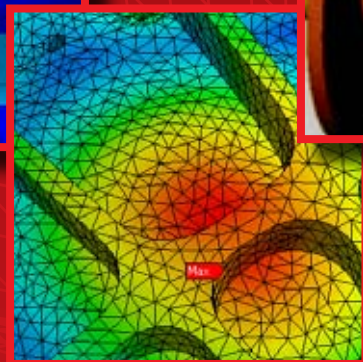
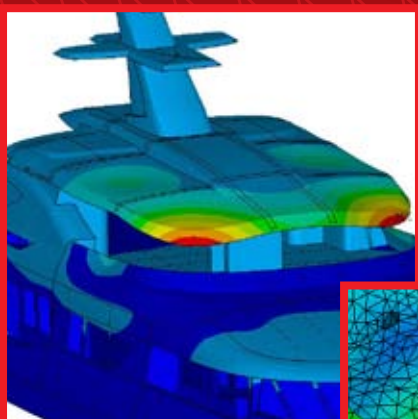




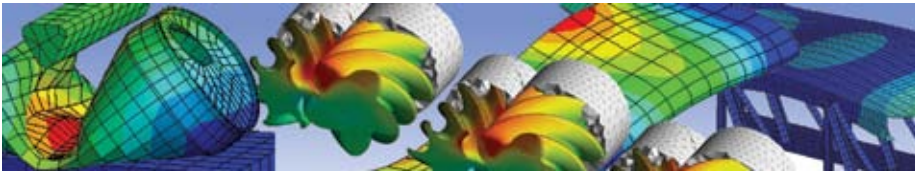
ESSS
ENGINEERING SIMULATION
SCIENTIFIC SOFTWARE

CURSO DE EXTENSÃO

Análise Mecânica através do Método
de Elementos Finitos com Ênfase em
Aplicações Industriais



ANÁLISE MECÂNICA ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS COM ÊNFASE EM APLICAÇÕES INDUSTRIAIS



OBJETIVO GERAL

O curso *Análise Mecânica através do Método de Elementos Finitos com Ênfase em Aplicações Industriais* destina-se a capacitar e atualizar profissionais das várias áreas de engenharia, oferecendo as ferramentas necessárias para a realização de simulações computacionais de diferentes aplicações com o uso de softwares comerciais.

METODOLOGIA

Nossos cursos de extensão contêm os fundamentos teóricos necessários que evoluirão segundo as atividades práticas até sistemas mais complexos para formar profissionais capacitados a realizar simulações e análises estruturais ou fluidodinâmicas. O foco é a formação prática do profissional, usando a teoria associada como ferramenta de compreensão. Os cursos contarão com aulas presenciais e atividades de ensino a distância.

DISCIPLINAS

- Fundamentos de Mecânica dos Sólidos
- Engenharia de Materiais
- Métodos Numéricos em Engenharia
- Geração de Malhas de Elementos Finitos
- Análise Não-linear: Contatos, Materiais e Geométricas
- Análise Modal e Dinâmica: Fundamentos e Modelagem Computacional
- Análise de Transferência de Calor: Fundamentos e Modelagem Computacional
- Mecânica da Fratura e Análise de Fadiga: Fundamentos e Modelagem Computacional
- Técnicas de Otimização de Projeto
- Seminários em Análises de Aplicações Industriais

CORPO DOCENTE

O corpo docente é formado por professores, mestres e doutores da ESSS e convidados de outras Instituições de Ensino Superior com sólida formação em ensino, pesquisa, extensão e consultoria. Profissionais da indústria ministrarão palestras cujo objetivo é alinhar ainda mais o conhecimento às necessidades prementes do mercado profissional.

Coordenador Geral do Programa de Extensão: Clovis Raimundo Maliska, Ph.D.

- Ana Paula Curty Cuco, M.Sc. - ESSS
- Fabiano Nunes Diesel, M.Sc. - ESSS
- Giovanni de Moraes Teixeira, M.Sc. - ESSS
- Maira Amanda Vargas Avila, M.Sc. - ESSS
- Roberto Monteiro Basto da Silva, M.Sc. - ESSS
- Marcelo Leão, D.Sc. - IME
- Alfredo Gay Neto, Eng. - USP

INTRODUÇÃO

A experiência adquirida em mais de 15 anos na capacitação de profissionais nos diversos ramos da engenharia, através "Jump-Start e In-house Trainings", permitiu à ESSS acumular a expertise necessária para oferecer cursos de simulação computacional direcionados aos profissionais da indústria, proporcionando aos participantes um maior aprofundamento técnico para a realização de análises mecânicas através de métodos numéricos. Assim, a ESSS vem disponibilizar para a comunidade de engenharia um curso que reúne conhecimentos práticos e teóricos de aplicação imediata no exercício profissional.

iESSS

PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E CAPACITAÇÃO

O Instituto ESSS de Pesquisa, Desenvolvimento e Capacitação (iESSS) é composto por uma equipe técnica altamente qualificada em modelagem matemática e simulação computacional. Suas atividades estão focadas na geração de conhecimento e de soluções que atendam a realidade de negócio de seus clientes, bem como na capacitação profissional de seus colaboradores, tendo como objetivo primordial contribuir para o aumento da competitividade tecnológica do país.

PÚBLICO ALVO

Engenheiros e técnicos da Indústria de Desenvolvimento de Produtos ou Processos que pretendem adquirir maior experiência em métodos numéricos e atuem ou pretendam atuar nas áreas de modelagem numérica.

PRÉ-REQUISITOS

Diploma em Engenharia, Matemática ou Física. Não é necessário prévio conhecimento de ferramentas computacionais de FEA.

DOCUMENTOS PARA MATRÍCULA

- Fotocópia do RG e do CPF
- Fotocópia do diploma de graduação (frente e verso, autenticado)

LOCAL DAS AULAS

ESSS - São Paulo - SP

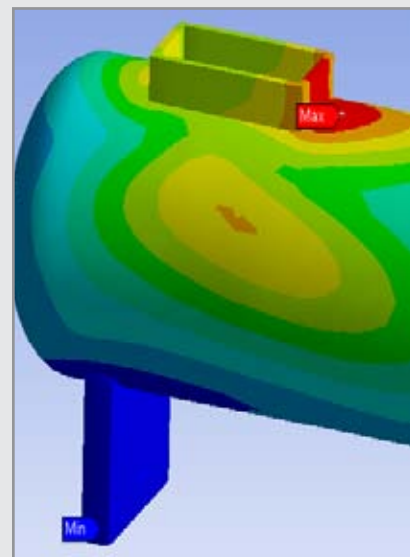
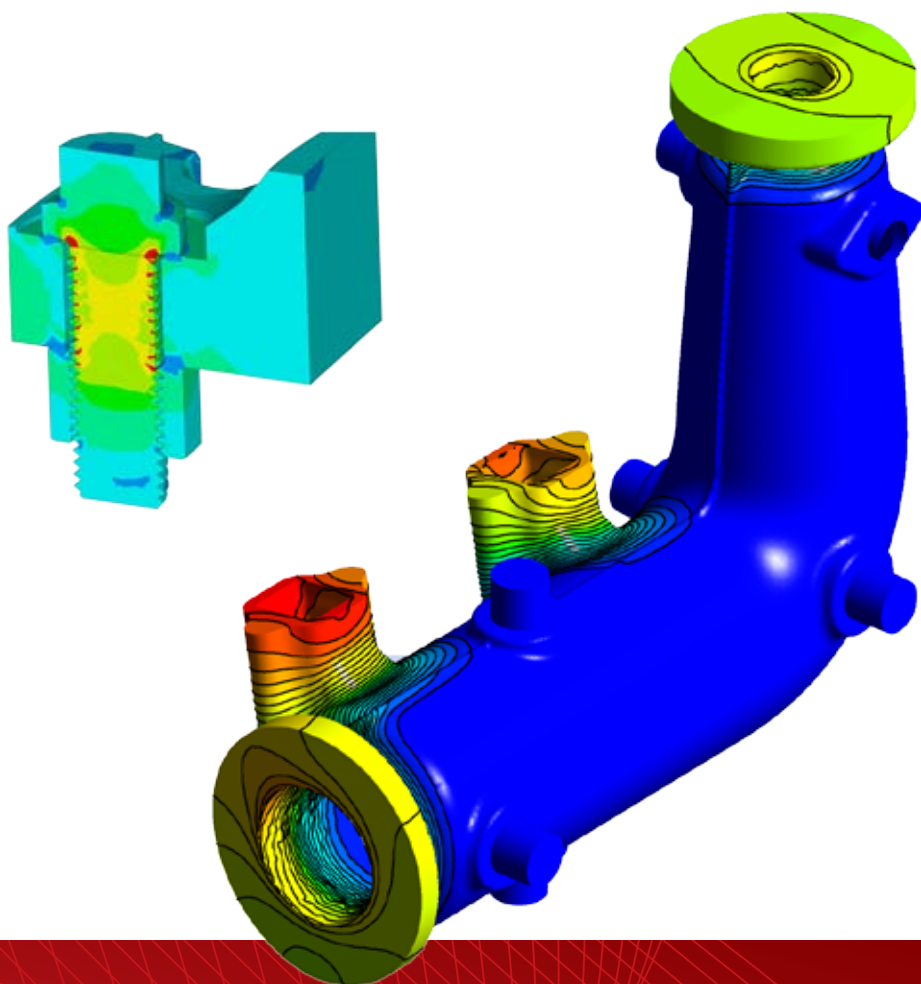
Rua do Rocio, 423, ITC - International Trade Center
10º andar conj. 1001/1002 - Bairro Vila Olímpia
CEP: 04552-000 - São Paulo - SP

ESSS - Rio de Janeiro - RJ

Rua Lauro Müller, 116 - Torre do Rio Sul
14º andar - 1404 - Bairro Botafogo
CEP: 22290-160 - Rio de Janeiro - RJ

Macro Office - Porto Alegre - RS

Rua Piauí, 183
Bairro São João
CEP: 91030 -320, Porto Alegre - RS



NÚMERO MÁXIMO DE VAGAS

20 participantes.

CARGA HORÁRIA

300 horas-aula.

PERIODICIDADE

São Paulo e Rio de Janeiro
Quinzenal

Porto Alegre
Mensal

DIAS E HORÁRIOS

São Paulo e Rio de Janeiro
Sextas-feiras 19h00 às 22h00 e
Sábados das 09h00 às 18h00.

Porto Alegre
Sextas-feiras e Sábados das
09h00 às 18h00.

EMENTAS DAS DISCIPLINAS

FUNDAMENTOS DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS

- 1) Introdução à Mecânica do Contínuo.
- 2) Cinemática do contínuo:
 - Descrição do movimento contínuo;
 - Princípio do momento linear;
 - Mecânica dos sólidos linear.
- 3) Conceito do tensor de tensões e deformações:
 - Problemas de flexo-torção;
 - Problemas de tensão;
 - Problemas de deformação plana.
- 4) Estados Planos e Axissimétricos.
- 5) Tensões e Círculo de Mohr:
 - Tensões Normais, Cisalhantes, Principais, Equivalente, Intensidade.
- 6) Critérios de análise para materiais dúcteis e para materiais frágeis:
 - Critério de von Mises e Tresca;
 - Critério de Tensão Principal Máxima e Coloumb-Mohr.
- 7) Teorias estruturais e as suas aplicações como elementos finitos:
 - Vigas e treliças;
 - Vigas de Euler-Bernoulli;
 - Vigas de Timoshenko;
 - Hipóteses de Kirchhoff para placas finas.

ENGENHARIA DE MATERIAIS

- 1) Tensão e Deformação – Carregamento axial:
 - Deformação normal sob carregamento axial;
 - Diagrama tensão-deformação;
 - Tensões e deformações específicas e verdadeiras;
 - Lei de Hooke; módulo de elasticidade;
 - Comportamento elástico e comportamento plástico dos materiais;
 - Cargas repetidas, fadiga;
 - Coeficiente de Poisson;
 - Generalização da Lei de Hooke;
 - Dilatação volumétrica;
 - Deformação de cisalhamento;
 - Uso de relações constitutivas em modelos numéricos.
- 2) Deformação Elástica:
 - Comportamento tensão-deformação;
 - Anelasticidade;
 - Propriedades elásticas dos materiais;
 - Limitações e aplicações do comportamento elástico em modelos numéricos.
- 3) Deformação Plástica:
 - Propriedades de tração;
 - Tensão verdadeira e deformação verdadeira;
 - Recuperação elástica durante uma deformação plástica;
 - Deformações compressiva, cisalhante e torcional;
 - Dureza;
 - Variabilidade nas propriedades dos materiais;
 - Fatores de projeto/ segurança;
 - Considerações gerais para o uso de modelos plásticos em modelos numéricos.
- 4) Tópicos Avançados: Não-linearidades dos Materiais em Modelos Numéricos:
 - Plasticidade avançada:
 - a. Plasticidade independente da taxa de deformação;

- b. Critério de escoamento de von Mises;
 - c. Potencial de Hill/Anisotrópico.
- Funções de Encruamento:
 - a. Encruamento isotrópico não-linear (“Voce”);
 - b. Encruamento cinemático linear;
 - c. Encruamento cinemático não-linear (“Chaboche”);
 - d. Encruamento cíclico e amolecimento cíclico;
 - e. “Rachetting” e “Shakedown”.
 - Fluência:
 - a. Comportamento geral da fluência;
 - b. Equação geral da fluência;
 - c. Procedimento de fluência através do método implícito.
 - Materiais Hiperelásticos:
 - a. Conceitos gerais da física de borracha;
 - b. Teoria de materiais hiperelásticos;
 - c. Equações da energia potencial de deformação (Strain Energy Potential);
 - d. Solução numérica de modelos hiperelásticos.

MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA

- 1) Raízes de Equações:
 - Bisseccção;
 - Falsa posição;
 - Newton Raphson;
 - Método das Secantes;
 - Método de Newton Bairstow;
 - Sistemas de Equações Não-Lineares.
- 2) Propagação de erros e critérios de parada.
- 3) Matrizes:
 - Cálculo de determinantes;
 - Inversão de matrizes;
 - O emprego de matrizes na mecânica dos sólidos.
- 4) Interpolação:
 - Interpolação polinomial: Linear / Quadrática / Grau N / Lagrange / Splines;
 - A importância da interpolação no método de elementos finitos.
- 5) Derivação numérica.
- 6) Integração numérica.
- 7) Convergência:
 - Critério de convergência;
 - Convergência por força, momento, deslocamento e rotação;
 - Line search.

GERAÇÃO DE MALHAS DE ELEMENTOS FINITOS

- 1) Introdução Teórica ao Método de Elementos Finitos.
- 2) Características dos elementos (tipo, geometria, ordem e opções adicionais):
 - Elementos de vigas (1-D);
 - Elementos de casca (2-D);
 - Elementos sólidos (3-D).
- 3) Elementos h-Method e p-Method.
- 4) Elementos de integração completa, reduzida e modos incompatíveis.
- 5) Problemas numéricos (shear locking, volumetric locking, hourglassing).
- 6) Formulação mista u-P.

- 7) Avaliação de qualidade de malha e estudo de convergência.
- 8) Singularidade numérica.
- 9) Considerações especiais em função da física do elemento.

- 4) Não-linearidade por contato:
 - Algoritmos para considerar o contato em modelos de elementos finitos (Método da Penalidade, de Lagrange e Lagrangiano aumentado);
 - Dificuldades de convergência. Chattering;
 - Alternativas linearizadas para contatos do tipo “bonded” ou restrições normais (uso de elementos do tipo MPC);
 - Aplicação dos conceitos aprendidos em exercícios computacionais envolvendo contato. Comparação dos algoritmos no software ANSYS.
- 5) Recomendações para modelos não-lineares:
 - Identificação do uso de não-linearidade;
 - Recomendações importantes em soluções não-lineares (considerações de malha, discretização de aplicação de carregamentos, etc);
 - Exemplos de erros de convergência.

ANÁLISE NÃO-LINEAR: CONTATOS, MATERIAIS E GEOMÉTRICAS

- 1) Introdução à Não-linearidade:
 - Linearidade vs. não-linearidade em funções de uma variável;
 - Linearidade vs. não-linearidade em funções de mais de uma variável;
 - Zeros de funções de uma variável;
 - Método de Newton-Raphson para funções de uma variável;
 - Equação matricial de um modelo estático não-linear;
 - Solução de problemas estáticos não-lineares através do Método de Newton-Raphson (funções de mais de uma variável);
 - Matriz de rigidez tangente e função esforço desbalanceado;
 - Como avaliar convergência corretamente;
 - Fontes de não-linearidades em problemas físicos estruturais;
 - Trelças de von Mises;
 - Resolução exercício com não linearidade geométrica utilizando o Método de Newton-Raphson e comparação com a solução do ANSYS.
- 2) Não-linearidade geométrica:
 - Variações geométricas - implicações na rigidez de uma estrutura;
 - Grandes deslocamentos;
 - Grandes deformações;
 - Medidas unidimensionais de deformação;
 - Rigidez geométrica;
 - Abordagem co-rotacional ;
 - Formulação bidimensional de trelças que suportem grandes deslocamentos;
 - Flambagem não-linear: arc length e método da estabilização da energia;
 - Problema de cabos em catenária - efeitos não-lineares geométricos;
 - Resolução comparativa de exercícios que envolvam pequenos e grandes deslocamentos.
- 3) Não-linearidade do material e introdução ao contato:
 - Revisão geral sobre curvas de materiais - tensão vs. deformação, não-linearidade do material, plasticidade, encruamento. Aspectos práticos de implementação no ANSYS;
 - Critérios de resistência aplicados à plasticidade. Superfície de falha de von Mises. Regras de encruamento (cinemático e isotrópico);
 - Elasticidade não-linear;
 - Outros modelos não-lineares de materiais específicos (gaxetas);
 - Exercícios envolvendo não-linearidade do material no ANSYS. Problemas com materiais perfeitamente plásticos e com encruamento. Construção de curvas de material para inserir no software;
 - Motivação para o problema de contato (múltiplas aplicações);
 - Vínculos em problemas mecânicos;
 - Detecção do contato (gap function).

ANÁLISE MODAL E DINÂMICA: FUNDAMENTOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

- 1) Introdução a Análises Dinâmicas:
 - Vibração livre;
 - Vibração forçada.
- 2) Amortecimentos:
 - Amortecimento viscoso e por histerese;
 - Matrizes amortecimento;
 - Sistema sub-amortecido e super-amortecido.
- 3) Análise Modal:
 - Algoritmos de determinação de autovalores;
 - Normalização por matriz massa ou deslocamento.
- 4) Análise Harmônica:
 - Método full;
 - Método da superposição modal.
- 5) Introdução a Análises Dinâmicas:
 - Densidade espectral de potência;
 - Resposta de densidade espectral de potência;
 - Resposta média quadrática.
- 6) Análise de Dinâmica Rotativa:
 - Sistemas de referência;
 - Efeito Coriolis e Giroscópico;
 - Diagrama de Campbell;
 - Forças síncronas e assíncronas.
- 7) Análise Transiente, Solver Implícito:
 - Métodos de integração no tempo;
 - Método da integração direta;
 - Método da superposição modal.
- 8) Análise Transiente, Solver Explícito:
 - Método da diferença central;
 - Diferenças entre solver implícito e explícito (método de solução, setup e aplicações).

ANÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR: FUNDAMENTOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

- 1) Introdução à Termodinâmica:
 - Lei de Fourier;
 - Leis de Newton e Conservação de Energia;
 - Visão Geral dos Métodos de Transferência de Calor.
- 2) Solução por Métodos Numéricos:
 - Modelagem Numérica por Elementos Finitos;
 - Associação com Modelagem Estrutural.

- 3) Propriedades Térmicas:
 - Típicas propriedades de simulações em regime permanente e transiente;
 - Não-linearidade térmica de material - propriedades dependentes da temperatura.
- 4) Condução:
 - Condutividade Térmica;
 - Condução Unidimensional e Bidimensional;
 - Resistência Térmica de Contato;
 - Condução em Regime Transiente.
- 5) Convecção:
 - Coeficiente de Troca de Calor;
 - Convecção Livre;
 - Convecção Forçada.
- 6) Radiação:
 - Emissão, Absorção e Transmissão de Radiação Térmica;
 - Propriedades Superficiais;
 - Radiação entre Corpos.
- 7) Procedimento e Recomendações de Modelagem.
- 8) Aplicações Termodinâmicas Típicas pelo Método de Elementos Finitos.

MECÂNICA DA FRATURA E ANÁLISE DE FADIGA: FUNDAMENTOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

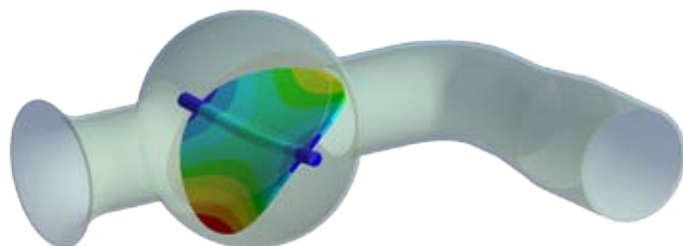
- 1) Introdução.
- 2) História do método e seus principais protagonistas.
- 3) Motivação econômica e técnica do estudo da fadiga e mecânica da fratura.
- 4) Natureza estatística da fadiga e do dimensionamento mecânico.
- 5) Conceituação de Dano, Fadiga e Mecânica da Fratura.
- 6) Características das Falhas por Fadiga e Propriedades Básicas dos Materiais Estruturais.
- 7) Métodos tradicionais de dimensionamento a fadiga (SN, Epsilon-N).
- 8) Conceitos básicos da metodologia do estudo da Fadiga no domínio da Frequência.
- 9) Seleção da Metodologia de acordo com o carregamento imposto e ferramentas de análise disponíveis.
- 10) A abordagem mesoscópica de Lin-Taylor, Dang Van e Papadopoulos e sua aplicação na indústria automobilística.
- 11) Estimativas de curvas SN e Epsilon-N.
- 12) Estimativas e relações entre as constantes Epsilon-N.
- 13) Solicitações de amplitude variável.
- 14) Fadiga Multi-axial e fator de correção de Neuber.
- 15) Método Rain Flow, Efeito do Carregamento médio, Régra de Acúmulo de Dano de Palmgreen-Miner.
- 16) Definição da Mecânica da Fratura e Leis de propagação.
- 17) O conceito da taxa de liberação de Energia de Griffith.
- 18) Análise de tensões na ponta da trinca.
- 19) O conceito do intensificador de tensões (K) e do cálculo da Integral (J).
- 20) O conceito de projeto tolerante ao dano e aplicações.
- 21) Exemplo de projeto de código para dimensionamento à fadiga.
- 22) Conclusões.

TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETO

- 1) Conceitos básicos:
 - Introdução;
 - Conceitos de otimização;
 - Formulação geral do problema;
 - Existência e unicidade de uma solução ótima e Condições Kuhn-Tucker.
- 2) Funções de uma variável:
 - Aproximações polinomiais;
 - Funções de uma variável com restrição;
 - Estratégias gerais para minimizar funções de uma variável.
- 3) Funções de "N" variáveis sem restrições:
 - Métodos de ordem zero;
 - Métodos de primeira ordem;
 - Métodos de segunda ordem;
 - Critério de convergência.
- 4) Funções de "N" variáveis com restrições - Programação Linear:
 - Formulação do Problema de Programação Linear Padrão:
 - a. O Método Simplex.
- 5) Funções de "N" variáveis com restrições - Técnicas de Minimização Sequencial sem restrições:
 - Método da Penalidade Exterior;
 - Método da penalidade Interior;
 - O Método dos Multiplicadores de Lagrange.
- 6) Funções de "N" variáveis com restrições - Métodos Diretos:
 - Programação Sequencial Linear;
 - Programação Sequencial Quadrática;
 - Busca Randômica;
 - Algoritmos Genéticos.
- 4) Otimização Multiobjetivo:
 - Diferenças entre otimização mono e multiobjetivo;
 - Dominância e otimalidade de Pareto:
 - a. Conceito de dominância;
 - b. Propriedades de dominância;
 - c. Otimalidade de Pareto;
 - d. Procedimento para encontrar um conjunto não-dominado;
 - e. Condições de otimalidade.
- 8) Aplicação de Algoritmos de Otimização para Solução de Problemas Estruturais.

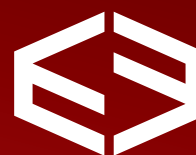
SEMINÁRIOS EM ANÁLISES DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

- 1) Seminários de aplicações industriais apresentados por profissionais da área (Automotiva, Turbomáquinas e Válvulas, Óleo e Gás, Offshore, entre outras).
- 2) Trabalho de conclusão de curso.



MAIORES INFORMAÇÕES

Silvia Firmino - ESSS
Fone: +55 (48) 3953-0056
E-mail: silvia.firmino@esss.com.br
www.esss.com.br



ESSS
ENGINEERING SIMULATION
SCIENTIFIC SOFTWARE