

COMSOL NEWS

A REVISTA DE SIMULAÇÃO MULTIFÍSICA

DE ALUNOS A
EMPREENDEDORES
Universidade de Buffalo
PÁGINA 32

A ABB ENERGIZA
A INDÚSTRIA DE
TRANSFORMADORES COM
APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO
PÁGINA 4

Sistemas de Foguetes

Modelagem da instabilidade
de combustão na NASA

PÁGINA 8

Criar, comunicar e colaborar com aplicativos de simulação personalizados: Trazendo a multifísica para todos

A verdadeira inovação é sobre tornar as tecnologias disponíveis para uso de todos, e a edição deste ano da COMSOL News é sobre o que está mantendo os especialistas em simulação ocupados nessa empreitada.

As informações fornecidas através da simulação numérica muitas vezes precisam ser comunicadas de forma clara para várias equipes, pois promover a colaboração dentro das organizações é fundamental para seu sucesso. Usuários do programa COMSOL Multiphysics® mostram a forma com que, através da adoção das poderosas ferramentas computacionais oferecidas no programa COMSOL Multiphysics®, eles criam modelos detalhados baseados em física e os apresentam em interfaces do usuário intuitivas ou aplicativos de simulação personalizado. Eles também discutem como o produto COMSOL Server™ permite a distribuição desses aplicativos para uso de seus colegas e clientes. Embora a simulação numérica tenha sido de domínio apenas dos especialistas em modelagem, aplicativos de simulação estão trazendo o poder da multifísica a todos.

Da propulsão de foguetes na NASA aos transformadores de energia na ABB e o empreendedorismo tecnológico na Universidade de Buffalo, você encontrará uma variedade de projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos que apresentam modelagem, simulação e design de aplicativos de última geração.

Gostaria de agradecer a todos os usuários do COMSOL que contribuíram com suas histórias compartilhando a sua experiência e buscando a excelência no seu trabalho.

Aproveite a leitura!



Valerio Marra
Gerente Técnico de Marketing
COMSOL, Inc.

INTERAGIR COM A COMUNIDADE COMSOL



COMSOL, Inc.



COMSOL Multiphysics



@COMSOL_Inc



google.com/+comsol

**BLOG
FÓRUM**

br.comsol.com/blogs
br.comsol.com/community/forums

Seus comentários sobre a COMSOL News são bem-vindos; fale conosco em info@br.comsol.com

**COMSOL
NEWS**
2016

© 2016 COMSOL. COMSOL, the COMSOL logo, COMSOL Multiphysics, Capture the Concept, COMSOL Desktop, COMSOL Server, LiveLink, e Simulation for Everyone são marcas registradas ou marcas comerciais da COMSOL AB. Todas as outras marcas comerciais pertencem aos seus respectivos proprietários, e COMSOL AB e suas subsidiárias e produtos que não são filiados, endossados por, patrocinados ou apoiados pelos proprietários da marca. Para obter uma lista dos proprietários dessas marcas registradas, acesse www.br.comsol.com/trademarks

O logotipo iOS é marca registrada ou marca comercial da LinkedIn Corporation, e suas afiliadas nos Estados Unidos e em outros países. O logotipo 'f' é uma marca comercial registrada do Facebook, Inc. O logotipo do pássaro é uma marca comercial registrada do Twitter, Inc. O logotipo G+ é uma marca comercial da Google, Inc.

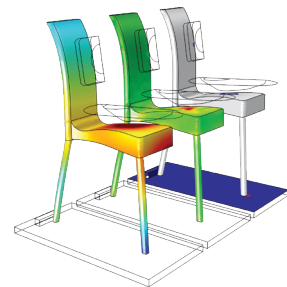
CONTEÚDO

TECNOLOGIA DE ENERGIA

- 4 | Das Planilhas às Aplicações Multifísicas, a ABB Continua a Energizar a Indústria de Transformadores

PROPULSÃO DE FOGUETE

- 8 | Programa Multifísico Modela Fenômenos Acústicos Aumentados por Escoamento em Sistemas de Foguetes



SEGURANÇA E QUALIDADE DO PRODUTO

- 12 | Oferecendo uma Mãozinha para Teste de Móveis

REFRIGERAÇÃO DE ELETRÔNICOS

- 14 | Aumento da Produtividade e da Receita com Aplicativos de Simulação

TECNOLOGIAS DE ENERGIA

- 18 | Melhoria das Normas de Estrangulamento da Tubulação de Gás com Simulação Numérica



NA CAPA

O lançamento do foguete Atlas V do Space Launch Complex 41 na Estação da Força Aérea de Cabo Canaveral na Flórida, EUA. Crédito da imagem: NASA/Bill Ingalls.

A NASA (National Aeronautics and Space Administration) não endossa o software COMSOL Multiphysics®.

DESTAQUES

ENGENHARIA AMBIENTAL

21 | Abordando a Limpeza de Derramamento de Óleo Usando Malhas Hidrofóbicas

FÍSICA DE CONSTRUÇÕES

24 | Vibração, Ruído e Oscilação

GARANTIA DE QUALIDADE DE SOFTWARE

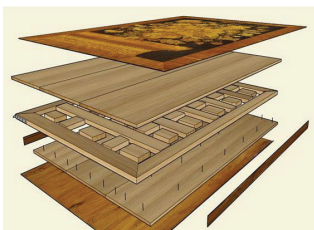
26 | Automação do Processo de Garantia de Qualidade de Software Relacionado à Segurança Nuclear Através de Aplicativos Personalizados

ENERGIA DE FUSÃO MAGNÉTICA

29 | Estrelas Feitas pelo Homem: Avaliação da Integridade Estrutural em Máquinas de Fusão Nuclear de Alto Desempenho para Geração de Energia

EMPREENDEDORISMO TECNOLÓGICO

32 | Promoção de Inovação Industrial com Aplicativos de Simulação Personalizados



FÍSICA DE CONSTRUÇÕES

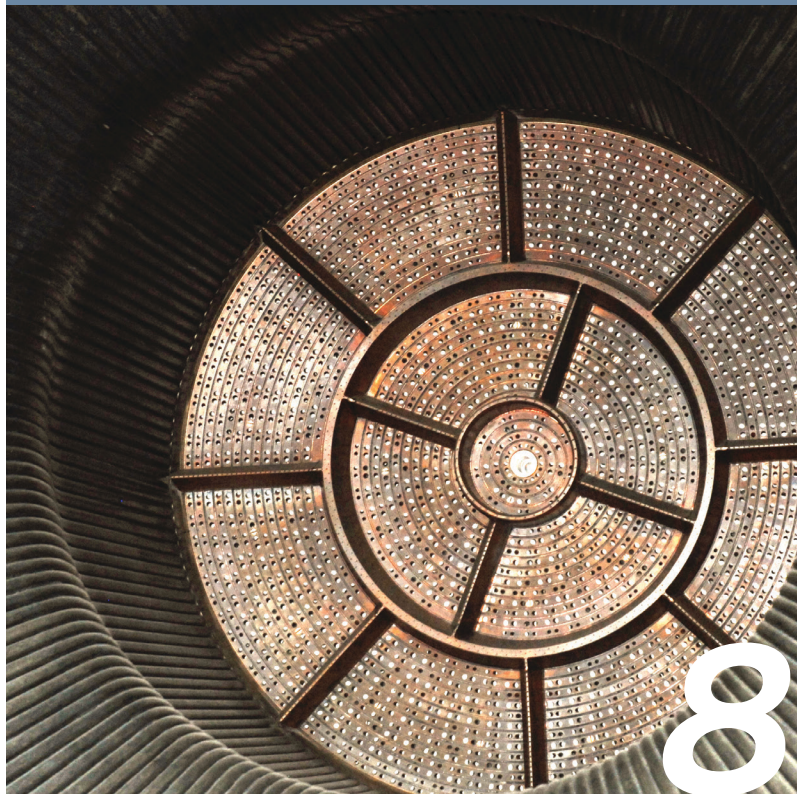
35 | A análise Multifísica Ajuda a Preservar o Passado

EMBALANDO ELETRÔNICOS

38 | Caracterização Térmica de um Dispositivo Eletrônico com um Aplicativo Personalizado

EDITORIAL CONVIDADO

40 | O COMSOL Multiphysics Traz Inovação à Academia e à Indústria



8



4

Species 1 Concentration

Model Diagram

Set Values

$f = 1.2$
 $r = 30 \text{ mm}$
 $T = 298 \text{ K}$
 $\phi = 0.55$
 $\rho = 2.2 \text{ g/cm}^3$
 $A = \text{surface area of electrodes}$
 $f = \frac{2\beta}{A_0(1-\beta) - 1}$

Governing Equations

Space Charge Density:

$$V = (-\epsilon_0 \epsilon_0 V \psi) = -N_A \left(\frac{Z_1 c_1^0 \exp(\frac{z_1 e \psi}{k_B T})}{1 + 2\nu_1 \sinh(\frac{z_1 e \psi}{k_B T})} + \frac{Z_2 c_2^0 \exp(\frac{z_2 e \psi}{k_B T})}{1 + 2\nu_2 \sinh(\frac{z_2 e \psi}{k_B T})} \right)$$

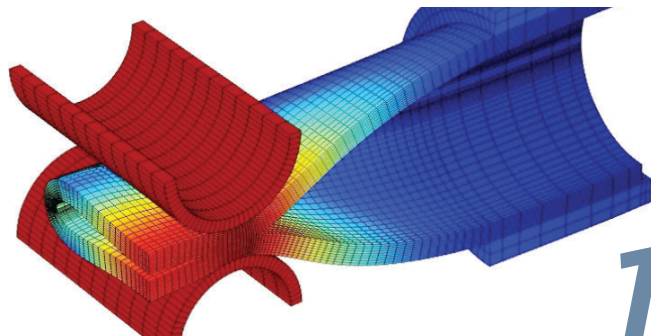
where: $\nu_i = 2a_i^3 N_A c_i^0$

Field-Dependent Permittivity:

$$\epsilon(E) = n^2 + \frac{2}{\beta} (\epsilon(0) - n^2) \left(\cos\left(\frac{\beta E}{2k_B T}\right) - 1 \right)$$

where: $\beta = \frac{5q}{2k_B T} (n^2 + 2)$

32



18



DAS PLANILHAS ÀS APLICAÇÕES MULTIFÍSICAS, A ABB CONTINUA A ENERGIZAR A INDÚSTRIA DE TRANSFORMADORES

As empresas que desenvolvem equipamentos para novos e melhorados transformadores incorrem em custos de prototipagem e testes, pois trabalham para reduzir o ruído do transformador. Na ABB, uma equipe de engenheiros desenvolve simulações multifísicas e aplicativos personalizados para oferecer informações sobre seus projetos.

por **LEXI CARVER**

Para tudo, desde cozinhar até carregar nossos telefones, contamos todos os dias com a rede elétrica que alimenta edifícios como casas, empresas e escolas. Esta complexa rede inclui estações geradoras de energia elétrica, linhas de transmissão de alta tensão que transportam energia elétrica através de grandes distâncias, linhas de distribuição que fornecem energia para casas e bairros individuais, e o hardware relacionado usado para controle e proteção do fluxo de energia.

Entre estes equipamentos estão transformadores de potência para aumentar e diminuir os níveis de tensão nas linhas de energia que transportam corrente alternada (veja a Figura 1). A transferência de potência com tensões mais elevadas resulta em menores perdas e, por isso, é mais desejável para o transporte de energia a longas distâncias. No entanto, esses níveis de alta tensão poderiam representar um risco de segurança em cada extremidade das linhas, assim os transformadores são utilizados para aumentar os níveis

de tensão no ponto de alimentação de energia e diminuí-los próximo aos bairros e edifícios.

Mas transformadores apresentam ruído que muitas vezes se manifesta como um zumbido fraco ou um zumbido que pode ser ouvido ao passarmos por perto. Embora seja impossível silenciá-los completamente, a regulamentação exige adesão aos níveis de som seguros, e um bom projeto do produto pode minimizar esses efeitos acústicos.

Um dos maiores fabricantes de transformadores utilizados em todo o



FIGURA 1. Foto do transformador para linhas de alta tensão.

munho, a ABB (com sede em Zurique, Suíça), usou análises numéricas e aplicações computacionais para prever e minimizar os níveis de ruído em seus transformadores. Através do software de simulação COMSOL Multiphysics® e seu Application Builder, eles executam verificações virtuais do projeto, testam diferentes configurações e implantam os resultados de suas simulações através de interfaces de usuário personalizadas construídas em torno de seus modelos.

⇒ SILENCIANDO O SOM DE VÁRIAS FONTES

O ruído do transformador é derivado de várias fontes, tais como vibrações no núcleo do transformador ou nas ventoinhas e bombas auxiliares usadas no sistema de resfriamento. Cada uma destas fontes precisa ser tratada de forma diferente para reduzir o ruído.

Os transformadores da ABB são compostos por um núcleo de metal com bobinas de fio enrolado em torno de seções diferentes, um compartimento ou

tanque para proteger esses componentes e um óleo de isolamento no interior do tanque (ver figura 2, parte superior). A passagem de corrente alternada através dos enrolamentos de uma bobina cria um fluxo magnético que induz uma corrente em uma bobina adjacente. O ajuste da tensão é conseguido através de números diferentes de voltas da bobina.

Como o núcleo é feito de aço, um material magnetoestritivo, esses fluxos magnéticos – que alternam a direção – causam tensões mecânicas. Isso gera vibrações devido ao rápido crescimento e encolhimento do metal. Estas vibrações viajam até as paredes do tanque através do óleo e dos pontos de fixação que fixam o núcleo interno no lugar, gerando um zumbido audível conhecido como ruído do núcleo (ver figura 2, parte inferior).

Além do ruído do núcleo, a corrente alternada na bobina produz forças de Lorentz nos enrolamentos individuais, provocando vibrações conhecidas como ruído de carga que aumentam a energia mecânica transferida para o tanque.

Com estas múltiplas fontes de ruído e os fatores eletromagnéticos, acústicos e mecânicos interligados, os engenheiros

da ABB Corporate Center Research (ABB CRC) em Västerås, Suécia, precisavam compreender o funcionamento interno de seus transformadores, a fim de otimizar seus projetos para o transformador produzir um zumbido mínimo.

⇒ EFEITOS ACÚSTICOS, MECÂNICOS E ELETROMAGNÉTICOS JUNTOS

“Escolhemos trabalhar com o COMSOL Multiphysics porque nos permite acoplar facilmente um número de diferentes físicas”, disse Mustafa Kavasoğlu, cientista da ABB CRC. “Como este projeto nos obriga a modelar eletromagnética, acústica e mecânica, o software COMSOL® foi a melhor opção para resolver essas três físicas em um único ambiente.”

Kavasoğlu; Dr. Anders Daneryd, cientista responsável; e Dr. Romain Haettel, engenheiro responsável, formam a equipe da ABB CRC que trabalha com acústica de transformadores. O objetivo deles era criar uma série de simulações e aplicativos computacionais para calcular

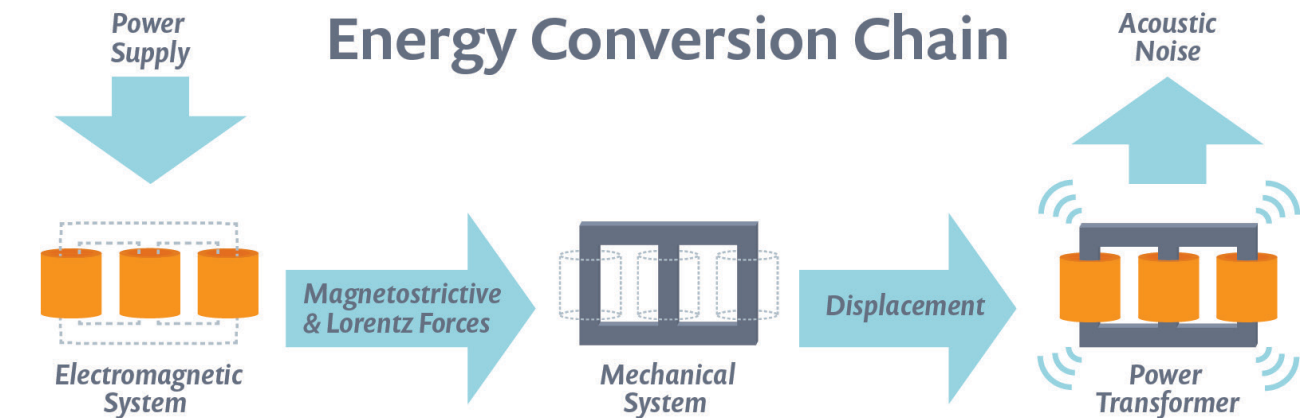
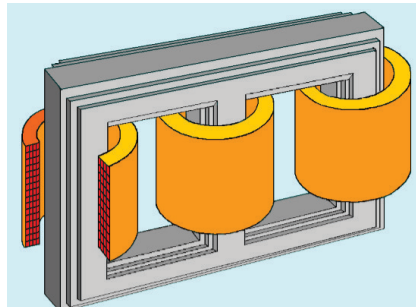


FIGURA 2. Superior esquerdo: Modelo CAD da parte ativa de um transformador trifásico com enrolamentos montados ao redor do núcleo. Superior direito: A parte ativa de um transformador de energia que é colocada em um tanque cheio de óleo. Inferior: A cadeia de conversão de energia do ruído do núcleo e da geração de ruído de carga (magnetostricção no núcleo e as forças de Lorentz em enrolamentos).

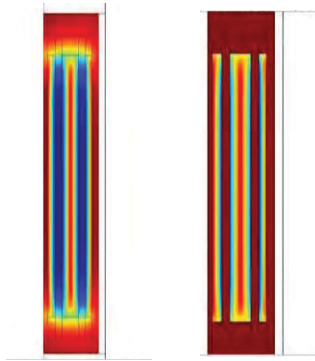


FIGURA 3. Resultados da simulação mostrando a densidade do fluxo magnético (esquerda) e as forças de Lorentz (direita) nos enrolamentos da bobina do transformador.

o fluxo magnético gerado no núcleo e nos enrolamentos do transformador (ver Figura 3, esquerda), as forças de Lorentz nos enrolamentos (ver Figura 3, direita), deslocamentos mecânicos provocados pelas deformações magnetoelásticas e os níveis de pressão resultantes das ondas acústicas que se propagam através do tanque. Eles trabalham em estreita colaboração com a unidade de negócios da ABB Transformers, muitas vezes contando com a experiência e conhecimento do Dr. Christoph Ploetner, um profissional reconhecido na área de transformadores de potência, para garantir que eles satisfaçam às necessidades e exigências do negócio.

Uma simulação modela o ruído que emana do núcleo devido à magnetostricção. A equipe começou com um modelo electromagnético para prever os campos magnéticos induzidos pela corrente alternada e, em seguida, as tensões magnetoelásticas no aço.

A sua configuração de geometria incluía o núcleo de aço, enrolamentos e um domínio exterior representando o tanque. "Obtivemos o deslocamento a partir das deformações magnetoelásticas, então, calculamos a ressonância para diferentes frequências utilizando uma análise modal", disse Kavasoğlu (ver Figura 4). "As ressonâncias são facilmente excitadas pelas

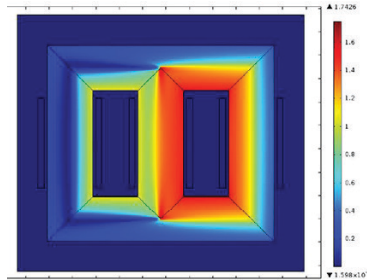


FIGURA 4. Esquerda: Resultados do software COMSOL® mostrando níveis do fluxo magnético no aço. Direita: Resultados mostrando a ressonância do núcleo. As deformações são exageradas para fins de visualização.

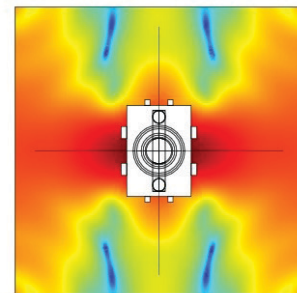
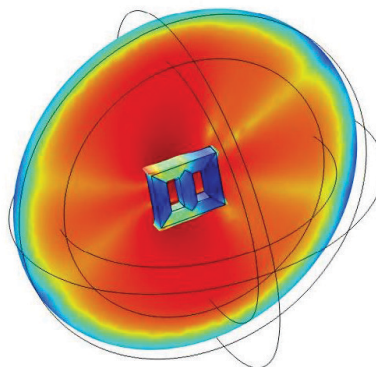
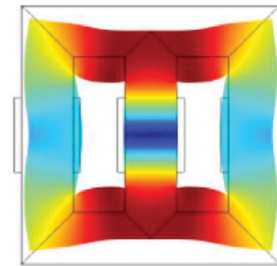


FIGURA 5. Resultados da análise acústica mostrando o campo de pressão do som ao redor do núcleo (esquerda) e ao redor do transformador (direita).

deformações magnetoelásticas e causam grande ampliação da vibração nestas frequências."

Eles foram capazes de prever as ondas sonoras que se deslocam através do óleo e calcular as vibrações resultantes do tanque, o que implica em irradiação do som para o ambiente ao redor (Ver Figura 5).

Eles também simularam os deslocamentos dos enrolamentos da bobina que provocam ruído de carga e determinaram a pressão de superfície nas paredes do tanque devido ao campo sonoro resultante (ver Figura 6).

A inclusão de estudos paramétricos que retratam as complexas relações entre os parâmetros de projeto (como

espessura do tanque e propriedades dos materiais) e o zumbido do transformador resultante, tornou possível ajustar a geometria e as configurações do núcleo, enrolamentos e tanque para minimizar o ruído.

⇒ DIVULGANDO CAPACIDADES DE SIMULAÇÃO EM TODA A ABB

A equipe da CRC continua a usar o software COMSOL não só para melhorar a sua compreensão e os seus modelos, mas para estender seus conhecimentos ao resto dos projetistas da ABB e da unidade de negócios. Usando o Application Builder no COMSOL Multiphysics, eles começaram a criar aplicativos de seus modelos multifísicos, que podem ser facilmente personalizados de acordo com as necessidades de cada departamento.

Esses aplicativos de simulação simplificam o teste e a verificação para os projetistas e engenheiros de P&D: "Os projetistas têm utilizado ferramentas baseadas em estatísticas e modelos empíricos. Estamos preenchendo as

“Nós também estamos usando a licença do COMSOL Server™ para distribuir nossos aplicativos para outros escritórios para testes, o que torna fácil compartilhá-lo. Esta licença mundial é excelente; com uma organização global, esperamos que os usuários em nossos outros locais ao redor do mundo se beneficiar destes aplicativos.”

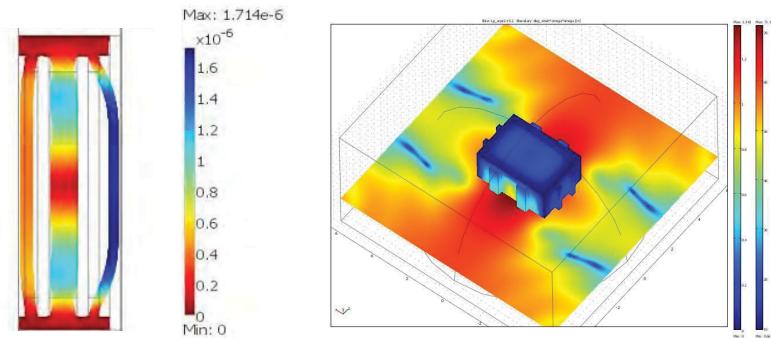


FIGURA 6. Esquerda: Resultados da simulação mostrando o deslocamento dos enrolamentos. As deformações são exageradas para fins de visibilidade. Direita: Resultados mostrando os níveis de pressão do som fora do tanque e o deslocamento das paredes.

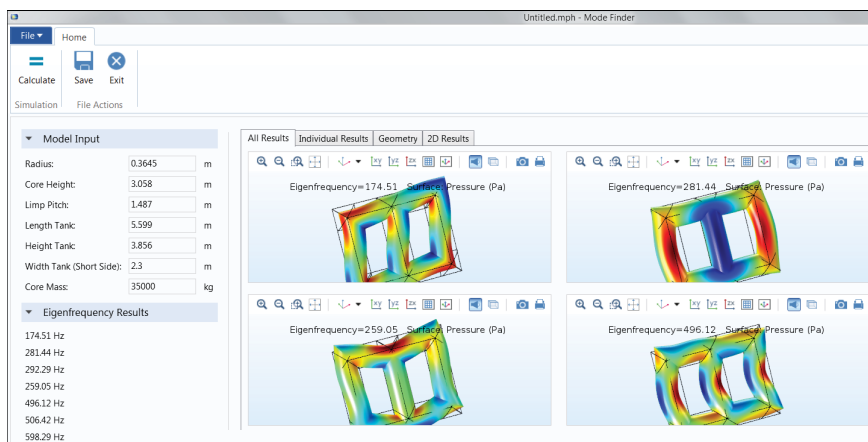


FIGURA 7. Imagem recortada do primeiro aplicativo de simulação criado para cálculo de frequências naturais do núcleo do transformador. À esquerda, uma aba no aplicativo mostra as entradas do modelo; à direita, os resultados são apresentados para as frequências naturais calculadas. As deformações são exageradas para fins de visualização.

lacunas, implantando aplicativos de simulação. O Application Builder nos permitiu oferecer acesso à análise de elementos finitos, através de uma interface sem a necessidade de aprender a teoria dos elementos finitos", explicou Haettel.

Um aplicativo (ver Figura 7) calcula as frequências naturais específicas do núcleo do transformador que podem implicar em questões relacionadas ao ruído devido às frequências que ficam dentro da faixa audível. Este aplicativo inclui o modelo físico desenvolvido no software COMSOL® e métodos personalizados escritos no código Java®, programados dentro do Application Builder.

"Nossos projetistas utilizam planilhas padronizadas que funcionam bem para os transformadores que eles constroem frequentemente. Mas quando novos projetos, ou diferentes dimensões, são introduzidos, eles podem ter problemas

com essa abordagem, como saídas erradas mostrando dados menos precisos para os níveis de ruído. Isso pode se tornar muito caro se forem necessárias medidas adicionais para reduzir o ruído no transformador concluído", Haettel continuou.

"Além do aspecto custo, há o aspecto tempo. O novo aplicativo tornará o trabalho dos projetistas mais fácil e eficiente usando a precisão de um código de FEA."

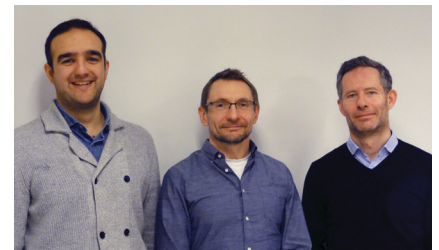
O aplicativo personalizado adiciona um nível de conveniência, permitindo aos usuários verificar como certas combinações de geometria, propriedades do material, e outros parâmetros do projeto afetarão o zumbido resultante do transformador. "Temos sido ponderados sobre como selecionar quais parâmetros forneceremos acesso – nos concentrando naqueles que são mais importantes", acrescentou Kavasoglu.

Com a grande variedade de aplicações industriais para as quais a ABB projeta transformadores, esta flexibilidade é extremamente útil para a sua concepção e processo de testes virtuais. "A ABB produz transformadores para cada necessidade industrial. No momento, estamos nos concentrando em transformadores de grande potência AC, comumente usados por empresas de energia que transmitem e distribuem energia elétrica para as cidades", explicou.

"Mas o trabalho que estamos fazendo pode ser adaptado para qualquer tipo de transformador, e, claro, se recebermos um pedido específico, adaptamos o aplicativo a essa necessidade. Isso nos permite realizar o trabalho de desenvolvimento adicional facilmente. O Application Builder tornou a transferência de conhecimento e tecnologia muito mais fácil.

"Nós também estamos usando a licença do COMSOL Server™ para distribuir nosso aplicativo a outros escritórios para testes, o que torna fácil compartilhá-lo. Esta licença mundial é excelente; com uma organização global, esperamos que os usuários em nossos outros locais ao redor do mundo se beneficiem destes aplicativos." Com uma instalação local do COMSOL Server, os especialistas em simulação podem gerenciar e implementar seus aplicativos, tornando-os acessíveis através de um cliente ou navegador de Internet.

A equipe está se concentrando em um segundo aplicativo que calculará o ruído de carga. Uma vez implantado na unidade de negócios, este aplicativo removerá ainda mais a carga de cálculos tediosos, permitindo que projetistas e engenheiros de vendas executem mais testes virtuais sem a necessidade de trabalhar com um modelo detalhado, e permitirá que a ABB produza os melhores transformadores do mundo de maneira mais rápida e fácil. ❖



Da esquerda para a direita: Mustafa Kavasoglu, Romain Haettel e Anders Daneryd da ABB CRC.

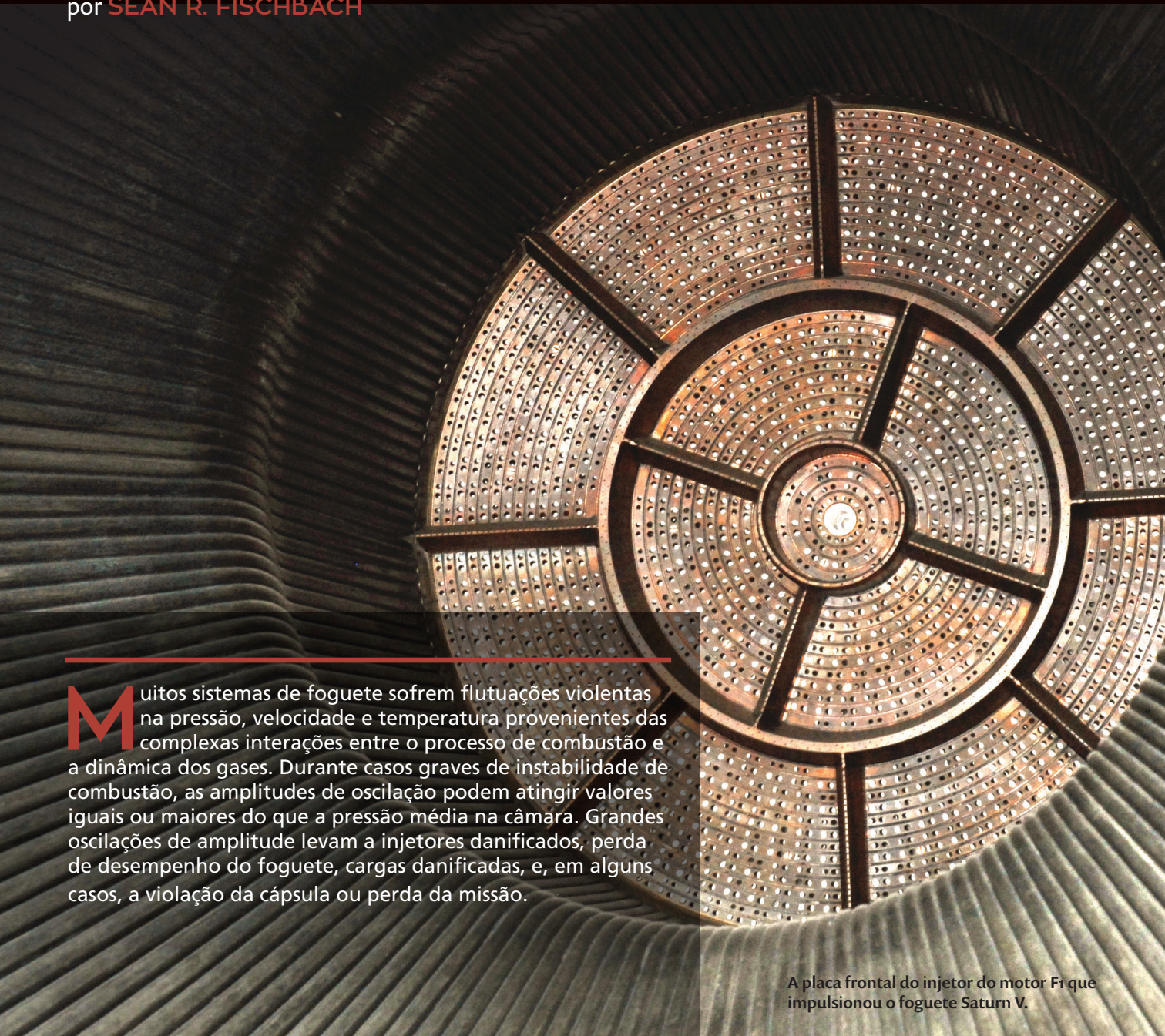
PROGRAMA MULTIFÍSICO MODELA FENÔMENOS ACÚSTICOS AUMENTADOS POR ESCOAMENTO EM SISTEMAS DE FOGUETES

A instabilidade da combustão em motores de foguetes de combustíveis sólidos e líquidos é uma complicação que continua a desafiar os projetistas e engenheiros. A adoção de uma abordagem de modelagem de alta fidelidade, apoiada por uma análise multifísica, fornece grande discernimento e capacidade preditiva.

por **SEAN R. FISCHBACH**

Muitos sistemas de foguete sofrem flutuações violentas na pressão, velocidade e temperatura provenientes das complexas interações entre o processo de combustão e a dinâmica dos gases. Durante casos graves de instabilidade de combustão, as amplitudes de oscilação podem atingir valores iguais ou maiores do que a pressão média na câmara. Grandes oscilações de amplitude levam a injetores danificados, perda de desempenho do foguete, cargas danificadas, e, em alguns casos, a violação da cápsula ou perda da missão.

A placa frontal do injetor do motor F1 que impulsionou o foguete Saturn V.



Dificuldades históricas na modelagem e previsão da instabilidade de combustão conduziram a maioria dos casos de foguetes que sofriam instabilidade a uma correção cara por meio de testes (veja a Figura 1), ou ao descarte de todo o sistema.

“Uma descrição mais completa das oscilações da instabilidade da combustão é conseguida quando uma avaliação global baseada em energia é usada.”

Durante o início do desenvolvimento da propulsão a foguetes, cientistas e engenheiros de tecnologia interpretaram a física subjacente em jogo através de testes de medição da vibração, observação da variação das plumas de exaustão e, mais notavelmente, os sinais sonoros que acompanham as instabilidades. Estas observações levaram os pioneiros da pesquisa da instabilidade de combustão a concentrarem seus esforços de modelagem nas ondas acústicas dentro das câmaras de combustão.

Este foco na acústica é bastante lógico, dado que a frequência medida da oscilação muitas vezes se aproxima dos modos acústicos normais da câmara de combustão. Mas esse foco estreito perde contribuições feitas pelas ondas rotacionais e térmicas que são resultado direto, ou estreitamente associadas, da onda acústica. Uma descrição mais completa das oscilações de instabilidade de combustão é obtida quando uma avaliação global baseada em energia é usada.

Recentes avanços na modelagem, baseada em energia, de instabilidades de combustão exigem uma determinação exata de frequências acústicas e modos de vibração. De particular interesse são as interações do escoamento médio e acústica no interior da seção convergente da tubeira de um foguete, onde os gradientes de pressão, densidade e velocidade tornam-se grandes. A expulsão da energia instável através do bocal de um foguete é identificada como a fonte predominante de amortecimento acústico para a maioria dos sistemas de foguetes.

Recentemente, uma abordagem para tratar do amortecimento do bocal com os efeitos dos escoamentos médios foi implementada por French². Esta nova abordagem estende o trabalho originado

por Sigman e Zinn³ resolvendo a equação potencial de velocidade acústica (AVPE) formulada através das perturbações das equações de Euler⁴.

Determinar autovalores da AVPE, onde ψ é o potencial acústico complexo, λ os autovalores complexos, c a velocidade do som e M o vetor Mach,

$$\nabla^2 \psi - \left(\frac{\lambda}{c}\right)^2 \psi - M \cdot [M \cdot \nabla(\nabla \psi)] - 2 \left(\frac{\lambda M}{c} + M \cdot \nabla M\right) \cdot \nabla \psi - 2\lambda \psi \left[M \cdot \nabla \left(\frac{1}{c}\right)\right] = 0$$

é consideravelmente mais complexo do que a tradicionalmente usada equação de onda baseada na pressão

e requer aproximações numéricas do

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho} \nabla p\right) + \frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

campo de escoamento na câmara e autovalores.

⇒ MODELAGEM DA DINÂMICA DO GÁS NA CÂMARA

Os últimos modelos teóricos para perturbações oscilatórias em escoamentos de alta velocidade exigem uma determinação precisa dos modos acústicos da câmara. Mas, inicialmente, uma simulação das propriedades do escoamento médio na câmara de combustão deve ser realizada.

O software COMSOL Multiphysics[®] fornece uma plataforma numérica para simular, convenientemente e com precisão, a dinâmica do gás na câmara e a acústica interna. Este pacote de

escoamento em regime permanente de um motor genérico a combustível líquido usando a interface física High Mach Number Laminar Flow que utiliza as equações de Navier-Stokes totalmente compressíveis para um gás ideal em conjunto com as equações de conservação de energia e massa.

Para considerar a injeção de gás quente devido à queima do propelente, a placa frontal do injetor é modelada com um fluxo de entrada uniforme de gás propelente queimado (ver Figura 2). Todos os outros contornos sólidos são modelados com a condição de contorno de deslizamento, e o plano de saída é modelado com a condição de escoamento híbrido, o que significa que escoamentos subsônico e supersônico são suportados.

Os resultados da simulação do escoamento médio são revisados para garantir uma solução válida e convergida. Os parâmetros do escoamento médio tais como pressão, densidade, velocidade e velocidade do som são necessários para modelar a AVPE. Os valores do escoamento médio na seção convergente do bocal, perto do plano de choque sônico, são de interesse considerável. O plano sônico, onde o número Mach é igual a 1, cria uma barreira acústica no escoamento. A fim de criar uma geometria precisa para a análise acústica, o plano sônico (retratado em magenta na Figura 3) é extraído a partir da simulação do escoamento médio.

⇒ MODELAGEM DA ACÚSTICA DA CÂMARA

A interface matemática Coefficient Form PDE (Equação Diferencial Parcial) do COMSOL Multiphysics é usada para determinar os autovalores complexos da AVPE. Os termos do escoamento médio na AVPE são fornecidos pela solução da simulação do escoamento médio. A dinâmica do gás dentro da câmara de combustão desempenha um papel importante na definição das condições de contorno para a análise da acústica. Dentro das seções convergente e divergente do bocal do foguete, gradientes de pressão na câmara, velocidade e densidade crescem, teoricamente, ao infinito no plano sônico e diante do número Mach é igual a 1. Adiante do plano sônico, as perturbações acústicas sofrem convecção com o escoamento médio a velocidades maiores que a velocidade do som.

Esta condição impede que perturbações abaixo do plano sônico se propaguem de volta para cima. A seção divergente do bocal está acusticamente

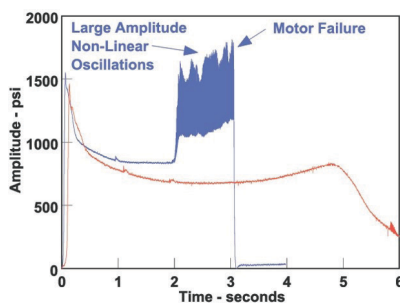


FIGURA 1. Pressão de um motor de foguete sólido estável (vermelho) e instável (azul)¹.

software de elementos finitos oferece muitas físicas predefinidas, juntamente com uma interface de matemática generalizada.

O presente estudo emprega a estrutura de elementos finitos da COMSOL para modelar os parâmetros do campo de

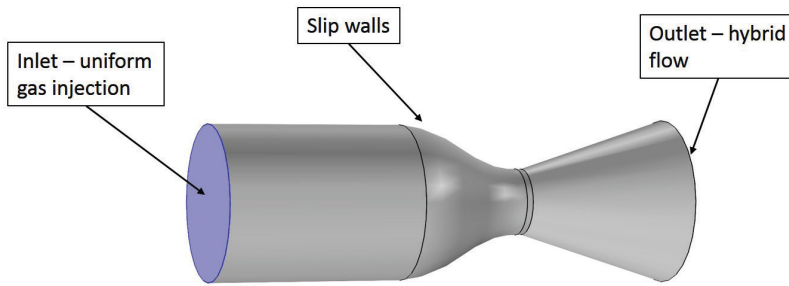


FIGURA 2. Geometria do motor a combustível líquido simulado com condições de contorno.

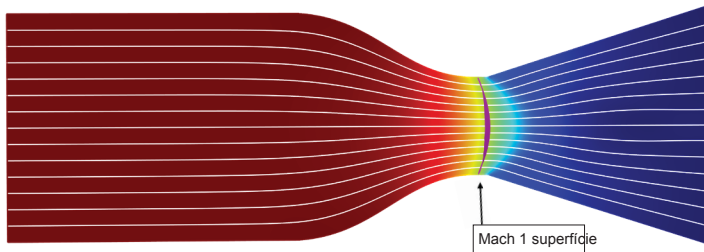


FIGURA 3. Linhas de corrente plotadas sobre a pressão na câmara.. A superfície Mach 1 é traçada em magenta.

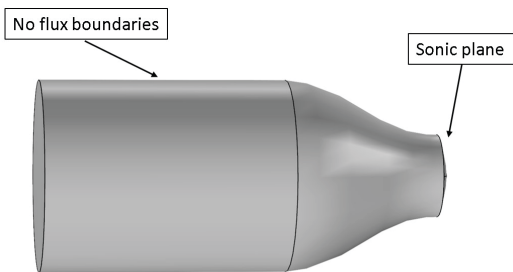


FIGURA 4. Geometria da análise acústica com condições de contorno.

em silêncio e não afeta a acústica da câmara. A geometria da simulação é truncada na linha sônica do bocal, onde uma condição de contorno de zero fluxo é auto-satisfatória (ver Figura 4). Os limites restantes são modelados com uma condição de contorno de zero fluxo, assumindo absorção acústica zero em todas as superfícies.

A análise de valores próprios produz modos e valores próprios complexos representando cada modo acústico e seu conjugado complexo. A parte real do valor próprio complexo representa o amortecimento temporal do modo acústico, com a parte imaginária que definindo a frequência da oscilação. Os autovetores complexos representam a amplitude espacial e a fase da onda acústica.

A comparação dos modos de vibração acústica obtidos usando a equação de onda homogênea clássica (equação de Helmholtz) aos obtidos usando o AVPE demonstra os benefícios dos modelos de maior fidelidade que representam corretamente a física subjacente (ver Figura 5). A inclusão dos termos do escoamento médio na AVPE modela precisamente a mudança de fase causada pelo escoamento de gás em regime permanente. A sincronização

de fase é extremamente importante uma vez que os modelos de instabilidade de combustão fazem uso da integração temporal e espacial dos autovetores acústicos.

A utilização do COMSOL Multiphysics para simular a dinâmica de gás de foguetes e modos acústicos fornece modos mais precisos em relação às técnicas anteriores. A representação acústica com maior fidelidade é facilmente incorporada aos modelos de instabilidade de combustão para oferecer aos projetistas e engenheiros de foguetes maiores capacidades preditivas. A inclusão de dispositivos de amortecimento, tais como defletores, ou mudanças nas condições de operação, agora podem ser modeladas com maior precisão antes dos testes.

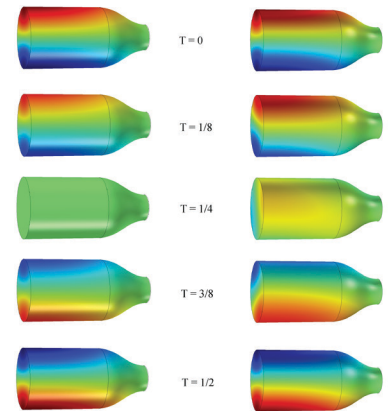


FIGURA 5. Comparação do primeiro modo tangencial calculado usando a equação clássica de onda homogênea (à esquerda), e o AVPE (direita) de um meio período (T) de oscilação.

⇒ TRABALHO CONTÍNUO

Uma descrição mais completa da instabilidade de combustão inclui oscilações de rotação e térmicas em conjunto com a acústica da câmara. As oscilações rotacionais ocorrem como um resultado direto da oscilação acústica, onde ondas térmicas também podem estar presentes na ausência de flutuação acústica. O trabalho contínuo usando o COMSOL Multiphysics se concentrará em resolver a onda rotacional viscosa que acompanha todas as oscilações acústicas.



Este artigo foi escrito por Sean R. Fischbach, Marshall Space Flight Center/ Jacobs ESSSA Group, MSFC, Huntsville, AL.

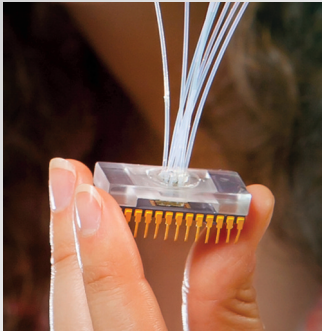
REFERÊNCIAS

1. F. S. Bloomfield, *Lessons Learned in Solid Rocket Combustion Instability*, 43rd AIAA Joint Propulsion Conference, AIAA-2007-5803, Cincinnati, OH, July 2007.
2. J. C. French, *Nozzle Acoustic Dynamics and Stability Modeling*, Vol. 27, Journal of Propulsion and Power, 2011.
3. R. K. Sigman and B. T. Zinn, *A Finite Element Approach for Predicting Nozzle Admittances*, Vol. 88, Journal of Sound and Vibration, 1983, pp. 117-131.
4. L. M. B. C. Campos, *On 36 Forms of the Acoustic Wave Equation in Potential Flows and Inhomogeneous Media*, Vol. 60, Applied Mechanics Reviews, 2007, pp. 149-171.

“THE BEST WAY TO PREDICT THE FUTURE ...IS TO CREATE IT.”

—ABRAHAM LINCOLN

Revolutionary Design



2011 GRAND PRIZE WINNER FLUID-SCREEN BACTERIAL DETECTION SYSTEM

For the past 100 years, the standard procedure for detecting dangerous bacteria meant collecting a sample, sending it out to a lab, and waiting 24 to 48 hours to grow a culture and report the results. Fluid-Screen’s patent-pending new technology puts the power of a lab in the palm of your hand to give you test results in about 30 minutes.

Fluid-Screen is a revolutionary bacterial detection system for quality assurance testing in fields such as municipal water supplies, medical applications, and food processing.

WILL YOUR DESIGN BE NEXT?

Start Creating the Future at:

www.createthefuturecontest.com

Create THE Future

DESIGN CONTEST 2016

PRINCIPAL SPONSORS



CATEGORY SPONSORS



PRIZE SPONSORS



Oferecendo uma Mãozinha Para Teste de Móveis

No setor moveleiro, os padrões de qualidade imperam. Cadeiras que passam por um teste físico podem ser vendidas, enquanto um protótipo que não deu certo volta à prancheta para os engenheiros que projetaram a cadeira.

por **LEXI CARVER**

Atrás de cada produto de consumo que chega ao mercado está um processo iterativo de concepção, remodelagem, prototipagem e testes, que remete ao trabalho de pesquisadores, engenheiros e especialistas, para assegurar que um objeto está pronto para o varejo. Para atender aos requisitos de segurança e qualidade, os fabricantes devem passar por uma avaliação a fim de verificar se o seu produto pode ser vendido nas lojas.

Para uma cadeira ser colocada à venda, este rigoroso processo envolve a confirmação de que ela vai aguentar o peso de uma pessoa, manter a sua forma e não flambar sob certas condições. Uma cadeira deve suportar milhares de ciclos de carga repetida ao longo da vida e não pode sofrer rachaduras, quebra ou arqueamento.

⇒ OS CENTROS DE TESTE ALIVIAM A CARGA DOS PROJETISTAS

Como este processo de teste pode ser caro e demorado para os clientes que necessitam de certificação, uma organização de avaliação independente (um "centro de teste") está se esforçando para diminuir a carga sobre as empresas envolvidas na produção de cadeiras. Eles testam centenas de cadeiras diferentes a cada ano, e cada projeto que não cumpre com as normas de qualidade europeias e americanas (EN, BS, ISO e ANSI) resulta em decepção para os fabricantes de cadeiras e milhares de dólares em mudanças nos projetos e novos testes.

Para reduzir a sobrecarga sobre os fabricantes, um centro de teste recorreu à Continuum Blue, uma consultora certificada da COMSOL que ajuda as empresas a desenvolver aplicativos de simulação numérica, para criar uma ferramenta que o centro de teste

pudesse oferecer aos clientes para testar diferentes cadeiras. Isso permitiria prever virtualmente se um projeto de cadeira seria aprovado ou não antes da fase de testes físicos.

"Nosso cliente queria saber se poderia desenvolver aplicativos de simulação para os seus serviços de teste", explicou o Dr. Mark Yeoman, diretor da Continuum Blue. "Seus clientes poderiam se conectar remotamente, fazer upload de vários projetos de cadeira e testar virtualmente cada um. Uma vez que estivessem confiantes que uma cadeira passou no teste virtual, fabricariam o projeto e enviariam uma amostra ao centro de testes."

Tal aplicativo de teste exigiria uma grande variedade de funções. Ele teria que incorporar os critérios de qualidade, ser intuitivo e utilizável por engenheiros e projetistas em todas as fases do processo de desenvolvimento, e ser flexível o suficiente para testar diferentes modelos de cadeira, formas e materiais.

⇒ A SIMULAÇÃO ABRE CAMINHO PARA A AVALIAÇÃO MAIS RÁPIDA DE MÓVEIS

Yeoman desenvolveu um modelo numérico usando o software COMSOL Multiphysics® que poderia prever a resposta da cadeira ao teste de carga padrão. A sua simulação incluiu a geometria da cadeira, piso, blocos para fixar as pernas no lugar e placas de carregamento para a parte de trás e base para imitar o teste físico (veja a Figura 1).

Em última análise, a pergunta que a simulação precisava responder para diversos projetos diferentes era "essa cadeira irá falhar sob a carga especificada?"

"Uma cadeira precisa suportar testes minuciosos em algumas poucas áreas", observou Yeoman. "Ela deve sobreviver

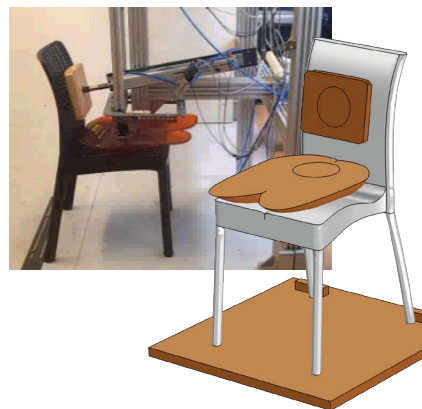


FIGURA 1. Configuração do teste da cadeira. Primeiro plano, geometria do modelo de cadeira da Continuum Blue.

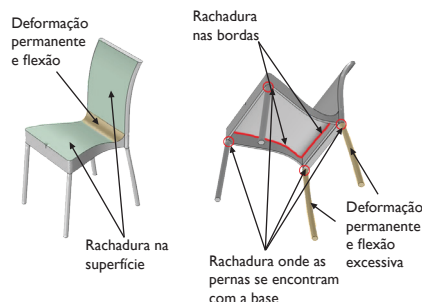


FIGURA 2. Esquema mostrando os pontos cruciais na cadeira onde geralmente ocorre a falha.

a uma vida útil sem quebrar, perdurar em uso continuado sem rachaduras e as pernas não devem dobrar, separar ou arquear demais. Se ocorrerem fissuras nos cantos, onde as pernas encontram com a base, a cadeira não suportará."

⇒ ATENDENDO AOS CRITÉRIOS DO TESTE

"A primeira parte do teste é um Teste de Carga Estática para verificar se a cadeira suporta uma determinada carga máxima", explicou Yeoman. "O teste carrega a cadeira ao longo de um período de 20 segundos, inicialmente carregando a base e depois a parte de trás, para imitar uma pessoa grande sentando-se e inclinando-se para trás. A segunda parte envolve uma avaliação da fadiga, onde a cadeira é repetidamente carregada e descarregada, milhares de ciclos. Isso é equivalente a cadeira ser usada ao longo de muitos anos."

O modelo de Yeoman analisou a deformação durante uma pessoa sentando, a tensão mecânica e os pontos prematuros e prováveis de falha (ver a Figura 2). O modelo também avaliou a

pressão de contato entre a cadeira, placas de carga e chão, e previu o número de ciclos até a falha (ver Figura 3).

“A configuração da maior parte do modelo foi simples”, acrescentou. “A mecânica estrutural, as propriedades dos materiais e os parâmetros de carga foram relativamente fáceis de implementar no software COMSOL®.” Muitos fatores mecânicos influenciam a aprovação ou reprovação de uma cadeira no teste, mas o estudo do contato foi a parte mais complicada, como explicou Yeoman: “A análise de contato é inerentemente complexa; é altamente dependente das propriedades do material, das superfícies de contato, dos coeficientes de atrito e é altamente não-linear por natureza.

“Há vários pontos de contato que tornam este um problema de contato inerentemente instável: quatro pontos

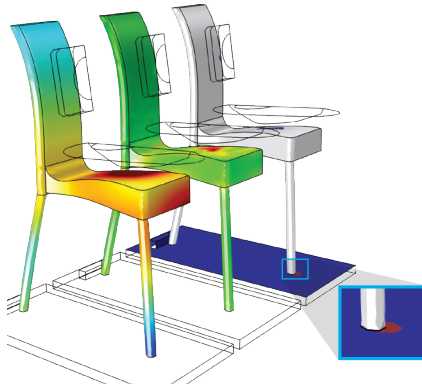


FIGURA 3. Simulação mostrando deformação (esquerda), tensão (centro) e pressão de contato (direita) de uma única cadeira durante o carregamento.

de contato entre as pernas da cadeira e o chão, os pontos entre o assento e a placa de carga inferior, e a parte de trás da cadeira e a placa de carga traseira”, ele continuou. “Usamos a rigidez do material, o limite de elasticidade e o coeficiente de atrito para nos ajudar a definir com precisão os parâmetros de contato.”

⇒ TORNANDO OS TESTES VIRTUAIS RÁPIDOS E FÁCEIS

Após concluir e validar o modelo COMSOL, a equipe da Continuum Blue passou a construir a interface de usuário personalizada, ou aplicativo, que permitiria ao usuário executar rapidamente testes virtuais em projetos de cadeira mudando certas entradas e parâmetros relacionados com a geometria, condições de carga, e propriedades do material.

“Utilizamos o Application Builder do COMSOL Multiphysics”, comentou Yeoman. O Application Builder permite que o desenvolvedor do aplicativo organize campos de entrada, tabelas de resultados, botões, opções suspensas e gráficos. O aplicativo resultante executa a simulação completa, mas o usuário – que pode não ter formação em engenharia ou modelagem multifísica – tem acesso apenas às informações selecionadas, não ao modelo, física ou análise por de trás.

“Para o aplicativo de teste criado para o nosso cliente, queríamos que o usuário fosse capaz de definir várias opções, como materiais não-lineares.

Nós parametrizamos todas as características do modelo, de forma que elas foram totalmente vinculadas, e quando alguém alterava um parâmetro, a simulação era atualizada apropriadamente.”

“Quando a cadeira é carregada, os níveis de tensão são avaliados em relação à tensão de escoamento e resistência à tração do material. Se o carregamento causar a deformação plástica permanente, as regiões relevantes da cadeira serão realçadas para que o usuário

saiba que a cadeira está sofrendo plastificação. Se a tensão ficar acima da resistência à tração do material, então, a cadeira sofrerá alguma forma de falha catastrófica do material, tais como trinca e fratura”, disse Yeoman. “O aplicativo mostrará automaticamente uma janela pop-up, anunciando que os níveis de tensão estavam acima da resistência à tração do material e a cadeira foi reproçada.”

Isso era exatamente o que o centro de teste estava procurando, um aplicativo que permitisse aos fabricantes de cadeiras e projetistas importem a geometria das suas cadeiras, escolhessem os materiais, definissem as condições de contato e de carregamento, e verificassem os resultados em relação aos requisitos de teste para ver imediatamente se o projeto será aprovado ou não (ver Figura 4).

Até a instalação local do produto

“Isto fará com que tenham capacidade de avaliar virtualmente dezenas de projetos antes de decidir por um único projeto bem sucedido para fazer o protótipo e testar.”

— MARK YEOMAN, DIRETOR DA CONTINUUM BLUE

COMSOL Server™, Yeoman também conseguiu distribuir o aplicativo para diferentes usuários, permitindo que eles se conectassem a um banco de dados e iniciassem aplicativos específicos. O centro de teste, por sua vez, pretende usar o COMSOL Server no futuro para compartilhar aplicativos de teste com seus clientes em todo o mundo.

“Esses aplicativos tornarão muito mais simples para os projetistas e engenheiros de teste avaliarem o desempenho de uma cadeira antes da produção e dos testes físicos”, disse Yeoman. “Isto os capacitará a avaliar virtualmente dezenas de projetos antes de decidirem por um único projeto bem sucedido para fazer o protótipo e testar, sabendo com confiança que ele vai cumprirá com os requisitos das normas de qualidade, reduzindo o tempo e o custo gasto em construção e testes de protótipos físicos.” ❖

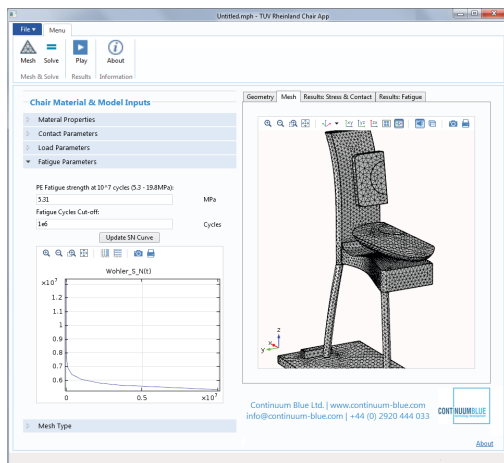


FIGURA 4. O aplicativo da Continuum Blue mostrando a malha e os campos de entrada para um cliente ajustar de acordo com as necessidade do seu projeto.



Mark Yeoman, diretor da Continuum Blue.

Aumento da Produtividade e da Receita com Aplicativos de Simulação

Com aplicativos computacionais baseados em modelos multifísicos altamente precisos, todos ganham. Tanto o desenvolvedor do aplicativo quanto seus usuários finais podem se beneficiar da inovação com risco reduzido, enquanto minimizam os custos de produção — ou pela introdução de um fluxo de receita inteiramente novo.

por **JENNIFER SEGUI**

O HeatSinkSim é uma ferramenta computacional de última geração, criada por especialistas em simulação da AltaSim Technologies, que até recentemente não poderia ter sido desenvolvida em um prazo realmente competitivo. A interface amigável do aplicativo estende a modelagem multifísica e a capacidade de prototipagem virtual a qualquer engenheiro interessado em otimizar seus projetos de dissipadores de calor para eletrônica de potência.

Relevante para qualquer tarefa no processo de desenvolvimento de produto ou projeto, os aplicativos de simulação podem ajudar a resolver os gargalos no fluxo de trabalho em grandes empresas e oferecem recursos personalizados de projeto para as pequenas empresas e startups, onde é muitas vezes impraticável manter engenheiros dedicados à simulação na equipe.

"Se você está em uma grande empresa ou startup, se estiver querendo mudar o futuro e dominar o mercado, precisa substituir ferramentas de projeto tradicionais por algo que seja diferente, preditivo e represente o mundo real. A modelagem multifísica e os aplicativos de simulação, tais como o HeatSinkSim, possibilitarão e definirão o ritmo de inovação na engenharia", explica Jeff Crompton, co-fundador e diretor da AltaSim.

Com uma visão profissional e exemplos, este artigo fornecerá orientações práticas e a inspiração para ir em frente com um fluxo de trabalho de projeto de produto baseado em simulações que reduz seus custos de desenvolvimento e tempo de entrada no mercado.

⇒ DOS OBJETIVOS DO PROJETO AO PRODUTO INOVADOR

O roteiro para a integração da simulação no fluxo de trabalho de projeto de produtos é simples com aplicativos de simulação, tornando as caras prototipagens erro-e-acerto, o método de projeto principal do passado. Para ilustrar, vamos considerar os objetivos comuns para o projeto e otimização de dissipadores de calor para eletrônica de potência, e o subsequente desenvolvimento e uso do aplicativo HeatSinkSim para atingir e superar esses objetivos. Embora você possa não estar trabalhando, especificamente, no projeto de dissipadores de calor, é possível aplicar imediatamente os métodos e fluxo de trabalho descritos aqui em outros produtos ou processos.

“A modelagem multifísica e os aplicativos de simulação, tais como o HeatSinkSim, possibilitarão e definirão o ritmo de inovação na engenharia.”

— JEFF CROMPTON, DIRETOR E CO-FUNDADOR DA ALTASIM TECHNOLOGIES

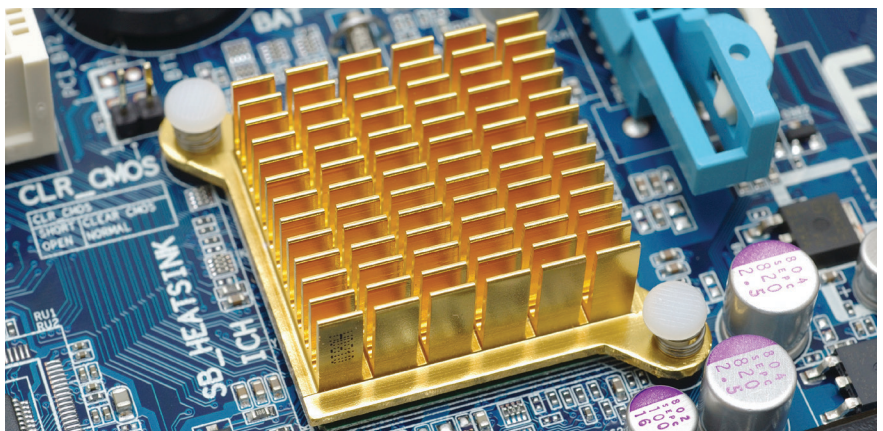


FIGURA 1. Dissipador de calor com aleta de placas verticais montado em uma PCB com componentes eletrônicos de potência que realizam operações críticas de produção contínuas.

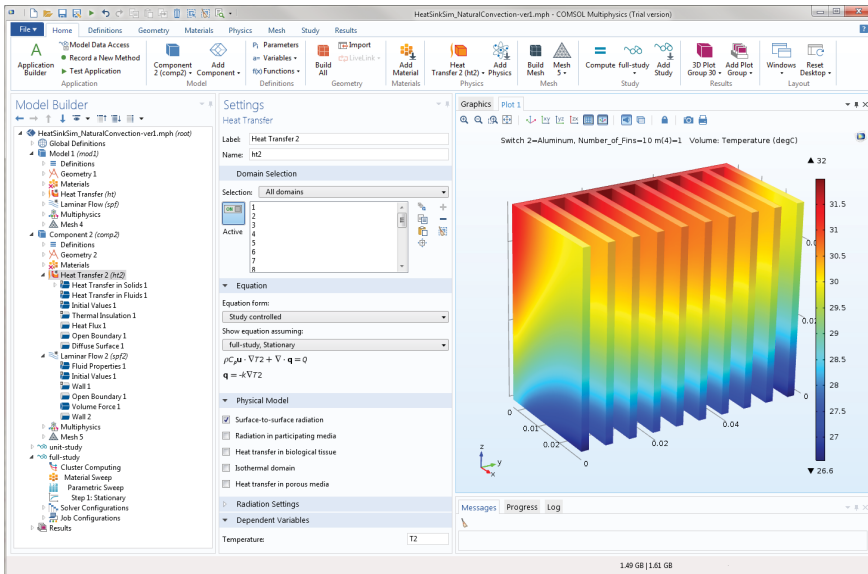


FIGURA 2. COMSOL Desktop mostrando o Model Builder, através do qual você define a geometria do seu modelo, os materiais e a física. Depois, gera a malha, resolve e pós-processa os seus resultados.

O objetivo geral neste exemplo é a entrega, no prazo, de produtos e serviços de alta qualidade para o mercado, através da operação confiável de longo prazo da eletrônica de potência que move os processos de fabricação automatizados por trás de, praticamente, todos os bens de consumo. Como o rendimento de produção mais elevado é necessário, a exigência do aumento do desempenho dos eletrônicos, combinado com a redução no tamanho, resulta em densidades de potência mais elevadas e maiores temperaturas operacionais, que podem comprometer o funcionamento prolongado.

Para evitar que as altas temperaturas operacionais reduzam a confiabilidade dos sistemas de controle dos processos de produção, o resfriamento dos componentes eletrônicos através da dissipação passiva de calor e convecção natural é necessário. Os dissipadores de calor são, portanto, integrados aos eletrônicos nas placas de circuito impressos (PCBs), tal como mostrado na Figura 1. O projeto do dissipador de calor mostrado na figura usa uma matriz de aletas para aumentar a área de superfície disponível para a fuga de calor. A quantidade, tamanho, espaçamento e condutividade térmica das aletas, por exemplo, afetará o desempenho do dissipador de calor em uma dada potência aplicada. Em última análise, há muitas variáveis que devem

ser consideradas ao otimizar o projeto de um dissipador de calor para garantir que os eletrônicos permaneçam bem abaixo da sua temperatura máxima de operação. Mas, qual é a melhor maneira de otimizar o projeto do dissipador de calor, considerando todas as variáveis envolvidas?

Embora os protótipos físicos ocupem e

continuem a ocupar um lugar necessário no ciclo do projeto de produtos para garantir a alta qualidade, a prototipagem virtual, através da simulação multifísica, reduz significativamente o tempo e as despesas associadas ao processo, reduzindo o número de protótipos necessários e permitindo a avaliação da viabilidade do início do ciclo de projeto.

Usando o software COMSOL Multiphysics®, a AltaSim desenvolveu e validou um modelo multifísico do dissipador de calor mostrado na Figura 1, que serve como uma ferramenta indispensável para otimização do projeto. Você pode obter uma boa ideia do processo de configuração do modelo a partir da Figura 2, que descreve as etapas através da ordem dos nós na janela Model Builder.

A partir do modelo validado do dissipador de calor, a AltaSim desenvolveu um aplicativo personalizado usando o Application Builder, um recurso integrado ao COMSOL Multiphysics mostrado na Figura 3. O aplicativo de simulação deles, o HeatSinkSim, é mostrado na Figura 4. Utilizando o Application Builder, eles criaram uma interface fácil de usar que permite a qualquer usuário executar análises complexas de engenharia, incluindo aqueles que não são especialistas em simulação. A base do Application Builder são o Form Editor e o Method Editor, que permitem adicionar, facilmente, objetos de formulário à interface de usuário do aplicativo, bem

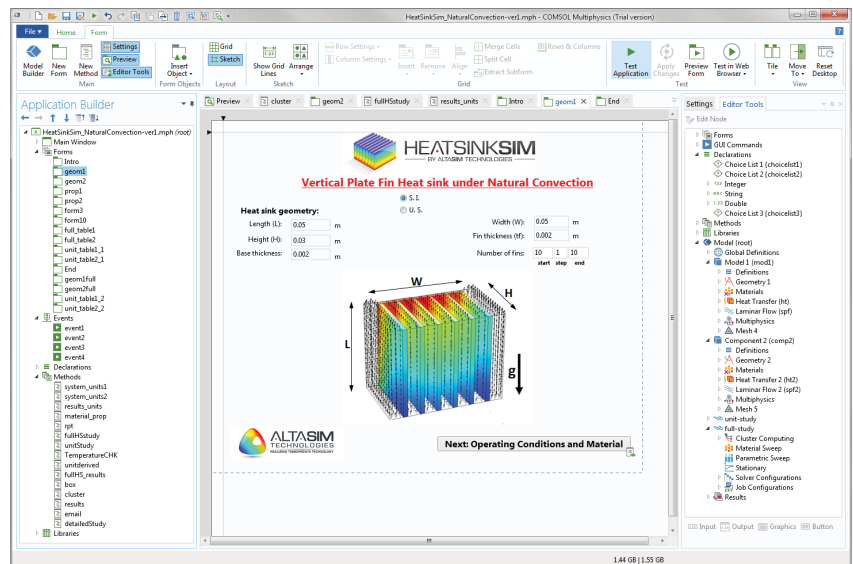


FIGURA 3. COMSOL Desktop® mostrando o Application Builder através do qual você projeta os aplicativos de simulação com base nos seus modelos multifísicos usando o Form Editor e o Method Editor.

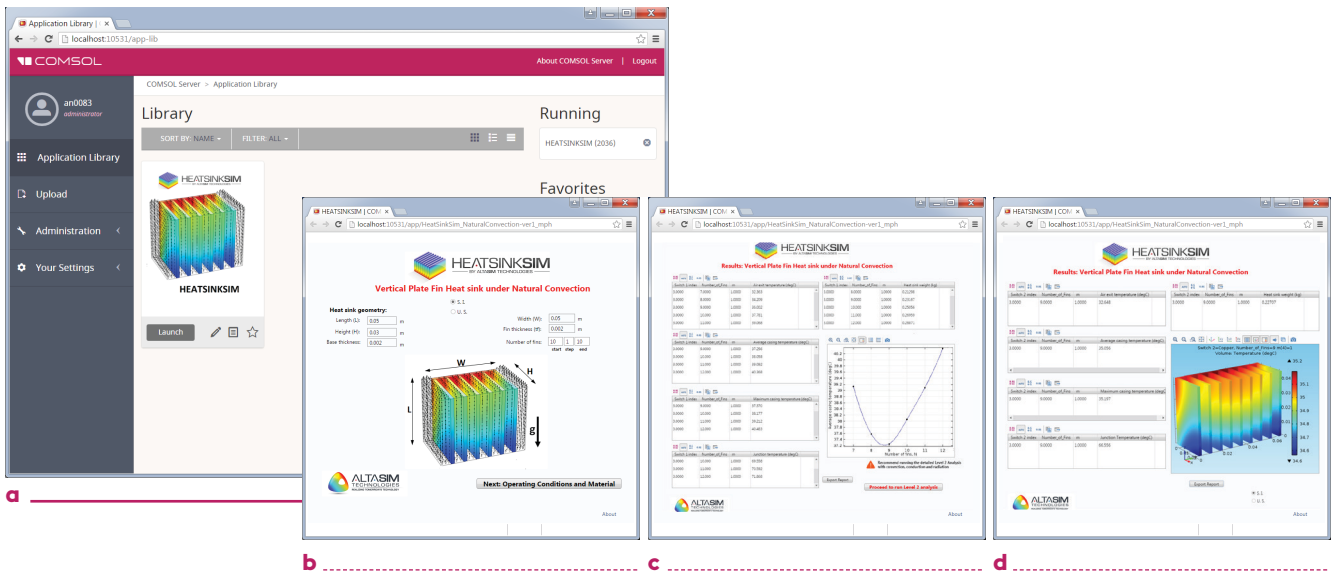


FIGURA 4. Acesse o COMSOL Server™ usando um navegador. Em seguida, execute o HeatSinkSim do COMSOL Server em uma guia ou janela separada do navegador (a). Através do aplicativo de simulação em (b), você especifica a geometria, os materiais e as condições operacionais. O aplicativo oferece dois níveis de análise. Os resultados de uma análise do Nível 1 (c) indicam que uma análise do Nível 2 (d) é recomendada, o que implica em um estudo 3D completo de transferência de calor conjugada.

como funcionalidades personalizadas nos métodos em código Java® que são executados em resposta às entradas do usuário.

Os resultados do aplicativo HeatSinkSim são mostrados na Figura 4, demonstrando os dois níveis diferentes de análise que estão disponíveis. Uma análise de transferência de calor *Nível 1* resolve o problema conjugado de transferência de calor e inclui o escoamento do fluido com condução, convecção e radiação. Os resultados são apresentados em gráficos de linhas unidimensionais de temperatura vs. parâmetros do projeto, tais como o número de aletas no dissipador de calor. Uma análise *Nível 2* executa uma simulação de transferência de calor mais detalhada, para uma solução tridimensional mais precisa, mas demora para ser executada. Se as temperaturas atingirem os limites operacionais definidos pelo usuário durante uma análise inicial de Nível 1, uma análise de Nível 2 é recomendada para o usuário do HeatSinkSim.

Ao planejar seu fluxo de trabalho baseado em simulações, é importante considerar a logística como quem configurará e validará o modelo multifísico inicial, quem projetará o aplicativo de simulação com base nesse modelo e, finalmente, quem realizará a avaliação do projeto e a otimização usando o aplicativo. A capacidade de criar um aplicativo baseado em um modelo

multifísico adiciona flexibilidade e torna o planejamento do seu fluxo de trabalho mais fácil, uma vez que mais pessoas podem executar simulações através de um aplicativo.

“Se você reconhecer que pode desenvolver aplicativos de simulação que sejam preditivos e representem situações do mundo real, com dimensões reais e características operacionais, então você também é capaz de ver o número de usuários potenciais que podem se beneficiar dos aplicativos de simulação”, diz Crompton. “Estima-se que há 80 milhões de cientistas e engenheiros em todo o mundo que são potenciais usuários de aplicativos computacionais, em comparação a apenas 750 mil que estão atualmente utilizando ferramentas de engenharia auxiliada por computador (CAE).”

Em vez de seus especialistas em simulação executarem todas as análises, o que pode causar uma restrição no fluxo de trabalho, os aplicativos de simulação podem ajudá-los a ter

tempo para desenvolverem novas ferramentas e recursos que requeiram seus conhecimentos. Caso não tenha ou pretenda ter especialistas de simulação na equipe, você ainda tem a opção de terceirizar o desenvolvimento do modelo do aplicativo através dos consultores certificados da COMSOL, como AltaSim, ou adquirir o acesso a um aplicativo de simulação existente — o HeatSinkSim, é apenas um exemplo.

Com os aplicativos de simulação disponíveis a você e seus colegas, você pode confiar em modelos multifísicos altamente precisos para prever o desempenho do seu produto ou processo no mundo real. Ao melhorar a sua compreensão e reduzir o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de protótipos, você pode ter a sua solução inovadora de mercado primeiro.

Voltando ao exemplo da otimização do projeto e dissipadores de calor para eletrônica de potência, uso do HeatSinkSim oferece uma vantagem competitiva, melhorando o acesso

“Há uma estimativa de 80 milhões de cientistas e engenheiros em todo o mundo que são potenciais usuários de aplicativos computacionais, em comparação com apenas 750 mil que estão atualmente utilizando ferramentas de engenharia por computador (CAE).”

aos recursos de simulação que ajudam a garantir que temperaturas operacionais seguras sejam mantidas, e, conseqüentemente, uma operação de produção contínua.

⇒ DISTRIBUIÇÃO E RECEITA

Fornecer os meios para acessar e executar os aplicativos de simulação é tão importante quanto decidir quem estará os desenvolvendo e usando para alcançar seus objetivos de projeto. Através de uma instalação local do COMSOL Server™, seus colegas ou clientes podem acessar facilmente os aplicativos de simulação através do COMSOL Client ou de um navegador de internet. A Figura 4a mostra um navegador com a Application Library do COMSOL Server, através da qual você pode iniciar o aplicativo HeatSinkSim. A AltaSim usa o painel de controle para gerenciar o acesso ao aplicativo e a disponibilidade do recurso.

O COMSOL Server é um produto desenvolvido para executar em qualquer coisa entre um laptop, ou desktop padrão, clusters de supercomputação de última geração. Ao escolher o hardware que atenda às suas necessidades específicas, o custo, a disponibilidade, a complexidade do modelo e o tempo

de solução desejados são fatores a considerar. Se você gostaria de resultados o mais rápido possível, mas sem a responsabilidade de gerenciar o hardware ou as preocupações de segurança relacionadas, um centro de supercomputação pode ser uma opção atraente.

Para disponibilizar acesso ao HeatSinkSim, a AltaSim faz parceria com a AweSim, uma organização que tem como objetivo reforçar a competitividade econômica, através do fornecimento de recursos para projeto baseados em simulação à pequenas e médias empresas. Por trás da AweSim, está o Ohio Supercomputing Center (OSC), que opera três sistemas principais. O HeatSinkSim é executado em um nó no cluster Oakley, que é uma máquina HP Intel® Xeon® com mais de 8300 núcleos para computação paralela. Ao enviar uma solicitação à AweSim para usar o HeatSinkSim, lhe é fornecida uma conta no OSC, permitindo que você se conecte remotamente, a partir de um navegador no seu próprio computador, para executar o aplicativo nos clusters de supercomputação deles.

Através do método de distribuição da AweSim, os usuários podem primeiro experimentar o HeatSinkSim e, depois,

pagar pelos recursos e o tempo que eles o usarem. O desenvolvimento de aplicativos de simulação não somente pode expandir o acesso à capacidades precisas de modelagem multifísica, como pode, o acesso a aplicativo pago por uso, criar uma nova fonte de receita para sua organização.

⇒ UM FLUXO DE TRABALHO FLEXÍVEL MELHOR PARA O PROJETO DE PRODUTOS

O aplicativo HeatSinkSim da AltaSim não é apenas um exemplo de uma solução para atender aos seus objetivos de projeto, mas também é um produto próprio, desenvolvido e validado por especialistas de simulação experientes. Ao usar desenvolvimento de modelagem multifísica, desenvolvimento de aplicativo e recursos de distribuição do COMSOL Multiphysics e do COMSOL Server ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto, você pode trazer a simulação à todos, adicionando flexibilidade ao seu fluxo de trabalho, o que pode melhorar a qualidade e reduzir os riscos e custos, enquanto entrega o seu melhor produto possível ao mercado, em um prazo competitivo. ❖

Resumo Executivo

HEATSINKSIM: POR TRÁS DA INTERFACE

Para fornecer ferramentas precisas aos engenheiros de projeto térmico, a AltaSim Technologies está desenvolvendo aplicativos computacionais (apps) a partir de simulações detalhadas baseadas em física. Os aplicativos incluem interfaces personalizadas que permitem ao usuário executar análise multifísica, alterando, por exemplo, os parâmetros do projeto e as condições operacionais. O HeatSinkSim é um aplicativo que examina o efeito do projeto do dissipador de calor na dissipação térmica em componentes eletrônicos de potência, economizando, provavelmente, meses de correções mais adiante no processo de desenvolvimento.

A AltaSim está disponibilizando o aplicativo para acesso geral e uso com estações de trabalho no local ou clusters, bem como através da conectividade segura com recursos de computação paralela hospedados. Os usuários individuais também podem realizar outras personalizações.

Benefícios da prototipagem virtual baseada em aplicativo

- Abordagem unificada na empresa
- Conhecimentos de modelagem matemática de especialistas acessível aos projetistas e engenheiros
- Decisões baseadas em análises físicas preditivas
- Eficaz em termos de custo

Gerenciamento, implantação e uso do aplicativo

- Os administradores podem implantar, distribuir e gerenciar aplicativos com o COMSOL Server™
- Os usuários se conectam ao COMSOL Server para acessar aplicativos e executar a análise multifísica de um navegador de internet ou COMSOL Client
- Os aplicativos são aptos à computação em cluster
- Acesso Global 24/7



Jeff Crompton, diretor e co-fundador da AltaSim Technologies

A equipe da AltaSim tem mais de um século de experiência coletiva no desenvolvimento, aplicação e exploração de análise multifísica e simulação computacional. Como membros fundadores do programa de consultores certificados da COMSOL, a AltaSim combina sua experiência no software COMSOL Multiphysics® e a capacidade para estender sua funcionalidade com conhecimento fundamental da física, mecânica, e ciência computacional e processos do mundo real.

Aprimoramento das normas de estrangulamento de tubulações de gás através da simulação numérica

A fim de reduzir os desafios associados às manutenções diárias das tubulações de gás, o Gas Technology Institute (GTI) utiliza a engenharia baseada em simulações para propor revisões às normas para estrangulamento de tubulação de gás.

por **BRIANNE COSTA**

Os procedimentos da manutenção de rotina do gás natural, muitas vezes, exigem a escavação em estradas importantes, forçando os motoristas a passar por uma série complexa de desvios e estradas secundárias. E se o processo de reparação e substituição das tubulações de gás pudesse ser mais eficiente e menos invasivo? O Gas Technology Institute (GTI), um líder na pesquisa, desenvolvimento e formação na área de gás natural, traçou como objetivo investigar os padrões da indústria quanto ao comprimento do estrangulamento nas tubulações de gás, em um esforço para tornar os tubos mais acessíveis.

⇒ O QUÃO PERTO VOCÊ PODE ESTRANGULAR?

O GTI, com sede em Illinois, é uma organização de pesquisa e desenvolvimento comprometida com o avanço de tecnologias em novas energias e gás natural. Um setor de sua pesquisa envolve a investigação das distâncias de estrangulamento em tubulações de polietileno (PE) para gás. O estrangulamento é um procedimento aparentemente simples, que envolve a compressão de um tubo até interromper completamente o fluxo de gás (veja a Figura 1). Isto é frequentemente realizado em tarefas de manutenção e substituição de seções da tubulação sem desligar todo o sistema.

Após a conclusão do estrangulamento, o tubo recupera grande parte de sua forma original, permitindo que o fluxo de gás seja retomado. Há benefícios naturais no polietileno como material para tubulações: a sua flexibilidade e capacidade de sofrer grandes deformações; ausência de corrosão; sua

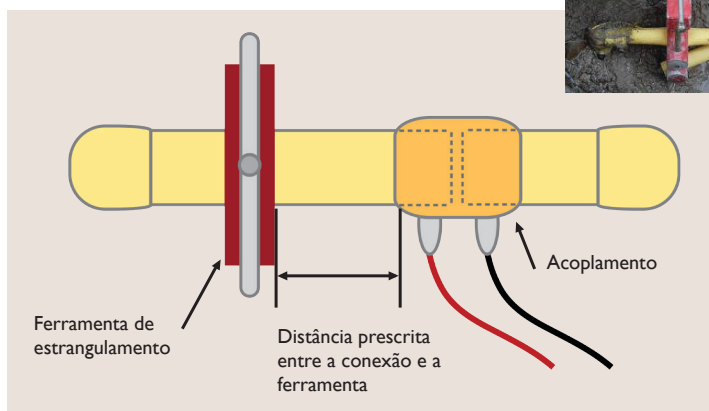


FIGURA 1. Um tubo de gás de polietileno submetido ao procedimento de estrangulamento.

natureza fundível e homogênea; e a sua resistência às condições ambientais adversas.

Para evitar danos e mau funcionamento, existem certos padrões, como os publicados pela ASTM (American Society for Testing and Materials), que devem ser cumpridos durante o procedimento de estrangulamento. Uma

“[Nós] confiamos na implementação do método de elementos finitos do COMSOL para obter bons resultados, como provado por testes anteriores.”

— OREN LEVER, ENGENHEIRO RESPONSÁVEL, ENERGY DELIVERY & UTILIZATION, GAS TECHNOLOGY INSTITUTE

norma em particular trata da localização do estrangulamento em relação às conexões da tubulação. A norma estabelece que o estrangulamento deve estar a uma distância de três diâmetros do tubo ou doze polegadas da conexão

do tubo mais próxima, o que for maior.

Esta regra foi colocada em prática para evitar a deformação e ruptura dos tubos. No entanto, uma série de concessionárias de gás está interessada em reduzir a distância mínima exigida. O requisito de distância de doze polegadas é elevado para a maioria das tubulações (a maioria dos tubos utilizados em residências

e aplicações comerciais são de 2.375 polegadas de diâmetro ou menor). Isso significa que, embora a distância de três diâmetros seja de sete polegadas, o estrangulamento

ainda precisa ser realizado na maior distância, de doze polegadas. A exigência de comprimento maior para tubos de diâmetro menor leva a mais escavação do solo, redirecionando estradas, mais tempo e dinheiro gastos.

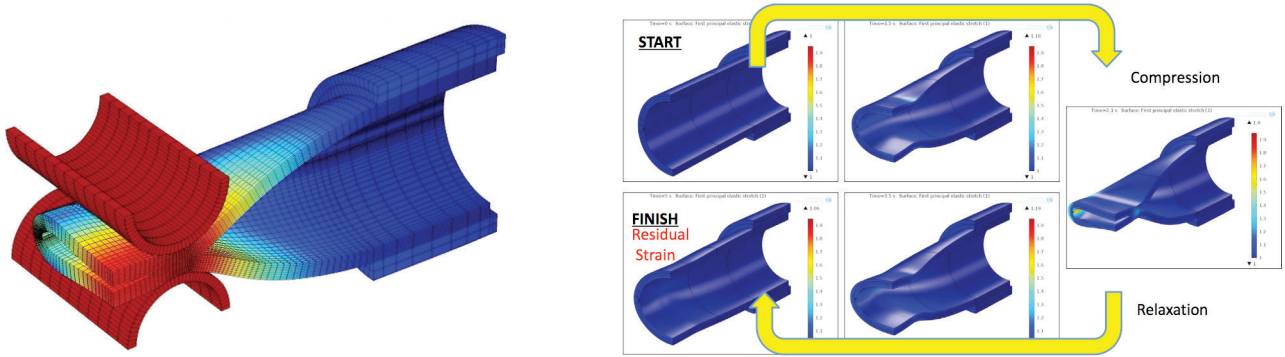


FIGURA 2. Uma simulação mostrando o deslocamento total (mm) do estrangulamento de uma tubulação (esquerda) e a simulação completa do processo de estrangulamento (direita).

Financiados pelo Operations Technology Development (OTD), uma parceria de desenvolvimento tecnológico das empresas de distribuição de gás natural, os pesquisadores do GTI, Oren Lever e Ernest Lever olharam com maior atenção para verificar se a distância de doze polegadas era realmente necessária para os tubos menores. O objetivo deles era saber a que distância o estrangulamento do tubo poderia ter até uma junta fundida antes de exceder os níveis de deformação e os aumentos na concentração de tensão aceitos pela indústria. Para obter respostas, a equipe voltou-se aos recursos de modelagem de mecânica estrutural do software COMSOL Multiphysics®.

⇒ ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM TUBOS DE POLIETILENO

A equipe do GTI criou um modelo dependente do tempo totalmente paramétrico usando o Structural Mechanics Module e o Nonlinear Structural Materials Module do COMSOL. Como Oren Lever do GTI diz, a sua equipe "confia na implementação do método de elementos finitos do software COMSOL® para obter bons resultados, como provado por testes anteriores." Eles definiram as propriedades mecânicas e numéricas de dois conjuntos de contatos para modelar os contatos estruturais internos tubo com tubo e o externo do mecanismo de estrangulamento com o tubo, respectivamente.

Eles usaram as capacidades de geração de malha do software COMSOL para criar uma malha híbrida, integrando malhas estruturadas e não estruturadas. Essa abordagem, em conjunto com um modelo constitutivo personalizado implementado no software, permitiu à

equipe analisar com precisão as grandes deformações no tubo. A simulação levou em conta as diferentes fases do processo de estrangulamento mostrado na Figura 2: a pressurização do tubo, estrangulamento, fixação, liberação, e relaxamento.

Foi dada atenção especial à malha do tubo sob as barras de estrangulamento a fim de permitir que a simulação analisasse as grandes deformações encontradas quando o tubo é completamente estrangulado (veja a Figura 3). Graças às capacidades de geração de malha no COMSOL e sua natureza paramétrica, esta malha particular foi facilmente dimensionada para diferentes tamanhos de tubos. Embora as tensões e deformações nesta região não fossem o foco deste projeto, eles são de interesse em relação ao efeito geral do estrangulamento na vida útil do tubo. O modelo COMSOL permitirá à equipe do GTI realizar outras investigações de estrangulamento no futuro.

⇒ MATERIAIS ALTAMENTE NÃO-LINEARES DEMANDAM COLABORAÇÃO

Para captar o comportamento único do polietileno, o GTI precisava de um modelo constitutivo de viscoelástico-plástico personalizado. Para isso, eles procuraram a Veryst Engineering, um consultor certificado da COMSOL, para ajudar na implementação do modelo de material escolhido no COMSOL Multiphysics. Para fazer isso, explicou Nagi Elabbasi, da Veryst, primeiro eles selecionaram os ensaios de materiais experimentais necessários para calibrar a lei de materiais normalmente utilizada para termoplásticos, tais como o PE. Em seguida, estabeleceram os parâmetros

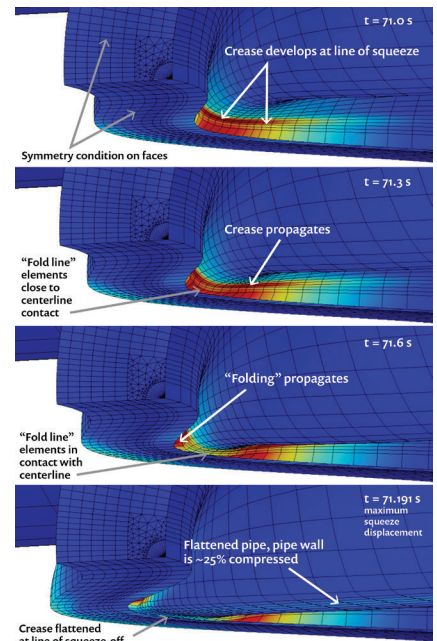


FIGURA 3. Deformação na linha de estrangulamento em diferentes tempos, imediatamente antes e no máximo deslocamento do estrangulamento.

do material para a resposta tensão-deformação do PE, e, finalmente, implementaram no COMSOL o conjunto de equações diferenciais ordinárias (EDOs) necessário para o modelo de material personalizado.

Os testes do material foram realizados pelo GTI em materiais de tubos de polietileno de média densidade (PEMD) e incluíram testes de tensão e compressão à diferentes temperaturas, taxas de deformação e deformação, deformações especialmente altas, bem como testes de carregamento e descarregamento (ver Figura 4). A equipe da Veryst encontrou valores reais dos parâmetros do material que se encaixaram nos dados experimentais. Para calibrar, a Veryst usou o MCalibration, uma ferramenta

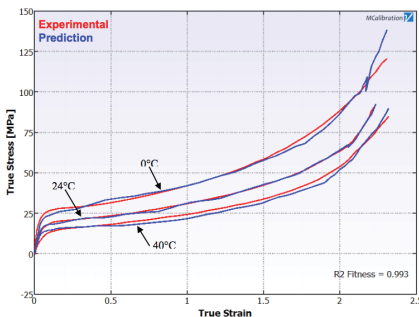
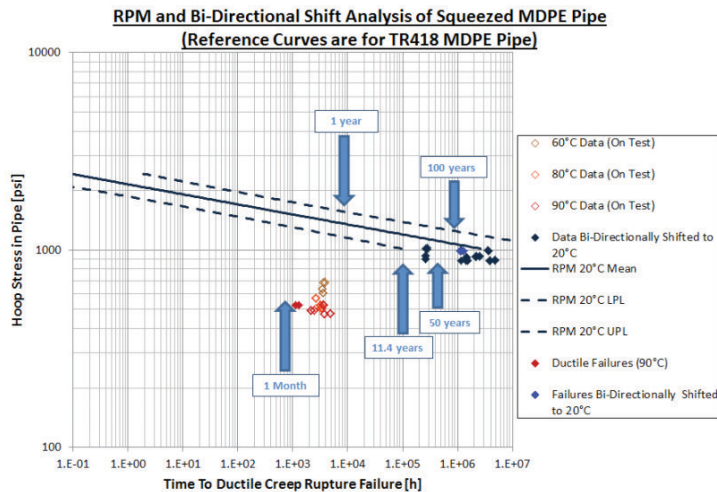


FIGURA 4. Exemplo da resposta à tração do PE e do modelo de ajuste feito pela Veryst Engineering (parte inferior) e testes de vida útil acelerada para o estrangulamento do tubo de PE realizado pelo Gas Technology Institute (parte superior).

de otimização que eles desenvolveram para variar parâmetros até que um ajuste muito bom de dados experimentais seja descoberto. Para implementar e verificar a lei do material calibrado no COMSOL Multiphysics, a Veryst contou com a flexibilidade do software, acrescentando as ODEs que representam estados adicionais usados para descrever o modelo constitutivo personalizado.

Outra opção, útil nesses casos onde um modelo de material não pode ser descrito por equações, teria sido usar o recurso External Material para acessar funções escritas em FORTRAN ou código C e compilá-las em uma biblioteca compartilhada. Nesse caso, o material externo pode ser definido pela relação tensão-deformação simplesmente retornando uma contribuição de deformação inelástica ao modelo do material em uso, ou vinculado diretamente a uma biblioteca de material

externa comercial, como a biblioteca PolyUMod® da Veryst Engineering.

Com a simulação, o GTI conseguiu determinar que no caso de tubos de diâmetro pequeno (menores que 3.5”) a distância menor de três diâmetros de tubo não causou deformações além dos limites de deformação atuais aceitos pela indústria.

Eles usam testes adicionais de vida útil acelerados (mostrados na Figura 4) para validar esses resultados. O estrangulamento foi testado à duas e à quatro polegadas do acoplamento fundido em temperaturas altas o suficiente para acelerar a taxa de fluência no polietileno quando comparada com a operação normal. Através deste teste extra, a equipe do GTI descobriu que os tubos teriam uma vida útil de 80 anos quando estivessem operando a uma temperatura média de 20°C. Isto está de acordo com a vida útil padrão da indústria de 80 anos para gasodutos PEMD.

⇒ A EFICIÊNCIA É A CHAVE PARA OS PLANOS FUTUROS DO GTI

Do seu trabalho de simulação, o GTI descobriu que o local do estrangulamento em tubos de pequeno diâmetro pode estar mais próximo às conexões do que a distância mínima atualmente permitida de acordo com a norma ASTM. Isso confirma que o requisito atual da distância mínima de doze polegadas pode ser reavaliado para tubos com diâmetros menores, que são os tamanhos mais utilizados em aplicações de gás residenciais e comerciais. Graças



Ernest Lever, diretor de P&D (esquerda) e Oren Lever, engenheiro responsável (direita) no GTI.

às suas pesquisas, o GTI está ajudando a definir novas diretrizes que tornarão o processo atual de manutenção de tubulações de gás mais barato, mais eficiente e menos invasivo.

Em relação aos planos para futuras pesquisas, Lever diz que sua equipe planeja expandir o modelo constitutivo para incluir temperatura e fluência, a fim de descrever os efeitos de relaxamento com mais precisão. O objetivo é ser capaz de realizar a análise de propagação de danos e falhas para prever o comportamento do tubo para diferentes cenários de carga, tal como a instalação de braçadeiras de reforço.

O GTI também pretende tornar suas descobertas disponíveis aos engenheiros que não são necessariamente especialistas em simulação numérica. Como os usuários COMSOL, eles têm acesso ao Application Builder, uma ferramenta que permite aos especialistas de simulação, como Lever, empacotar um modelo COMSOL em uma interface amigável personalizada. Isto significa que os engenheiros envolvidos na equipe de campo e manutenção não precisam questionar as suas escolhas, especialmente em cenários de funcionamento incomuns. Enquanto isso, os especialistas em simulação economizam tempo e podem se concentrar em um novo projeto. Por enquanto, o GTI continua a dedicar seus esforços de pesquisa e desenvolvimento ao gás natural e às inovações em energia.

CUIDANDO DA LIMPEZA DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO USANDO MALHAS HIDROFÓBICAS

Uma vez que os métodos atuais para limpeza e contenção de vazamentos de óleo são muitas vezes dispendiosos e operam com apenas sucesso limitado, os engenheiros da Amphos 21 criaram um aplicativo de simulação numérica para testar novas técnicas de limpeza, utilizando malhas hidrofóbicas.

por LEXI CARVER

Os vazamentos de óleo são famosos por serem urgentes e inesperados, conhecidos pelos danos enormes que causam aos ambientes aquáticos e à vida marinha, e devem ser contidos rapidamente antes que causem desastres de longo prazo. Técnicas para conter e recuperar o óleo derramado estão prontamente disponíveis na forma de barreiras e skimmers que o coletam, mas estes raramente corrigem totalmente o problema.

Barreiras são usadas para inibir a propagação do óleo em áreas mais amplas e impedir que o óleo atinja áreas costeiras sensíveis. Alguns modelos absorvem o óleo em um esforço para removê-lo, enquanto que as técnicas de skimming também são usadas para remover o óleo. Em outros casos, incêndios controlados queimam o óleo da água — embora isso crie outro poluente — ou dispersantes químicos são adicionados à água para acelerar a decomposição dos componentes do óleo.

Estes métodos, embora úteis, não são capazes de coletar a maior parte do óleo durante a limpeza e são eficazes apenas se forem distribuídos muito rapidamente no local do acidente. Grande parte do óleo vai para o fundo do mar. Por exemplo, os esforços de limpeza após o derramamento de óleo da Exxon Valdez, em 1989, ao longo da costa do Alasca, foram incapazes de recuperar a maior parte do óleo.

O que é coletado é muitas vezes uma mistura de óleo-água que é apenas

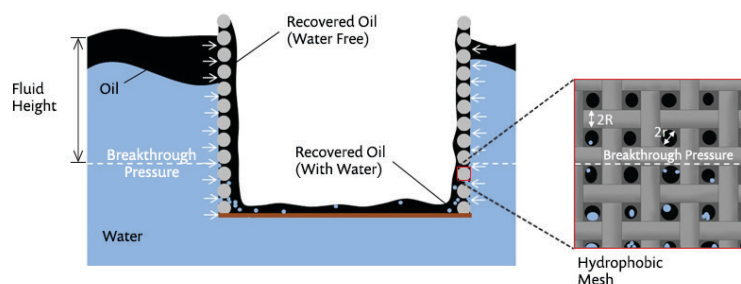


FIGURA 1. Conceito de operação de uma malha hidrofóbica.

parcialmente utilizável. Isto significa que, além das preocupações ambientais óbvias, o óleo desperdiçado resulta em mais bombeamento depois das tentativas de limpeza, a fim de se obter as quantidades originais de óleo.

Em resposta à necessidade de métodos de limpeza que impeçam o desastre ecológico e desperdício de óleo, a Amphos 21, um grupo de consultores especializado em tecnologia ambiental, desenvolveu modelos numéricos de malhas hidrofóbicas, um conceito para a coleta de óleo derramado que está sendo estudado por cientistas e tecnólogos. O objetivo deles? Uma resposta a este dilema que seria rápido, fácil de usar e ecológica.

Após conceituar a malha hidrofóbica como um meio poroso, eles desenvolveram simulações computacionais e aplicativos personalizados para distribuir às pessoas no desenvolvimento de produtos,

resposta a desastres e nas organizações ambientais. Através de aplicativos de simulação, eles pretendem disponibilizar recursos de ensaios virtuais aos engenheiros, pesquisadores e equipes de limpeza que procuram a resposta adequada para um determinado cenário de derramamento de óleo, enquanto correm contra o tempo para evitar a destruição.

⇒ POTENCIAL PARA O NOVO MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE ÓLEO

As malhas que estão sendo estudadas pela Amphos 21 são normalmente feitas de aço, ou cobre, e revestidas com um polímero hidrófobo para repelir a água e atrair o óleo. Elas agem como filtros. A água permanece de um lado, enquanto o óleo passa (ver a Figura 1). O fluxo de óleo através dos buracos da malha depende da profundidade da água, das propriedades do óleo (que podem

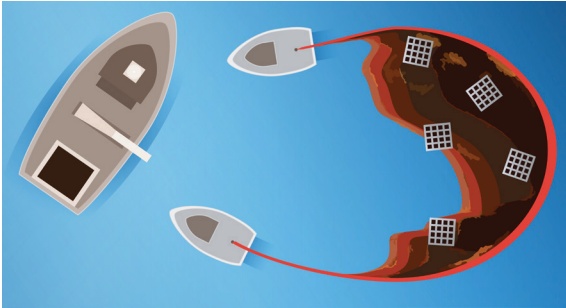


FIGURA 2. Conceito: uma barreira rebocada por barcos cerca o óleo, enquanto as malhas hidrofóbicas fazem a coleta.

variar, dependendo de onde o óleo é bombeado), e do revestimento sobre o metal.

“Além de ser uma opção eficaz para limpar o óleo da água, ela oferece a possibilidade de reciclar o óleo derramado sem ter que processá-lo — o que muitas vezes é mais um passo caro no processo de limpeza”, disse Emilie Coene, consultora da Amphos 21. “Estas malhas podem ser usadas em operação contínua, são muito limpas, e têm uma boa eficiência e capacidade de recuperação.”

As malhas hidrofóbicas poderiam, hipoteticamente, ser usadas juntamente com o equipamento concebido para impedir que o óleo se espalhe. Por exemplo, enquanto uma barreira cerca o vazamento, as malhas e recipientes de coleta podem ser implantados diretamente no óleo para recolhê-lo (veja a Figura 2). O óleo coletado pode, então, ser bombeado para fora do recipiente a intervalos regulares para assegurar a diferença de pressão correta de um dos lados da malha para o outro.

“Pode-se imaginar um grande recipiente cilíndrico (malha) que poderia ser deixado no oceano até estar saturado com óleo e depois esvaziado”, acrescentou Orlando Silva, consultor

sênior e gerente de projeto. “Ou você poderia implantar o recipiente e mantê-lo ligado a uma bomba de extração contínua conforme o óleo é coletado. Eles também poderiam ser adaptados para diversas condições operacionais diferentes”, continuou. “Esperamos oferecer algo para os engenheiros de P&D que tentam projetar ferramentas de limpeza, empresas ambientais

que fazem pesquisa, e companhias petrolíferas que precisam descobrir como conter um grande problema de forma rápida.”

Um desafio surge com o método de coleta usando malha hidrofóbica: a coluna de fluido. A uma certa profundidade da água, a pressão hidrostática atingirá um nível de “ruptura”, fazendo com que a água invada a malha e o recipiente de coleta. Se água suficiente se misturar com o óleo recuperado, o óleo precisará ser tratado e processado para se tornar utilizável.

As propriedades de retenção da malha são uma função das tensões superficiais óleo-ar e água-ar, e os ângulos de contato do óleo e da água com a superfície da malha. O revestimento sobre a malha cria repelência à água, mas ela é superada em determinadas profundidades de água. O escoamento de óleo e de água através da malha depende das propriedades dos fluidos, tais como viscosidade, densidade e tensão superficial — que variam para os diferentes tipos de óleo — e a porosidade e permeabilidade da malha.

Diante disso, como poderia a equipe da Amphos 21 projetar uma malha para diferentes níveis de água e tipos de óleo? Poderiam diferentes revestimentos

hidrofóbicos funcionar em diferentes profundidades do oceano?

As respostas estavam em encontrar a melhor combinação de propriedades de malha para diferentes condições de vazamento de óleo. A equipe criou simulações numéricas para ajudá-los na busca pelos melhores projetos para coletar a maior quantidade de óleo.

⇒ COMO O PROJETO DA MALHA AFETA O ESCOAMENTO DE ÓLEO?

Procurar a solução para um problema que ninguém resolveu, por vezes, pode parecer procurar uma agulha em um palheiro, mesmo que você tenha uma idéia geral de onde começar. Mas as técnicas de modelagem matemática simplificam muito o processo.

Coene, Silva e Jorge Molinero, parceiro e diretor de soluções de modelagem da Amphos 21, usaram o software COMSOL Multiphysics® para criar uma simulação de uma malha hidrofóbica para analisar como os diferentes projetos de malha se comportariam em diferentes profundidades de água e avaliar as características que influenciariam o desempenho da malha.

Em última análise, o sucesso de uma malha é medido pela taxa de recuperação de óleo e a pureza do óleo recuperado. Portanto, o trabalho da equipe de modelagem envolveu o teste de diferentes propriedades de revestimento polimérico e a operação da malha em diferentes profundidades do oceano, e a análise do fluxo para diferentes óleos.

Para verificar como as diferentes geometrias afetariam o escoamento de óleo, eles também parametrizaram o raio dos arames da malha, bem como o tamanho dos buracos e o espaçamento. No software COMSOL®, eles conceitualizaram a malha como um

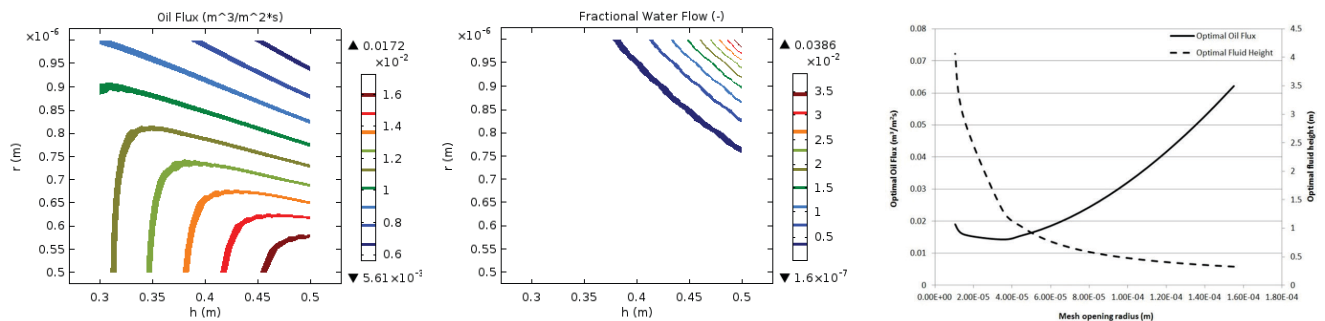


FIGURA 3. Os resultados do software COMSOL® mostrando como o escoamento de óleo através da malha (esquerda) e a fração de água no escoamento (centro) variam de acordo com o raio do arame e a profundidade da água. Análise do poro mostrando a relação entre a coluna do fluido, o raio do poro e o fluxo do óleo (direita).

meio poroso acoplado com o escoamento bifásico para representar a água e óleo passando. A partir daí, Coene, Molinero e Silva foram capazes de calcular o nível de saturação do óleo, os fluxos de óleo e de água, e a fração de água misturada com o óleo que passou através da malha (ver Figura 3, esquerda e central). “Estes resultados são especialmente úteis para a escolha de um tamanho do raio de poros na concepção de uma malha para uso em determinadas profundidades”, Molinero comentou.

Depois de estudar a correlação entre o fluxo de óleo ideal e a coluna de fluido ideal, eles também utilizaram o modelo para executar uma análise do poro (ver Figura 3, direita) baseados em uma máxima fração de água dada — a quantidade de água permitida na mistura sem a necessidade do óleo ser tratado.

“Para diferentes tamanhos de abertura de malha, os resultados do modelo nos deu o fluxo de óleo e a altura máxima da coluna de fluido para a pureza do óleo desejada”, continuou Coene. Por exemplo, imagine que eu quero operar a malha pelo menos meio metro abaixo do nível da água, e quero um máximo de 1% de água em minha mistura. Isso mostra qual raio eu preciso para os buracos da minha malha.”

⇒ APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO OFERECEM RECURSOS DE PROJETO

Um recurso do software COMSOL torna possível distribuir facilmente os resultados de uma simulação a terceiros sem compartilhar o modelo inteiro. “Utilizamos o Application Builder, disponível no COMSOL Multiphysics, para criar uma interface de usuário personalizada em torno do nosso modelo”, explicou Silva. “Os aplicativos de simulação tornam possível distribuir

“Com o modelo COMSOL e um aplicativo personalizado construído em torno dele, temos feito progressos em uma nova maneira de limpar vazamentos de óleo.”

— JORGE MOLINERO, PARCEIRO E DIRETOR DE SOLUÇÕES DE MODELAGEM DA AMPHOS 21

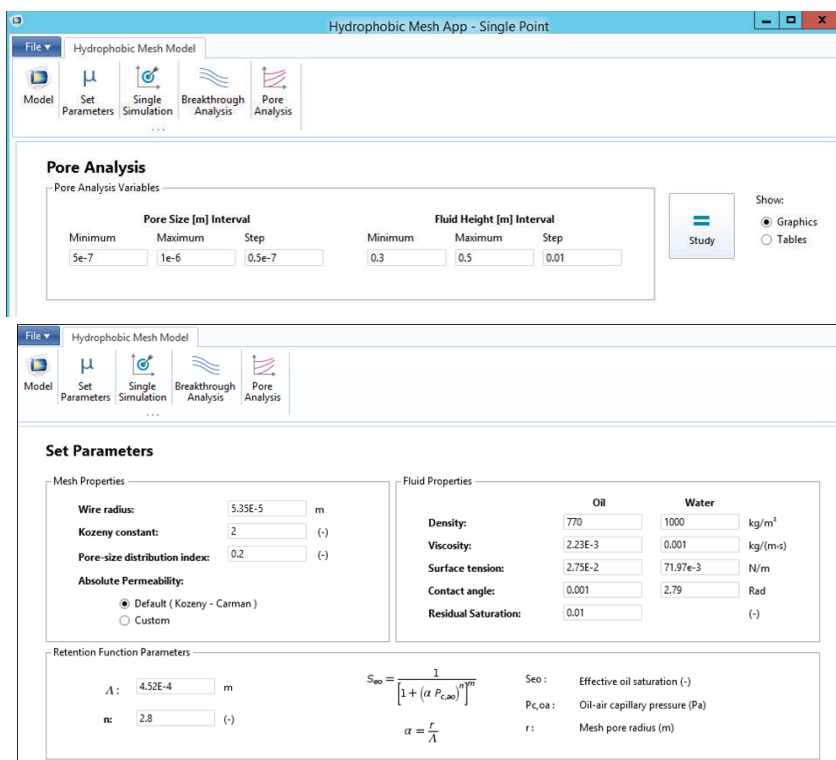


FIGURA 4. O recorte de uma captura de tela do aplicativo de malha hidrofóbica da Amphos 21 mostrando entradas para uma análise dos poros (em cima) da malha e das propriedades do fluido (embaixo).

os resultados da simulação aos usuários, sem fornecer todo o modelo. As empresas podem usar esses aplicativos para reduzir os experimentos, economizar dinheiro em testes e serão capazes de simular uma pequena parte de uma malha e, em seguida, ampliá-la, a fim de projetar a tecnologia de que precisam. Esse é um desenvolvimento promissor no projeto de malhas hidrofóbicas.”

O aplicativo da Amphos 21 (ver Figura 4) permite ao usuário prever o desempenho da malha e rapidamente verificar a qualidade dos projetos em diferentes condições de operação, alterando as propriedades da malha e do fluido. Em menos de 30 segundos, pode-se executar uma análise abrangendo uma variedade de tamanhos de poros e profundidades de água para encontrar a melhor malha para determinadas profundidades com base numa fração máxima de água escolhida.

O aplicativo também calculará diferentes propriedades da malha, tais como a permeabilidade absoluta e outras grandezas relacionadas à pressão de ruptura, ajudando os projetistas a escolherem a configuração ideal para atender às necessidades em diferentes circunstâncias.

“Achamos que isso será muito atraente para os departamentos de P&D, grupos ambientais e outros que trabalham para resolver este problema”, disse Molinero. “Com o modelo COMSOL e um aplicativo personalizado construído em torno dele, temos feito progressos em uma nova maneira de limpar derramamentos de óleo.”

Na sequência, eles distribuirão o aplicativo para engenheiros que podem usar o modelo de malha hidrofóbica em grande escala para projetar a malha ideal para uma determinada situação, e, por fim, implantarão novas ferramentas para ajudar em tempo real. ❖



A equipe da Amphos 21 trabalhando no seu aplicativo de simulação. Da esquerda para a direita: Orlando Silva, Emilie Coene, Jorge Molinero.

Vibração, ruído e oscilação

Pesquisadores noruegueses estão monitorando como as ondas sonoras de baixa frequência viajam em edifícios de modo que eles possam recomendar ajustes de projeto para aliviar as vibrações indesejadas.

por JENNIFER HAND

Quem já dormiu perto de um aeroporto sabe a sensação — um voo de manhã cedo te acorda, não só porque o motor é barulhento, mas também porque tudo ao seu redor parece estar tremendo. Da mesma forma, as pessoas que vivem perto de turbinas eólicas, instalações militares ou hospitais com helipontos, muitas vezes se queixam de que as janelas tremem e todos os objetos de uso cotidiano emitem um zumbido quando há ruído externo. Mais intrigante para eles é o fato de que, mesmo quando não podem discernir nenhum som, ainda podem notar vibrações irritantes.

Se a resposta do som for de 20 vibrações por segundo (20 Hz), ou menos, que é descrito como infra-sons, significa que o som original geralmente não pode ser detectado pelo ouvido humano. Os efeitos, entretanto, são muito mais fáceis de se detectar. Conforme as ondas batem nas janelas, se propagam pelo chão e afetam as paredes internas, elas induzem uma vibração interior perceptível. As ondas sonoras de baixa frequência são notórias por seu potencial para criar distúrbios irritantes.

⇒ ONDAS SONORAS DE BAIXA FREQUÊNCIA EM EDIFÍCIOS

O ruído é parte da vida moderna e existem normas formais que utilizam medições de nível de pressão sonora para reconhecer ondas sonoras de alta frequência em níveis de sensibilidade, infiltração e perigo para os seres humanos. De acordo com Finn Løvholt do NFI (Norwegian Geotechnical Institute), a geração de vibração em edifícios devido aos infra-sons é uma área de investigação que não foi explorada exaustivamente. Por esta razão, o NGI, um centro internacional de pesquisa e consultoria em geociências, tem realizado, há vários anos, programas de pesquisa investigativa em nome da Norwegian Defence Estate Agency.

“O som de baixa frequência encontra menor absorção à medida que viaja através do ar do que o som de frequência mais alta, de modo que persiste por distâncias maiores. A quantidade de som transmitido de fora para dentro dos edifícios é maior.

Estamos interessados no que acontece no limiar de audição”, explica Løvholt. “Queremos entender como os sons de fontes externas interagem com edifícios e geram vibrações que são percebidas pelas pessoas. Podemos, então, recomendar medidas preventivas para evitar a vibração e podemos ser capazes de propor unidades padrão que reconheçam a necessidade de levar em consideração o fator 'irritação'.”

⇒ SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SONORAS

Løvholt e seus colegas decidiram criar um modelo computacional que lhes permitisse separar o mecanismo de ondas sonoras de baixa frequência que atingem e penetram em um edifício. Eles

“Nós nunca alcançamos antes este nível de acordo com os testes da vida real e tudo se deve à forma como fomos capazes de modelar os diferentes elementos estruturais no COMSOL Multiphysics.”

— FINN LØVHOLT, NGI

usaram o software COMSOL Multiphysics® para simular uma estrutura de madeira com duas salas separadas por uma parede (veja a figura 1, superior), mimetizando a configuração da experiência de laboratório. Dentro do modelo, eles colocaram

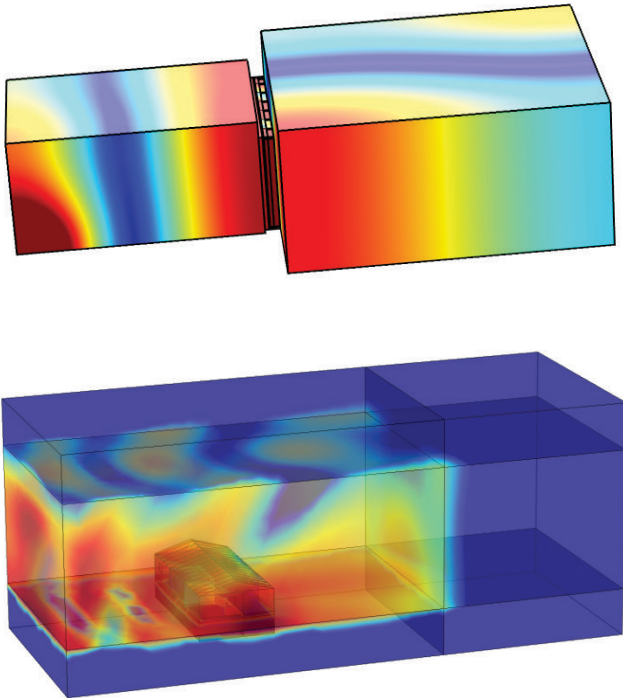


FIGURA 1. Superior: A pressão sonora simulada em um laboratório com duas câmaras divididas por uma parede. Um alto-falante é colocado na sala à esquerda. As simulações mostram que as ressonâncias acústicas dentro de cada sala afetam o isolamento acústico. Inferior: Simulação de som de baixa frequência originário de fora, ao redor e dentro de um edifício. Em ambos os casos, as cores indicam a variação na pressão sonora dentro das salas e nas cavidades das paredes.

um alto-falante em uma sala, um microfone na outra, e colocaram várias sondas ao redor da estrutura para monitorar os níveis de pressão sonora e vibrações. Cada componente foi cuidadosamente modelado, incluindo a estrutura de aço, a cavidade do ar e pregos na parede, as janelas, a chapa de madeira compensada e a placa de gesso. "Cada elemento tem uma ressonância que depende do comprimento de onda da onda sonora e da distribuição de pressão. Por exemplo, existe uma alta pressão na sala do alto-falante e menor pressão na sala do microfone, e a ressonância de uma parede dependerá do seu comprimento, espessura e rigidez", explica Løvholt.

A equipe também teve de reconhecer ressonâncias compostas criadas quando dois componentes são unidos, como dois pedaços de madeira que são aparafusados juntos. "A vantagem do COMSOL Multiphysics é que ele nos permite inserir todos os parâmetros que precisamos monitorar. Em particular, ele nos permite acoplar físicas para que possamos, por exemplo, ver a acústica de som ao ar livre interagindo com a dinâmica estrutural interna. O acoplamento funciona nos dois sentidos, então podemos identificar o feedback. Este acoplamento é crucial para a nossa análise, porque as ondas sonoras podem gerar uma grande variedade de ressonâncias. O modelo realmente nos permite ver isso."

A equipe do NGI, então, verificou a sua simulação com testes de laboratório de sons de baixa frequência, conforme eram

transmitidos através de uma construção de madeira com duas salas. Løvholt explica que o movimento da parede e o nível de pressão sonora são as principais grandezas medidas e os resultados mostram boa correlação com o modelo do COMSOL Multiphysics (ver Figura 2). "A resposta da parede real é muito clara e o modelo imita isso quase com perfeição. Esse é o aspecto mais espetacular."

O modelo mostra que a transmissão de som dentro de um edifício é governada pela maneira como as ondas de baixa frequência interagem com os modos fundamentais dos componentes da construção, as dimensões do ambiente, e a maneira como o ar escapa do edifício. As vibrações nos tetos e paredes parecem ser a fonte dominante de som interno de baixa frequência, com a vibração do piso impulsionada pela pressão do som dentro do compartimento.

⇒ MAIS BARATO E MAIS RÁPIDO DO QUE OS TESTES FÍSICOS

"Agora temos uma ferramenta para prever o som e a vibração em baixas frequências", disse Løvholt. "Podemos usá-la para projetar e testar medidas de mitigação, como a laminação de janelas e o enrijecimento das paredes — se uma parede ou janela se move menos, há menos transferências de som. Além disso, o modelo nos mostra a influência de pequenos detalhes no sistema; por exemplo, como a união aparafusada entre as vigas e placas de gesso pode reduzir o efeito de uma contramedida, uma vez que eles na verdade reduzem a rigidez global da estrutura."

A próxima etapa para a equipe são os testes de campo em grande escala em uma casa de verdade, em uma área da Noruega, que fica exposta ao ruído de aeronaves. Enquanto isso, a equipe continuará a usar e desenvolver o modelo. "Nunca havíamos alcançado antes este nível de concordância com os testes da vida real e tudo se deve à forma como fomos capazes de modelar os diferentes elementos estruturais no COMSOL Multiphysics", conclui Løvholt. "O modelo nos permite tomar decisões e atribuir contramedidas. Isso é muito mais barato e rápido do que testes físicos. O modelo pode, então, ser expandido para simular a propagação do som e da vibração em todo um edifício" (ver Figura 1, parte inferior). ❖

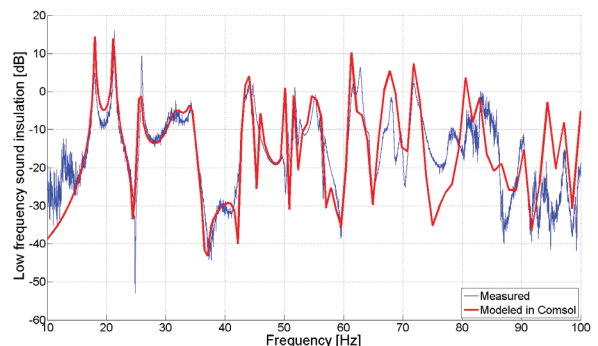


FIGURA 2. O modelo capta com precisão a localização das ressonâncias, bem como o nível dentro de alguns decibéis. Conforme a frequência aumenta, mais modos em estruturas cada vez menores são excitados. Isso se mostra a medida que aumenta a diferença entre os resultados do modelo e da medição.

Automação do procedimento SQA relacionado à segurança nuclear através de aplicativos personalizados

Os procedimentos relacionados à segurança nuclear são rigorosos por uma boa razão. Pequenos erros de projeto podem, rapidamente, se transformar em falhas indesejadas. Os pesquisadores do Oak Ridge National Laboratory trabalharam com a COMSOL para definir um aplicativo de simulação que automatiza o processo de verificação da garantia de qualidade do software (SQA) e fornece os resultados em menos de 24 horas.

por **NATALIA SWITALA**

As atualizações de software podem ser como a visita inesperada de um velho amigo. Você fica igualmente animado e frenético. Você espera que tudo corra bem, que a atualização seja compatível com a versão que está atualmente em execução e que seja aprovada em todos os requisitos de garantia de qualidade do software (SQA). Este cenário é ainda mais exagerado quando o software é usado em um ambiente altamente regulamentado, tal como um reator nuclear para pesquisa operado pelo DOE (U.S. Department of Energy).

⇒ O PROCEDIMENTO SQA NOS MANTÉM SEGUROS

Ao lidar com a energia nuclear, há muitas precauções de segurança em jogo para evitar falhas, incluindo os requisitos SQA que se aplicam a todos os componentes relacionados a segurança nuclear associada às instalações do reator.

Uma tarefa na qual James D. (Jim) Freels e uma equipe do Oak Ridge National Laboratory (ORNL) estão concentrados e é a pesquisa e desenvolvimento para a conversão do combustível de reatores HFIR (Reator de Isótopos de Alto Fluxo) de urânio altamente enriquecido (HEU) para combustível de urânio pouco enriquecido (LEU) (Figura 1). Em resposta à Global Threat Reduction Initiative, muitos dos reatores nucleares de pesquisa do mundo já foram convertidos. O principal objetivo do projeto de conversão para LEU do HFIR é que continue a ser a maior fonte baseada em reator de fluxo de nêutrons para a investigação da matéria condensada nos EUA e, portanto, se mantenha competitivo no mercado de fonte de nêutrons do mundo. O combustível único e o projeto do núcleo, bem como a alta potência do HFIR, representam uma tarefa complexa e desafiadora para a conversão de combustível. Esses pesquisadores do ORNL usam o software COMSOL Multiphysics® para explorar o impacto que a mudança no combustível terá no desempenho do HFIR e nas iniciativas de propagação de nêutrons.

O DOE exige o cumprimento rigoroso das normas SQA. Portanto, procedimentos têm sido desenvolvidos e são realizados pelo ORNL para aderir às práticas associadas à segurança nuclear. Para estar em conformidade, Jim e a equipe de ORNL verificam se qualquer software que eles usam se comporta como o esperado pelos desenvolvedores do código, a partir da instalação inicial até a atualização mais recente.

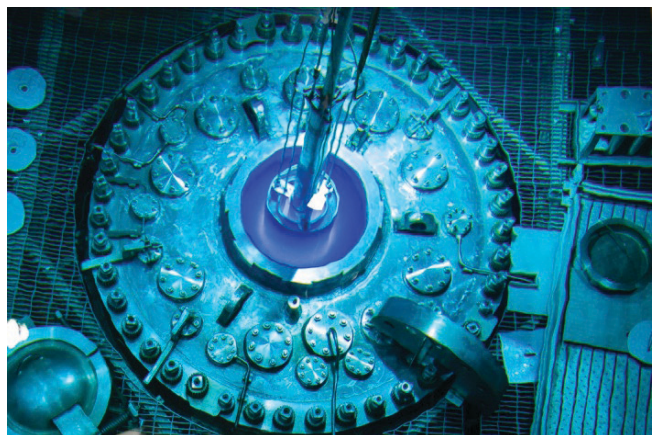
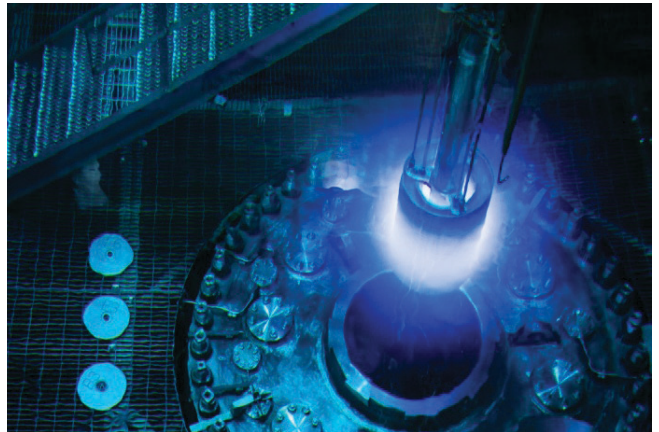


FIGURA 1. Núcleo do reator HFIR sendo submetido à operação de desabastecimento.

⇒ REQUISITOS DE DOCUMENTAÇÃO, SEGURANÇA EM PRIMEIRO LUGAR!

O processo SQA está em vigor para garantir que o software usado para executar uma análise esteja produzindo os resultados pretendidos. “A verificação de que uma instalação local do software é executada de acordo com o pretendido pelo desenvolvedor, é potencialmente demorada, mas é uma etapa necessária para códigos relacionados à segurança nuclear”, explica Jim, um pesquisador sênior, membro da equipe do ORNL.

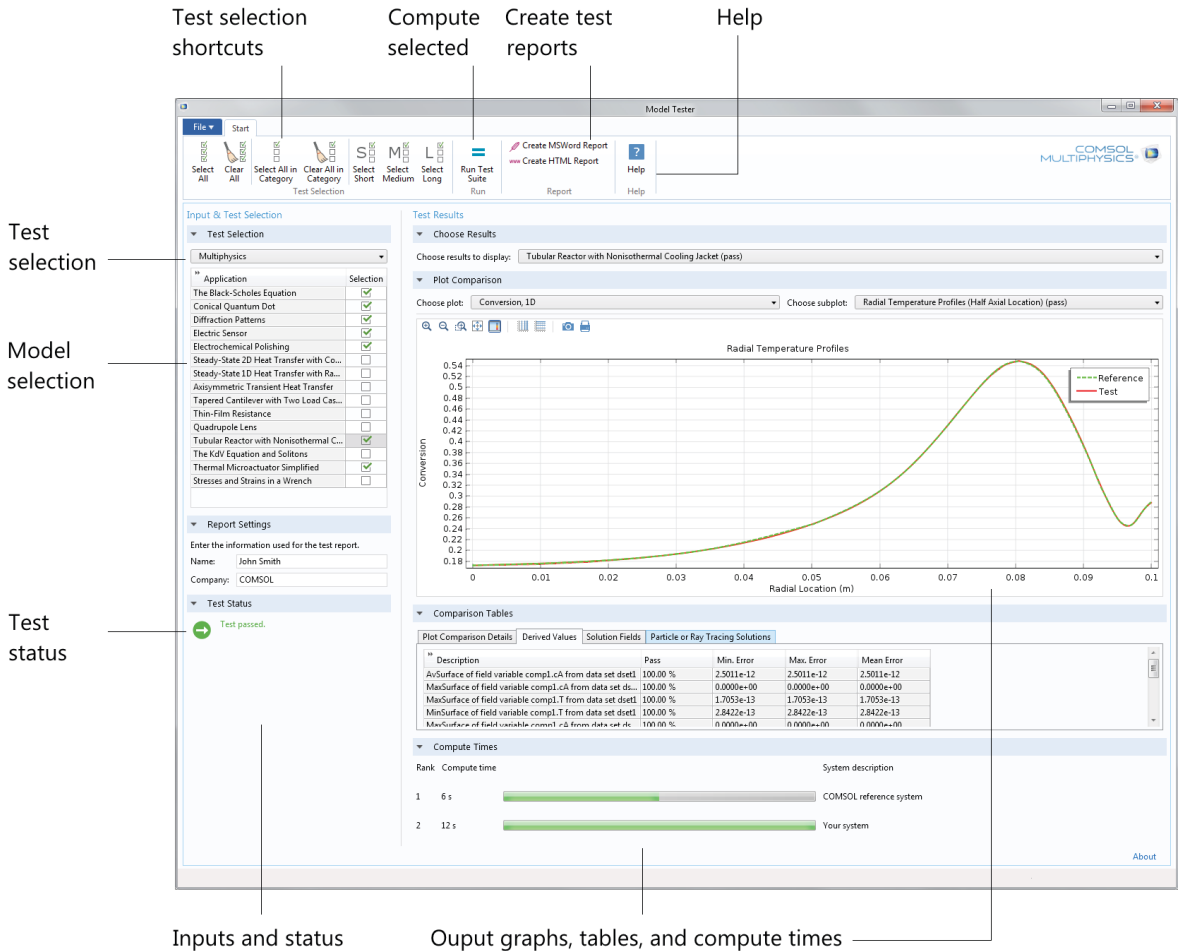


FIGURA 2. O aplicativo Model Tester que executa um conjunto de modelos e compara os resultados, tais como a temperatura e o potencial elétrico, em relação aos valores fornecidos na documentação do produto. O usuário recebe um relatório automatizado quando o teste for concluído.

O ORNL divide seus esforços SQA em duas categorias: verificação e validação (V&V).

A conformidade com os requisitos de validação pode ser mais difícil de cumprir, já que a situação ideal é ter dados experimentais, de teste ou operacionais para comparar diretamente e medir a precisão do código. Para alguns códigos, particularmente códigos como o COMSOL Multiphysics, que são novos para a indústria nuclear, a melhor abordagem, e aquela que o ORNL pretende realizar com o COMSOL Multiphysics, é produzir um relatório de validação independente que demonstre resultados válidos para um número de simulações diretamente relacionadas às suas pesquisas. Como alternativa, a tarefa de validação é incluída como parte do processo formal de cálculo relacionado à segurança nuclear controlada e governada por um procedimento separado.

Embora o cumprimento dos requisitos de verificação seja mais simples, ele pode ser muito demorado sem as ferramentas de software apropriadas. O DOE exige que a equipe produza um relatório que compara os resultados de um conjunto escolhido das aplicações do software COMSOL®, executado pela ORNL e incluso na Application Library integrada ao COMSOL

Multiphysics, com os resultados fornecidos na documentação do software. O número de aplicações escolhidas pode ser grande e cada variável de saída informada nos resultados precisa ser documentada, resultando em recursos significativos necessários para concluir o procedimentos de verificação.

Jim diz que “devido aos requisitos de documentação, a qualificação de uma nova versão do COMSOL costumava levar cerca de um a três meses para ser concluída, porque precisávamos comparar os resultados de várias simulações, manualmente, com a documentação fornecida pela COMSOL”.

⇒ SIMPLIFICANDO O PROCESSO DE SQA

Isso tudo mudou quando a COMSOL introduziu o Application Builder, e Michael W. Crowell (Mike) se juntou à equipe do ORNL, como analista de segurança e experimento nuclear, e viu a oportunidade de automatizar parte do processo SQA. O Application Builder permite que os especialistas em simulação, que usam o COMSOL Multiphysics em suas análises com base na física, criem uma interface de usuário personalizada para os seus modelos. Isso significa que todos na equipe podem acessar um modelo COMSOL e aproveitar os benefícios do trabalho

dos especialistas, sem ter experiência em codificação específica para o COMSOL. Além de serem capazes de construir facilmente uma interface personalizada, os especialistas em simulação podem estender seus modelos com métodos escritos em código Java® que permitem implementar comandos personalizados e conectar-se a programas já usados. Isso é exatamente o que a equipe do ORNL precisava.

Os procedimentos de verificação exigem que os pesquisadores demonstrem que o software foi instalado corretamente em computadores específicos e produz os resultados pretendidos pelos desenvolvedores do COMSOL Multiphysics. Mike estava à procura de uma solução que permitisse que a equipe testasse se eles iriam obter os mesmos resultados de simulação em computadores diferentes, utilizando diferentes sistemas operacionais e bibliotecas matemáticas. “Devido às diferenças de arquitetura da máquina e bibliotecas, juntamente com as

“O relatório automatizado tem nos proporcionado mais tempo, bem como maior precisão e confiabilidade.”

— JIM FREELS, MEMBRO SÊNIOR DA EQUIPE DE PESQUISA, ORNL

limitações de precisão da máquina, não esperamos que os resultados incluídos e locais sejam idênticos até a última casa decimal, mas esperamos que sejam bastante próximos”, explica Mike. A razão por trás de qualquer discrepância pode ser devido a, por exemplo, como os solvers e os algoritmos de geração de malha são criados e compilados localmente, o que poderia afetar os resultados finais.

Antes do lançamento do “Model Tester” desenvolvido pela COMSOL usando Application Builder, Mike desenvolveu um programa personalizado no software MATLAB® que automatizou o processo de verificação de maneira similar, selecionando um subconjunto de modelos da Application Library que acompanha o software COMSOL® para executar localmente, extrair e comparar os resultados. Esse desenvolvimento foi documentado em um artigo recente, publicado na COMSOL Conference 2015 de Boston. O programa em MATLAB® que o Mike desenvolveu compara os resultados dos modelos e da documentação fornecida pela COMSOL com os resultados gerados localmente e, então, informa a variação e destaca quaisquer casos fora dos limites. Usando a nova abordagem de Mike, o ORNL conseguiu reduzir, de meses para dias, o tempo necessário para verificação.

Jim estava ansioso para compartilhar o feito de Mike com a COMSOL, bem como com outras instalações que trabalham em projetos DOE. Este conhecimento compartilhado levou a uma conversa com Ed Fontes, CTO da COMSOL, sobre o desenvolvimento de um aplicativo a ser incluído na Application Library para que todos os clientes possam verificar facilmente uma instalação do COMSOL Multiphysics. Ed explicou que estes tipos de testes de verificação são feitos durante o desenvolvimento do COMSOL Multiphysics, com várias centenas de modelos testados a cada noite. Ele concordou alegremente em lançar o projeto e explicou que “o aplicativo permitirá aos clientes executarem um conjunto de modelos e comparar vários resultados físicos, tais como temperatura e potencial elétrico, em relação aos valores fornecidos na documentação do produto (e Application Library) e receber um relatório automatizado uma

vez que o teste for concluído” (ver Figura 2).

⇒ RELATÓRIOS AUTOMATIZADOS DESBLOQUEIAM A PRODUTIVIDADE

Os clientes serão capazes de executar modelos na Application Library de acordo com a sua licença do COMSOL Multiphysics, com a flexibilidade para selecionar quais dos modelos desejam incluir em seus próprios testes de instalação. Depois que as simulações são executadas, o aplicativo de teste informará aos clientes quais modelos foram aprovados e quais foram reprovados, incluindo os valores onde a falha ocorreu, e apresentará ao usuário um relatório automatizado. O critério de aprovação/reprovação é definido por padrão, mas pode ser alterado para atender às necessidades do cliente. Os clientes também podem estender os testes com os seus próprios modelos e inserir seus próprios valores de referência para a solução numérica.

“Os clientes podem usar o aplicativo para comparar os resultados da instalação anterior para entender claramente o impacto das possíveis atualizações dos produtos em uma nova instalação”, diz Ed. “Por exemplo, se a COMSOL mudar um algoritmo de malha ou um modelo de turbulência, você será capaz de verificar como os resultados de seus próprios modelos e da Application Library da COMSOL são influenciados pelas atualizações.”

Após testar uma versão preliminar do aplicativo de teste, Mike exclamou: “consequimos completar todo o processo de verificação em cerca de 24 horas!”

Jim acrescentou que “O relatório automatizado tem nos proporcionado mais tempo, bem como maior precisão e confiabilidade. Isso nos permite direcionar nossos esforços no trabalho, necessário para converter o combustível do HFIR de um HEU de alto desempenho para um combustível LEU.” ❖



Superior: As instalações do reator de isotopos de alto fluxo no Oak Ridge National Laboratory. Inferior: O grupo COMSOL principal dentro da Research Reactors Division da ORNL, da esquerda para a direita: Christopher J. Hurt, Franklin G. Curtis, Prashant K. Jain, Michael W. Crowell, James D. Freels e Emilian L. Popov.

Estrelas feitas pelo homem: Avaliação da integridade estrutural em máquinas de fusão nuclear de alto desempenho para geração de energia

Os pesquisadores do MIT Plasma Science and Fusion Center usam a simulação numérica para avaliar e otimizar o projeto proposto do experimento Advanced Divertor — uma máquina de fusão nuclear compacta, que contém a potência de um reator de escala real em uma bancada de teste de P&D.

por JENNIFER SEGUI

A fusão nuclear ocorre naturalmente no núcleo do sol, libertando grandes quantidades de energia radiante conforme a massa é perdida quando os núcleos de hidrogênio se fundem para formar átomos de Hélio maiores. Observamos essa energia aqui da Terra como a luz solar, apesar de estarmos, em média, cerca de 93 milhões de milhas distantes.

Demonstrar a viabilidade da fusão do hidrogênio como uma fonte limpa, segura, e praticamente ilimitada de energia, tem sido o objetivo principal de mais de 50 anos de esforços de pesquisas internacionais. No MIT a abordagem da fusão pelo conceito de um campo magnético muito alto tem sido o principal foco de pesquisa. No MIT Plasma Science and Fusion Center (PSFC), experimento, teoria avançada e simulação numérica são combinados para identificar e compreender a ciência e a tecnologia que pode tornar a energia da fusão disponível mais cedo.

O Advanced Divertor eXperiment (ADX) é um experimento de fusão nuclear, mais especificamente um tokamak, proposto pelos pesquisadores do PSFC para fornecer fluxos de calor, densidades e temperaturas semelhantes ao que esperamos ter em um reator de fusão, embora com apenas curtas descargas de plasma (Ver Figura 1).

Em um Tokamak, temperaturas superiores a 150 milhões de graus Celsius fazem com que os elétrons se separem dos núcleos, formando um plasma superaquecido totalmente ionizado a partir de combustível de hidrogênio

gasoso. O plasma do núcleo é contido em um recipiente toroidal à vácuo ou em forma de anel e mantido a alta pressão para produzir um plasma denso com alta probabilidade de colisão. Campos magnéticos externos limitam e controlam o plasma de uma maneira análoga aos intensos campos gravitacionais do núcleo do sol, produzindo assim a fusão nuclear.

“Recentes avanços em supercondutores de alta temperatura podem nos permitir projetar um tokamak que opere com campos magnéticos mais altos, aumentando o desempenho do plasma a níveis de reator”, explica Jeffrey Doody, engenheiro mecânico do PSFC. “O foco da pesquisa, então, muda de melhorar o desempenho do plasma, para os sistemas de suporte no tokamak.”

Usando simulação numérica, Doody e seus colegas estão projetando a estruturado ADX para sustentar fluxos de calor e campos magnéticos a nível de reator, tornando-o uma plataforma de testes adequada para sistemas de exaustão de energia e interações plasma - material para dar suporte ao desenvolvimento de máquinas de fusão da próxima geração.

⇒ SOBREVIVENDO ÀS DISTRIBUIÇÕES DE PLASMA

O projeto proposto para o vaso a vácuo do ADX é inovador, na medida em que é constituído por cinco cascas separadas, com simetria axial, como mostrado na Figura 2, em vez de um único cilindro. O projeto modular possibilita a troca de bobinas magnéticas e teste de diferentes configurações de desviadores, onde o

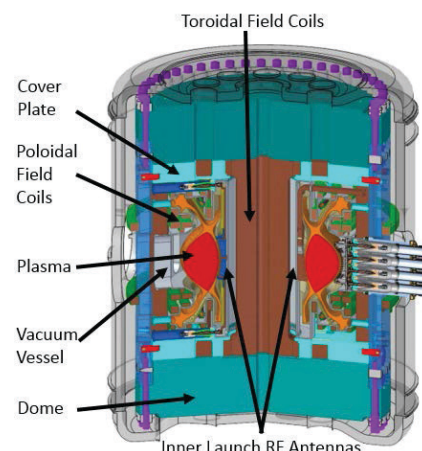


FIGURA 1. Esquema do tokamak ADX proposto pelo MIT PSFC.

desviador é um componente que serve como sistema de exaustão de energia para a remoção de cinzas de fusão de um tokamak. Quando íons escapam do confinamento provocado pelos campos magnéticos que controlam o plasma, o desviador os coleta e orienta para fora do vaso.

O vaso modular não só deve suportar os elevados fluxos de calor e campos magnéticos necessários para produzir a fusão nuclear, mas também sobreviver às disrupções de plasma, que são outra fonte de tensões na câmara a vácuo gerada quando o plasma entra em colapso.

“Para avaliar o projeto do vaso ADX proposto, realizamos simulações

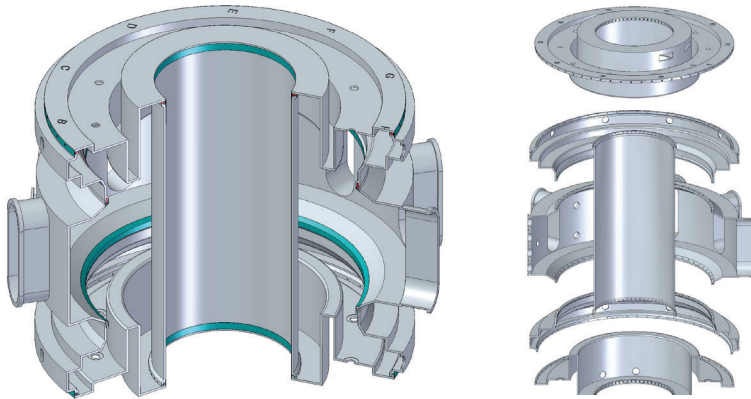


FIGURA 2. A câmara de vácuo do ADX apresenta um projeto único com cinco cascas separadas que são aparafusadas juntas.

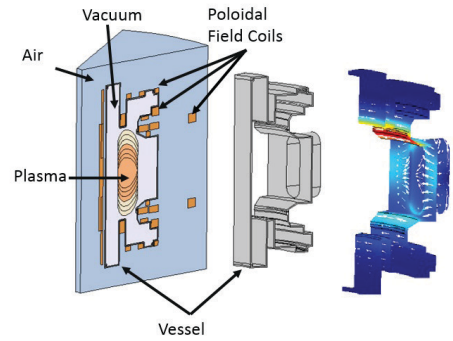


FIGURA 3. Geometria do modelo, à esquerda, usada para determinar as correntes parasitas nas paredes da câmara a vácuo do ADX, à direita.

numéricas no software COMSOL Multiphysics® para prever os campos magnéticos, as correntes parasitas e as forças de Lorentz resultantes da disrupção do plasma", explica Doody. "As cargas calculadas são então aplicadas a um modelo estrutural separado do vaso, a fim de prever as tensões e os deslocamentos." A Figura 3 mostra a geometria de um modelo

magnético com simetria cíclica do ADX, incluindo o vaso, o plasma, e as bobinas magnéticas poloidais, que são necessários para manter o plasma na sua posição de equilíbrio.

Existe um cenário pior para disrupções de plasma em eventos de deslocamento vertical (VDE), onde o plasma se desloca para cima transportando 1,5 milhões de amperes de corrente, para de se

mover depois de 10 milissegundos e perde toda a sua corrente em um único milissegundo. Mudanças rápidas nos campos magnéticos que cercam o disruptivo e produzem correntes parasitas na câmara a vácuo. Forças de Lorentz são exercidas sobre o vaso quando as correntes parasitas cruzam os campos magnéticos poloidais, e os campos magnéticos toroidais mais fortes do Tokamak, que confinam o plasma.

Durante um VDE, as correntes parasitas são maiores em magnitude devido à proximidade do plasma com a parede do vaso, e o VDE é, portanto, o caso de teste de escolha no modelo computacional do ADX. A Figura 3 mostra a distribuição de corrente parasita calculada a partir do modelo numérico. Um segundo modelo foi desenvolvido para determinar as forças de Lorentz, devido aos campos magnéticos toroidais do Tokamak, onde apenas os campos poloidais foram incluídos no primeiro modelo do ADX.

⇒ REFORÇANDO A CÂMARA A VÁCUO DO ADX

As disrupções de plasma resultam em forças de Lorentz intensas que atuam sobre as paredes do ADX, particularmente nas cavidades superiores e inferiores do vaso a vácuo durante um VDE. Em um modelo estrutural do vaso ADX, mostrado na Figura 4, os contornos superiores e inferiores são fixos à tampa do vaso e não podem ser deslocados durante a simulação. Cargas correspondentes à força de Lorentz exercidas sobre o vaso são aplicadas até aos contornos relevantes. No caso desse teste, a força de Lorentz foi determinada para um tokamak operando com uma

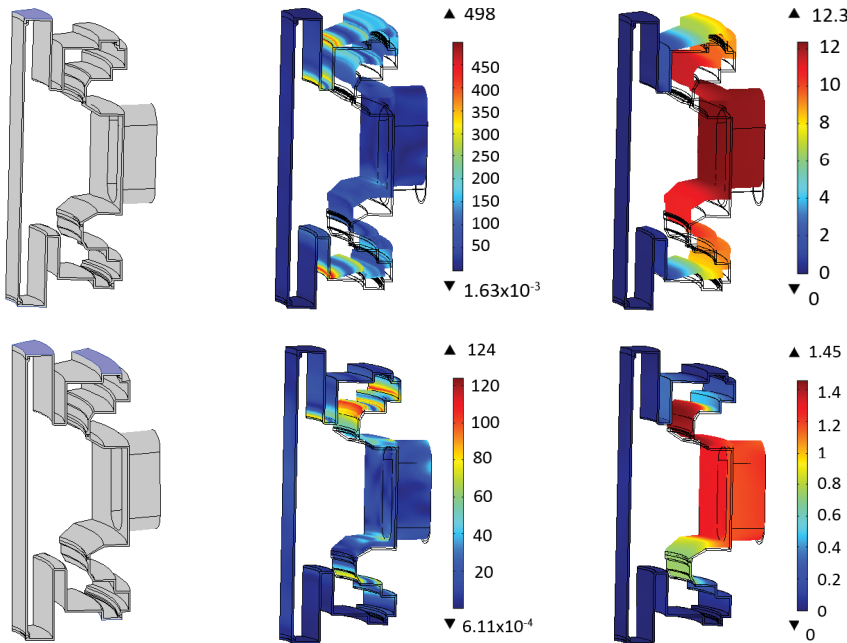


FIGURA 4. Na parte superior, a geometria do modelo estrutural do ADX mostra contornos roxos onde a estrutura é fixa. Resultados das simulações de tensão e deslocamento indicam que o projeto requer reforço. Na parte inferior, a geometria do modelo mostra um contorno fixo adicional, correspondente a um bloco de suporte adicionado ao projeto do ADX.

corrente de plasma de 1,5 milhões de Ampères e força de campo toroidal de 6,5 Tesla.

Os componentes do vaso modular são feitos de Inconel 625, uma resistente liga à base de níquel, que é também altamente resistente ao fluxo de corrente, mantendo as correntes parasitas ao mínimo. O limite de elasticidade do material é de 460 MPa, no entanto, os critérios de projeto para o ADX estipulam que as paredes do vaso não devem sofrer tensões superiores a 306 MPa, o que corresponde a dois terços do valor limite de elasticidade.

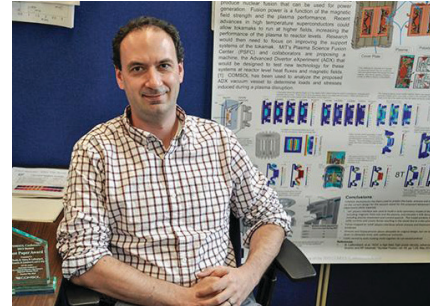
A simulação numérica mostra que, sem quaisquer alterações de projeto, a força de Lorentz devido a um VDE leva a grandes tensões no vaso que se aproximam do limite de elasticidade, e provocam deflexões de 1 centímetro

na estrutura. Para estabilizar a parede do vaso a vácuo, um bloco de suporte é adicionado para imobilizar um contorno adicional, como mostrado na linha inferior na Figura 4. Os resultados da simulação, obtidos para o caso com o bloco de suporte adicional, demonstram redução significativa das tensões e os deslocamentos da parede do vaso, indicando que o vaso a vácuo estabilizado pode sobreviver a uma ruptura no plasma e suportar a operação do ADX.

⇒ PRÓXIMA GERAÇÃO DA FUSÃO NUCLEAR É ALÉM

O projeto baseado em simulação do ADX ajudará a garantir a operação segura e bem-sucedida no PSFC, onde se tornará a máquina de fusão mais nova a servir como uma plataforma de P&D para testar

os conceitos de desviadores necessários para um reator a fusão. ❖



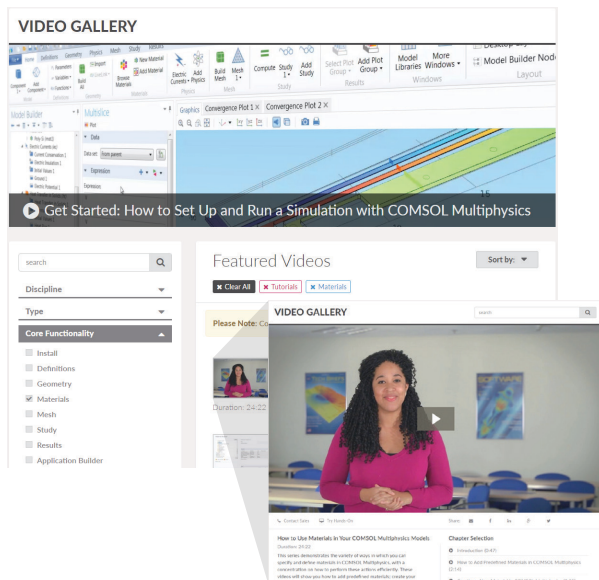
Jeffrey Doody é engenheiro mecânico no MIT Plasma Science and Fusion Center, retratado aqui na Conferência da COMSOL, 2015, em Boston, onde ganhou um prêmio pelo seu trabalho de simulação.

Galeria de vídeos da COMSOL: uma ferramenta de aprendizagem interativa

por **ANDREW GRIESMER**

SÉRIE DE TUTORIAIS

Os tutoriais em vídeo mostram como usar o software, desde a criação de geometria ao pós-processamento dos resultados e muito mais. Estes vídeos foram criados para usuários iniciantes e experientes especialistas em simulação, abrangendo recursos introdutórios e técnicas avançadas. Cada vídeo é produzido com os conhecimentos da equipe de suporte técnico da COMSOL.



A Galeria de vídeos da COMSOL contém mais de 200 vídeos, com novas inclusões toda semana. Com foco nos suporte aos usuários do software Multiphysics® COMSOL e do COMSOL Server™, esses vídeos ajudam a obter o máximo de suas simulações numéricas.

DEMONSTRAÇÕES DE MODELO

Quer saber mais sobre a modelagem de fenômenos físicos específicos? As demonstrações de modelo lhe guiarão por todas as etapas necessárias para simulá-lo, abrangendo eletromagnetismo, mecânica estrutural, escoamento não-isotérmico, acústica, reações químicas, MEMS, microfluídica e mais. Estes vídeos lhe darão uma ideia de como criar modelos no software COMSOL Multiphysics® e como transformá-los em aplicativos personalizados que possuem uma interface amigável para que todos possam executá-los conectando-se ao COMSOL Server™.

PALESTRANTES CONVIDADOS

Ouçá de colegas engenheiros e cientistas sobre como eles estão usando a simulação numérica em suas indústrias. Todos os anos, em eventos ao redor do mundo, os usuários do COMSOL apresentam seus trabalhos, mostrando as melhores práticas e projetos inovadores. Assista a este acervo de apresentações no conforto de sua mesa.

VÍDEOS ONLINE DA COMSOL

Procure os vídeos disponíveis na Galeria de Vídeos da COMSOL em br.comsol.com/videos.

PROMOVENDO A INOVAÇÃO INDUSTRIAL ATRAVÉS DE APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO PERSONALIZADOS

Um grupo de pesquisa da Universidade de Buffalo está compartilhando conhecimentos de simulação através de uma ampla variedade de indústrias por meio de aplicativos de simulação personalizados. Estes aplicativos permitem que o usuário final execute a análise desejada sem a necessidade do conhecimento e experiência que são necessários para desenvolver o modelo computacional subjacente.

por **BRIDGET CUNNINGHAM**

Olhe para qualquer indústria hoje, do projeto automotivo aos eletrônicos de consumo, e você encontrará uma linha comum que os une: a demanda por tecnologia mais inovadora. As melhores e mais recentes tecnologias são continuamente superadas por dispositivos ainda mais complexos e intrincados que oferecem recursos e funcionalidades avançadas.

As ferramentas de simulação numérica são uma solução viável para o desafio de criar rapidamente dispositivos mais elaborados, fornecendo resultados com precisão do mundo real sem a necessidade da construção de protótipos para cada modificação de projeto. Algumas organizações, no entanto, podem não ter os recursos para contratar um especialista em simulação para ajudar a criar e modificar modelos. Aqui é onde os aplicativos de simulação entram. Estas interfaces de usuário personalizadas são construídas em torno de simulações numéricas de sistemas baseadas na física e permitem ao usuário final executar análises multifísicas configuradas para eles por especialistas em simulação.

Com mais de 30 anos de experiência em modelagem no setor industrial, Edward Furlani, professor na School of Engineering and Applied Sciences da Universidade de Buffalo (UB) SUNY com nomeações comuns nos Departamentos de Engenharia Química e Biológica e Engenharia Elétrica, viu a oportunidade de levar a simulação numérica para um maior número de organizações. A ideia dela: Organizar um grupo universitário que poderia trabalhar junto para desenvolver modelos matemáticos para analisar e projetar materiais e dispositivos para fins industriais. Agora, o potencial

para a equipe estender o alcance de seus conhecimentos para uma maior gama de indústrias está crescendo, graças à capacidade de criar aplicativos de simulação personalizados usando o software COMSOL Multiphysics®.

⇒ LEVANDO A EXPERIÊNCIA DE MODELAGEM A MUITAS INDÚSTRIAS

Para Furlani, a modelagem multifísica sempre foi um elemento importante no trabalho do dia-a-dia. Como um cientista de pesquisa da Eastman Kodak, ele realizou modelagem no suporte ao desenvolvimento de materiais e dispositivos para produtos comerciais, incluindo sistemas de jato de tinta e inumeráveis tecnologias de imagem digital. Furlani também desenvolveu modelos para uma variedade de necessidades da indústria, de fotônica e microfluídica à tecnologia aplicada a magnetismo e microssistemas. Em seu cargo atual como professor na UB, Furlani incorpora software de multifísica na sala de aula para ajudar ainda mais os alunos a aprender e desenvolver suas habilidades de engenharia de uma forma interativa utilizando ferramentas computacionais.

O foco do grupo de Furlani na UB é altamente interdisciplinar e reflete a pesquisa industrial e acadêmica. Seus alunos desenvolvem modelos computacionais multifísicos para o desenvolvimento de produtos com funcionalidade de engenharia de nanoescala à macroescala. O seu grupo tem criado um número de modelos no software COMSOL® com objetivo de ajudar as indústrias a continuar no caminho da inovação e crescimento.

Quando se trata de armazenamento

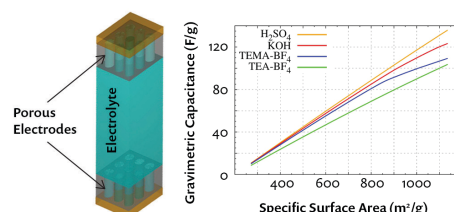


FIGURA 1. A geometria de um EDLC em um gráfico indicando a capacitância prevista.

de energia, por exemplo, dispositivos baseados em eletroquímica como capacitores elétricos de camada dupla (EDLCs) estão se tornando cada vez mais comuns. Favorecidos em relação aos capacitores tradicionais por sua capacitância significativamente maior, esses dispositivos oferecem potencial para novos cenários operacionais que exigem vários ciclos de carga/descarga rápida. Nos capacitores, os íons se separam e se acumulam na superfície dos eletrodos de carga oposta, em resposta a uma tensão aplicada. Ao desenvolver os modelos, o grupo de Furlani, em colaboração com o Professor Gang Wu na UB, tem sido capaz de prever o transporte de íons e a carga de equilíbrio acumulada nestes dispositivos, bem como a sua capacitância, para promover uma melhor compreensão do seu comportamento e otimização de seus projetos (Ver Figura 1).

A tecnologia de membranas é outro ponto popular de interesse da comunidade industrial, com usos que variam de dessalinização da água do mar à remoção de CO₂ do gás natural. Projetar membranas de compósitos de filmes finos (TFC) com alta seletividade é a chave para aumentar a utilização dos sistemas de membranas, mantendo os custos e o impacto ambiental a um mínimo. A equipe na UB desenvolveu

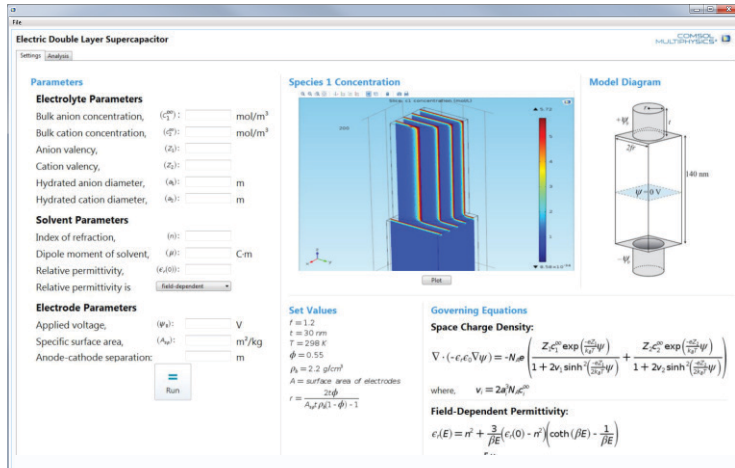


FIGURA 2. Recorte da captura de tela de um aplicativo para análise EDLC.

modelos 3D para verificar como a espessura da camada, a seletividade e a porosidade causam impacto no desempenho da membrana. Os modelos, que foram validados experimentalmente pelo professor Haiqing Lin da UB, proporcionam maior compreensão sobre como otimizar ainda mais esses sistemas energeticamente eficientes e pavimentar o caminho para utilizações adicionais.

Furlani começou a transformar estes e outros modelos complexos em aplicativos de fácil uso, tal como mostrado na Figura 2. Usando o Application Builder, disponível no COMSOL Multiphysics, ele e seus alunos foram capazes de construir uma interface simplificada baseada em cada modelo, personalizada para atender às necessidades específicas de diferentes empresas, e capacitar um grupo maior de pessoas a executar seus próprios testes de simulação. "Com aplicativos personalizados, você tem todo o poder do COMSOL Multiphysics à sua disposição sem a necessidade do conhecimento necessário para desenvolver o modelo subjacente", disse Furlani. "Os usuários podem estudar detalhes que são difíceis de mensurar e podem acelerar muito o ciclo de desenvolvimento do seu produto, reduzindo a engenharia cara e demorada da tentativa e erro."

Para promover ainda mais o desenvolvimento econômico através da modelagem matemática, a equipe está executando o COMSOL Server™ em um cluster de computação através do Center for Computational Research (CCR) da universidade — uma instalação de supercomputação que oferece suporte à computação científica, engenharia

de software e computação paralela. Esta configuração cria um ambiente de computação de alto desempenho e de alto rendimento para a execução de aplicativos onde os usuários finais podem se conectar ao COMSOL Server por meio de um cliente ou um navegador. Nos bastidores, os especialistas em simulação podem facilmente gerenciar e implantar seus aplicativos e disponibilizar as

atualizações imediatamente através do COMSOL Server.

⇒ O NEGÓCIO DA CRIAÇÃO DE APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO PERSONALIZADOS

O grupo também está envolvido em atividades de simulação para o mundo de startups. Na Vader Systems, uma startup em Buffalo, NY, os fundadores Zachary e Scott Vader desenvolveram um processo inovador conhecido como impressão por jato de metal líquido alimentado (LMJP). Desenvolvido para imitar a impressão a jato de tinta, esta tecnologia, que se baseia em magneto-hidrodinâmica (MHD), envolve a liquefação de metal sólido alimentado e a ejeção de gotas de metal fundido por meio de um campo electromagnético pulsado. Isso permite a impressão de objetos metálicos 3D altamente complexos. Como eles comercializam impressoras com base em LMPJ, o grupo de Furlani tem desenvolvido aplicativos COMSOL para entender melhor o processo de impressão e aumentar as suas capacidades.

Outro projeto importante tem sido realizado com os cientistas da Xerox liderados pelo Dr. Peter Paul, em que contribuíram para o desenvolvimento de

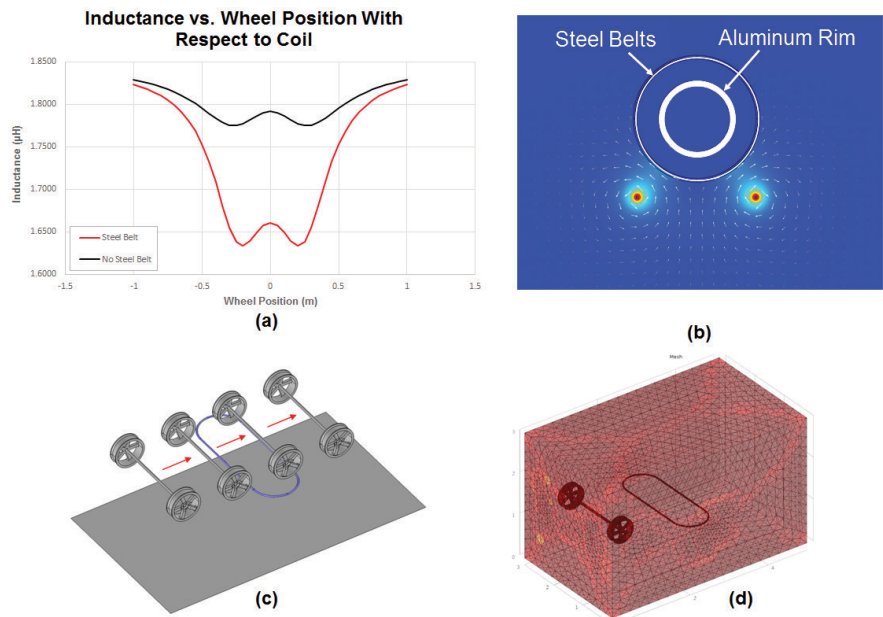


FIGURA 3. Uma simulação de um acoplamento de bobina indutiva em um veículo em movimento. A análise examina o impacto das cintas de aço em um pneu em movimento na indutância da bobina (a) e a distribuição do campo magnético com um pneu em movimento acima de uma bobina indutiva (b). O movimento do eixo do veículo é mostrado (c), bem como um domínio computacional 3D para simular a detecção do eixo (d).

novos sistemas de sensores baseados em espiras indutivas que podem ser usados em projetos de transporte veicular. Juntamente com o monitoramento e gerenciamento do controle de tráfego, a tecnologia de detecção remota também poderia levar novas técnicas à coleta de dados de tráfego.

“Com aplicativos de simulação, você pode facilmente personalizar a interface do usuário e incluir parâmetros que são de interesse para diferentes empresas, o que é um recurso muito útil.”

—EDWARD FURLANI, PROFESSOR NA ENGINEERING SCHOOL, UNIVERSIDADE DE BUFFALO

A maximização do desempenho dos sistemas requer uma compreensão do acoplamento eletromagnético entre as bobinas de detecção que estão embutidas no piso e componentes ferrosos e metálicos do veículo, tais como rodas e eixos. Aqui, a equipe usou o COMSOL Multiphysics para realizar estudos de simulação para verificar como a indutância da bobina muda, em função da posição e movimento das rodas de alumínio e pneus que contêm cintas de aço (ver Figura 3).

Enquanto trabalhava nesses e em outros projetos, a necessidade de envolver mais pessoas no fluxo de trabalho do projeto de cada um dos projetos tornou-se evidente muito rápido. Com os modelos subjacentes estabelecidos, a equipe procurou criar uma ferramenta interativa que pudesse incluir mais pessoas e atender suas necessidades individuais. A resposta veio, mais uma vez, na forma de construção de aplicativos personalizados.

"Com aplicativos de simulação, você pode facilmente personalizar a interface do usuário e incluir parâmetros que são de interesse para diferentes empresas, o que é um recurso muito útil", afirmou Furlani.

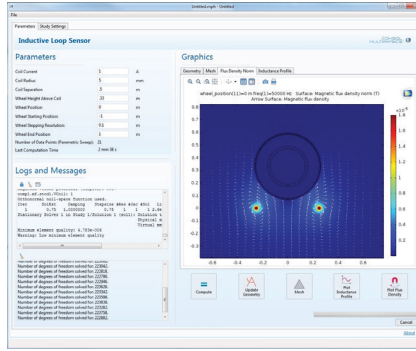


FIGURA 4. Uma captura de tela do aplicativo criado pela Xerox, baseado em um modelo de sensores para espira indutiva.

Essa personalização e flexibilidade é complementada pela nova facilidade de comunicação nas organizações. A necessidade de um usuário final usar o COMSOL Multiphysics é essencialmente eliminada através da instalação do COMSOL Server, que fornece acesso aos aplicativos. Ao trazer recursos de simulação para as mãos de mais pessoas dentro da organização, as mudanças de projeto podem ser abordadas de forma mais eficiente, com a precisão garantida. As equipes da Vader Systems e Xerox (cujo aplicativo é mostrado na Figura 4) já experimentaram os benefícios do uso dos aplicativos, como a criação de um ciclo de desenvolvimento de produtos mais colaborativo e eficiente.

⇒ DE ALUNOS A EMPREENDEDORES

As ferramentas de simulação também são uma forma atraente para ajudar os alunos a melhorarem suas habilidades de engenharia. Como os aplicativos são projetados para ocultar a complexidade do modelo subjacente, eles podem servir como um guia útil para os alunos que são iniciantes em simulação ou no software COMSOL. Conforme se tornam mais familiarizados com as diferentes características e funcionalidades, os alunos podem começar a se aprofundar e aprender como utilizar novas ferramentas.

Além de servir como uma introdução útil ao software, os alunos têm a oportunidade de se envolver com o lado comercial da criação de aplicativos. Projetar um aplicativo, observa Furlani, não é um processo de uma única etapa. "Há também o trabalho para mantê-lo", disse ele. "É importante você estar perto e prestar apoio aos clientes, oferecendo-lhes ajuda e se envolvendo com eles conforme precisarem."

Neste sentido, a arte e a ciência de construir aplicativos desenvolve habilidades de negócios, pois os alunos aprendem a lidar com perguntas e pedidos de clientes em tempo oportuno. E ao construir aplicativos por conta própria, os alunos estão se ajustando a uma nova onda de projeto baseado em simulações, que abre a porta para maior liberdade, flexibilidade e empreendedorismo. ❖

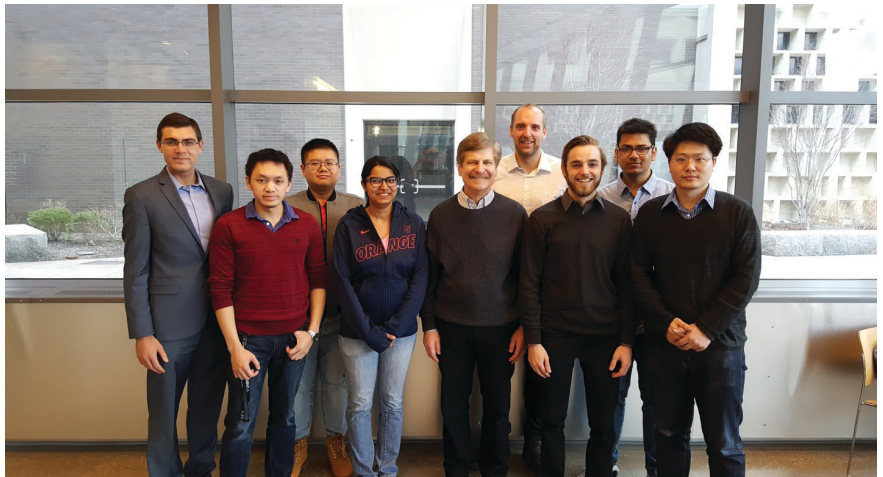


FIGURA 5. Membros do grupo de Furlani (da esquerda para a direita): Dante Iozzo, Mike Tong, Xiaozheng Xue, Aditi Verma, Edward P. Furlani, Ioannis Karampelas, Viktor Sukhotskiy, Gouray Garg e Kai Liu.

A análise multifísica ajuda a preservar o passado

Alunos e consultores estão trabalhando juntos para melhorar o ambiente construído e salvar estruturas históricas e artefatos através do uso de aplicativos de simulação.

por **GARY DAGASTINE**



FIGURA 1. Da esquerda para a direita, as imagens mostram diferentes escalas de estruturas de interesse para o ambiente construído, de grandes áreas de terra aos materiais utilizados em uma janela.

Há sempre espaço para melhoria nas coisas que os humanos criam, e em nenhum lugar isso é mais verdadeiro do que no chamado ambiente construído, o termo para o espaço físico criado por humanos no qual vivemos, trabalhamos e nos divertimos.

O ambiente construído engloba tudo, desde grandes áreas metropolitanas a edifícios individuais, parques, estradas e infra-estrutura com os quais interagimos ao longo de nossas vidas. Embora nem sempre possa parecer dinâmico, ele é continuamente impactado por incontáveis processos baseados na física, tais como a transferência de calor, escoamento de ar e transporte de umidade, os quais acontecem em muitas escalas diferentes (veja a Figura 1).

A capacidade de modelar e simular esses processos com precisão pode levar a melhorias significativas em muitas áreas importantes, tais como: eficiência energética; saúde e segurança; custos operacionais; durabilidade; e, particularmente, preservação histórica.

Profundamente imerso neste trabalho, está Jos van Schijndel, fundador da empresa de consultoria, CompuToolAble, com sede na Holanda e professor assistente na Universidade de Tecnologia de Eindhoven, Países Baixos, onde se especializou na modelagem matemática da física da construção.

“O que me dá alegria e energia é trabalhar em projetos que não só incorporam pesquisa de ponta, mas que são relevantes para a sociedade e também podem inspirar meus alunos”, disse van Schijndel. “Fundei a

CompuToolAble para oferecer aos clientes a nossa experiência em matemática avançada e ferramentas computacionais, e a capacidade de realizar experimentos numéricos complexos para criar projetos inovadores e otimizar seus desempenhos.”

Como consultor e professor, van Schijndel muitas vezes precisa pensar em maneiras de tornar idéias complexas acessíveis a seus clientes, que não são especialistas em simulação, ou para alunos, que ainda estão aprendendo sobre modelagem e o trabalho de simulação. Como um usuário do software COMSOL Multiphysics®, ele aproveita o Application Builder, que possibilita criar interfaces de usuário intuitivas baseadas em um modelo do software COMSOL®. Isso permite que ele, como um especialista em simulação, colabore de forma eficiente com clientes e colegas em outras organizações e departamentos.

⇒ APLICATIVOS FACILITAM O USO DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para seus clientes corporativos, van Schijndel oferece análise numérica e capacidades de teste através destas interfaces de usuário personalizadas, ou aplicativos, construídos a partir de modelos COMSOL. Esses aplicativos tornam fácil para o usuário final que nunca usou o software de simulação antes, ou que não possui o conhecimento técnico para criar um modelo, executar testes virtuais em diferentes alterações de projeto, com base em suas necessidades específicas.

No ambiente universitário, ele usa o mesmo software para apresentar aos alunos a simulação multifísica e ao projeto de aplicativos. O uso de aplicativos COMSOL primeiro dá aos alunos um ponto de partida em sistemas físicos e de análise numérica antes de continuarem a construir seus próprios modelos do zero. Uma vez que estão bastante familiarizados com os conceitos e as técnicas de modelagem, eles podem,

“Usar aplicativos COMSOL primeiro dá aos alunos um ponto de entrada em sistemas físicos e de análise numérica antes de continuar a construir seus próprios modelos do zero.”

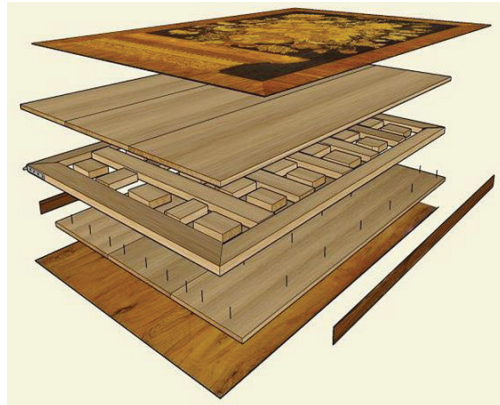


FIGURA 2. À esquerda, o Castelo Amerongen é um exemplo de uma estrutura histórica que está sujeita aos efeitos potencialmente prejudiciais de tensões e deformações causadas por calor e umidade ao longo do tempo. Isto se aplica tanto ao próprio edifício, como aos tesouros que o castelo contém, como a porta do armário à direita (fonte: Rijksmuseum Amsterdam).

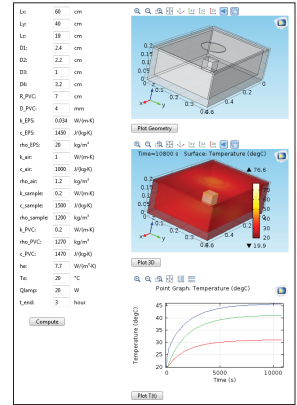


FIGURA 3. Os usuários do aplicativo podem explorar uma variedade de projetos e cenários de operação, por exemplo, diferentes parâmetros geométricos e propriedades do material.

eventualmente, criar seus próprios aplicativos usando o Application Builder, ampliando ainda mais o seu conhecimento e o alcance de suas capacidades de análises coletivas.

"O Application Builder é muito importante para mim de duas maneiras distintas", disse Schijndel. "Na universidade, é um desafio contínuo motivar os alunos a usar sua criatividade e talento antes de mergulharem mais profundamente em modelagem matemática. Mas agora, eu posso facilmente criar aplicativos de simulação envolventes apenas com as características que eu quero que meus alunos explorem. Então, só depois de terem tido a oportunidade de brincar com os aplicativos para analisar a física envolvida e para compreender os efeitos quando várias alterações são feitas, é que entramos em um trabalho mais detalhado.

"No lado corporativo", van Schijndel continuou, "muitas vezes há pessoas que precisam usar simulações numéricas para que possam ver e entender os impactos de processos físicos em seus produtos, mas não têm experiência suficiente ou interesse em construir seus próprios modelos. Usando o Application Builder, eu posso criar uma interface de usuário especializada, com base em modelos numéricos avançados, e disponibilizar apenas os parâmetros nos quais elas estão interessadas. Isso também garante que nenhum erro seja introduzido, porque estamos todos trabalhando a partir do mesmo ponto de referência." Um aplicativo pode ser implantado para uso por todos que precisam de acesso a ele, seja por meio de um navegador de Internet ou um cliente que pode ser baixado e ele permite que se conectem ao COMSOL Server™ (conforme mostrado no recorte da captura de tela do aplicativo na Figura 3).

⇒ ANÁLISE MULTIFÍSICA AJUDA NA PRESERVAÇÃO HISTÓRICA

Quando se trata da preservação de edifícios históricos e dos artefatos que eles contêm (ver Figura 2), é imperativo examinar os impactos combinados de transferência de calor, escoamento de ar e transporte de umidade, a fim de atenuar os seus efeitos deletérios. A variação dos níveis de temperatura e umidade pode aumentar as tensões e deformações nas estruturas e objetos históricos, que por sua vez pode levar ao empenamento, rachaduras, alterações dimensionais, e outras formas de danos. Ter uma melhor compreensão da dinâmica destes processos

e como eles ocorrem, pode conduzir a esforços de conservação mais eficazes.

Van Schijndel criou e supervisionou a criação de muitos modelos COMSOL relacionados à preservação de edifícios e itens históricos em estreita colaboração com o colega Henk Schellen, professor associado de Física dos Monumentos. Por exemplo, uma de suas alunas de PhD, Zara Huijbregts, usou o Heat Transfer Module, um complemento do COMSOL Multiphysics, para modelar como a luz solar, que passa através das janelas, aqueceria o chão e as paredes de uma sala em momentos diferentes ao longo de um dia (ver Figura 4).

A simulação combinou transferência de calor por condução através do envelope que envolve o edifício, a transferência de calor por convecção e pelo ar ambiente interior e a transferência de calor

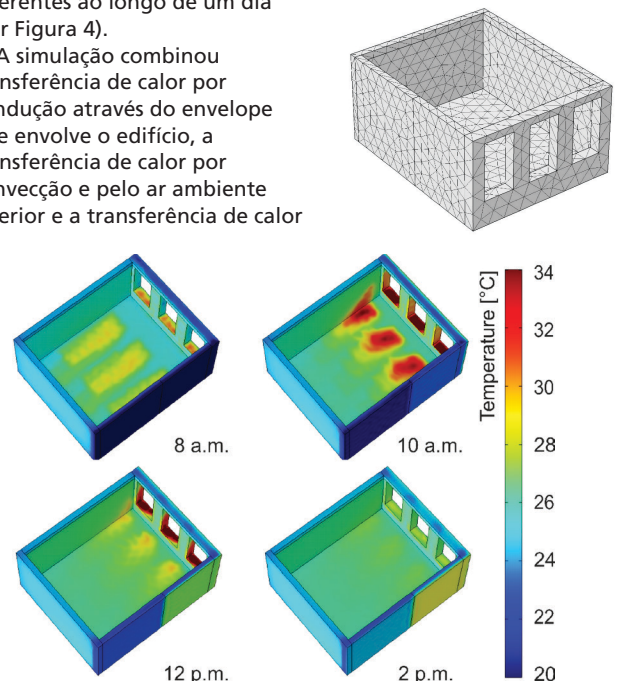


FIGURA 4. Uma simulação numérica, no software COMSOL®, da distribuição de temperatura no piso e nas paredes de uma sala em horários diferentes do dia. O calor vem da radiação solar que passa através das janelas, conforme o sol passa sobre a sala.

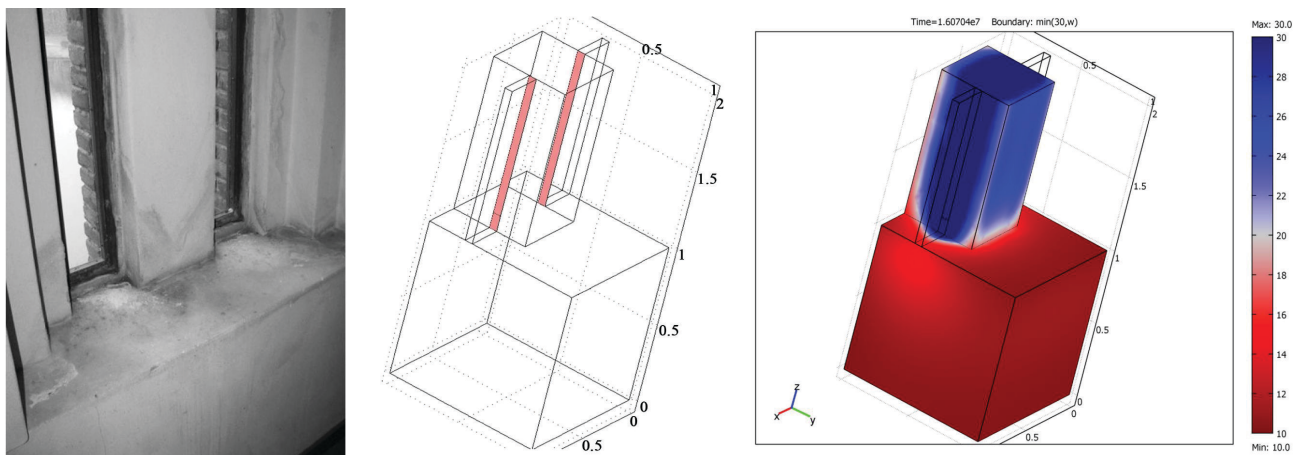


FIGURA 5. Para entender o transporte de umidade, o qual pode causar danos como o da foto acima (à esquerda), van Schijndel criou um modelo da COMSOL que acopla, precisamente, o calor e o transporte de umidade através de uma parede (à direita).

por radiação. O modelo incluiu diferentes superfícies da sala e das fachadas de edifícios, e também foram considerados efeitos de resfriamento das sombras do lado externo.

Os resultados previram a temperatura em cada parede em diferentes momentos do dia, indicando os melhores locais para proteger objetos sensíveis a danos pela luz solar e calor. "É extremamente importante conhecer essas distribuições de temperatura precisas para que, por exemplo, quadros possam ser pendurados em locais onde serão menos afetados pelo aquecimento solar", disse van Schijndel.

Os danos causados pela umidade é outra questão importante que pode danificar paredes, prédios, telhados e os conteúdos de uma sala. Às vezes, van Schijndel usa o COMSOL Multiphysics como ferramenta de investigação porque, em estruturas mais antigas, nem sempre está claro por onde a umidade entra em uma construção ou sala.

"A ideia é deduzir como a umidade pode estar entrando através do uso de simulações multifísica que incluem medições da umidade relativa em diversas posições diferentes. Áreas de alta umidade relativa dão pistas de como o transporte de massa de umidade ocorre e nós acoplamos esta informação com simulações de transferência de calor, porque o calor provoca a distribuição de umidade", disse ele.

Van Schijndel desenvolveu um modelo COMSOL do transporte de umidade em uma parede com os danos por infiltração visíveis próximo à janela. O seu modelo permitiu deduzir de onde a umidade estava vindo (ver Figura 5). Ele e os seus alunos utilizaram esta técnica para modelar pontes térmicas utilizando materiais diferentes, analisar como o posicionamento do isolamento influencia a transferência de calor de dentro para fora de uma construção, e para compreender como a umidade viaja através de diferentes materiais de construção, tais como betão, pedra e isolamento (Ver Figura 5).

Dado que a temperatura e umidade são os principais causadores de tensão e deformação em objetos preciosos, como pinturas históricas, a capacidade de unir isso precisamente em um modelo pode levar a melhores previsões de possíveis danos. O modelo de Van Schijndel calcula a distribuição de temperatura ao longo da parede e da pintura, assim como as alterações relativas na umidade (ver Figura 6).

"As estruturas históricas estão enfrentando ameaças sem

precedentes à sua integridade devido às mudanças climáticas, o aumento da urbanização e outros fatores. Ao mesmo tempo, os regulamentos que regem a sua preservação nunca foram mais rigorosos, porque é um benefício social preservar o legado do passado. A capacidade de usar ferramentas sofisticadas de modelagem e simulação, como o COMSOL, é uma parte importante do conjunto de ferramentas que nos ajuda a atender a essas exigências", disse van Schijndel. ❖

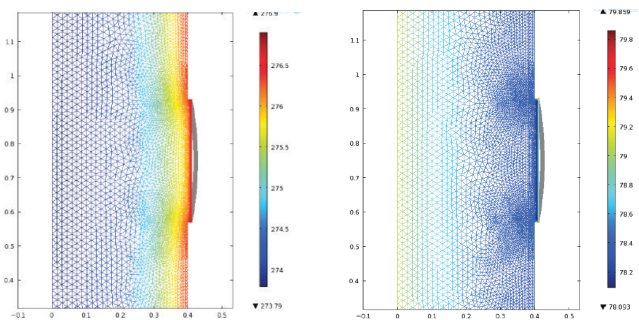
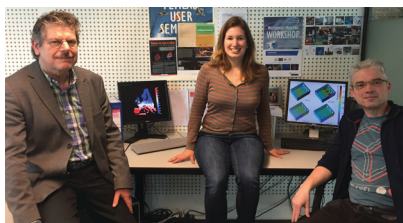


FIGURA 6. As duas imagens mostram as simulações no COMSOL de uma seção transversal de uma parede na qual um quadro está pendurado. A imagem à esquerda mostra a distribuição da temperatura na parede e no quadro em um determinado ponto no tempo, enquanto a imagem à direita mostra a taxa de mudança da umidade relativa na parede e o quadro no mesmo ponto no tempo. Esse modelo pode ajudar a prever a tensão e a deformação que afetam edifícios históricos e artefatos, fornecendo aos especialistas as informações necessárias para realizar as ações apropriadas para mitigar os danos.



Da esquerda para a direita: Henk Schellen, Zara Huijbregts e Jos van Schijndel.

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO ATRAVÉS DE UM APLICATIVO PERSONALIZADO

Ao distribuir modelos multifísicos de alta fidelidade como aplicativos de simulação personalizados, os engenheiros da BE CAE & Test aumentam seus conhecimentos e agilizam o processo de consultoria.

por GIUSEPPE PETRONE

Consultores de simulação estão usando aplicativos personalizados como uma maneira eficaz de comunicar seus trabalhos aos clientes. Em vez de entregarem um relatório estático, eles agora podem implantar um produto que contém a complexidade de um modelo matemático completo, com a clareza e a usabilidade de um aplicativo. Isso permite aos clientes executarem as suas simulações independentemente. Na BE CAE & Test, criamos um aplicativo para simular os componentes de montagem em superfície (SMD).

⇒ APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO PARA MELHORIA DA COMUNICAÇÃO NA ENGENHARIA

Em consultoria de simulação, os aplicativos são o próximo passo da comunicação na engenharia: Eles são uma maneira simplificada de se comunicar e trabalhar com clientes. Com um aplicativo personalizado, um cliente pode acessar uma simulação completa através de uma interface amigável. O uso de um aplicativo é vantajoso tanto para o especialista em simulação quanto para o cliente, uma vez que o cliente recebe uma ferramenta fácil de usar com a qual ele pode investigar, de forma independente, o seu sistema, e o especialista é capaz de dedicar mais tempo aos detalhes da simulação em vez de executar cálculos para o cliente.

Neste exemplo, que descreve a caracterização de um SMD, o cliente tem acesso ao modelo numérico através do aplicativo e pode modificar alguns

parâmetros e escolhas de material.

⇒ CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE UM COMPONENTE DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE

Quer os dispositivos utilizem ou convertam energia, eles devem gerenciar corretamente o calor para que continuem a funcionar em uma faixa de temperatura designada. Um SMD é um exemplo de um sistema eletrônico que os clientes nos pedem para modelar. Nós utilizamos o software COMSOL Multiphysics® para investigar esses sistemas devido à grande variedade de físicas que pode ser considerada e a facilidade com a qual alguém pode acoplá-las.

No nosso modelo SMD, as partes em que estamos interessados principalmente são a estrutura de cobre, a camada de solda sem chumbo e a matriz de silício (ver Figura 1).

O material da camada de solda e da matriz de silício, a espessura da camada de solda, e a potência térmica dissipada, cada um tem o potencial de influenciar as temperaturas máximas de junção e resistência térmica da junção ao invólucro. No nosso modelo, investigamos o efeito da variação destes parâmetros

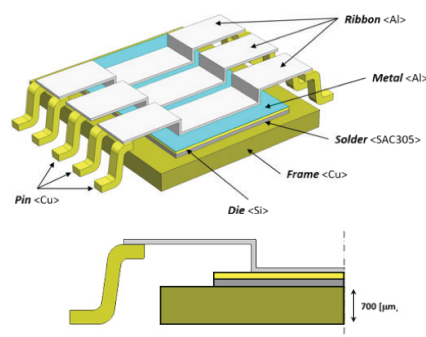


FIGURA 1. Superior: Detalhes geométricos e materiais usados do SMD. Inferior: Vista lateral da estrutura, matriz, solda, pino e cinta.

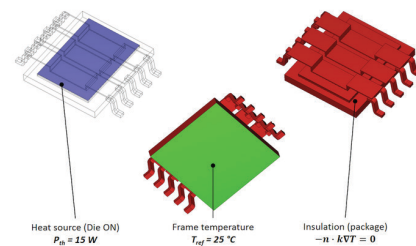


FIGURA 2. As regiões destacadas do SMD retratam as condições de contorno utilizadas no modelo multifísico.

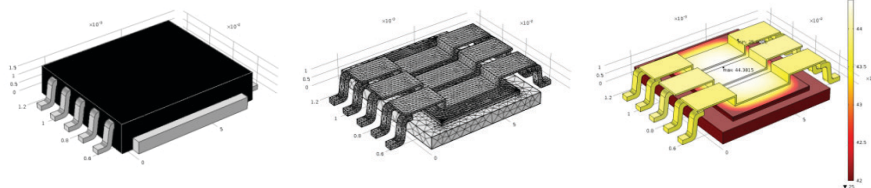


FIGURA 3. Da esquerda para a direita: Geometria 3D, malha e resultados da simulação do software COMSOL Multiphysics®.

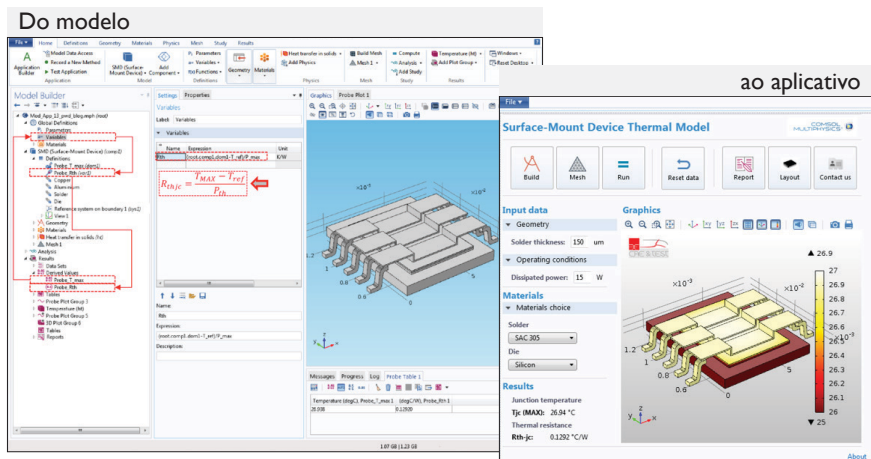


FIGURA 4. O aplicativo Surface-Mount Device Thermal Model, criado com o Application Builder disponível no software COMSOL Multiphysics®. O usuário pode alterar os fatores, tais como a espessura da solda, as condições operacionais e os materiais, para analisar o comportamento térmico dos diferentes projetos SMD.

sobre a distribuição de calor, uma vez que, em última instância, afetam o bom funcionamento do SMD. Na execução da nossa simulação de teste, a fonte de calor é de 15 W, a temperatura inicial da estrutura é definida como 25 ° C e as partes restantes são isoladas termicamente.

Com o COMSOL Multiphysics, é fácil de modelar a transferência de calor através do dispositivo, pois todas as etapas de modelagem são realizadas no mesmo ambiente. Fomos capazes de construir rapidamente a geometria; adicionar materiais; usar a interface física Heat Transfer in Solids para criar condições de contorno; gerar a malha; resolver; e pós-processar os resultados com as expressões que nós definimos, tais como a resistência térmica entre a junção e o invólucro.

⇒ CONSTRUINDO UM APLICATIVO DE SIMULAÇÃO PERSONALIZADO A PARTIR DE UM MODELO NUMÉRICO

Uma vez que o modelo COMSOL Multiphysics é concluído (veja as Figuras 2 e 3), ele pode ser integrado a uma interface amigável através da ferramenta Application Builder. Como especialistas na física em questão, consideramos o nosso modelo matemático e as especificações dos nossos clientes, a fim de escolher os parâmetros que o usuário do aplicativo pode acessar e modificar dentro de uma faixa aceitável (ver Figura 4).

O usuário do aplicativo pode ver a geometria do SMD, ajustar a espessura da solda, gerar uma malha, iniciar a

simulação, retornar às configurações padrão e gerar um relatório. Estes recursos são facilmente criados com as funcionalidades disponíveis no COMSOL Application Builder.

À medida em que o usuário do aplicativo progride através das etapas da simulação, saídas gráficas são exibidas: primeiro a geometria do SMD, depois, a sua malha, e, finalmente, a distribuição de temperatura calculada. Assim, a natureza interativa e dinâmica do modelo é preservada no aplicativo. Quando o usuário do aplicativo modifica um parâmetro, todas as visualizações são facilmente regeneradas.

O resultado final é um aplicativo transparente e fácil de usar que se baseia na precisão e no poder preditivo do modelo matemático definido por

especialistas de simulação, mas não sobrecarrega o usuário. O aplicativo aqui descrito permite ao usuário examinar a temperatura da junção e a resistência térmica entre a junção e o invólucro, como uma função dos materiais dos componentes, da espessura da camada de solda e da potência térmica dissipada. O usuário do aplicativo pode modificar os parâmetros e visualizar os resultados rapidamente, confirmando ou contradizendo previsões para tomar decisões de projeto.

⇒ MELHORANDO A COMUNICAÇÃO NA ENGENHARIA

Em nossa experiência de criação de aplicativos de simulação, os clientes têm tido o prazer de receber uma ferramenta interativa com a qual eles podem investigar seu sistema.

Anteriormente, depois de fornecer aos clientes os resultados das simulações, haveria pedidos de modelagem computacional adicional com diferentes parâmetros. Agora, é possível para o especialista em simulação implantar um aplicativo personalizado com o qual o cliente pode investigar todas as suas incertezas remanescentes. Isso é ótimo para o especialista em simulação e para os clientes — o tempo gasto em repetir simulações com diferentes parâmetros é melhor gasto aumentando a complexidade da simulação e do aplicativo.

Agora, com os aplicativos de simulação, ao receber um pedido de simulações paramétricas, podemos dizer: "Vamos fornecer um aplicativo personalizado da COMSOL, e você mesmo poderá inspecionar o seu produto." ❖

“Em consultoria de simulação, os aplicativos são o próximo passo da comunicação na engenharia: Eles são uma maneira simplificada de se comunicar e trabalhar com clientes.”



SOBRE O AUTOR CONVIDADO

Giuseppe Petrone é co-fundador e administrador único da BE CAE & Test, um consultor certificado da COMSOL. Ele recebeu seu mestrado em engenharia mecânica pela Universidade de Catania, na Itália e mais tarde obteve seu PhD em engenharia de energia e processo da Université Paris-Est na França. Antes de iniciar na BE CAE & Test, Petrone dedicou seu tempo a empreendimentos de pesquisa acadêmica, que inclui a exploração de métodos numéricos em dinâmica de fluidos e análise térmica. Ele usa o software COMSOL Multiphysics® desde 2005.

O COMSOL Multiphysics® Traz Inovação ao Meio Acadêmico e à Indústria

por **CARL D. MEINHART**

Eu uso o software COMSOL Multiphysics® no meio acadêmico e na indústria para resolver problemas multidisciplinares complexos. A razão é simples: O que anteriormente exigia um algoritmo numérico personalizado, desde aplicações multifísicas avançadas a análises de otimização, pode ser facilmente resolvido com o software COMSOL®.

Na Universidade da Califórnia, Santa Barbara, o COMSOL foi incorporado em vários cursos de pós-graduação e graduação. Por exemplo, na aula Introduction to Multiphysics Simulation, ensinamos predominantemente a engenheiros mecânicos seniores e alunos de graduação. Este curso fornece aos seniores as habilidades necessárias para usar o COMSOL no projeto e otimização de seus trabalhos de conclusão ao longo do ano. Ele permite que os alunos testem uma variedade de ideias de projeto no trimestre de outono do último ano, antes mesmo de construir o hardware. Este processo economiza tempo e energia significativos os ensina os alunos as práticas modernas de projeto industrial.

Também estamos planejando usar aplicativos personalizados criados com o Application Builder. Provavelmente, os aplicativos serão usados primeiro nas aulas de laboratório da graduação. Os alunos podem usar aplicativos pré-construídos para simular experiências físicas e prever os resultados esperados antes de realmente realizá-las no laboratório. Durante a fase de análise, os alunos irão comparar simulações e resultados experimentais para compreender a física, bem como erros experimentais e numéricos.

Muitos projetos são de natureza multidisciplinar, abrangendo as áreas de engenharia, química, física e biologia. Uma vantagem única do COMSOL é que físicas muito diferentes podem ser facilmente acopladas para resolver problemas de pesquisa ou responder perguntas científicas que anteriormente exigiam anos de desenvolvimento de algoritmos numéricos dedicados. Esta flexibilidade permite que os pesquisadores gastem mais tempo pensando sobre a física e menos tempo se preocupando com a parte numérica.

Um exemplo está na área de microfluídica, onde o escoamento eletrotérmico AC pode ser usado para provocar reações químicas heterogêneas. Esses modelos exigem que consideremos a eletrostática, a transferência de calor, o escoamento de fluido e as reações químicas. Para aumentar ainda mais a alta fidelidade das nossas simulações numéricas, os nossos modelos matemáticos também consideram o fato de que as propriedades do material são dependentes da temperatura. Os modelos permitem que as físicas sejam totalmente acopladas e interajam exatamente como elas fazem no mundo real.

Eu fundei a Numerical Design, Inc. em 2012 e, desde a sua criação, ela tem sido uma empresa de consultoria certificada da COMSOL. Prestamos serviços a uma variedade de indústrias em áreas técnicas, tais como a microfluídica, eletromagnetismo, engenharia química, e muitas outras.

Trabalhamos em muitas aplicações microfluídicas que

ocorrem em escalas de comprimento que variam de dezenas de nanômetros a dezenas de microns e escalas de tempo da ordem de alguns microssegundos. Por causa das pequenas escalas de comprimento e escalas de tempo curtas, muitas vezes é difícil para instrumentar os dispositivos para uma caracterização experimental do desempenho. Felizmente, o COMSOL Multiphysics nos permite simular estes dispositivos e, numericamente, projetá-los para o desempenho ideal.

Rotineiramente projetamos dispositivos microfluídicos que seriam impossíveis de criar através da instrumentação de protótipos físicos. Além disso, o processo de microfabricação para muitos dispositivos microfluídicos pode custar dezenas de milhares de dólares por execução de microfabricação e pode levar, digamos, seis meses para ser concluído. Este grande custo em tempo e dinheiro pode tornar projetos de múltiplas iterações impraticáveis. Com o COMSOL, somos capazes de simular e analisar rapidamente muitos conceitos de projeto e otimizá-los, antes de nos comprometermos com a fabricação de hardware real.

Existem muitas ferramentas de otimização disponíveis comercialmente. No entanto, para a otimização de forma baseada em multifísica, o COMSOL é a ferramenta ideal para o projeto de estruturas complexas que não podem ser projetadas estritamente a partir de princípios básicos. Em um exemplo industrial, recentemente realizamos uma otimização de 10 parâmetros de um problema multifísico não-linear. Se todas as combinações paramétricas possíveis fossem estudadas e cada parâmetro fosse varrido, digamos, em 10 etapas, o resultado seria 10^{10} simulações. Supondo que cada varredura não-linear demorasse aproximadamente 30 minutos para resolver, seriam necessários cerca de 570.000 anos para ser concluído. Usando o COMSOL, pudemos otimizar o problema dentro de aproximadamente um dia. A estrutura geométrica resultante não é intuitiva e não poderia ter sido prevista *a priori*.



SOBRE O AUTOR

Dr. Carl Meinhart é professor de engenharia mecânica na Universidade da Califórnia, Santa Barbara. Obteve seu PhD pela Universidade de Illinois em 1994. Desde que chegou à UCSB em 1996, a sua pesquisa tem se concentrado no desenvolvimento de dispositivos microfluídicos e investigação de seus mecanismos de transporte fundamentais. Dr. Meinhart também é fundador e CEO da Numerical Design, Inc., que é uma empresa de consultoria certificada da COMSOL, com sede em Santa Barbara, CA. Dr. Meinhart é membro da American Physical Society.