE.