

COMSOL NEWS

A REVISTA DE SIMULAÇÃO MULTIFÍSICA



**A multifísica orienta
soluções de negócios e
engenharia**

Melhorando a qualidade da água na Tauw

PÁGINA 6

A multifísica orienta soluções de negócios e engenharia

Desde o conceito inicial até o produto final, elaborar projetos inovadores, economicamente viáveis e amigáveis ao meio ambiente é uma jornada intensa, porém extremamente recompensadora, tanto para gerentes quanto engenheiros.

Nesta edição da revista COMSOL News, mostraremos casos de especialistas em simulação que trabalham com seus colegas e clientes para encontrar soluções que atendam às metas de negócios e engenharia, tais como eliminar gargalos de produção, enquanto a segurança e eficácia dos produtos farmacêuticos são garantidas. Bons projetos são oriundos de uma representação de alta fidelidade das leis da ciência que governam os sistemas físicos que se deseja simular. Com a multifísica, especialistas em simulação são capazes de incluir e acoplar todos os efeitos físicos relevantes. Eles criam protótipos digitais precisos para explorar e expandir os limites da tecnologia, enquanto reduzem a necessidade de protótipos físicos. Estes especialistas criam aplicativos de simulação, interfaces de usuário que simplificam seus modelos multifísicos, possibilitando, que colegas e clientes em todo o mundo possam testar novas ideias no mundo virtual através da simulação numérica.

Aqui, você encontrará exemplos de como a simulação multifísica proporciona melhores soluções de negócios, tais como avanços importantes na computação, melhoria da qualidade da água, desenvolvimento de acoplamentos magnéticos sem contato, e minimização da corrosão em montagens com vários materiais, através de um esforço colaborativo.

Desejamos uma boa leitura e ótimas modelagens multifísicas!



Valerio Marra
Diretor de Marketing
COMSOL, Inc.

COMO INTERAGIR COM A COMUNIDADE COMSOL

BLOG br.comsol.com/blogs

FÓRUM br.comsol.com/forum

LinkedIn™ linkedin.com/company/comsol-inc

Facebook® facebook.com/multiphysics

Twitter® twitter.com/@COMSOL_Inc

Envie seus comentários sobre a COMSOL News para o endereço info@br.comsol.com

COMSOL NEWS

© 2018 COMSOL. COMSOL, COMSOL Multiphysics, Capture the Concept, COMSOL Desktop, COMSOL Server, e LiveLink são marcas comerciais registradas ou marcas comerciais de COMSOL AB. Todas as outras marcas são propriedades de seus respectivos proprietários, e COMSOL AB e suas subsidiárias e produtos não são afiliados, endossados, patrocinados ou apoiados pelos titulares dessas marcas comerciais. Para uma lista de tais titulares de marcas comerciais, acesse www.br.comsol.com/trademarks.

LinkedIn é uma marca comercial de LinkedIn Corporation e seus afiliados nos Estados Unidos e/ou outros países. Facebook é uma marca registrada de Facebook, Inc. TWITTER, TWEET, RETWEET e logotipo Twitter são marcas comerciais de Twitter, Inc. ou seus afiliados. Google+ é uma marca comercial de Google LLC.

ÍNDICE

SISTEMAS DE FOTOLITOGRAFIA

4 ASML faz avanços importantes na computação com modelagem multifísica

TRATAMENTO DE EFLUENTES

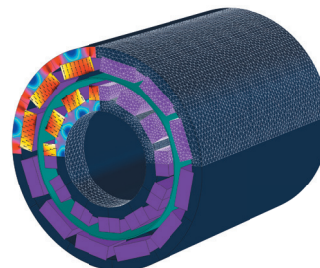
6 Simulação de escoamento multifásico orienta os projetos de estações de tratamento de efluentes

PROCESSOS BIOFARMACÊUTICOS

9 Modelagem multifísica na indústria dos biofarmacêuticos

CORROSÃO EM MONTAGENS COM VÁRIOS MATERIAIS

12 Redução de peso com o uso de alumínio: Aplicativos de corrosão direcionam projetos avançados



ACOPLAMENTOS MAGNÉTICOS

16 Transmissões magnéticas aumentam a vida útil de parques eólicos

MEDIDORES DE VAZÃO CORIOLIS

19 Seguindo o fluxo para otimizar sensores de fluidos

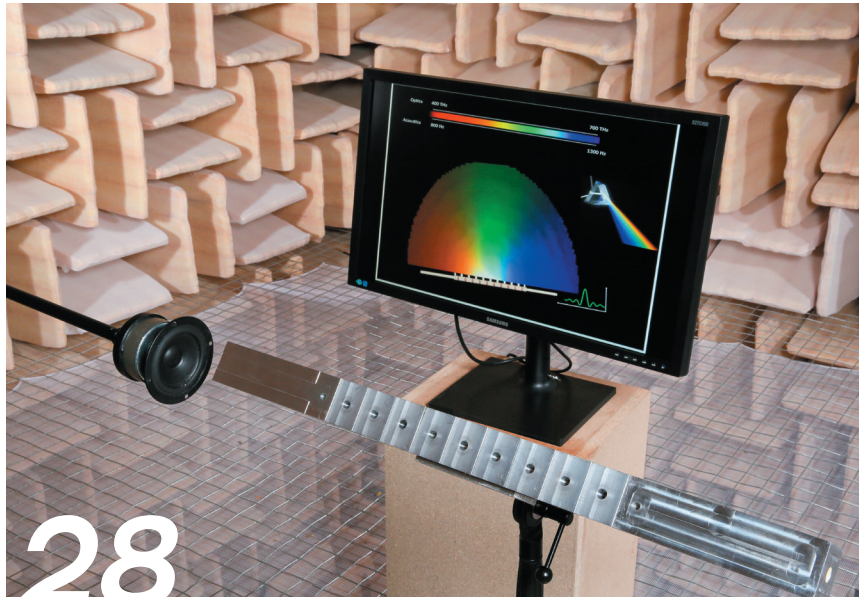


CAPA

Vista das margens do rio Dommel seguindo seu curso entre a vila de Son en Bruegel, 9,7 km ao norte da cidade de Eindhoven, Holanda. Crédito da imagem: Waterschap de Dommel (Agência de Águas de Dommel).

CONTEÚDO

- 22 | **LUBRIFICAÇÃO TERMO-ELASTOHIDRODINÂMICA**
Aplicativos de simulação proporcionam avanços em pesquisas de tribologia
- 26 | **PROCESSOS DE SINTERIZAÇÃO**
Melhorando a eficiência em sinterização de minério de ferro
- 28 | **METASSUPERFÍCIES ACÚSTICAS**
O som da perfeição graças à modelagem de metassuperfícies acústicas
- 31 | **PROJETO DE PRODUTOS AUTOMOTIVOS**
Otimizando o projeto de veículos de passeio com aplicativos de simulação

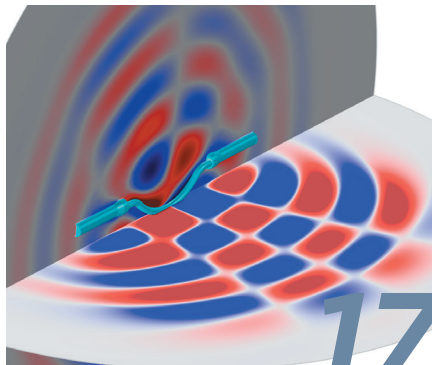


28

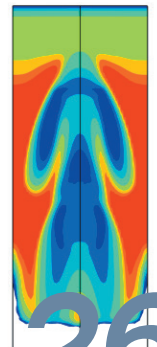
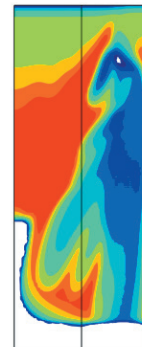


- 34 | **SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**
Multifísica protege turbinas eólicas contra descargas elétricas

- 38 | **EDITORIAL CONVIDADO**
Educação STEM: Aplicativos de simulação preparam os alunos para a vida além da sala de aula



17



26

Galvanic Corrosion Behavior of a Complex Multi-Materials Assembly

Step 1. Components
Identify components in the corresponding tab. Select among: AA7075, AA6022, AA5083, AA6061, AA7072, AA5056, AA6111, S5304, S5201, Zn/Pn, steel, CFRP, Sn, Ti64, AlMgZn, Zn, Mg

Step 2. Electrolyte thickness
Thickness | 2.5 | mm

Step 3. Electrolyte movement
Adjust the convection level
Quiescent | Maximum

Step 4. Temperature
Temperature influences electrolyte conductivity & efficiency of cathode in reducing oxygen. Expected maximum service temperature is:
Temperature (C) | 20

Step 5. Compute results
[Compute]

Step 6. Export global galvanic current
Export results for component | ALM, STL & plot results using STL

NRC-CMRC Corrosion Applications

Manual Potential Range Minimum: -0.835 Maximum: -0.546 [Update Potential Distribution]

Electrolyte Potential (V)

Color scale: -0.55, -0.6, -0.65, -0.7, -0.75, -0.8

10

ASML faz avanços importantes na computação com modelagem multifísica

ASML revela como a simulação multifísica está se tornando crucial para a indústria de chips de computador. As lições que eles puderam aprender provavelmente serão importantes a todos os fabricantes.

por **VALERIO MARRA**

Parece poético que sejam necessárias simulações complexas em computadores potentes para ajudar a projetar o maquinário que produzirá a próxima geração de computadores. Este é o caso da ASML, a empresa líder mundial no fornecimento de sistemas de fotolitografia. A ASML faz chips de computador expondo diagramas de microchip a uma película fotorresistente sensível a luz em um wafer de silício.

Os clientes da ASML incluem muitos dos maiores fornecedores de chips de computador. Para permanecerem competitivos no mercado, eles devem ajudar seus clientes a acompanharem a lei de Moore. O que eles têm constatado é que a geração mais nova de máquinas voltadas a manter este progresso exige entender as físicas a um nível onde muitos efeitos, como escoamento e mecânica dos sólidos, estão inerentemente acoplados entre si.

A simulação multifísica é uma ferramenta imprescindível para muitas indústrias que estão avançando na fabricação de dispositivos com níveis de precisão de micrômetros e nanômetros.

⇒ OPORTUNIDADES E DESAFIOS COM LUZ UV EXTREMA

Criar chips de maior desempenho significa colocar mais transistores em uma determinada área unitária. Os detalhes físicos estão ficando cada vez menores (Figura 1), o que apresenta desafios ao processo de fabricação, e são sensíveis às mínimas mudanças ambientais. Os níveis de precisão foram amplamente melhorados desde sistemas de gerações anteriores. As máquinas de fotolitografia mais recentes (Figura 2) empregam a luz ultravioleta extrema (EUV), que possui um comprimento de onda de 13,5 nm, para fazer as gravuras. “Há uma relação linear direta entre o comprimento de onda da luz que é utilizada e o tamanho dos componentes — as dimensões críticas — que são projetadas no microchip”, explicou Fred Huizinga, líder do grupo de análise mecânica. “Estamos falando aqui de características em escala nanométrica com tolerâncias excepcionalmente pequenas.”

A processo de gravura por litografia exige um vácuo limpo e o uso de mancais pneumáticos de precisão, que utilizam uma fina camada de gás comprimido entre as superfícies de carga, ao invés de óleo ou rolamentos. Estes mancais pneumáticos são sensíveis a movimentos em

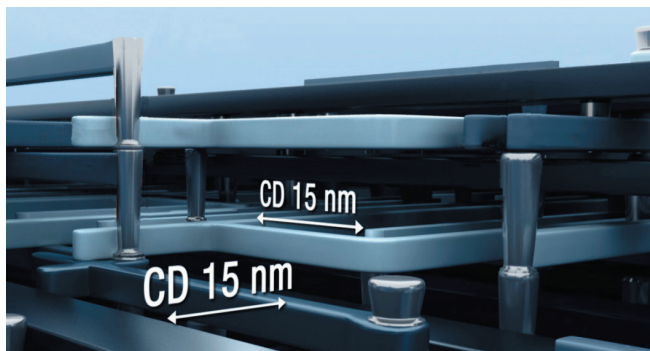


FIGURA 1. As dimensões críticas dentro de um processador de smartphone são medidas em nanômetros. Para colocar em perspectiva, um fio de cabelo humano é 5300 vezes maior do que as dimensões críticas encontradas nestes chips.

escala micrométrica e a variações de pressão muito pequenas, geram um grande impacto na precisão da gravura. “Em sistemas como estes, os testes físicos podem durar muito tempo. Na realidade, alguns destes fenômenos são tão pequenos que é difícil testar ou medi-los, pois as deformações às vezes são de uma ordem de magnitude inferior à precisão de medição.” Neste caso, o único insight de engenharia está disponível através de uma simulação numérica.

⇒ CAIXA DE FERRAMENTAS COMPLETA PARA PROJETOS DE MANCAIS PNEUMÁTICOS

Huizinga juntou-se à ASML após 25 anos como diretor de atividades de engenharia na indústria automotiva. “Projetar e analisar nossas máquinas exige acesso a tantas físicas diferentes que precisamos utilizar várias ferramentas de simulação. Existem muitas destas ferramentas disponíveis, desde que você esteja confinado ao que você pode chamar de ‘física simples’; digamos, a análise de um problema que é inteiramente térmico ou inteiramente mecânico.” Para ele, o software COMSOL® é uma ferramenta especialmente útil para a modelagem multifísica, pois “fenômenos nanométricos e sistemas complexos demandam uma abordagem multifísica, uma caixa de ferramentas de simulação completa.”



FIGURA 2. O sistema EVU pronto para produção ASML® TWINSKAN® NXE:3350B produz 125 wafers de chips por hora, utilizando luz com comprimento de onda de 13,5 nm. A máquina deve manter um vácuo perfeito enquanto move os wafers em alta velocidade e altas condições de carga, mantendo as distorções abaixo de 1 nm.

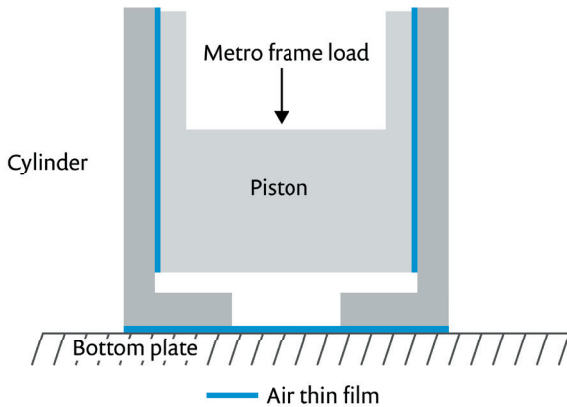


FIGURA 3. Diagrama de um mancal pneumático utilizado em sistemas de fotolitografia na ASML.

Um bom exemplo de onde a simulação multifísica é obrigatória está no desenvolvimento de um modelo de mancal pneumático (Figura 3). Estes mancais são importantes para a ASML, pois há bastante movimentação física em máquinas de fotolitografia. Mancais pneumáticos também proporcionam uma rigidez maior e isolamento térmico, e não liberam partículas devido à ausência de fricção.

Entretanto, esta precisão apresenta novos desafios. A distribuição de pressão da camada de ar deformará localmente a estrutura e influenciará a largura da camada de ar entre as superfícies do mancal. A variação da largura da camada altera o fluxo de ar entre as superfícies, alterando a distribuição de pressão e, novamente, afetando a deformação (Figura 4). O problema exige um modelo de interação entre fluido-estrutura (FSI) totalmente acoplado, que eles implementaram no software COMSOL. O resultado é uma simulação que ajuda os engenheiros a especificar importantes critérios de projeto, incluindo a rigidez de translação e rotação, tamanho da camada em condições de carga, e a quantidade de ar consumido.

Outro importante exemplo apontado por Huizinga para o futuro é a simulação de carga sobre os wafers, conforme eles são posicionados na mesa para o processamento. As deformações consequentes são tão pequenas (nanômetros!) que o wafer deve ser modelado como um corpo

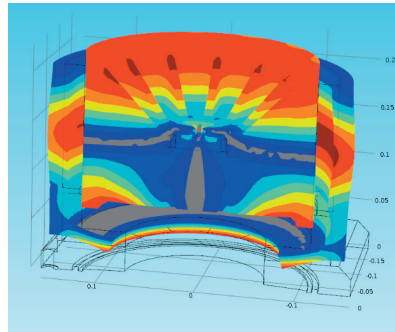


FIGURA 4. Deformação radial do cilindro e pistão em um mancal pneumático.

elástico afetado por gravidade, fricção, aquecimento térmico, e adesão, enquanto é mantido

em seu lugar com forças de fixação através do uso de vácuo ou um campo eletrostático — novamente, um problema multifísico totalmente acoplado. O modelo ajudará os projetistas a otimizar seus projetos sem a necessidade de um longo e dispendioso processo de prototipagem.

⇒ COMPLEXIDADE AO ALCANCE COM APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO

Tão importante quanto a modelagem é sua acessibilidade. Mesmo para os engenheiros com competências para o uso de software de multifísica, a acessibilidade significa fornecer aplicações de simulação que retiram boa parte de trabalhos rotineiros ou complexos do usuário. Aqui é onde a ASML encontra a praticidade da ferramenta Application Builder disponível no COMSOL Multiphysics®, utilizando-a para criar um app de Calculadora de Mancal Pneumático que permite aos colegas na equipe testarem virtualmente o desempenho de diferentes projetos de mancal, sem precisar trabalhar com o modelo original (Figura 5). "Isto nos poupa os esforços de criar uma malha, fazer a configuração de análise e pós-processamento", disse Huizinga.

Para o desenvolvimento de modelos de multifísica, validação e disponibilização destes modelos, a ASML encontrou o valor e utilidade na suíte de produtos COMSOL. E assim como na ASML, a busca por qualidade, desempenho e operações economicamente viáveis está levando muitas indústrias a construir produtos menores, com tolerâncias rígidas e conjuntos com peças minuciosamente montadas, medidas em microns. Embora a ASML e a indústria de fotolitografia sejam sem sombra de dúvida os pioneiros desta tendência, esta também é uma inspiração para outros. A modelagem multifísica pode muitas vezes ser a única solução prática conforme problemas de engenharia medidos em nanômetros passam a ser encontrados. ✦

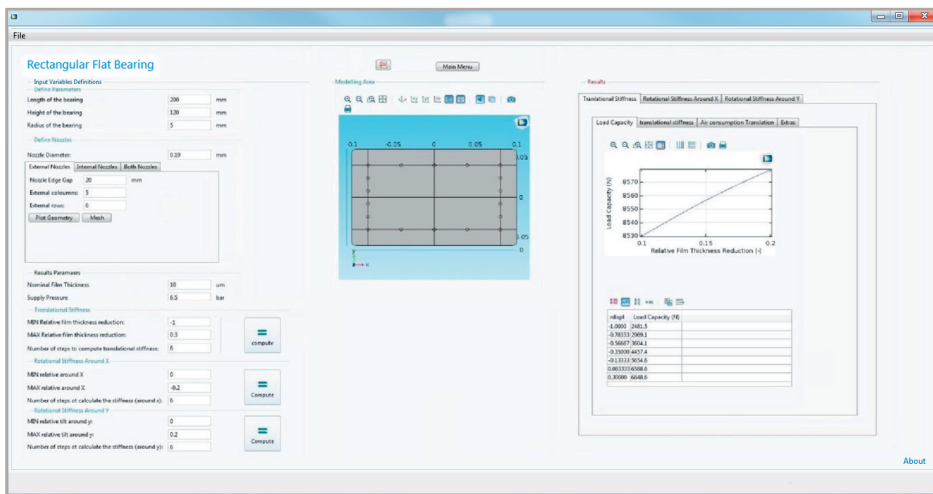


FIGURA 5. ASML criou uma calculadora de análise de mancal pneumático que permite aos engenheiros inserir dimensões e outras variáveis e obter resultados, sem a necessidade de especificar uma malha e executar outras tarefas de configuração de modelo e pós-processamento.

“O software COMSOL® é uma ferramenta especialmente útil para a modelagem multifísica, pois fenômenos nanométricos e sistemas complexos demandam uma abordagem multifísica, uma caixa de ferramentas completa de simulação.”

— FRED HUIZINGA, LÍDER DO GRUPO DE ANÁLISE MECÂNICA, ASML

SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO MULTIFÁSICO ORIENTA OS PROJETOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Engenheiros na Tauw e Agência de Águas de Dommel utilizam simulação de fluidodinâmica computacional (CFD) para minimizar os custos de construção, enquanto maximizam as condições de conservação da Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven.

por SARAH FIELDS

O humilde rio Dommel cruza a cidade de Eindhoven, Holanda, a partir da fronteira com a Bélgica ao sul, em direção ao rio Mass, ao norte. Ao longo de seu curso, recebe descargas da Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven, assim como 200 descargas de esgoto combinado de 10 municipalidades, tratando aproximadamente 170.000 metros cúbicos de água por dia.

A Agência de Águas de Dommel tem a tarefa de supervisionar a saúde do rio e atingir o melhor equilíbrio possível entre as pessoas, o meio ambiente e a economia. Para tanto, a agência lançou o projeto KALLISTO. Este abrangente projeto de pesquisa pretende encontrar o conjunto de medidas mais viável em termos econômicos para minimizar reduções de oxigênio e picos de amônia causados pela combinação de efluentes tratados pela estação e descargas de esgoto combinado. A abordagem destas metas permite à agência atender à Diretiva de Saneamento e preservar o ecossistema de Dommel.

“Limites de fosfato, nitrogênio e sólidos suspensos no rio Dommel têm sido e serão reduzidos ainda mais para maximizar a saúde

do rio”, explica Tony Flaming, consultor sênior em tecnologia de água na Agência de Águas de Dommel. Como parte deste esforço, a Agência de Águas introduziu um sistema de aeração para aumentar ainda mais o nível de oxigênio dos efluentes biologicamente tratados, antes de desaguar no rio. “A finalidade da inclusão deste sistema de aeração era proteger o ecossistema do rio Dommel dos efeitos nocivos da hipoxia”, Flaming explica.

Na estação de tratamento de efluentes, antes da aeração, nutrientes e sólidos são removidos nos processos de pré-sedimentação, lodo ativado, e clarificação. Para minimizar os requisitos de energia, a água é mantida a uma altura que mantém a água movendo-se pela estação (Figura 1).

Para entender como a inclusão de aeração afetaria o fluxo, Flaming solicitou a ajuda de Ronnie Berg, um consultor especializado em tecnologia de processos e gestão de água na Tauw.

“Se a altura da água em um canal de efluente é muito baixa, a transferência de oxigênio é ineficiente. Por outro lado, se a altura da água é muito alta, então há a inconveniente



FIGURA 1. Vista aérea da Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven.

possibilidade de transbordamento do canal de aeração de volta para o clarificador, contaminado o fluxo de saída”, Berg explica (Figura 2).

Outro potencial problema são as alturas da coluna de água que são muito baixas para que os processos de tratamento de água possam ser operativos. Ao conhecer o perfil de vazão no canal de efluentes e canal de fluxo de saída associado, a agência pode determinar como otimizar da melhor maneira o sistema para uma aeração máxima.

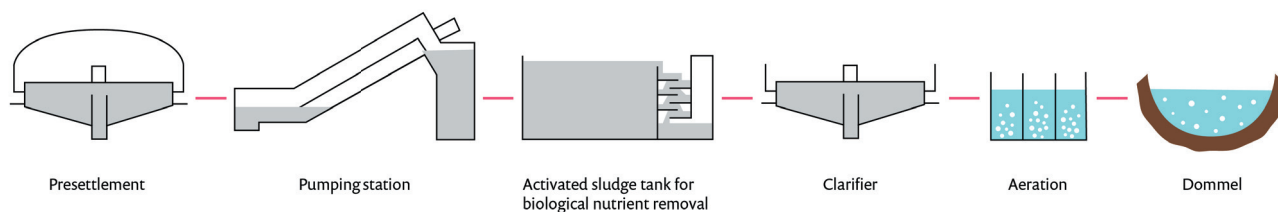


FIGURA 2. Diagrama dos estágios de tratamento de água da Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven. A aeração é introduzida após a clarificação, imediatamente antes da reintrodução da água tratada ao rio Dommel.



FIGURA 3. Vista da barragem ajustável na saída do canal de aeração.

⇒ BOLHAS: BOAS PARA OS PEIXES, RUINS PARA O FLUXO?

Para a compreender totalmente a influência da aeração e de barragens (Figura 3) no perfil de escoamento e níveis de água, Berg optou pela simulação de escoamento multifásico utilizando o COMSOL Multiphysics®.

Sabendo que um canal existente seria reformado para aeração, Berg criou a geometria do canal de efluentes (Figura 4), incluindo paredes, defletores-guia existentes e locais planejados do elementos de aeração.

Para caracterizar o sistema, Berg experimentou com diferentes arranjos das unidades de aeração, alturas das diferentes seções da barragem ajustável, e o nível de água do rio Dommel. Desta forma, ele pôde determinar se havia um benefício a ser obtido mantendo os defletores-guia existentes no mesmo local, e como o perfil do escoamento se alteraria dependendo da aeração, estação do ano e nível de água do Dommel.

Berg preparou um modelo de escoamento considerando um regime altamente turbulento e bolhas dispersas. Utilizando a interface *Blubbly flow, k-epsilon* disponível no software, Berg conseguiu capturar o efeito da aeração no perfil de escoamento. Ao modelar a turbulência induzida por bolhas e rastrear a densidade de gás efetiva, ele conseguiu analisar a resistência adicional criada pelas bolhas e escoamento em espiral induzido no canal.

Em um conjunto de simulações de fluidodinâmica computacional, Berg explorou o efeito do nível de água do rio Dommel no perfil de escoamento. Ele também foi capaz de determinar a fração de volume de gás em qualquer ponto ao longo do canal, possibilitando a compreensão da eficácia do sistema de aeração (Figura 5).

Berg também avaliou o desempenho da unidade de aeração virtual em clima seco, quando

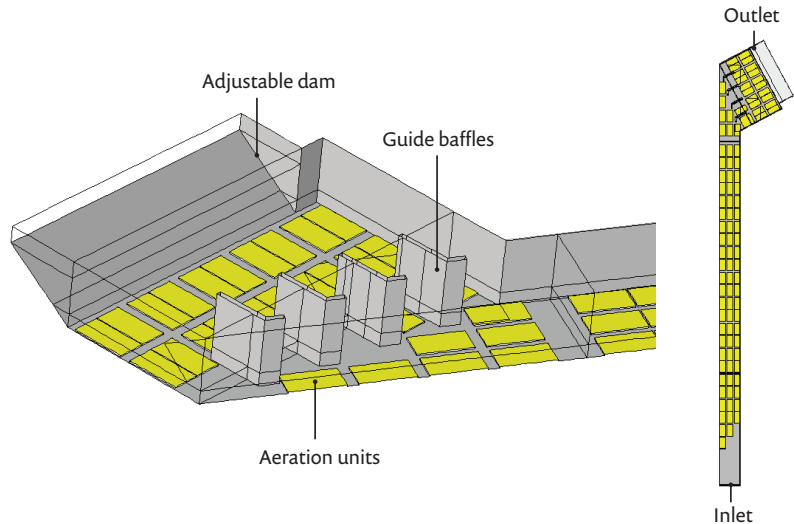


FIGURA 4. Geometria do canal de aeração. Unidades de aeração estão representadas na cor amarela.

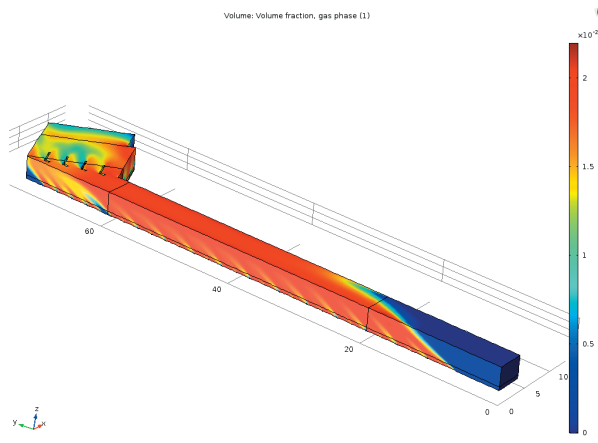


FIGURA 5. Resultados de simulação fluidodinâmica computacional mostrando a fração de volume da fase gasosa em caso de um alto nível de água do rio Dommel.

o nível de água do rio Dommel é baixo. No caso de um baixo nível de vazão, todas as seções da barragem ajustável estão em seus lugares, causando um pouco de refluxo (Figura 6).

A análise do perfil de escoamento feita por Berg, para vários níveis de água, alturas de barragem e aeração proporcionou algumas constatações. Ele pode aprender que no caso de altas vazões de efluentes, a aeração tem pouca influência sobre o perfil de escoamento. No caso de clima seco, a aeração realmente afeta o perfil de escoamento. A resistência criada pela aeração é relativamente baixa, levando a um baixo risco de refluxo de água para dentro do clarificador,

contaminando o fluxo de saída.

Berg também investigou o efeito da ativação de duas das três seções da barragem ajustável. Com o uso de apenas duas seções, o fluxo foi significativamente maior na curva externa. Isto resultou em água estagnada próxima à curva interna, e um processo de aeração menos

“A simulação nos permite ajustar os parâmetros em um modo controlado, e nos proporcionou a flexibilidade para encontrar o melhor projeto antes mesmo da construção. Isto, por fim, contribui uma melhora da qualidade da água que deixa a Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven de uma forma economicamente viável!”

— RONNIE BERG, CONSULTOR, TAUW

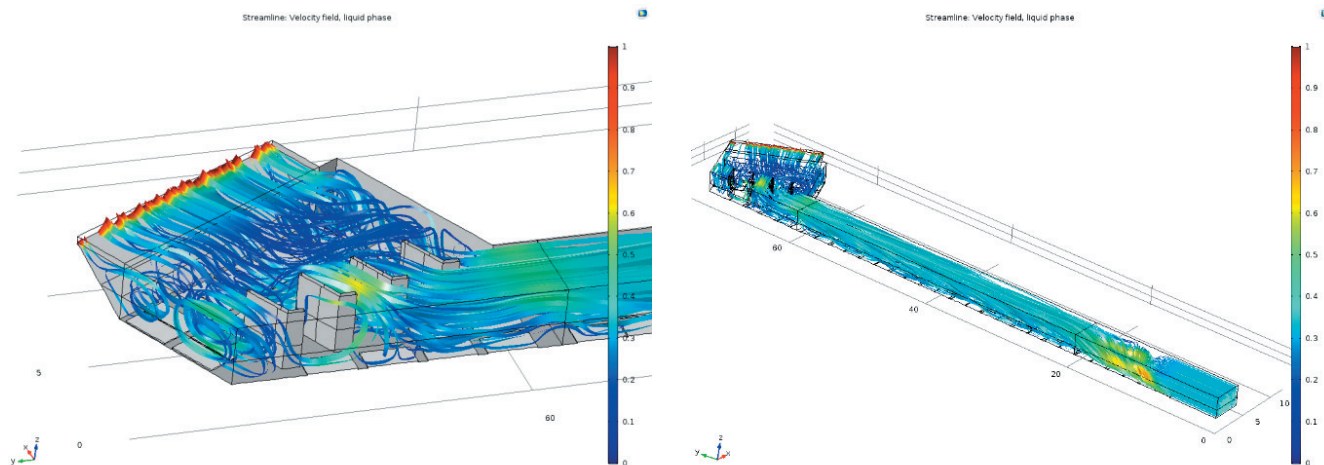


FIGURA 6. Resultados de CFD mostrando o campo da velocidade da água tratada no sistema de aeração em caso de clima seco.



FIGURA 7. O canal de aeração da Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven em operação total, melhorando a qualidade de oxigênio do efluente antes de reentrar no rio Dommel. Esquerda: Vista da barragem ajustável na saída do canal de aeração. Direita: Vista do canal de aeração a partir da entrada.

eficiente. No geral, o melhor perfil de fluxo foi obtido com a ativação de todas as três seções.

⇒ SIMULAÇÃO ORIENTA A ETAPA DE PROJETO

Com base em sua abrangente análise CFD, Berg fez sugestões à Agência de Águas de Dommel, recomendando que os defletores-guia fossem mantidos. Ele também recomendou a colocação de elementos de aeração à montante em uma configuração linear, para minimizar os custos de construção, enquanto satisfaz os requisitos de qualidade de água.

“A simulação nos permite ajustar os parâmetros em um modo controlado, e nos proporcionou a flexibilidade para encontrar o

melhor projeto antes mesmo da construção.” disse Berg. “Isto, por fim, contribui para uma melhora da qualidade que deixa a Estação de Tratamento de Efluentes de Eindhoven de uma forma economicamente viável.” O sistema de aeração em operação está ilustrado na Figura 7. “O efeito pretendido do sistema de aeração pode ser observado agora, beneficiando o ecossistema do rio”, disse Flaming. A unidade de aeração com seu projeto eficiente deve ajudar a preservar o ecossistema e oferecer suporte às pessoas que contam com o rio Dommel por muitos anos pela frente. ❖



Ronnie Berg, Tauw



Tony Flaming, da Agência de Águas de Eindhoven.

MODELAGEM MULTIFÍSICA NA INDÚSTRIA DOS BIOFARMACÊUTICOS

Na Amgen, um portfólio diverso de aplicativos de simulação multifísica é utilizado para simplificar os processos, melhorar os fluxos de trabalho e garantir a segurança e eficácia de medicamentos.

por **ZACK CONRAD**

Para lidar com múltiplas modalidades, funções, e estágios de comercialização de medicamentos, as diversas ferramentas de modelagem e simulação na indústria farmacêutica devem fornecer uma abrangência considerável, com suficiente profundidade.

Amgen, uma empresa biofarmacêutica multinacional líder de mercado, utiliza simulação multifísica como uma ferramenta em seu arsenal, em qualquer ponto de seus processos de produção de medicamentos, para garantir a eficácia e segurança destes produtos. Seus medicamentos tratam doenças sérias em milhões de pessoas em todo o mundo. Entretanto, atrás de cada produto e existem inúmeros processos, e a Amgen emprega um portfólio diversificado de modelos de processo para melhorar seu fluxo de trabalho. Em uma indústria onde a modelagem de processos é mais prevalente do que modelagem de produto, um portfólio como este é essencial. Pablo Rolandi, diretor de desenvolvimento de processos na Amgen, supervisionou o uso do software COMSOL Multiphysics® como uma plataforma de ferramentas de modelamento para seus colaboradores. "COMSOL é uma plataforma madura com princípios de design modernos", explica Rolandi. "Com uma interface gráfica simplificada e de fácil uso e capacidade de trabalhar com física simples e multifísica, podemos criar uma grande variedade de ferramentas." Conforme vários problemas surgem na fase de desenvolvimento, Rolandi e sua equipe se voltam à modelagem multifísica como uma solução. Em muitos casos, estas soluções também são acompanhadas pelo desenvolvimento de aplicativos de simulação, que podem ser criados diretamente a partir

do modelo via Application Builder. Ao operar uma interface de usuário especializada, o usuário final pode ainda se beneficiar com os insights fornecidos pelos resultados da simulação, mesmo quando não são especialistas em modelagem. Durante o último ano e meio, eles desenvolveram pacotes de aplicativos que são simplificados, comunicáveis e facilmente empregados para servir às funções corporativas em desenvolvimento de processos, operações e pesquisa e desenvolvimento.

⇒ ELIMINANDO GARGALOS NA PRODUÇÃO

A otimização de um processo de secagem serve como um ótimo primeiro exemplo de onde a equipe de Rolandi desenvolveu um aplicativo customizado, para ajudar a resolver uma questão de fluxo de trabalho na produção. Este caso se tratava da transferência de um processo de fabricação de medicamento de molécula pequena, de uma empresa terceirizada para a

planta da Amgen em Cingapura. No meio desta mudança, as operações de secagem, isolamentos executados por um filtro secador agitado em um processo similar ao demonstrado na Figura 1, foram identificados como potenciais gargalos na fábrica. Naturalmente, um gargalo pode apresentar um risco substancial ao atendimento de demanda de produtos, portanto Rolandi e sua equipe iniciaram a modelagem das operações de secagem e simplificação do processo. Como a empresa terceirizada utilizava um tipo de secador diferente para as primeiras três etapas do processo, mostradas abaixo na Figura 1, eles não possuíam dados de caracterização desses isolamentos suficientes para modelar com precisão e identificar o impacto da mudança nas condições de operação.

Propriedades conhecidas do sistema incluíam propriedades materiais; propriedades geométricas do equipamento; e condições de operação, incluindo teor de umidade, temperatura, pressão e a presença de agitação.

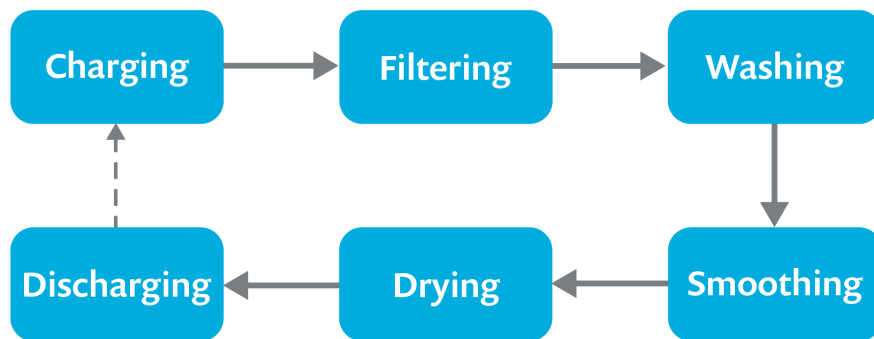


FIGURA 1. Etapas básicas em um típico processo de filtração em lote e secagem para o isolamento, ou separação física, de uma substância química.

Rolandi, entretanto, ainda precisava determinar dois fatores críticos: a taxa de evaporação e coeficientes de difusão do novo filtro secador agitado. Para realizar isto, uma extensa aquisição de dados foi executada e, com o uso de simulação multifísica, eles estimaram manualmente a regressão de parâmetros para caracterizar o modelo. Uma vez concluído este processo, um aplicativo de simulação que calcula os tempos de secagem foi criado e utilizado pelos engenheiros de processo encarregados da mudança de local da produção na fase de estudo pivotal. Isto teve um papel significativo em dar aos usuários finais a oportunidade de visualizar o impacto de condições de operações alteradas, conforme demonstrado na Figura 2. Por fim, foi descoberto que a combinação de agitação com uma placa de aquecimento reduzia o tempo de secagem, ajudando assim a mitigar o gargalo e aumentar a eficiência.

⇒ **GARANTINDO QUE PADRÕES DE ESTERILIZAÇÃO SEJAM ATENDIDOS**

Em outra situação, uma das equipes de produção da Amgen encontrou um problema com a esterilização. Compostos dos fabricantes são transportados em recipientes primários. Estes recipientes muitas vezes são frascos, e devem estar esterilizados a um certo padrão para serem classificados como um recipiente novo, pois bactérias em medicamentos pode apresentar enormes riscos à saúde. Entretanto, o protocolo padrão de esterilização, que envolve a difusão de óxido de etileno como o principal mecanismo de transporte, não atendia aos requisitos para um recipiente novo.

Naturalmente, o processo de esterilização precisa ser ajustado, porém, ao invés de conduzir experimentos indevidos e testes caros de tentativa e erro, Rolandi e sua equipe utilizaram a simulação para modelar a difusão de óxido de etileno nos frascos.

O aplicativo apresentava opções para selecionar as fronteiras de permeação e contaminação, solubilidade de entrada e constantes de difusividade, e para a geração de perfis de concentração de óxido de etileno em função do tempo, (Figura 3). Engenheiros de processo conseguiam assim utilizar os aplicativos para determinar se os níveis de concentração eram altos o bastante para garantir suficiente esterilização. Como resultado, os experimentos foram reduzidos ou completamente evitados, e o programa pode ser acelerado em alguns meses. “No fim das contas, foi muito mais eficiente a simples criação de aplicativos de simulação”, disse Rolandi.

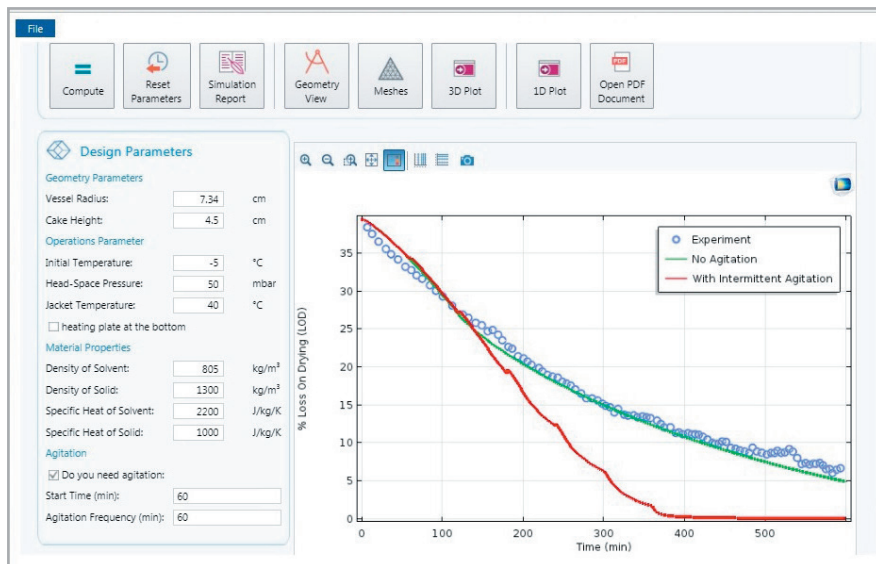


FIGURA 2. Aplicativo de simulação que calcula os tempos de secagem para modelos sem agitação (verde) e agitação intermitente (vermelho) e compara estes valores com um resultado experimental.

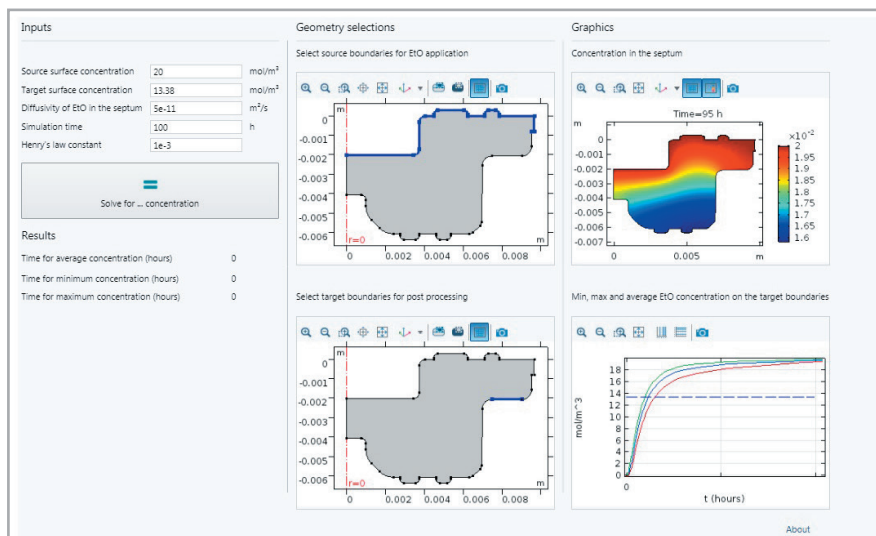


FIGURA 3. Este aplicativo de processo de esterilização calcula a concentração de óxido de etileno.

⇒ **ALÉM DA SIMULAÇÃO**

“Eu tenho bastante interesse em pensar além da simulação, sobre o desenvolvimento e integração de aplicações e técnicas bastante avançadas”, disse Rolandi. “Eu creio que há um desafio estratégico exatamente aí, e nós estamos apenas começando.” Uma de suas metas é incorporar a incerteza em seus modelos. Na prática, os parâmetros são raramente exatos, e as condições de operação são variáveis. A integração destas variações em suas simulações pode levar a resultados mais preditivos que podem ser melhor compreendidos em contexto.

Por exemplo, Rolandi e sua equipe estão trabalhando em um autoinjeter, um dispositivo que injeta medicamentos em um paciente, sem a necessidade de administração por um médico. Um aspecto crítico das injeções é o tempo de administração; este período deve ser controlado de forma bastante precisa para que o medicamento tenha o efeito pretendido. A questão aqui é que o tempo de administração depende de um número de fatores, todos com graus variáveis de incerteza, incluindo a geometria do recipiente, viscosidade e volume do medicamento, rigidez elástica do injetor e constantes de fricção do êmbolo. Se a incerteza nestes fatores não é considerada, um tempo

simulado de administração terá uma variância desconhecida, e assim não dará informações sobre seu potencial de ser controlado com precisão. Na modelagem de processo, é importantíssimo criar uma distribuição de probabilidade dos resultados esperados, para entender melhor como o sistema se comportará.

Para obter uma percepção melhor de como a incerteza destes parâmetros se propaga, Rolandi e sua equipe utilizaram uma simulação multifísica para executar uma análise de sensibilidade global no sistema, e quantificar rigorosamente o efeito da variabilidade de fatores. A análise determina um índice de sensibilidade para cada parâmetro, que é uma atribuição fracionária da variância em resposta àquele parâmetro. O que eles encontraram foi que a viscosidade do produto, a rigidez elástica e a geometria da agulha representavam 90% da variância no tempo de injeção, permitindo a eles amplamente simplificar seu modelo. Como apenas alguns parâmetros têm impactos significativos sobre o tempo de injeção, é muito mais fácil para eles administrar a incerteza e risco por meio de especificações robustas aos fornecedores de componentes.

De modo similar a suas outras soluções, o modelo de tempo de injeção foi disponibilizado em um aplicativo de simulação de fácil uso e implementação. O aplicativo, mostrado na Figura 4, possui distribuições de entradas definidas pelo usuário, executa uma análise de incerteza e sensibilidade, prepara um relatório automatizado e exibe a documentação de modelos. O aplicativo proporcionou reduções de custo e ganhos de velocidade, e encorajou uma gestão mais eficaz de incerteza ao longo de todo o processo.

⇒ IMPLEMENTAÇÃO DE APLICATIVOS

A Amgem também se beneficia da instalação local do produto COMSOL Server™ para aumentar a acessibilidade a seus funcionários. “Nós temos uma gama de aplicativos que realmente queremos disponibilizar a todos na Amgem”, disse Rolandi. “No momento, há aproximadamente uma dúzia de aplicativos, e eles estão sendo utilizados hoje na organização em um modo do qual eu me orgulho bastante, e o COMSOL é o que permitiu isto para nós.” Com o COMSOL Server,

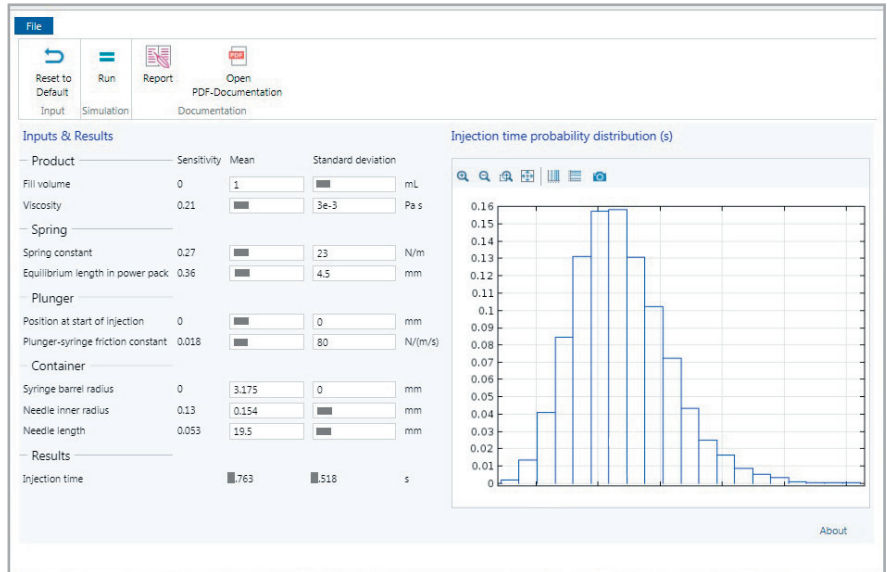


FIGURA 4. Aplicativo de simulação de modelo de autoinjeter que mostra uma distribuição de probabilidade do tempo de injeção. Dados proprietários foram ocultados.

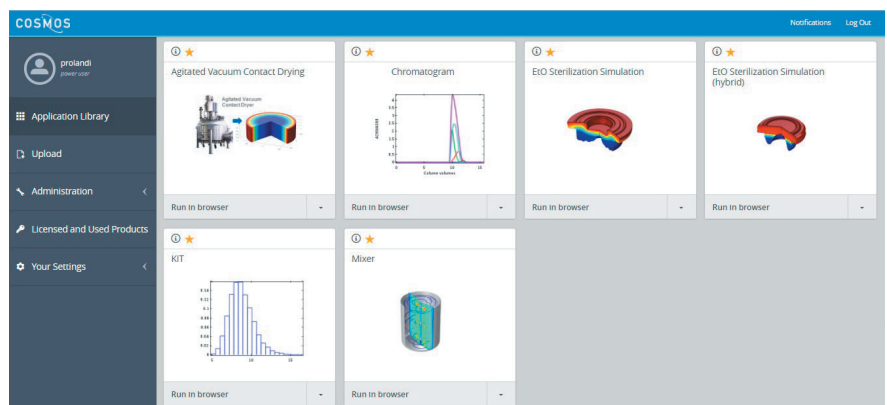


FIGURA 5. A Amgem aplicou sua própria marca a sua biblioteca do COMSOL Server, chamando o seu sistema de COSMOS.

a implementação de aplicativos é um fato trivial e ciclos de vida podem ser gerenciados com mais eficácia. Os usuários podem simplesmente fazer o login através de um navegador da web para acessar a biblioteca de aplicativos desenvolvida pela equipe de Rolandi. Eles também têm planos para aumentar a sofisticação em seu sistema, deixando de lado configurações manuais e pensando em modelos COMSOL como “kernels de computação.” Estes podem ser reaproveitados com a ajuda de algoritmos avançados em

vários estudos baseados em modelo de alto impacto, que marcariam uma importante etapa na implementação de modelagem de nível corporativo, que fornece um verdadeiro valor de negócios a uma grande base de usuários e muitos acionistas. ❖



Pablo Rolandi, Diretor de desenvolvimento de processos na Amgen

“No momento, há aproximadamente uma dúzia de aplicativos, e eles estão sendo utilizados hoje na organização em um modo do qual eu me orgulho bastante, e o COMSOL é o que permitiu isto para nós.”

— PABLO ROLANDI, DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS NA AMGEN

REDUÇÃO DE PESO COM O USO DE ALUMÍNIO: APLICATIVOS DE CORROSÃO DIRECIONAM PROJETOS AVANÇADOS

Cientistas do National Research Council Canada (NRC - Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá) estão utilizando aplicativos de simulação multifísica para minimizar o risco de corrosão galvânica em novos projetos, obtendo avanços na adoção de alumínio para a redução de peso em veículos.

por **SARAH FIELDS**

Os carros têm perdido peso nos últimos anos, conforme os fabricantes e consumidores cada vez mais priorizam a eficiência e proteção ambiental. A redução de um décimo de peso de um veículo pode aumentar sua eficiência de combustível em até 8%. Para realizar isto, os fabricantes sabem que devem combinar os materiais convencionais para as estruturas e carrocerias, tais como aço estrutural, com materiais mais leves. O alumínio (Figura 1) é o principal candidato para estas iniciativas, pois apresenta um terço da densidade do aço, é

resistente às intempéries, altamente reciclável e possui excelente formabilidade e resistência a choques.

Entretanto, o desenvolvimento de um veículo com aço e ligas de alumínio apresenta inúmeros desafios. Dentre estes desafios estão o desenvolvimento de tecnologias de produção em massa que sejam economicamente viáveis; realização de montagens com múltiplos materiais utilizando alumínio para peças originalmente projetadas para serem feitas de outros materiais; e mitigação do risco de



FIGURA 1. Uma liga de alumínio de fundição injetada sob alta pressão (HDPC).

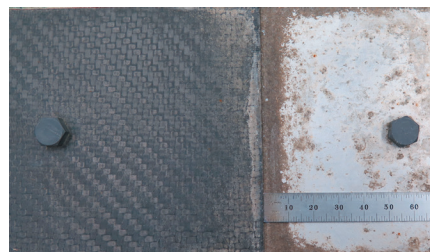


FIGURA 2. Parte superior: Danos de corrosão galvânica em uma montagem por sobreposição de múltiplos materiais feita de um polímero reforçado por fibras de carbono (CFRP) e uma liga de alumínio da série 6000, após um ano de exposição ao serviço em um veículo. Parte inferior: Montagem típica de amostras em um veículo para testes de exposição ao serviço.

corrosão galvânica (Figura 2) devido a metais dissimilares em contato na presença de um eletrólito, como os sais de degelo aplicados nas estradas.

Danick Gallant, líder técnico em atividades de corrosão conduzidas pelo Centro de Pesquisas



Da esquerda para direita: Richard Menini, Mario Patry, Sandy Laplante, Amélie Ruest, Marc-Olivier Gagné, Axel Gambou-Bosca, Philippe Tremblay, Stéphan Simard, Danick Gallant, e Alban Morel no National Research Council Canada, Centro de Tecnologia de Alumínio.

flexíveis, capazes de prever o comportamento da corrosão. “Para conseguirmos construir protótipos virtuais que representam o que acontece na vida real, os modelos desenvolvidos são calibrados com uma série de sensores instalados nos veículos”, explica Gallant. A equipe tem acesso a dados de alta qualidade, dos quais as informações e conhecimentos mais relevantes podem ser extraídos, com o uso de avançados procedimentos de análise de dados e modelos de aprendizado automático. Cada dado é levado em consideração, incluindo a temperatura de superfície sob os veículos, tempo de exposição à umidade, composição, condutividade dos sais de degelo depositados sobre as superfícies dos veículos, velocidade do veículo e posição do GPS.

No início, Gallant considerou diferentes ferramentas de software para a simulação de corrosão. Ele descobriu que o software COMSOL® lhe permitia especificar e controlar todas as propriedades do modelo, ao invés de operar como uma “caixa preta” com entradas

controladas, porém, cálculos internos inalteráveis e desconhecidos. “As capacidades de modelagem de corrosão do COMSOL, juntamente com a capacidade de importar geometrias de outros softwares poderosos, porque podemos testar diferentes combinações galvânicas. Esta informação nos mostra quais projetos precisam de alterações na geometria antes de prosseguirmos para a construção de um protótipo físico”, explica Gallant.

Como um estudo de caso e demonstração do laboratório para potenciais clientes do NRC, Gallant e sua equipe construíram uma montagem complexa, composta de mais de 10 materiais e revestimentos diferentes (Figura 5). Os danos causados por corrosão durante um procedimento agressivo de de laboratório por quatro dias apresentaram boa correlação com os resultados da simulação, ilustrando a capacidade

“As capacidades de modelagem de corrosão do COMSOL, em combinação com a capacidade de importar geometrias de outro software é uma poderosa característica, porque podemos assim testar diferentes combinações galvânicas. Esta informação nos mostra quais projetos precisam de alterações na geometria antes de prosseguirmos para a construção de um protótipo físico.”

— DANICK GALLANT, LÍDER TÉCNICO NO CENTRO DE PESQUISAS AUTOMOTIVAS E DE TRANSPORTE DE SUPERFÍCIE

dos modelos de corrosão do NRC, construídos no software de COMSOL Multiphysics, para a predição do comportamento de corrosão de uma montagem complexa feito de múltiplos materiais.

Estudos transientes foram conduzidos no software COMSOL Multiphysics para determinar a perda de espessura de um ânodo de sacrifício ao longo do período de exposição à corrosão em laboratório (Figura 6). Os resultados experimentais e da simulação estão em concordância. Conforme observado nos dados do experimento e resultados da simulação, a dissolução do rebite de alumínio é inibida em seu lado esquerdo, pois componentes maiores e mais ativos de alumínio estão localizados próximos (Figura 7). Em seu lado direito, o rebite apresenta corrosão devido a presença do material nobre CFRP. Novamente, a equipe descobriu que a simulação descreve bem as observações experimentais.

⇒ APLICATIVOS DE CORROSÃO DIRECIONAM PROJETOS AVANÇADOS

Após a criação de um modelo numérico, Gallant utiliza a ferramenta Application Builder do software COMSOL Multiphysics para criar um aplicativo de simulação que pode ser compartilhado com colegas na NRC e afiliadas do grupo ALTec. Utilizando uma instalação local do produto COMSOL Server™ (Figura 8), ele pode rapidamente implementar aplicativos através de uma interface web, administrar usuários, personalizar a aparência conforme a marca e compartilhar atualizações quando necessário. Seus colegas e clientes podem acessar os aplicativos a qualquer momento, utilizando navegadores de internet as informações de login fornecidas.

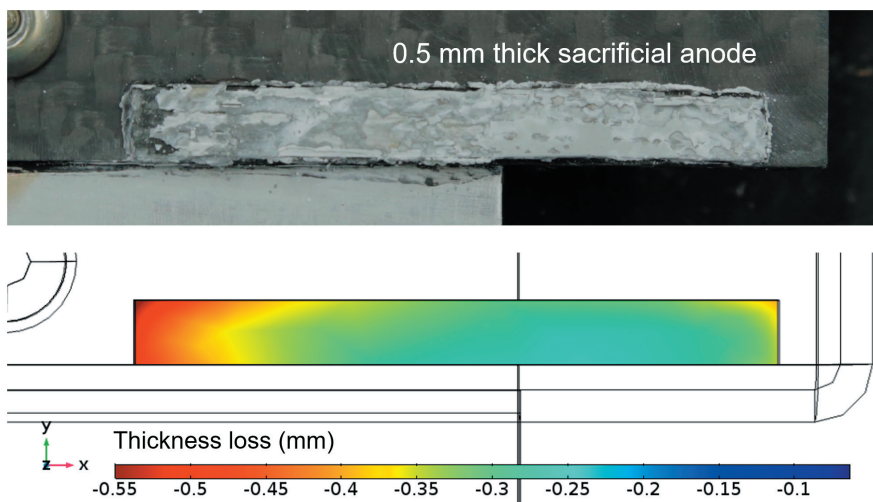


FIGURA 6. Análise transiente (parte inferior) utilizada para determinar a perda de espessura de um componente de sacrifício ao longo do período de exposição à corrosão em laboratório (parte superior).

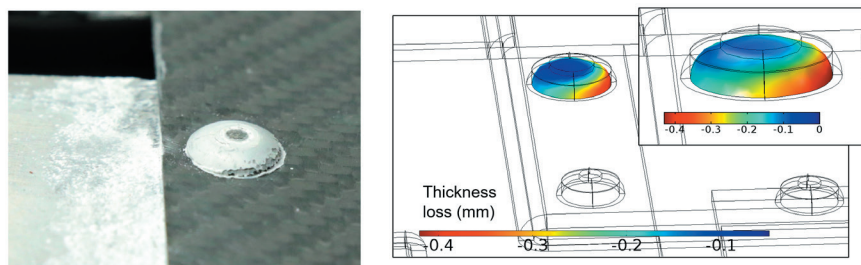


FIGURA 7. Análise transiente (direita) utilizada para determinar a dissolução do rebite de alumínio (esquerda).

Um exemplo de aplicativo de simulação utilizado para calcular a corrosão galvânica que ocorrerá em uma montagem complexa com múltiplos materiais é mostrado na Figura 9. O usuário do aplicativo pode selecionar os componentes da montagem e definir a espessura do eletrólito, convecção e temperatura. Ao executar o aplicativo, o usuário pode visualizar o potencial do eletrólito, a densidade de corrente e as alterações na espessura do eletrodo. Arquivos customizados de resultados também podem ser exportados para análises complementares com scripts do MATLAB® ou RStudio® feitos pelo NRC adaptados às especificações dos clientes.

Os aplicativos também estão facilitando a comunicação entre o engenheiro responsável pelo desempenho do veículo como um todo e o engenheiro de corrosão. Antes, o engenheiro responsável pelo desempenho podia não reconhecer o mérito em mudar para uma geometria diferente, ou trocar um material caso isso desviasse do que já foi feito no passado, ou fosse mais caro. Porém, com a chegada dos aplicativos, o engenheiro de corrosão pode apresentar razões mais concretas ao engenheiro de projeto, e demonstrar claramente onde e porquê a corrosão ocorrerá.

“Nossos próximos passos são fornecer às afiliadas ALTec a capacidade de selecionar a localização da montagem no veículo dentro do aplicativo, o que lhes dará uma representação melhor do eletrólito no modelo e uma ferramenta preditiva ainda melhor. As possibilidades oferecidas pelo COMSOL Server são praticamente infinitas e sua flexibilidade o torna facilmente adaptável aos requisitos específicos dos clientes”, explica Gallant.

⇒ VENCENDO A CORRIDA PARA A REDUÇÃO DE PESO DOS VEÍCULOS

Com a simulação multifísica os aplicativos, é mais fácil selecionar os materiais e geometrias corretas ao longo do processo de projeto, auxiliando amplamente a implementação do alumínio em novos projetos de veículos mais leves. A equipe no National Research Council Canada e seus parceiros industriais devem continuar a abrir caminho para mais inovações na fabricação com alumínio, oferecendo suporte ao movimento transformador de adoção do alumínio para a redução de peso nos veículos. ♦

Email: Danick.Gallant@cnrc-nrc.gc.ca

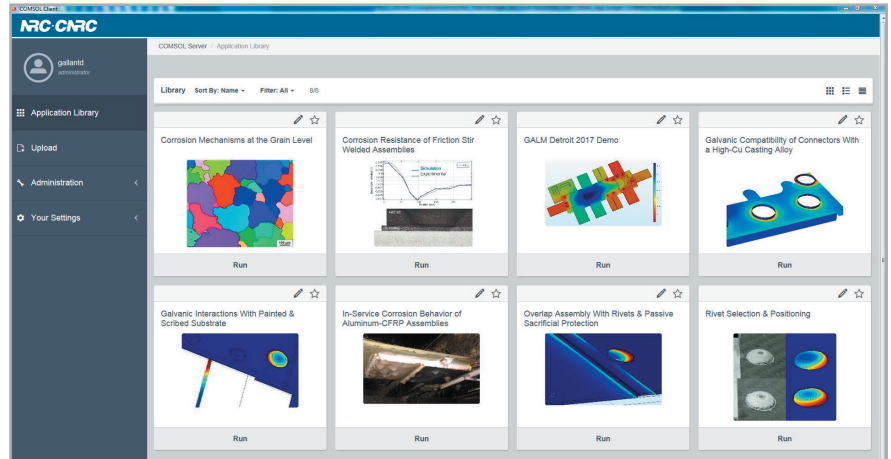


FIGURA 8. Visualização do COMSOL Server™ personalizado com a marca do NRC, acessado através de um navegador de internet.

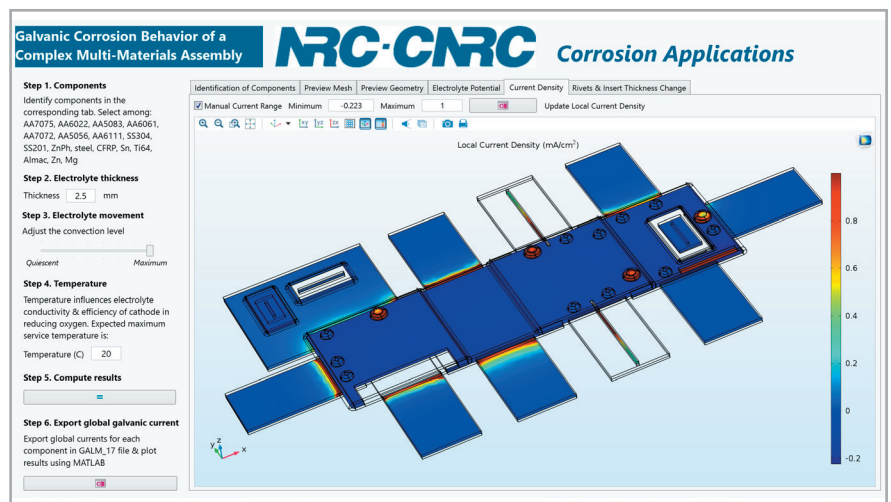
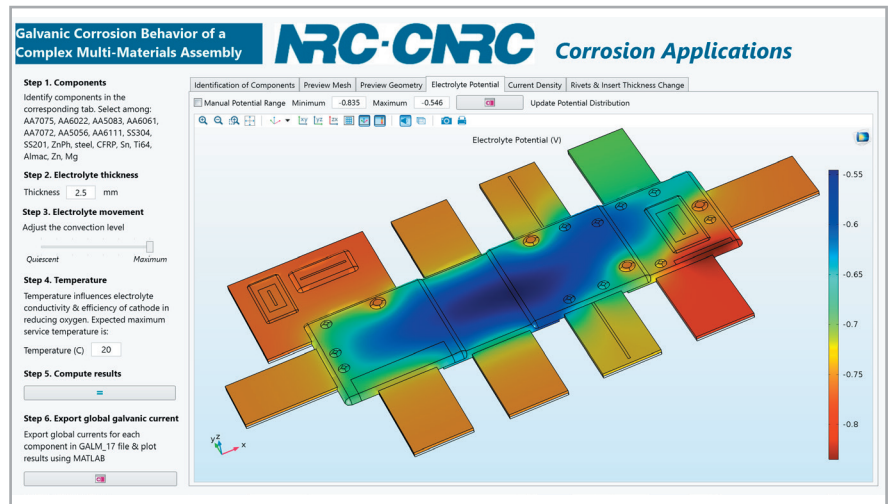


FIGURA 9. Aplicativo de simulação para determinar o comportamento de corrosão galvânica de uma montagem complexa com múltiplos materiais. Parte superior: Visualização do potencial de eletrólito ao longo do conjunto. Parte Inferior: Visualização da densidade de corrente ao longo do conjunto.

Transmissões magnéticas aumentam a vida útil de parques eólicos

Na Sintex, a simulação multifísica é utilizada para desenvolver e analisar acoplamentos magnéticos sem contato. Estes sistemas oferecerão uma confiabilidade significativamente maior, separação de meios e encontrarão papéis cruciais em turbinas eólicas em alto mar e aplicações de bombeamento de produtos químicos.

por **ZACK CONRAD**

S seja em um motor automotivo, turbina eólica, ou algo tão simples quanto um relógio de pulso, a conversão de torque e transmissão de potência de rotação são aspectos importantes para várias aplicações tecnológicas.

Tradicionalmente, a transmissão é alcançada através de uma série de engrenagens ou eixos mecânicos colineares que transferem o torque e, portanto, a potência. Entretanto, a transmissão mecânica possui limitações inerentes, como a susceptibilidade à fricção, desgaste e sobrecarga devido ao contato contínuo. Conforme o escopo de tecnologia continua a expandir-se para ambientes mais hostis e agressivos, estas limitações podem causar prejuízos extremos. Em locais de acessibilidade limitada e condições agressivas, a troca de uma transmissão defeituosa é uma tarefa desafiadora e tremendamente custosa.

⇒ TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA SEM ATRITO

Os engenheiros da Sintex desenvolveram uma alternativa inovadora que fornece robustez e confiabilidade: acoplamentos magnéticos. A essência destes acoplamentos é que a transferência de potência é feita através de forças magnéticas, ao invés de forças mecânicas, removendo assim o contato o desgaste, e aumentando drasticamente a vida útil do sistema de transmissão. A potência é transmitida através de um acoplamento de torque entre dois conjuntos concêntricos de ímãs permanentes (Figura 1). Uma fonte de potência provoca a rotação de um dos acionamentos, enquanto o acoplamento dos campos magnéticos entre os acionamentos faz com que o outro gire na mesma velocidade. Este sistema permite que a potência de rotação seja transferida assim como em transmissões mecânicas. Porém sem a fricção e o risco de sobrecarga. Caso o torque é transferido do motor seja muito alto, o

acoplamento limitará a quantidade excessiva que poderia ser aplicada ao eixo.

Este limite evita que o eixo seja submetido a valores de torque maiores do que seu projeto permite, garantindo assim a operação nas condições pretendidas.

Os acoplamentos magnéticos sem contato da Sintex são ideais para as turbinas eólicas em alto mar de seus clientes e indústrias que utilizam complexos sistemas de bombeamento. Os parques eólicos em alto mar estão cada vez mais integrados com seus sistemas de geração de energia, porém, exigem altos níveis de confiabilidade em seus componentes, devido à dificuldade de reparo destas peças. Em turbinas individuais, os acoplamentos magnéticos transferem energia do motor às bombas de água que resfriam os componentes elétricos 24 horas por dia. Como estes sistemas em alto mar envolvem instalações remotas, a manutenção preventiva ou reparos são trabalhosos e caros, tornando assim indispensável a confiabilidade dos acoplamentos magnéticos. Além disso, a lacuna de ar entre os acionamentos acomoda facilmente a inserção de uma camisa de separação (Figura 2), permitindo a separação dos meios e sistemas fechados para uso nas indústrias químicas e alimentícias. Sistemas de bombeamento que são completamente isentos de vazamentos são fundamentais para o transporte, composição, mistura e moagem de produtos químicos e materiais tóxicos.

⇒ ACOPLAMENTOS MAGNÉTICOS NAS DIFERENTES INDÚSTRIAS

Os acoplamentos magnéticos da Sintex são empregados em uma diversa gama de aplicações e devem ser individualmente personalizados com base em restrições específicas, que podem

incluir requisitos de peso ou material e restrições geométricas. Durante o processo de projeto, os engenheiros devem conseguir fazer o intercâmbio de formatos e materiais de ímãs para atender aos requisitos de seus clientes, sem precisar construir protótipos físicos, já que a prototipagem de ímãs é um processo caro e demorado. Para economizar tempo, a Sintex utiliza a simulação multifísica para caracterizar as configurações e fornecer protótipos virtuais de novos projetos. Flemming Buus Bendixen, um especialista sênior em ímãs da Sintex, tem utilizado análise de elementos finitos, com o COMSOL Multiphysics® servindo como sua principal ferramenta na última década.

“Uma das grandes vantagens do COMSOL, em meu ponto de vista, é que você pode fazer muitos tipos de simulações; você pode incluir muitos tipos de físicas, e estas físicas podem interagir entre si”, disse Bendixen. Sua equipe possui uma ampla variedade de modelos incrivelmente detalhados e complexos. E graças à intensa verificação e validação a que os modelos são submetidos, a equipe hoje pode confiar completamente neles. Isto não só

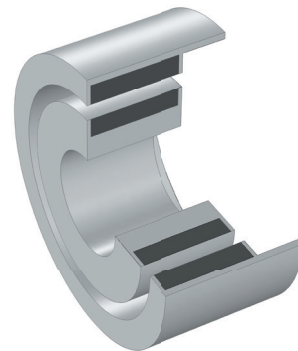


FIGURA 1. Esquema de um acoplamento magnético.

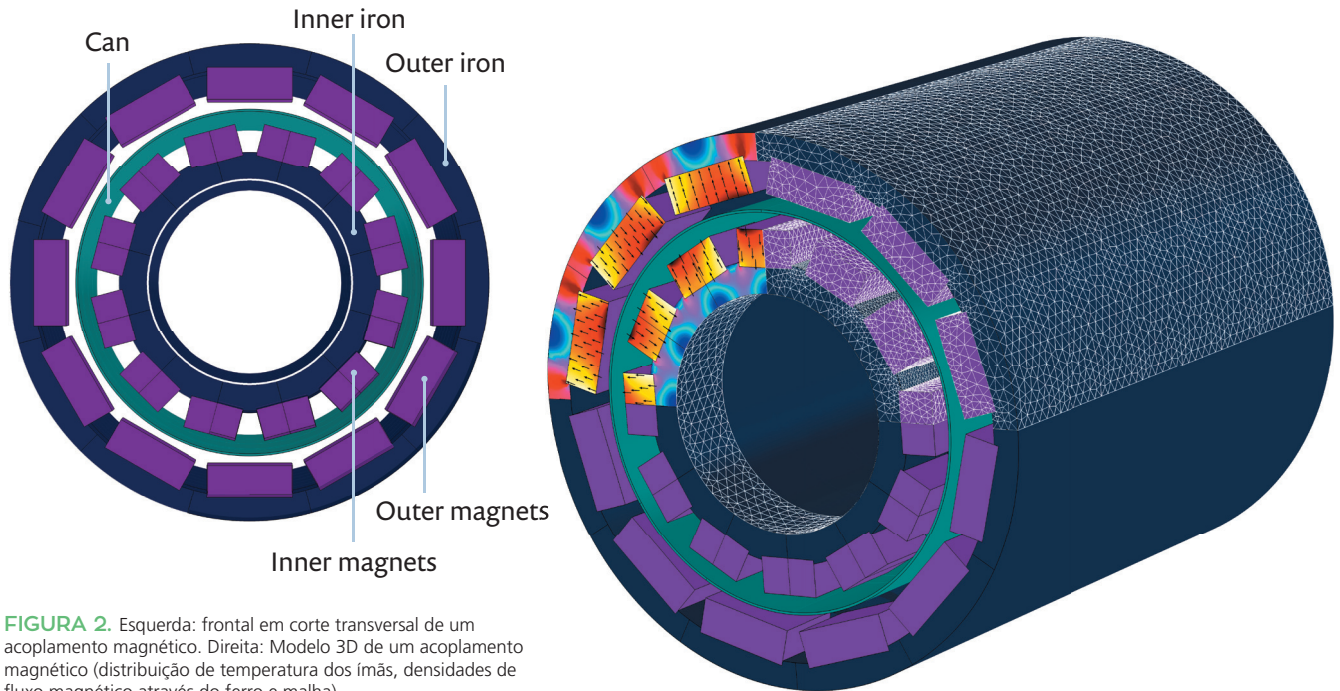


FIGURA 2. Esquerda: frontal em corte transversal de um acoplamento magnético. Direita: Modelo 3D de um acoplamento magnético (distribuição de temperatura dos ímãs, densidades de fluxo magnético através do ferro e malha).

economiza tempo, mas também reduz o preço para os clientes e permite que uma ênfase maior possa ser dada aos detalhes menores.

⇒ ELIMINANDO RISCOS COM NOVOS PROJETOS

Com o uso da simulação multifísica, Bendixen estuda as interações entre os acionamentos de um acoplamento magnético e calcula a transmissão de torque do acionamento externo para o acionamento interno. Como a principal finalidade dos acoplamentos magnéticos é transmitir o máximo de torque e potência ao longo de um eixo, a transferência de torque é sua principal característica; portanto, esta é calculada de diversas formas, incluindo o tensor de tensão de Maxwell, métodos de integração no pós-processamento e o método de Arkkio. A análise é verificada através de experimentos e tem gerado erros tão pequenos quanto 1%, indicando assim a precisão do modelo. Durante o processo de desenvolvimento de

um novo projeto, o modelo pode ser utilizado para maximizar o torque transferido em uma configuração específica.

Como os ímãs permanentes e seus campos provocam inúmeros efeitos secundários, Bendixen se esforça para modelar estes efeitos. Em metais, como a camisa de aço deste acoplamento, correntes parasitas são geradas pelos campos magnéticos externos, resultando em perdas elétricas. “A alternância dos pólos norte e sul cria tensões elétricas no aço; e o aço, por sua vez, conduz eletricidade e dissipa energia do sistema”, explica Bendixen. São as chamadas de perdas na camisa (can losses), que são simuladas em ferramentas de pós-processamento no software, e que devem ser reduzidas ao menor nível possível. A equipe também desenvolveu, recentemente, uma máquina que testa de forma experimental as perdas na camisa dos projetos e confirma a precisão de seus modelos.

“Nós estamos dedicados a capturar a verdadeira natureza não linear do magnetismo

e o COMSOL nos permite fazer isto, garantindo a magnetização otimizada do conjunto”, disse Bendixen. Ao empregar curvas de histerese altamente não lineares e utilizar seus próprios materiais com dependência da temperatura para o carregamento magnético, as simulações (mostradas acima) ajudam a evitar que os ímãs permanentes alcancem suas temperaturas críticas e se tornem irreversivelmente desmagnetizados, o que é essencial para a garantia da confiabilidade de seus produtos. “É muito importante saber a temperatura que os ímãs podem suportar, e eu consigo calcular este valor com bastante precisão”, Bendixen comenta. “Se os ímãs se aquecerem muito, eles podem ficar parcialmente desmagnetizados.”

Bendixen leva mais além a flexibilidade da simulação multifísica com a importação da biblioteca de materiais magnéticos da Sintex, permitindo assim uma ampla gama de configurações magnéticas customizadas.

⇒ TODA A EXPERTISE DA SIMULAÇÃO AO TOQUE DE UM SÓ BOTÃO

A partir do momento que a Sintex sentiu-se confortável com o nível de complexidade em seus modelos, a próxima etapa foi expandir seu uso e torna-los mais acessíveis a aos não especialistas em simulações. Anteriormente, quando representantes de vendas e outros

“Uma das grandes vantagens do COMSOL, em meu ponto de vista, é que você pode fazer muitos tipos de simulações; você pode incluir muitos tipos de físicas, e estas físicas podem interagir entre si.”

— FLEMMING BUUS BENDIXEN, ESPECIALISTA SÊNIOR EM ÍMÃS, SINTEX

colegas, que não possuem tanta experiência em técnicas de simulação, precisavam executar testes em projetos, eles recorriam a Bendixen para fazer os cálculos.

Então, Bendixen criou aplicativos de simulação, com base em seus modelos multifísicos e proporcionou assim altos níveis de produtividade e conveniência de simulação a seus colegas. Atualmente, a Sintex utiliza dez diferentes aplicativos de simulação, com até vinte usuários. Os aplicativos são criados diretamente no COMSOL Multiphysics®, através da ferramenta Application Builder, e podem ser acessados por um navegador de internet, conectando-se ao COMSOL Server™. A interface do usuário simplificada e implementação direta facilitam o seu uso para todos os funcionários. Alguns clientes específicos também recebem acesso a estes aplicativos e sua amplas capacidades de computação. “Eu desenvolvi os aplicativos porque alguns de meus colegas não são experientes no uso de softwares de simulação, mas ainda assim gostariam de fazer alguns testes de sistemas e simulações por conta própria. E os aplicativos permitem que eles realizem isso com facilidade.” Bendixen disse.

Os aplicativos de simulação permitem ao usuário variar parâmetros sem precisar alterar o modelo computacional básico. “Funcionários de vendas podem alterar dimensões e executar simulações enquanto falam ao telefone com clientes, para verificar a conformidade das suas especificações em poucos minutos”, disse Bendixen. Porém, apesar da simplicidade da interface, ainda há uma grande flexibilidade que permite a inovação com diferentes iterações de projeto. Os aplicativos da Sintex permitem ao usuário ajustar parâmetros geométricos e magnéticos. Em seguida, o modelo calcula as temperaturas críticas dos ímãs, distribuições de remanência, densidades de fluxo de campo magnético, torque e perdas da camisa. A Figura 4 é um exemplo de um aplicativo que simula as correntes parasitas geradas na camisa de separação. Estas correntes podem então ser utilizadas para calcular a perda de potência resultante. Hoje, pessoas em todos os estágios do desenvolvimento podem contribuir para o processo de projeto e ajudar a maximizar a confiabilidade em seus produtos.

⇒ OLHANDO PARA O FUTURO

A Sintex também está desenvolvendo uma nova engrenagem de relutância magnética, que deve expandir a gama de aplicação de engrenagens. Além de oferecer uma transmissão de torque confiável de forma magnética e sem contato, estas engrenagens podem alterar a velocidade



FIGURA 3. Acoplamentos magnéticos padrão

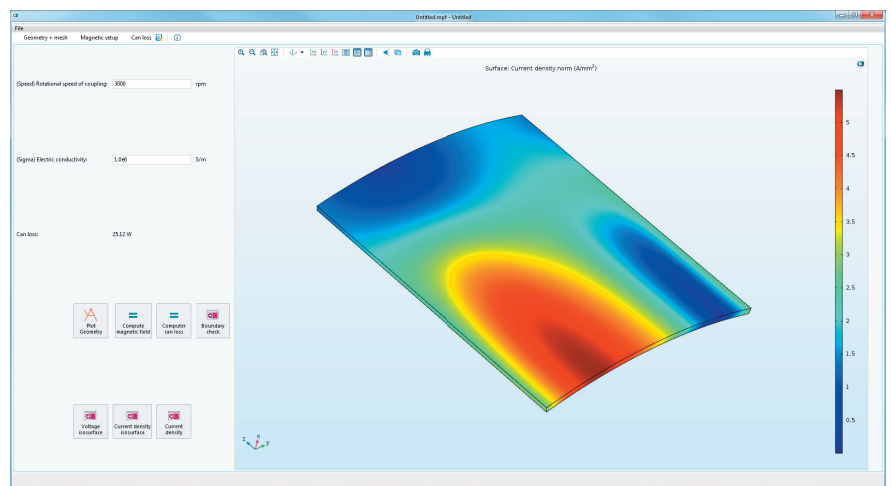
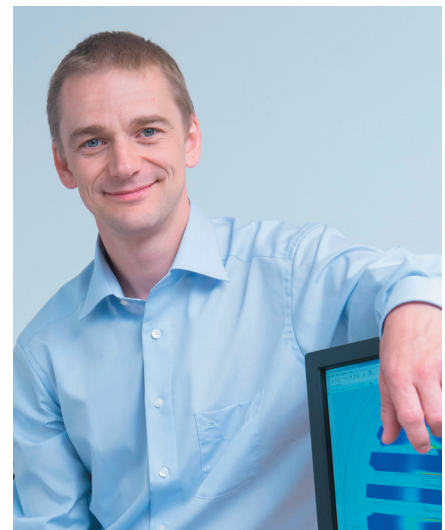


FIGURA 4. Esta seção do aplicativo de simulação modela a densidade de corrente parasita induzida na camisa e calcula a perda de energia resultante.

ou torque entre os acionamentos, permitindo a criação de vantagens mecânicas com razões fixas entre as engrenagens. Em uma característica única de projeto, estas engrenagens incorporarão um único ímã permanente com magnetização paralela aos eixos, simplificando amplamente a montagem e permitindo um alto grau de customização. E com os aplicativos de simulação envolvendo mais e mais pessoas no processo de análise, Bendixen pode passar mais tempo fazendo melhorias consistentes em todas as tecnologias magnéticas da Sintex. ❖



Flemming Buus Bendixen, Especialista sênior em ímãs, Sintex

Seguindo o fluxo para otimizar sensores de fluidos

Desenvolvedores de produto da Endress+Hauser aumentam a sensibilidade dos sensores de vazão para a medição da densidade de fluidos, viscosidade, vazão mássica e temperatura para aplicações nas indústrias de água, alimentícias, farmacêuticas e de petróleo e gás.

por **VALERIO MARRA**

Quando damos a partida num carro, enchemos um copo de água ou bebemos suco de uma embalagem, estamos usando um líquido que foi cuidadosamente extraído, processado e avaliado em sua qualidade. O impressionante planejamento e tecnologia que são empregados na produção destes fluidos utilizados pelos consumidores muitas vezes são ignorados, embora exijam medição e monitoramento precisos.

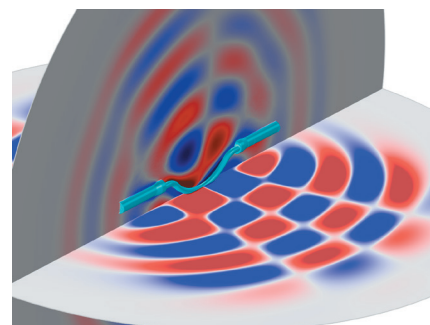
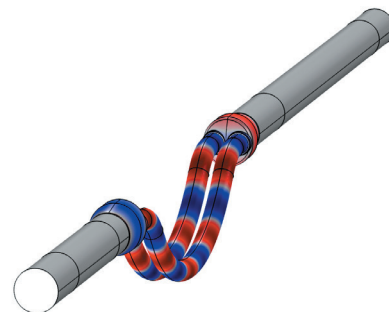
Durante o processamento de produtos farmacêuticos, como identificamos se um fluido apresenta alto nível de qualidade desejado? Se estamos trabalhando com petróleo cru, como sabemos quanto estamos extraindo? Se estamos transportando água, como sabemos as vazões e distribuição de volume?

Perguntas como estas, que afetam a confiança e são o ponto de partida para empresas de água, alimentos, petróleo e gás, são abordadas por fabricantes de medidores de vazão que estão dentro das tubulações e outros equipamentos. Na Endress+Hauser, engenheiros trabalham, sem descanso, para desenvolver e manter sensores precisos para uma variedade de substâncias que exigem diferentes métodos de medição.

⇒ MEDIÇÃO DE FORÇAS DE CORIOLIS

Para determinar as propriedades de um fluido viajando em uma tubulação, sensores projetados na Endress+Hauser medem os efeitos da força de Coriolis em um dispositivo inserido na tubulação, consistindo de um ou mais tubos oscilantes de medição.

O tubo é excitado antes de qualquer fluido entrar no dispositivo. Quando um fluido em repouso enche o dispositivo, o tubo oscila de modo uniforme. Assim que o fluido começa a fluir através do tubo oscilante, passa a exercer uma força em suas paredes. A oscilação do tubo de medição é vista como uma rotação ao redor de um eixo pelas partículas do fluido. Como as partículas estão se movendo em um sistema de referência móvel, elas sofrem uma força inercial que age perpendicularmente à direção de movimentação e ao eixo de rotação: a força de Coriolis. Como as seções de entrada e saída do tubo oscilante induzem uma movimentação rotacional oposta, as forças induzidas agem para flexionar o tubo de modo assimétrico, causando uma mudança de fase ou atraso ao longo do tubo.



Line Graph: Sound pressure level (dB)

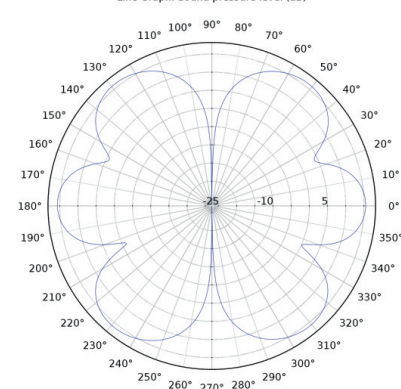


FIGURA 2. Simulação mostrando o campo acústico dentro e ao redor do tubo oscilante (parte superior e central) e um gráfico de nível de pressão sonora em dB (parte inferior).

Diferentes seções do tubo começam a oscilar com um atraso ou mudança de fase causada pelo componente de torção na movimentação do tubo. Esta mudança de fase e a nova frequência de oscilação do tubo são uma função do fluxo de massa e da densidade do fluido, respectivamente. Desta forma, os sinais do medidor podem ser interpretados para medir o fluxo de massa ou volume, e garantir que a quantidade desejada de fluido seja transportada.

De modo similar, um aumento na viscosidade do fluido leva a um aumento no amortecimento das oscilações. A frequência de oscilação é majoritariamente uma medida direta da densidade do fluido. As oscilações serão mais rápidas, porém, mais amortecidas, por exemplo, em uma substância como petróleo



FIGURA 1. Medidor de vazão Coriolis projetado na Endress+Hauser.

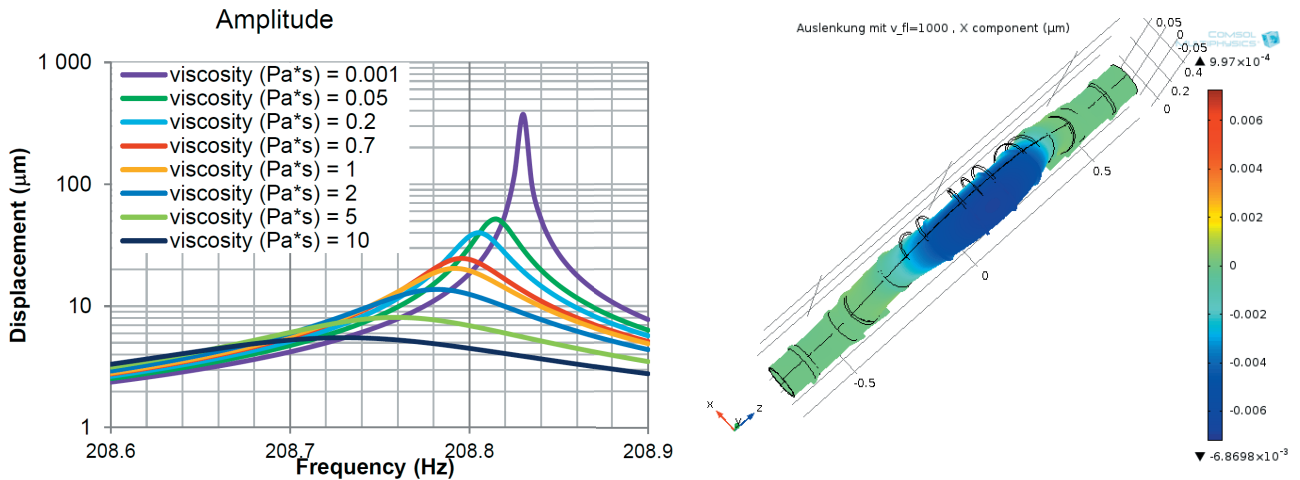


FIGURA 3. Resultados da simulação, mostrando a alteração na frequência de oscilação do tubo para diferentes viscosidades de fluido e o deslocamento mecânico resultante. À direita, um exemplo visual da deformação do tubo devido à movimentação oscilante.

(densidade menor e viscosidade maior) do que em um fluido como água (densidade maior e viscosidade menor). A medição da frequência e amortecimento das oscilações possibilita a determinar a densidade e viscosidade e monitorar a qualidade do processo relacionada ao fluxo do fluido. Os mesmos efeitos físicos se aplicariam a um objeto, oscilando em um fluido móvel, como uma viga engastada.

⇒ **UM EXEMPLO VISCOACÚSTICO**

Vivek Kumar, um especialista sênior em simulações numéricas da Endress+Hauser Flowtec AG, subsidiária da Endress+Hauser que fabrica estes medidores de vazão (Figura 1), trabalha para melhorar o desempenho de seus sensores. Seu trabalho de modelagem tem ajudado sua equipe a entender profundamente os efeitos acústicos, estruturais e de escoamento de fluidos em seus medidores de vazão. Compreender como a interação fluido-estrutura e vibroacústica afetam o desempenho de um sensor lhes permite fazer vários ajustes de projeto para melhorar o desempenho e qualidade do medidor.

A equipe começou sua análise numérica com um modelo viscoacústico para compreender o complexo amortecimento viscoso que ocorre quando um fluido viscoso flui através de um tubo

“Com o uso da simulação, nós fomos capazes de analisar diferentes casos e por fim otimizar o projeto de nosso dispositivo, para ajudar nossos clientes a caracterizar as propriedades de material para os fluidos que estão usando ou extraíndo.”

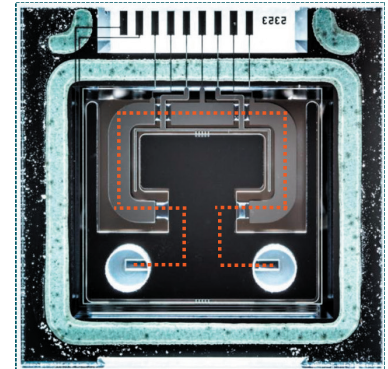
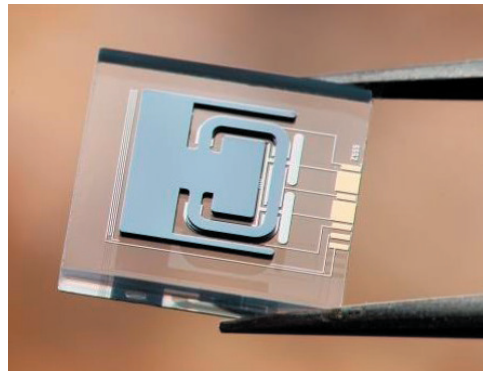


FIGURA 4. Chip MEMS Coriolis utilizado para medições de densidade e viscosidade. Esquerda: Sensor completo na ponta de uma pinça. Direita: Layout do chip dentro do dispositivo.

oscilante. Eles examinaram o comportamento acoplado da deformação estrutural e propagação de onda acústica, modelando a interação fluido-estrutura no domínio da frequência, para prever como o medidor de vazão responderia a diferentes fluidos. A Figura 2 mostra como a onda sonora gerada pelo escoamento turbulento é propagada no medidor nas proximidades.

“Com o COMSOL Multiphysics nós tentamos estimar o efeito do ruído induzido pelo escoamento nas proximidades e também no medidor de vazão,” comentou a equipe.

Eles analisaram os efeitos da viscosidade do fluido

na frequência de oscilação do tubo. A Figura 3 mostra os resultados da simulação com a predição da frequência, assim como do deslocamento, do tubo para fluidos de diferentes viscosidades. Com a capacidade de simular e compreender melhor os efeitos físicos que causam uma mudança na frequência de saída do medidor, a equipe é capaz de explorar estes efeitos para melhorar seu desempenho, ao filtrar efeitos indesejados, por exemplo. Neste caso, a variação no amortecimento do tubo é utilizada para compensar os efeitos da viscosidade no erro da densidade medida.

“Nós queríamos compreender como diferentes fluidos afetariam o desempenho do sensor”, eles comentaram. “Com o uso da simulação, fomos capazes de analisar diferentes casos e, por fim, otimizar o projeto de nosso dispositivo, para ajudar nossos clientes a caracterizar as propriedades de material para dos fluidos que estão usando ou extraíndo.”

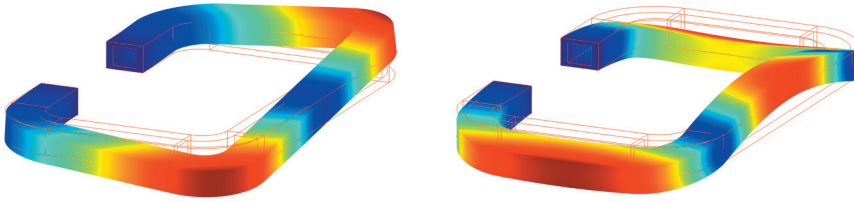


FIGURA 5. Dois modos do microcanal oscilante. As cores representam os níveis de deslocamento relativo das diferentes regiões do canal.

⇒ UM EXEMPLO EM MICROESCALA

A TrueDyne Sensors AG, uma subsidiária da Endress+Hauser Flowtec AG, desenvolve dispositivos MEMS baseados em um conceito similar. Eles projetam e testam sensores de oscilação para medir as propriedades termofísicas de fluidos em muitas aplicações diferentes. A equipe desenvolve sensores para soluções específicas dos clientes. Portanto, é extremamente importante que eles saibam quais tipos de osciladores podem fornecer a melhor sensibilidade para casos específicos.

O chip MEMS Coriolis (Figura 4) utiliza um microcanal de vibração livre que opera com o mesmo princípio do sensor maior de vazão de Coriolis. Como no caso das simulações de efeito Coriolis, uma análise de vibração deve ser executada no microcanal para determinar os modos fundamentais de vibração e as taxas de oscilação das diferentes extremidades do canal (Figura 5). Este sensor em particular é utilizado para avaliar a densidade e viscosidade de fluidos como gases inertes, gás liquefeito de petróleo (GLP), combustíveis de hidrocarbonetos ou lubrificantes de refrigeração. Devido às suas dimensões, o sensor é voltado para medição de quantidades de fluido bastante pequenas.

Um desafio específico que ocorre em um dispositivo tão pequeno é o aumento da temperatura que, em caso de falha elétrica, pode ocorrer através de uma alta tensão aplicada ao sensor para excitação do acionamento. Em vista deste risco de segurança, eles fizeram uma análise térmica (Figura 6) para determinar onde o calor se dissipava no chip, e se o fluido se aqueceria demasiadamente. Foi confirmado que a temperatura não excedia o limite graças à câmara de vácuo ao redor do canal, que minimiza a transferência de calor entre os eletrodos e o fluido.

⇒ ATENDENDO ÀS DEMANDAS DA EMPRESA E DE CLIENTES

Ambas as equipes comentam como a flexibilidade do COMSOL Multiphysics® tem sido muito útil em seus trabalhos de P&D, a fim de adaptar facilmente os medidores de vazão para funcionar com um desempenho superior em uma variedade de casos. A análise multifísica fornece a percepção necessária para reduzir o tempo e esforços gastos em testes e prototipagem e lhes permite produzirem os sensores da mais alta qualidade.

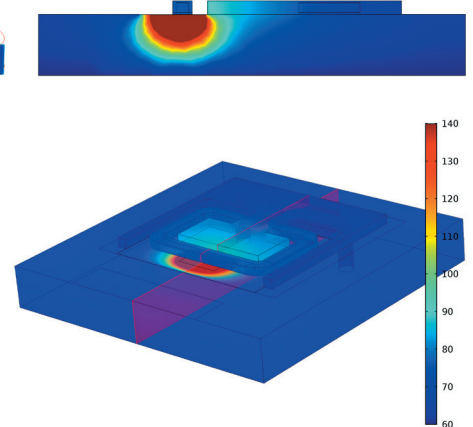
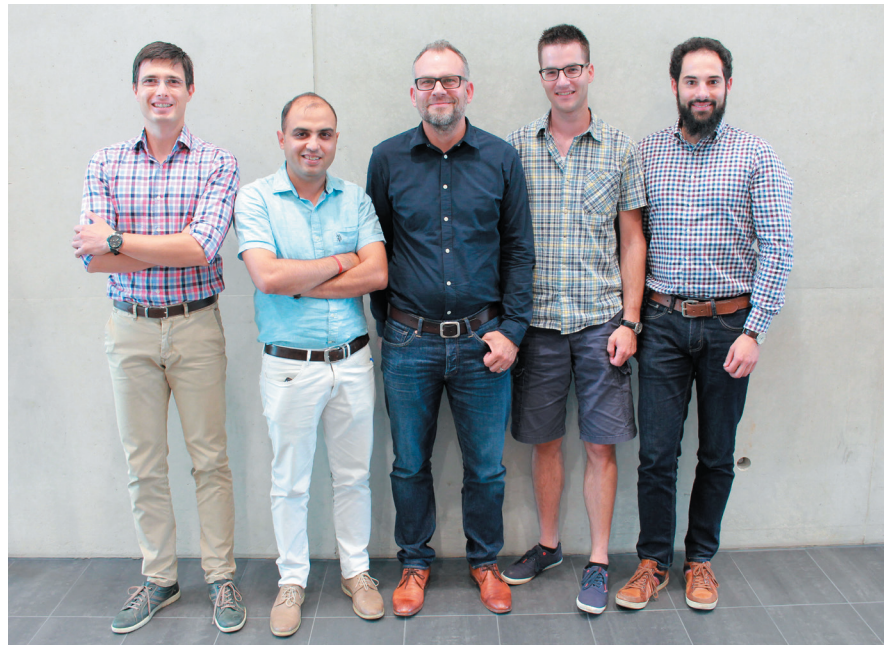


FIGURA 6. Resultados térmico mostrando a temperatura no chip MEMS Coriolis

Christof Huber sente um orgulho especial por seu trabalho quando vê como sua modelagem leva a mudanças nos projetos de dispositivos, que por fim melhoram os resultados e a experiência dos clientes da Endress+Hauser. “Estas ferramentas são utilizadas para resolver os problemas de nossos clientes. Nós vemos nossa inovação na prática quando estamos trabalhando em campo. Nós vemos o retorno como o principal motivo pelo qual fazemos isto.” ❖



Da esquerda para direita: Anastasios Badarlis, Dr. Vivek Kumar, Dr. Christof Huber, Benjamin Schwenter, e Patrick Reith.

E+H Flowtec AG é uma empresa do grupo Endress+Hauser, sediada em Reinach, Suíça. Truedyne Sensor AG é uma empresa subsidiária do Endress+Hauser Flowtec AG.



Aplicativos de simulação proporcionam avanços em pesquisas de tribologia

Pesquisadores do Centro de Pesquisas de Engrenagens (FZG) da Universidade Técnica de Munique (TUM), Alemanha, encapsularam seus modelos multifísicos em um aplicativo para a simulação dos contatos de engrenagens com lubrificação termoelastohidrodinâmica (TEHL). O caso destes pesquisadores é uma lição sobre como lidar com problemas multifísicos complexos que combinam a mecânica estrutural e transferência de calor com a fluidodinâmica computacional.

por **VALERIO MARRA**

Um bom exemplo da complexidade dos problemas de simulação da engenharia do século 21, é a lubrificação elastohidrodinâmica (EHL). A EHL descreve o acoplamento entre a deformação de duas superfícies que interagem, tais como em rolamentos e engrenagens, e a hidrodinâmica que provoca a separação de ambas as superfícies. Caso os efeitos térmicos sejam considerados, o problema passa a ser chamado de lubrificação termoelastohidrodinâmica (TEHL). A espessura da camada de lubrificante, geralmente, é da ordem de microns ou menor, porém, é suficiente para prover baixos níveis de fricção e desgaste. A compreensão detalhada dos mecanismos da TEHL ajuda a melhorar a densidade de potência, eficiência e comportamento de ruído, vibração e incômodo (NVH) de sistemas de acionamento.

O ponto-chave é o projeto de contatos lubrificados dos elementos de máquina tratando o lubrificante em si como um

elemento da própria máquina. A simulação TEHL contribui para uma compreensão detalhada dos contatos lubrificados e reduz o número de protótipos. A modelagem multifísica e simulação por computador de contatos TEHL é a melhor maneira de se alcançar o cerne deste problema (Figura 1).

⇒ MUITO PEQUENO PARA MEDIR

Com filmes de lubrificante e deformações dos corpos sólidos medindo meros microns, qualquer tentativa de aprender mais sobre a TEHL, empregando sensores na região de contato, é extremamente difícil. “O filme de lubrificante entre dois flancos de engrenagem é da ordem de um micron, que é, aproximadamente, igual a um décimo do diâmetro de um fio de cabelo humano. As pressões típicas de contato são de até 2 GPa e equivalem a cerca de 30 carros de passeio sobre uma área do tamanho de

uma unha”, explicou Thomas Lohner, líder do departamento de Contato Tribológico EHL e Eficiência do Centro de Pesquisa de Engrenagens (FZG), da Universidade Técnica de Munique (TUM), Alemanha.

Através de simulações numéricas, engenheiros podem projetar contatos TEHL para obter combinações apropriadas de superfícies de engrenagens e lubrificantes. A dificuldade reside no fato da simulação de TEHL ser um problema

“O acoplamento de diferentes físicas e equações é do que se trata o COMSOL, e isto nos serviu muito bem.”

– THOMAS LOHNER, LÍDER DE DEPARTAMENTO DE EFICIÊNCIA DE CONTATO DE TRIBOLOGIA E EHL

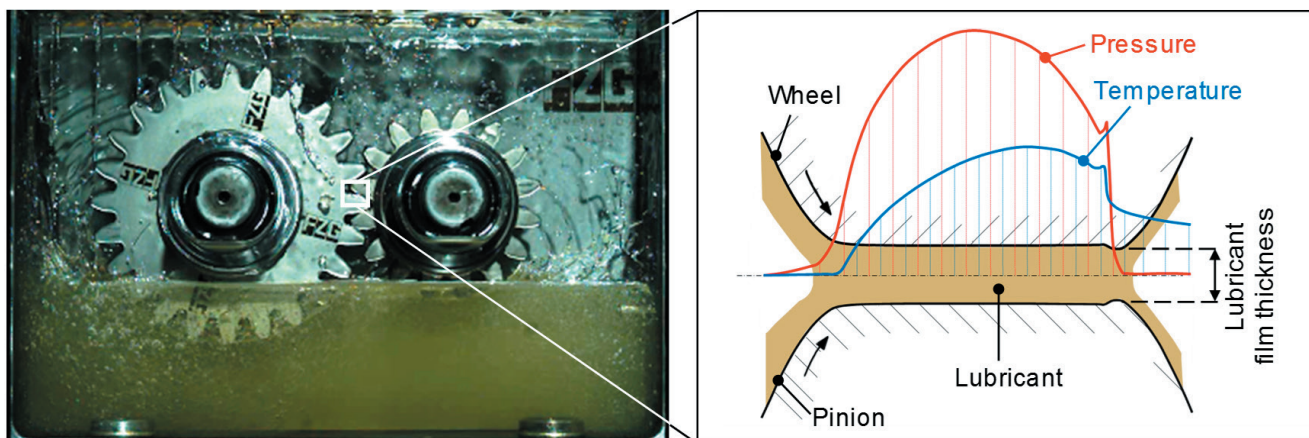


FIGURA 1. Imagem de câmera de alta velocidade de um par de engrenagens lubrificadas por imersão em operação (esquerda) e ilustração do contato EHL (direita).

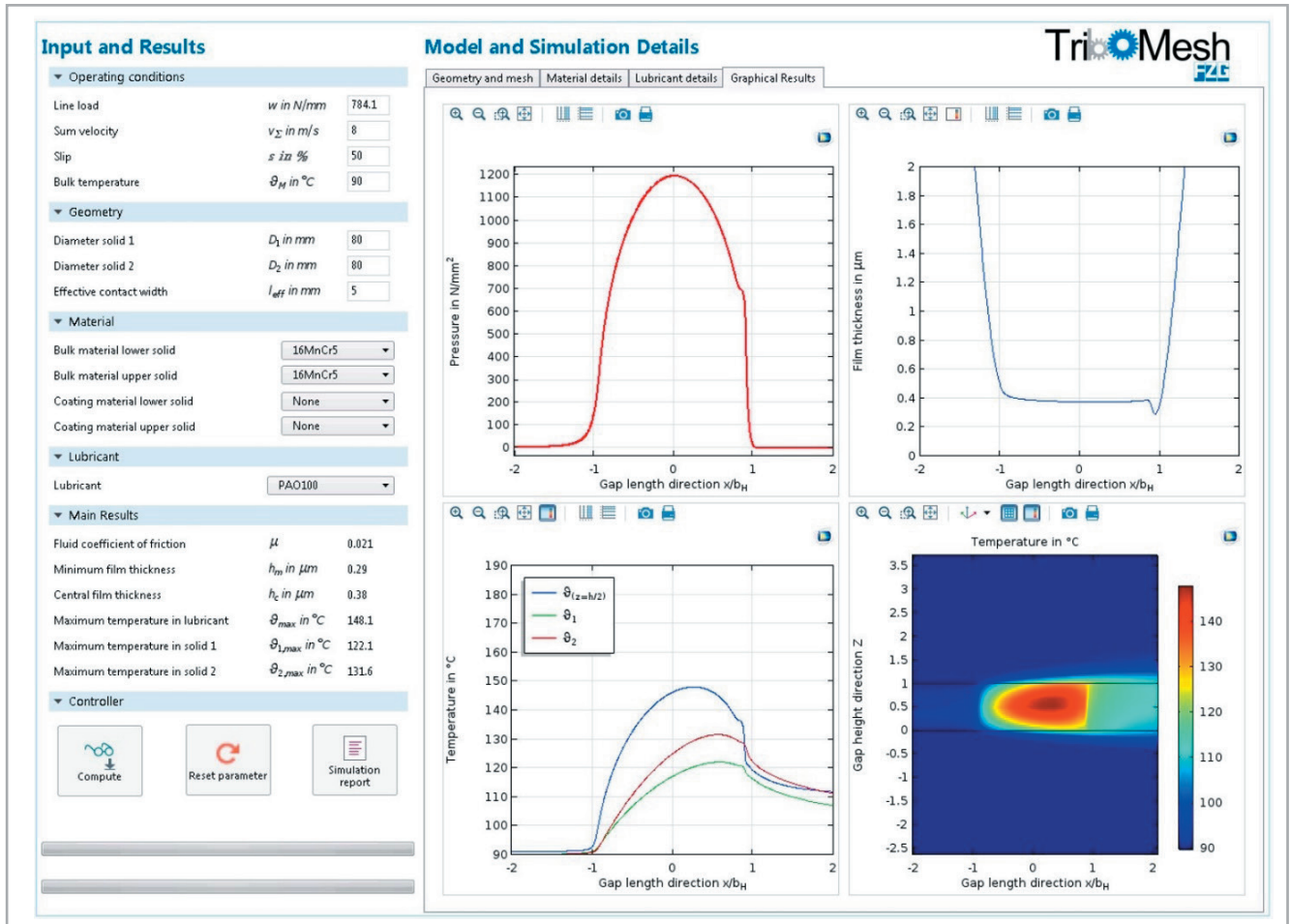


FIGURA 2. Este aplicativo de simulação personalizado inclui uma solução de física complexa e acoplada para TEHL, servindo como uma ferramenta facilmente acessível para o uso de todos do centro de pesquisa.

acoplado, ou multifísico. O lubrificante é um fluido. Portanto, o modelo exige fluidodinâmica computacional (CFD), para a qual a equação modificada de Reynolds, uma forma reduzida das equações de Navier-Stokes, é frequentemente utilizada. As propriedades dos lubrificantes, tais como viscosidade, dependem fortemente das variações de pressão e temperatura. Além disso, o comportamento do escoamento do lubrificante se torna não linear para altas taxas pelo cisalhamento. O calor de contato é criado pelo cisalhamento e compressão no fino filme do lubrificante, e é distribuído por convecção e condução. As mudanças de temperatura afetam as propriedades do lubrificante, que influenciam a hidrodinâmica e conseqüentemente a deformação elástica, que por sua vez afetam a geração de calor. Cada quantidade afeta a outra, o que resulta em um circuito iterativo altamente não linear, incluindo a deformação elástica das superfícies da engrenagem, obtida por uma análise de mecânica estrutural acoplada.

⇒ SAINDO DO PAPEL PARA O MODELO E AOS APPS

Lohner e sua equipe construíram um aplicativo com base em um método de solução publicado por um colega, Prof. Wassim Habchi, da Universidade Americana-Libanesa, Byblos, Líbano [1]. "Nós implementamos a solução utilizando o software COMSOL, Multiphysics, o qual achamos conveniente usar", explicou Lohner. "O software nos permitiu modificar a equação de Reynolds conforme o necessário e acoplá-la às outras físicas para criar nosso modelo matemático de TEHL", ele disse. "A combinação de diferentes físicas e equações é do que se trata o COMSOL, e isto nos serviu muito bem."

A principal vantagem do uso do software é a capacidade de escolher as físicas, adicionar equações customizadas, e então acoplar tudo para criar uma solução que funciona [2], sem a necessidade de conhecer os detalhes das

técnicas de solução numérica disponíveis, concentrando-se nos aspectos da modelagem. "Nós somos um centro de pesquisa com o foco no projeto e otimização de elementos de máquina, especialmente de engrenagens ele explica." "A interface e abordagem multifísica por trás do COMSOL nos permitiu focar nos problemas de engenharia ao e não nos algoritmos numéricos por trás da solução. Além disso, nos beneficiamos dos contínuos desenvolvimentos e atualizações do software." Para o cálculo da pressão e espessura do filme, os pesquisadores utilizaram a interface Weak Form Boundary PDE para inserir as equações de Reynolds generalizadas [1]. Para o cálculo da temperatura, os pesquisadores utilizaram basicamente as interfaces físicas pré-definidas disponíveis no software [2].

Lohner e sua equipe criaram um aplicativo de simulação chamado "TriboMesh" (Figura 2), que tornou seu trabalho ainda mais simples e o distribuíram pelo centro de pesquisa. Para

tanto, eles utilizaram a ferramenta Application Builder disponível no software. Os aplicativos permitem que seus colegas utilizem a simulação de modo prático para procurar por novas soluções.

O aplicativo de simulação já foi distribuído para certos colegas em estações de trabalho locais. No futuro, o aplicativo também estará disponível para demais colegas e parceiros de projeto através do produto COMSOL Server™, que permite aos usuários executar aplicativos através de um navegador da web.

Um dos usos deste aplicativo está na compreensão de como um revestimento de carbono-diamante (diamond-like carbon - DLC) melhora a eficiência e desempenho de engrenagens. “Nós fizemos experimentos em um dispositivo de teste os quais demonstraram que o coeficiente de fricção é muito mais baixo para engrenagens revestidas por DLC em comparação às engrenagens sem revestimento”, explicou Lohner. Mas, por que? O revestimento estava na superfície, portanto, como poderia afetar o lubrificante? Através do aplicativo e com todos os dados de físicos de um dispositivo de teste, foi possível demonstrar que o revestimento de DLC aprisionava calor no contato TEHL, reduzindo a viscosidade do lubrificante e a fricção (Figura 3) [3]. “O revestimento de DLC fornece isolamento térmico e nós não conseguiríamos comprovar nossas hipóteses adequadamente sem a simulação. Nós obtivemos uma compreensão detalhada dos fluxos de calor no sistema e o comportamento resultante do lubrificante”, disse Lohner.

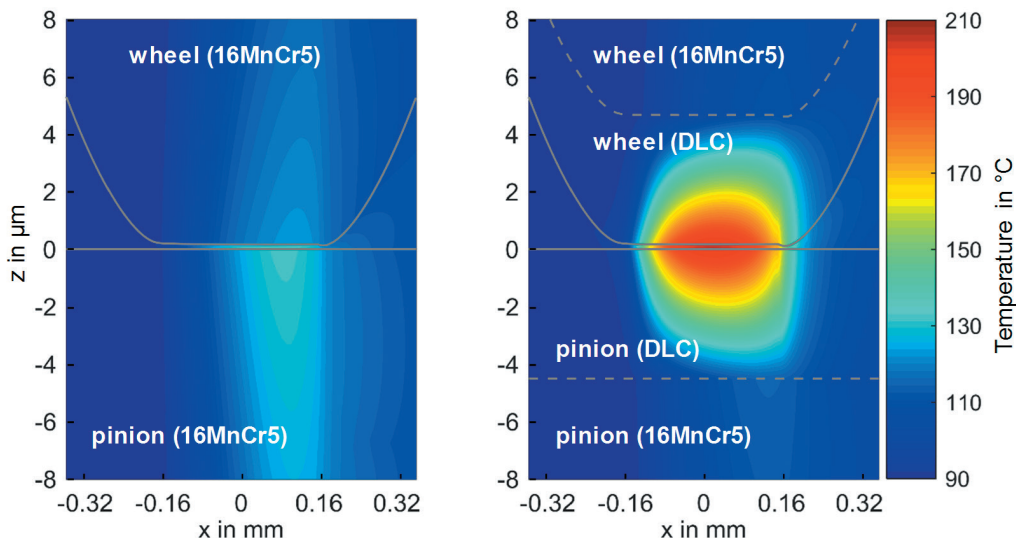


FIGURA 3. Resultados de simulação TEHL: distribuição de temperatura de um par de engrenagens sem revestimento (esquerda) e revestidas com DLC (direita).

⇒ CONSELHO PARA OS OUTROS: COMECE PEQUENO E VÁ CONSTRUINDO

Para aqueles que usam simulação multifísica e aplicativos, Lohner e sua equipe oferecem sábios conselhos com base em suas experiências. “É praticamente impossível para alguém que começa a trabalhar em sistemas bastante complexos iniciar por abordando o problema como um todo”, ele disse. “Você deve modificar seu problema para torna-lo o mais fácil possível na primeira etapa.” Em seu exemplo, sua primeira intervenção junto ao problema modificou a equação de Reynolds para combiná-la com simples equações de elasticidade, ignorando os efeitos térmicos. “Em seguida, nós progredimos com a inclusão de efeitos mais complexos, passo a passo”, ele disse. “Você tem acesso a toda a complexidade necessária no COMSOL. Portanto, é fácil incorporá-la à solução conforme necessário.” Ele alertou para as armadilhas de pensar que acessibilidade é o mesmo que resolver todo o problema de forma

adequada. “Você realmente deve ir passo a passo, de forma metódica, porque o problema é muito complexo. Você deve certificar-se que cada etapa é verificada antes de prosseguir para a próxima”, ele disse. ❖

REFERÊNCIAS

1. W. Habchi, *A full-system finite element approach to elastohydrodynamic lubrication problems: application to ultra-low-viscosity fluids [Dissertação]*, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, França, 2008.
2. Thomas Lohner, Andreas Ziegler, Johann-Paul Stemplinger, e Karsten Stahl, *Engineering software solution for thermal elastohydrodynamic lubrication using multiphysics software, Advances in Tribology, Volume 2016 (2016), Article ID 6507203.*
3. Andreas Ziegler, Thomas Lohner, Karsten Stahl, *TEHL simulation on the influence of lubricants on the frictional losses of DLC coated gears, lubricants, Volume 6 (2018), doi:10.3390/lubricants6010017.*



Membros do grupo de pesquisa de Contato Tribológico EHL e Eficiência, do Centro de Pesquisa de Engrenagens (FZG), da Universidade Técnica de Munique, Alemanha (TUM): (da esquerda para direita) Andreas Ziegler, pesquisador associado; Enzo Maier, pesquisador associado; Thomas Lohner, líder de departamento; e Karsten Stahl, professor titular e diretor da FZG.

Create
THE
Future

DESIGN CONTEST 2018

15th Anniversary

HOW WILL YOUR DESIGNS CHANGE THE FUTURE?




The world's greatest inventions started with an innovator sharing their idea with the world. **Now it's your turn.**

CALL FOR ENTRIES

WIN \$20,000 & GLOBAL RECOGNITION

Now accepting entries!

For Complete Details VISIT:
CreateTheFutureContest.com

JOIN THE CONVERSATION: #CTF2018   

PRINCIPAL
SPONSORS



MELHORANDO A EFICIÊNCIA EM SINTERIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Engenheiros de processo estão utilizando simulação multifísica para abrir o caminho para a produção em massa de aço, de forma mais rápida, mais econômica e ambientalmente amigável.

por **ZACK CONRAD**

No cerne das atividades de fabricação existe um esforço contínuo para melhorar simultaneamente a eficiência e qualidade dos produtos, e a indústria siderúrgica é um ótimo exemplo disto. Como a produção de aço envolve uma longa cadeia de processos, há inúmeras oportunidades para avanços. The VDEH-Betriebsforschungsinstitut (BFI), uma das principais instituições de pesquisa da Europa voltada ao desenvolvimento de tecnologia na fabricação de aço e ferro, está atualmente utilizando simulação multifísica para otimizar suas configurações e alcançar estas melhorias.

⇒ PREPARANDO O SÍNTER PARA O ALTO-FORNO

Uma etapa importante na linha de produção de aço é o processo de sinterização, onde uma mistura de minério de ferro fino e outros materiais são preparados para um alto-forno para fundir seu metal base, eventualmente permitindo a produção do aço em sua forma final. A sinterização envolve o uso de altas temperaturas para aquecer uma mistura em pó, até sua fusão, criando uma massa porosa, que é então colocada no alto-forno. Conforme mostrado na Figura 1, a mistura inicial, consistindo de minérios de ferro finos, coque (combustível), e fundente (calcário), é alimentada na usina e inflamada, enquanto o ar é sugado por debaixo da mistura para acelerar a combustão do coque para baixo e impulsionar a fusão parcial do minério e solidificação, calcinação e secagem.

Aumentos de eficiência, especialmente na fabricação, muitas vezes se manifestam através de redução no tempo de finalização do produto. “Se conseguirmos acelerar o processo e reduzir o período para sua conclusão, aumentaremos a eficiência”, explica o Dr. Yalcin Kaymak, um pesquisador do BFI. “Uma eficiência mais alta aumentará nossa produtividade, conservará energia, e até mesmo reduzirá as emissões.” Nos processos de sinterização, a redução no tempo de conclusão é obtida através da aceleração da combustão da mistura. A eficiência geral também depende de fatores como a permeabilidade e porosidade da mistura, níveis de vazão, campo de temperatura e resistência geral do sínter. Dr. Kaymak, Dr. Hauck (BFI), e Dr. Hillers (Shuangliang Clyde Bergemann) estudam o efeito de todos estes fatores em suas simulações numéricas.

Uma solução possível que o BFI explorou é a aeração da mistura bruta durante a alimentação, usando barras de permeabilidade horizontais e/ou verticais (Figura 2). Conforme a esteira se move, as barras de permeabilidade horizontais criam uma região de aeração local de formato oval. As barras de permeabilidade vertical cortam o leito compactado para criar uma região de aeração quase retangular. Neste caso, a região afetada é um plano vertical que segue o eixo da barra vertical. As barras de permeabilidade aumentam a porosidade do leito, melhorando assim o

fornecimento de ar ao combustível, acelerando a combustão e aumentando a eficiência. O foco da simulação foi determinar a configuração ótima das barras que resultasse no aumento mais substancial de porosidade.

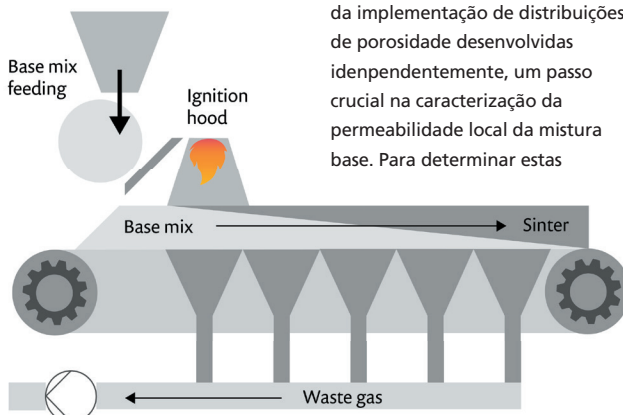


FIGURA 1. Esquema do processo de sinterização.

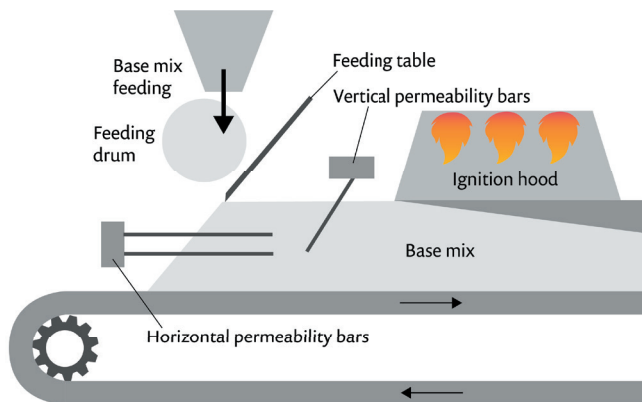


FIGURA 2. Esquema do processo de sinterização com as barras de permeabilidade adicionadas.

⇒ MODELAGEM MULTIFÍSICA DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO

O modelo matemático necessário para simular um processo de combustão na sinterização de minério de ferro é definitivamente um modelo multifísico, que consiste de inúmeros subprocessos que envolvem a transferência de calor, reações químicas como fusão e solidificação, e escoamento em meios porosos. Para integrar de modo eficaz estas diferentes físicas, a simulação multifísica é utilizada. “O COMSOL Multiphysics é rápido e oferece bastante flexibilidade”, disse o Dr. Kaymak. “Você pode editar expressões e controlar a malha de acordo com suas necessidades.” Total vantagem é obtida da flexibilidade para inserir no modelo expressões personalizadas, através da implementação de distribuições de porosidade desenvolvidas independentemente, um passo crucial na caracterização da permeabilidade local da mistura base. Para determinar estas

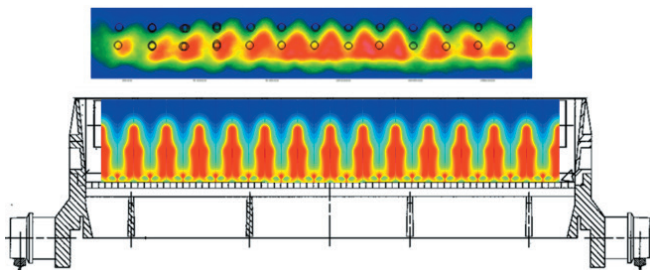


FIGURA 3. Zona de alta temperatura na descarga medida (parte superior) e simulada (parte inferior).

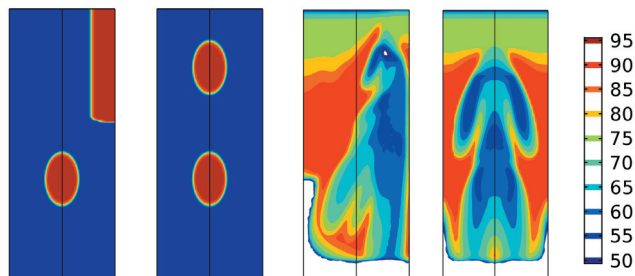


FIGURA 4. Estimativas de qualidade para duas configurações de barra de permeabilidade.

distribuições, configurações específicas de medições experimentais de velocidade do ar são utilizadas. Ao permitir o escoamento de ar pela mistura, as velocidades de ar resultantes podem ser medidas e a distribuição de porosidade pode então ser definida e inserida diretamente no software.

Após estudar meticulosamente a distribuição de porosidade e implementá-la no modelo geral, um processo de sinterização transiente pode ser subsequentemente simulado, gerando a definição de um perfil de temperatura e uma investigação detalhada em várias configurações. Complementarmente, a função de equações diferenciais ordinárias globais para operação de integração no tempo é utilizada para computar inúmeras quantidades relevantes, resultando em uma caracterização abrangente dos efeitos das configurações sobre o processo. Estas quantidades incluem a entrada e saída total de energia, teor de umidade, entrada total de substâncias, entrada total de energia na coifa de ignição, saída total de substâncias e volume total de gás.

Como a combustão é uma parte realmente importante do processo de sinterização, o perfil de temperatura de uma determinada configuração possui um impacto direto sobre o tempo de finalização e resistência do sínter. A resistência a frio é um indicador chave para a avaliação de qualidade do sínter, pois a alta resistência do sínter significa que este pode suportar as condições severas no processo de alto-forno. A resistência do sínter é medida por testes de queda e geralmente ela aumenta com o tempo passado acima da temperatura inicial de fusão. Desta forma, as informações sobre os perfis de temperatura locais em função do tempo podem ser utilizadas para estimar a resistência a frio local. Isto resulta em uma distribuição de qualidade através da seção transversal, conforme mostrado na parte superior da Figura 3.

Para validar os resultados da simulação, os perfis de temperatura foram comparados com descargas da usina observadas com termografia infravermelha, e se mostraram fortemente válidos. Os pequenos círculos na termografia medida na Figura 4 mostram a posição das barras de permeabilidade horizontais. É facilmente reconhecido que os locais da barra de permeabilidade coincidem com regiões de baixa temperatura.

A mesma tendência também é computada nos modelos de simulação.

⇒ RESULTADOS E TRABALHO FUTURO

As simulações demonstraram que com a configuração otimizada das barras de permeabilidade, a velocidade de sinterização pode ser elevada em até 40%. Estas configurações otimizadas consistem de duas fileiras empilhadas de barras horizontais ou barras verticais com barras horizontais entre elas. A configuração com duas fileiras de barras horizontais pode ser vista na Figura 5. No presente momento, conforme o BFI busca aumentar a complexidade e expandir o escopo deste modelo, a próxima etapa é garantir a qualidade e a manutenção da resistência durante o processo de sinterização.

Para gerar níveis adicionais de precisão e capacidades, os planos estão voltados para os trabalhos de expansão do modelo para cobrir fenômenos como a difusão e dispersão nas equações de convecção e emissões de NOx. Também faz parte dos planos o uso da ferramenta Application Builder para criar e implementar aplicativos de uso simples para auxiliar os operadores das usinas. Os especialistas podem customizar a interface e controlar as entradas e saídas que o aplicativo apresenta, possibilitando aos profissionais

sem qualificação em simulações a focarem-se apenas nos parâmetros relevantes enquanto operam os aplicativos. Estes aplicativos podem ser subsequentemente implementados com o produto COMSOL Server™ às pessoas em toda a organização, expandindo

“O COMSOL Multiphysics é rápido e oferece bastante flexibilidade.”

— YALCIN KAYMAK, PESQUISADOR NA BFI

assim o poder da modelagem multifísica. Os seguintes temas são de particular interesse a eles: fluxo de energia específico, temperatura do leito, temperatura do gás de exaustão, consumo de coque, calcinação, sulfatação, condensação e qualidade do sínter. “Os operadores não possuem experiência em simulação, tampouco conhecem os detalhes do software”, explica o Dr. Kaymak. “Entretanto, com um aplicativo amigável, eles podem ser criativos com os parâmetros que são especificamente mais importantes para eles, modelar alterações rápidas e ver os efeitos imediatamente.” ❖



FIGURA 5. Sistema de alimentação de sínter na usina em operação com duas fileiras de barras de permeabilidade horizontais.

O som da perfeição graças à modelagem de metassuperfícies acústicas

As metassuperfícies acústicas são cuidadosamente desenvolvidas para controlar, direcionar e manipular ondas sonoras, de forma a produzir uma propriedade acústica específica (ex.: um índice de refração negativo) que não está prontamente disponível na natureza. Uma equipe de pesquisa da École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), na Suíça, fez a simulação de uma nova metassuperfície acústica “ativa” que pode ser utilizada para melhorar as características acústicas de salas de concerto e casas com isolamento acústico, ou para abafar ruídos irritantes do motor durante um voo.

por **GEMMA CHURCH**

Uma restrição fundamental dos tratamentos acústicos convencionais é que suas dimensões limitam seu uso em função da frequência (quanto mais finos, mais baixo é o desempenho em relação às frequências baixas), ou que eles contam com as ressonâncias para elevar o efeito acústico, e estão assim restritos a uma faixa de frequência bastante estreita. Por exemplo, um absorvedor de membrana (bass trap) colocado no canto de um estúdio de gravação para absorver sons de baixa frequência, que se amplificam e interferem com a qualidade do áudio que produzido, apenas afeta uma faixa de frequência limitada ao redor de sua ressonância. Entretanto, estas inconvenientes frequências graves geralmente abrangem a faixa de 20 a 200 Hz e um único tratamento acústico não é capaz de absorver toda esta faixa de frequências.

⇒ DIRECIONANDO O TRÁFEGO DA FRENTE DE ONDA

Não é muito prático implementar um projeto de absorção de som em baixas frequências, pois a estrutura resultante seria muito volumosa e bastante difícil de ser otimizada. Hervé Lissek, chefe do grupo de estudos de acústica na EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), disse: “As capacidades de ressonadores de membrana tradicionais estão restritas a uma faixa de apenas alguns hertz, uma limitação que impede sua aplicação de forma mais abrangente. Nossa ideia foi desenvolver um projeto que abrangia uma ampla faixa e fosse ativo em sua natureza.” Isto levou ao desenvolvimento do

conceito do Ressonador Eletroacústico Ativo (AER), onde um alto-falante convencional é utilizado como um absorvedor de membrana, cujo comportamento acústico pode ser modificado por meios elétricos (Figura 1).

Com o conhecimento adquirido através do estudo destes AERs, Lissek e sua equipe abordaram o conceito de metassuperfícies acústicas. Uma metassuperfície acústica é basicamente uma superfície composta de pequenos elementos acústicos (membranas, pequenas perfurações, cavidades, etc.), que são projetadas de forma a proporcionar, como um todo, novas propriedades acústicas que cada elemento individual não é capaz de proporcionar por si só. No conceito de metassuperfícies, o conjunto confere as propriedades acústicas ao nível dos comprimentos de onda que são muito maiores do que o tamanho de cada elemento (estas células unitárias são desta forma qualificadas como “subcomprimento de onda”). A metassuperfície pode então ser projetada para proporcionar a absorção de som ou direcionar ondas refletidas na metassuperfície em um determinado ângulo.

⇒ ADAPTAÇÃO ATIVA PODE CRIAR UM ARCO-ÍRIS DE SOM

Para a modelar uma metassuperfície acústica, deve-se decompor esta superfície em células unitárias de subcomprimento de onda para remodelar artificialmente a frente de onda acústica e produzir o resultado desejado. A metassuperfície acústica ativa proposta por



FIGURA 1. Protótipo de ressonador eletroacústico ativo. Crédito da imagem: EPFL/Alain Herzog.

Lissek e sua equipe consiste de uma matriz superficial de diafragmas de alto-falante de subcomprimento de onda, cada um com impedâncias acústicas ativas individuais e programáveis, permitindo o controle local ao longo das diferentes fases de reflexão pela metassuperfície acústica.

Uma estrutura de controle ativo é utilizada para controlar a fase de reflexão ao longo da metassuperfície. Isto deriva do conceito dos AERs, onde estes ressonadores podem ser afinados ou ajustados através de esquemas de controle eletroacústico (Figura 3). Lissek explica: “Nós podemos alterar o modo pelo qual esta metassuperfície reage a um perfil sonoro, ajustando eletricamente as membranas. Além disso, isto permite às membranas adaptarem-se ao som que chega. Por exemplo, se você está tentando mascarar o ruído do motor de um avião, a natureza ativa da metassuperfície acústica ativa significa que esta irá se alterar conforme a frequência do motor muda durante as diferentes fases do voo, frequência esta que pode estar na faixa de algumas centenas até alguns milhares de hertz.” Em um AER, sabe-se que o controlador pode atingir uma ampla variedade de impedâncias acústicas em um único diafragma de alto-falante utilizado como ressonador acústico, com a possibilidade de deslocamento de sua frequência de ressonância em até mais de uma oitava.

Pode-se até mesmo levar este conceito para a reflexão de ondas sonoras em uma determinada forma. Lissek acrescentou: “Caso algum ruído

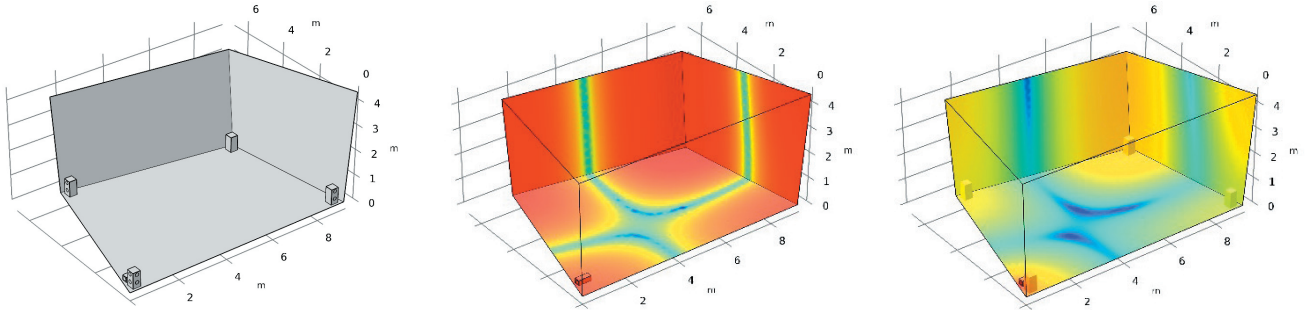


FIGURA 2. Esquerda: Geometria da câmara reverberante com quatro protótipos de AER nos 4 cantos. Meio e direita: Distribuição do nível de pressão sonora na câmara excitada em modo a 110 e 35,3 Hz sem e com absorvedores, respectivamente.

de banda larga (a contraparte acústica da luz branca) incida sobre a metassuperfície acústica, esta superfície pode dividir o ruído, agindo como um prisma acústico, onde é possível dirigir cada frequência constituinte em direções diferentes. Sob uma perspectiva artística encontramos muitas implicações fascinantes, pois seria possível gerar um arco-íris de som, porém as aplicações mais paupáveis estão principalmente na redução de ruído.”

⇒ **A SIMULAÇÃO NUMÉRICA ORIENTA O PROJETO ACÚSTICO**

Existem muitos fenômenos complexos que devem ser levados em consideração ao simular uma metassuperfície acústica e o ambiente acústico ao redor. Lissek diz: "O COMSOL Multiphysics nos dá a capacidade de avaliar o desempenho sonoro dos dispositivos que projetamos. Ainda mais, nos dá um insight preciso da física dos dispositivos que muito provavelmente não poderemos avaliar experimentalmente."

“O COMSOL Multiphysics nos dá a capacidade de avaliar o desempenho sonoro dos dispositivos que projetamos. Ainda mais, nos dá um insight preciso da física dos dispositivos que muito provavelmente não poderemos avaliar experimentalmente.”

— HERVÉ LISSEK, CHEFE DO GRUPO DE PESQUISAS ACÚSTICAS NA EPFL

Vamos voltar a nosso exemplo anterior de um estúdio de gravação e estende-lo. Agora temos quatro pequenos absorvedores ativos posicionados nos cantos de uma sala para absorver sons de baixa frequência (Figura 2). Para simular como estes dispositivos absorverão e afetarão o som dentro da sala, deve-se conhecer a pressão sonora em diferentes pontos da sala. Lissek explicou: "Com a simulação multifísica, nós podemos obter instantaneamente a distribuição de frequências na sala, seja com ou sem a presença dos absorvedores ativos. Nós podemos então modelar a distribuição do som na sala para aprender os parâmetros importantes, como o tempo de decaimento modal para o som se dissipar na sala em suas frequências de ressonâncias."

"Nos podemos fazer tudo isso em apenas dez segundos, com a ajuda do software. Não precisamos de medições acústicas em todos os pontos do espaço. Nós podemos mapear com facilidade a distribuição de pressão sonora, conforme movemos os absorvedores para diferentes posições ao redor da sala, e extrapolamos como estas mudanças alteram a distribuição de pressão sonora", Lissek comentou.

⇒ **ENCONTRANDO A DIRETIVIDADE CORRETA COM O PROJETO CORRETO DE METASSUPERFÍCIES**

Muitos tipos diferentes de metassuperfícies acústicas foram propostos e simulados por Lissek e sua equipe. Estes incluem células acústicas unitárias em espiral, ressonadores Helmholtz, e metassuperfícies acústicas ativas.

As propriedades de reflexão foram inicialmente definidas para atribuir leis de controle individuais para cada célula unitária da AER. As configurações de controle identificadas foram então aplicadas a uma célula unitária de AER baseada em um alto-falante eletrodinâmico

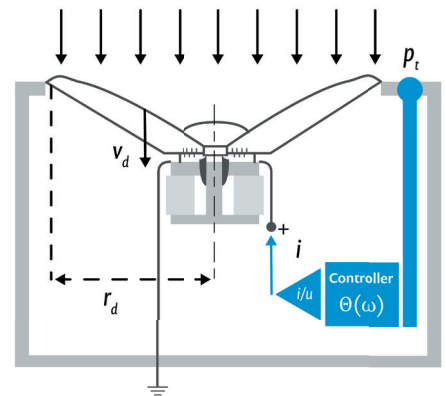


FIGURA 3. Ilustração do conceito dos ressonadores eletroacústicos ativos (AER).

disponível comercialmente para avaliar experimentalmente a viabilidade das fases de reflexões almeçadas em uma metassuperfície com 32 elementos (Figura 4). Uma vez que os coeficientes de reflexão foram verificados, a metassuperfície foi modelada numericamente, onde uma simulação de onda completa foi executada. "Os elementos individuais se movem como pistões. Eles não são governados por complexas dinâmicas estruturais. Portanto, nós simplesmente designamos a impedância acústica alcançável de cada membrana do modelo", explicou Lissek.

Dois casos foram simulados com uma onda plana de pressão ao fundo, com ângulo incidente de -45°. O ângulo desejado para a onda refletida sobre a metassuperfície foi configurado para 60° e 0°, rompendo a lei da reflexão de Snell-Descartes. Os resultados da simulação nas figuras 5 e 6 representam os mapas de nível de pressão sonora refletida ao longo do plano xz para os dois ângulos estudados a f=350 Hz. Pode-se observar que a impedância acústica imposta nas células unitárias da metassuperfície realmente permitem que as frentes de onda sejam guiadas em direção ao ângulo definido.

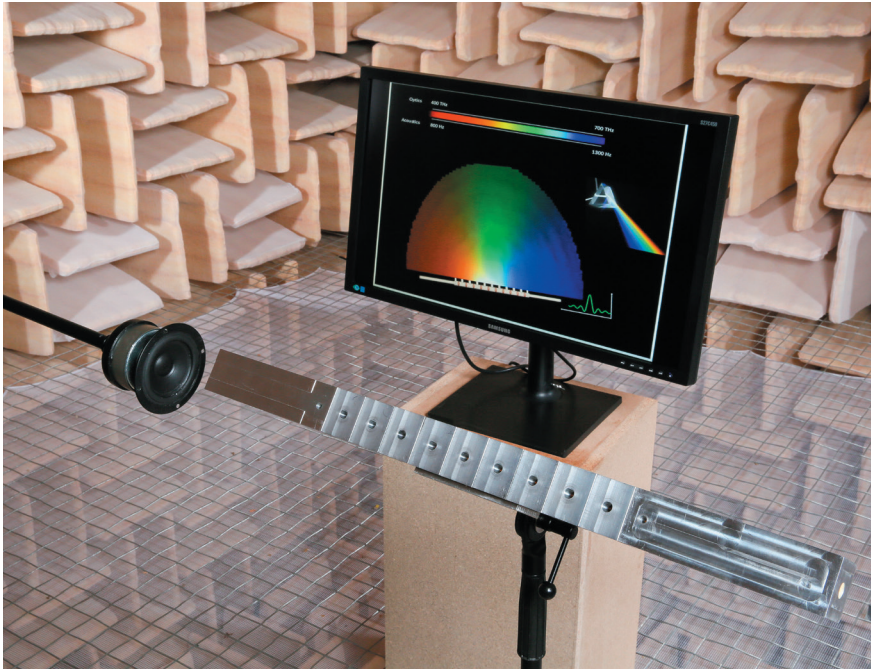


FIGURA 4. Protótipo de prisma acústico dispersivo. Crédito da imagem: EPFL/Alain Herzog.

As Figura 5 e 6 demonstram que há uma boa concordância entre as diretividades atingidas e os ângulos refletidos almejados, o que confirma a eficácia do AER em alcançar um direcionamento coerente ao longo de uma faixa de frequência relativamente ampla (praticamente uma oitava em torno de 350 Hz). Demonstrada a eficácia das metassuperfícies acústicas ativas ao longo de uma ampla gama de frequências, os pesquisadores foram capazes de avançar seus projetos e investigações experimentais graças à simulação. Lissek comenta: “Eu não me considero um especialista

em modelagem FEM. Portanto, um dos maiores benefícios, na minha opinião, do COMSOL Multiphysics, é que o software proporciona um conjunto de ferramentas fácil de usar, ainda assim poderoso e facilmente acessível.”

⇒ O AVANÇO DAS PESQUISAS SOBRE METASSUPERFÍCIES

Os pesquisadores querem progredir para uma simulação completa em 3D da metassuperfície acústica. Lissek disse: “Para as finalidades desta pesquisa preliminar, utilizamos um modelo simplificado 1D (assumindo que a metassuperfície

possui um tamanho infinito na direção do eixo y) e o que permitiu uma computação mais rápida. Porém, um modelo que represente a metassuperfície 2D real em um domínio acústico 3D completo deve fornecer mais informações sobre as propriedades das ondas refletidas (ex.: o truncamento da metassuperfície ao longo dos eixos x e y deve aumentar a direcionalidade da onda refletida).” Eles também estão integrando a modelagem concentrada de circuitos em seus trabalhos, para obter melhores insights do acoplamento entre o domínio acústico e as quantidades elétricas utilizadas no controle ativo, tais como o fluxo de correntes elétricas que vai para os AERs individuais. Isto também pode ajudá-los a desenvolver estratégias avançadas de controle onde, por exemplo, todos os AERs estão eletricamente interconectados.

Para estender ainda mais seu trabalho, Lissek e sua equipe gostariam de investigar como integrar estas metassuperfícies acústicas em projetos de salas. “Por exemplo, imagine as possibilidades de um teatro ou uma sala de concerto com metassuperfícies acústicas ajustadas, onde as reflexões sonoras podem ser espacialmente controladas para criar uma qualidade sonora consistente. Se pudéssemos controlar eletricamente a propagação do som em uma sala, isto seria como o Cálice Sagrado para qualquer profissional que trabalha com a acústica”, conclui Lissek. ✦

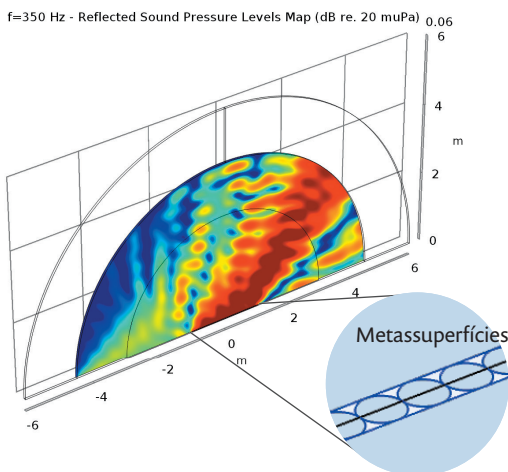


FIGURA 5. Níveis de pressão sonora refletida com 32 x 32 células unitárias a $f = 350$ Hz, para um ângulo refletido prescrito de 60° .

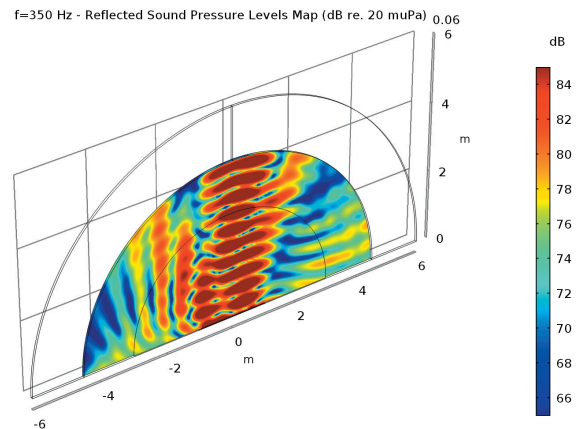


FIGURA 6. Níveis de pressão sonora refletida com 32 x 32 células unitárias a $f = 350$ Hz, para um ângulo refletido prescrito de 0° .

OTIMIZANDO O PROJETO DE VEÍCULOS DE PASSEIO COM APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO

A equipe da empresa Mahindra adotou aplicativos de simulação para acelerar o processo de projeto de produto e encorajar uma cultura de colaboração.

por **ADITI KARANDIKAR**

O projeto de produtos para os fabricantes automotivos modernos é um processo iterativo, que exige a colaboração entre analistas de engenharia auxiliada por computador (CAE), engenheiros de projeto, equipe de fabricação e os fornecedores. Conforme os novos veículos são introduzidos em um ritmo acelerado, uma colaboração eficiente é necessária para simplificar o processo de iteração e manter uma vantagem competitiva no cenário atual de consumidores. Um dos principais esforços para uma empresa como a Mahindra é renovar seus processos, enquanto garante a qualidade, segurança e confiabilidade esperadas por seus clientes. Os aplicativos de simulação são essenciais para a sucesso da equipe, a fim de tornar o processo de design mais inclusivo e robusto.

⇒ DESAFIOS DURANTE O PROJETO DE PRODUTOS

A colaboração pode ser um processo longo, o qual que exige que diferentes equipes consolidem seus conhecimentos e experiências de forma que faça sentido e seja eficiente. Os engenheiros de projeto demandam avaliações de novos conceitos ou ajustes em projetos já existentes, o que pode ser difícil devido à complexidade das físicas envolvidas. Os Analistas CAE, por outro lado, possuem o conhecimento de simulação necessário para gerenciar altos níveis de complexidade. Eles podem fornecer auxílio com as avaliações de conceito, através de detalhadas análises de CAE. Porém, com um número limitado de analistas e um crescente volume de pedidos, pode ser difícil obter estas avaliações em tempo.

O prazo de entrega de projeto para um componente em particular do veículo varia com o número de iterações de ida e volta necessárias para finalizar o componente, sendo necessário meses em certos casos.

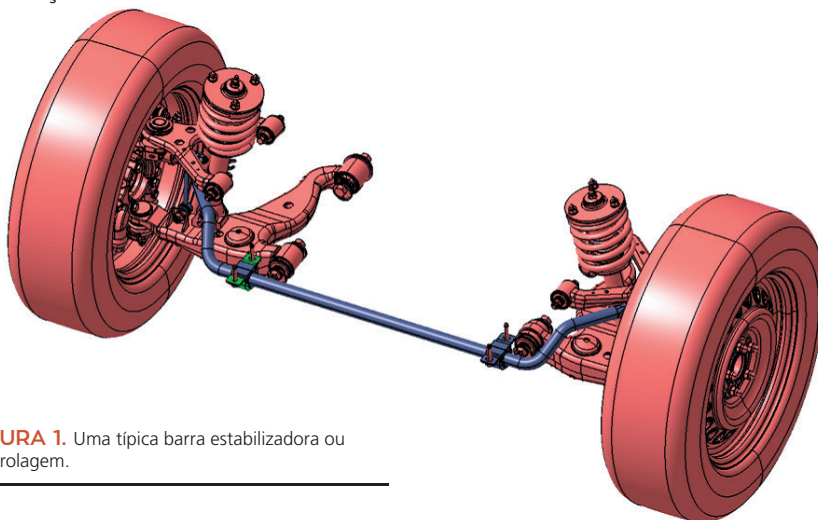


FIGURA 1. Uma típica barra estabilizadora ou anti-rolagem.

Dependendo da complexidade de projeto da proposta enviada, a análise CAE em si pode precisar de semanas ou meses para ser concluída. Com base nos resultados da simulação, a equipe de projeto faz certas modificações e, mais uma vez, aguarda a validação do projeto pela equipe de CAE. Estas iterações são cruciais à segurança e confiabilidade do veículo.

Para vencer esta corrida contra o relógio, a equipe de métodos na Mahindra tem explorado a ferramenta Application Builder, disponível no software COMSOL Multiphysics®. A equipe observou as várias opções para os projetos de barra estabilizadora e chassis através dos aplicativos de simulação. A adoção de aplicativos resultou em reduções substanciais nos tempos de iteração, em comparação à abordagem convencional.

“A adoção de aplicativos resultou em reduções substanciais dos tempos de iteração, em comparação às abordagens convencionais.”

⇒ UMA ABORDAGEM INOVADORA PARA O PROJETO DA BARRA ESTABILIZADORA

A barra estabilizadora, mostrada na Figura 1, é um componente crítico da suspensão, utilizado para limitar a rolagem de um veículo. O projeto deste componente é tipicamente uma viga oca ou sólida, com múltiplas curvas. Para modelar com precisão as deformações e tensões neste componente, a equipe de projeto deve garantir que os níveis de rigidez e tensão apropriados sejam atingidos, seja por colaboração com os analistas de CAE ou solicitando a validação de seus fornecedores. Uma vez que o modelo foi validado e os resultados estavam em concordância com os experimentos, um aplicativo de simulação foi criado.

O aplicativo de simulação da barra estabilizadora pode acomodar uma ampla variedade de configurações de projeto, com até quinze curvas, e a opção de explorar barras do tipo oca ou sólida, como o exemplo mostrado na Figura 2. O usuário final, geralmente um membro da equipe de projeto, insere as coordenadas das curvas para representar a geometria da barra estabilizadora e fornece a localização dos mancais, rigidez das buchas e parâmetros da seção transversal. O analista

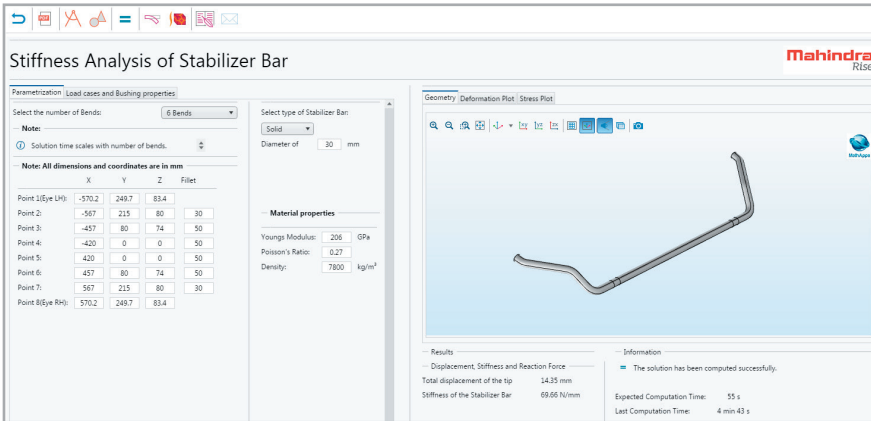


FIGURA 2. Aplicativo de simulação que permite a criação da geometria e cálculo da rigidez e deslocamento de uma barra estabilizadora.

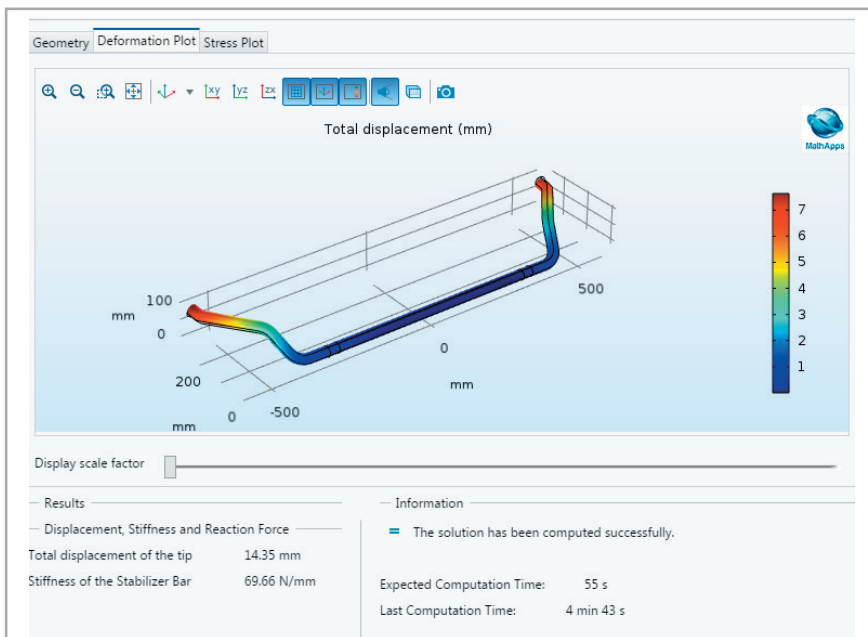


FIGURA 3. Os resultados obtidos do aplicativo que calcula a rigidez de uma configuração em particular da barra estabilizadora.

de CAE predefiniu as restrições no aplicativo, simplificando e acelerando o processo para o projetista executar simulações precisas; computar a rigidez da barra e modelar as tensões para os casos de carga padrão, ilustrados na Figura 3. O tempo típico de execução do aplicativo é de alguns minutos, possibilitando à equipe de projeto executar sucessivas iterações e obter feedback imediato sobre seus projetos. Sabendo que o aplicativo de simulação se baseia em um modelo multifísico validado, a equipe de projeto tem confiança nos resultados, sem a necessidade de treinamentos adicionais em simulação. A equipe da Mahindra descobriu que os aplicativos economizam

quantidade significativa de tempo e encorajam a colaboração. Além disso, a nova cultura de colaboração tem encorajado um sentimento maior de propriedade do produto final, pois o projeto pode ser gerado em um ou dois dias, reduzindo a dependência do fornecedor.

⇒ REDUZINDO AS ITERAÇÕES NO PROJETO DE CHASSIS

O chassi é outro importante componente submetido a cargas, que fornece rigidez ao veículo, e serve como uma base para a montagem de outros componentes, tais como o motor e transmissão. Uma das arquiteturas mais comuns é uma estrutura do tipo escada, com dois longos membros laterais e um número de membros transversais (Figura 3). O número, tamanho, posição e formato dos membros transversais são parâmetros importantes que são decididos nos estágios iniciais do projeto.

A carga suportada pelo chassi resulta em cargas combinadas de flexão e torção, para as quais não há soluções analíticas simples disponíveis. A abordagem convencional envolve a avaliação de múltiplas configurações de chassi, com base nos requisitos de acondicionamento, seguida por inúmeras iterações de CAE para finalizar o projeto. O acondicionamento correto garante que todas as peças trabalhem em conjunto, sem qualquer interferência e com o acesso adequado para a montagem e desmontagem. O melhor projeto deve ser estruturalmente seguro enquanto satisfaz os requisitos de acondicionamento. Ao mesmo tempo em que se considera os aspectos de acondicionamento, cada iteração de CAE completa envolve três

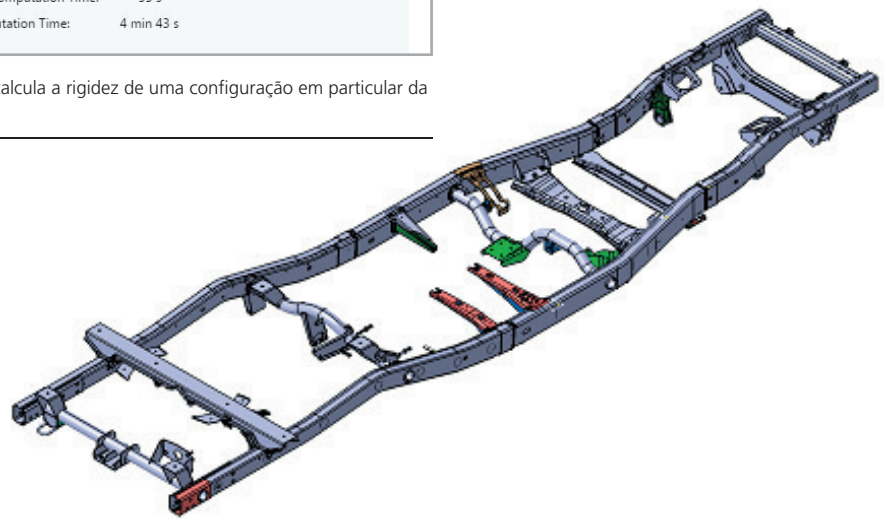


FIGURA 4. Geometria criada no software CATIA® representando a estrutura de um típico chassi de veículo utilitário.

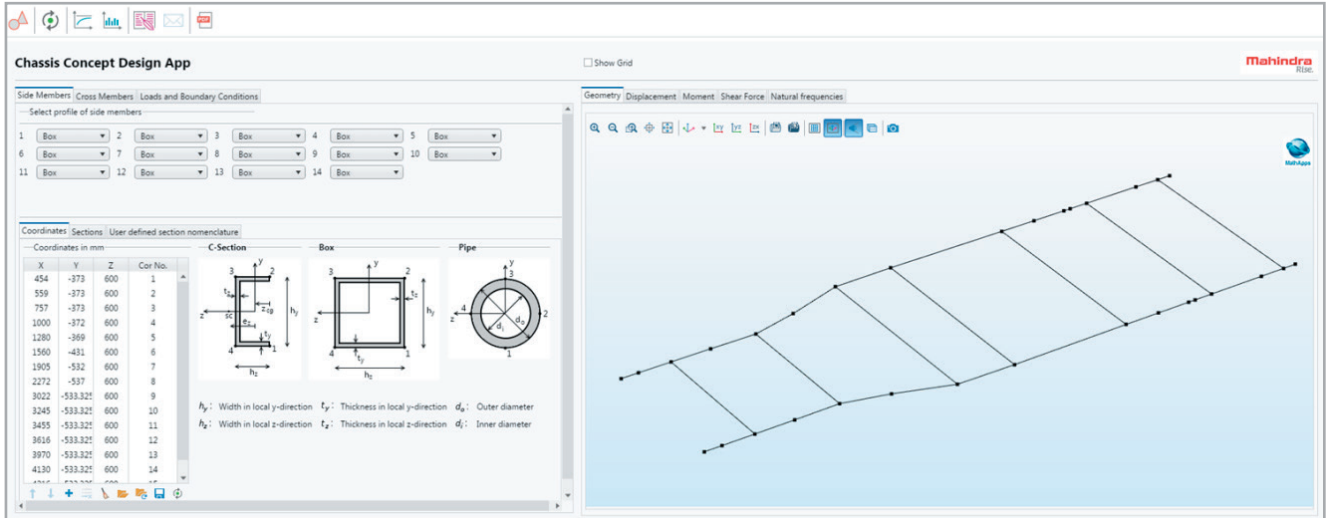


FIGURA 5. Interface do usuário do aplicativo para simulação de chassis disponível no portal interno da Mahindra, chamado MathApps.

análises separadas: rigidez à flexão, rigidez torsional e modal. Esta abordagem exige de três a quatro iterações de CAE completas, cada uma geralmente levando de duas a três semanas.

Com o uso do COMSOL Multiphysics, a equipe foi capaz de combinar as três análises separadas, resultando em apenas uma ou duas iterações CAE completas, economizando um tempo precioso. Então, eles avançaram com a criação de um aplicativos de simulação para o projeto de chassis, com um modelo de viga 1D (Figura 5), baseado na teoria da viga de Timoshenko. O usuário final não precisa conhecer o modelo matemático resolvido para beneficiar-se dos resultados oferecidos pelo aplicativo. A simulação pode ser concluída em questão de segundos, mesmo para um projeto complexo de chassis, com várias seções transversais e membros. A análise de viga fornece resultados rápidos e confiáveis para uma ampla gama de configurações e computa os valores de rigidez torsional e de flexão e deslocamento, conforme mostrado na Figura 6. O aplicativo de simulação é utilizado pela equipe responsável pelo projeto do chassis e barra estabilizadora. O aplicativo oferece a conveniência de avaliar vários parâmetros de projeto através de simples campos de texto, ao invés de criar um modelo CAD para cada configuração, o que economiza tempo tanto para o analista de CAE quanto para a equipe de suspensão.

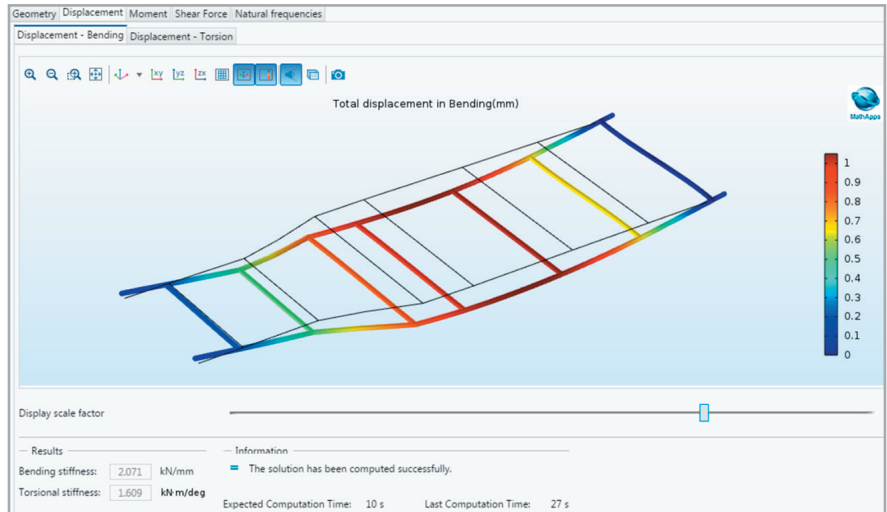


FIGURA 6. Resultados de simulação obtidos no aplicativo de chassis para uma configuração em particular.

⇒ APLICATIVOS DE SIMULAÇÃO E A ESTRADA ADIANTE

O caráter único dos aplicativos utilizados na Mahindra está em sua capacidade de lidar com uma ampla gama de variações paramétricas, físicas e condições de contorno. Isto permitiu aos projetistas explorar as várias opções de projeto em estágios iniciais da fase de desenvolvimento do produto, sem a necessidade de contar com analistas CAE, ou obter treinamento adicional em modelagem numérica. Os resultados dos estudos paramétricos são apresentados dentro das diretrizes de projeto, permitindo produtos eficientes e economicamente viáveis.

Os aplicativos de simulação foram desenvolvidos com base em detalhadas discussões com os projetistas e analistas de CAE, antes de serem implementados em várias equipes da Mahindra, através de uma instalação local do produto COMSOL Server™. Configurações complexas de projeto, que anteriormente estavam sob a guarda dos analistas CAE, estão hoje acessíveis aos projetistas, em uma plataforma conveniente e fácil de usar. A simulação multifísica e os aplicativos permitiram à Mahindra expandir suas capacidades de análise e também incluir, futuramente, análises vibroacústicas e termoestruturais em seus trabalhos de simulação. ❖

MULTÍFISICA PROTEGE TURBINAS EÓLICAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As simulações multífísicas ajudam os engenheiros da NTS a entender o que acontece quando raios atingem uma turbina eólica.

por **GARY DAGASTINE**

Conforme o mundo caminha para a redução de sua dependência dos combustíveis fósseis, o mercado global de turbinas eólicas vem crescendo, projetado para alcançar cerca de \$ 70 bilhões de dólares anualmente nos próximos anos. Apesar da energia eólica em tamanha escala representar uma grande realização, uma poderosa força da natureza está impedindo que esta indústria alcance seu potencial completo: os raios.

As descargas elétricas raios são a maior causa de tempo de inatividade não planejado em turbinas eólicas, responsáveis não apenas pela perda de incontáveis megawatts de energia, mas também pelos enormes custos de operação e manutenção.

Turbinas eólicas são particularmente suscetíveis a serem atingidas por descargas elétricas, devido a suas grandes alturas, localizações expostas e grandes pás giratórias. As descargas elétricas podem causar grandes danos, seja de forma direta ou indireta, em praticamente todos os componentes de turbinas eólicas, sistemas de controle e outros componentes elétricos. Os reparos não são apenas caros, mas também fisicamente desafiadores, em vista das restrições logísticas.



FIGURA 1. Gerador de alta tensão (Gerador de Marx de 2,4 MV) operado pela NTS.

A Lightning Technologies, uma empresa NTS, é líder mundial em projeto e validação de sofisticados sistemas de proteção contra descargas elétricas para a indústria aeroespacial, incluindo aviões, veículos espaciais e instalações de lançamento. Eles também desenvolvem sistemas para parques eólicos, complexos industriais, campos de golfe, parques temáticos e outros locais de alto risco.

Os engenheiros da NTS estão ativamente envolvidos nos comitês que compõem a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), que define os níveis de descargas atmosféricas e situações que as pás devem suportar. As normas da indústria, tais como a IEC 62305, exigem que os fabricantes de turbinas eólicas incorporem projetos de proteção contra descargas atmosféricas em suas pás. Para a máxima proteção, é essencial saber o nível de corrente da descarga que provavelmente passará por uma pá após a ocorrência de um raio, e precisamente por onde ela passará. O problema é que suposições simples sobre o comportamento da corrente de descargas frequentemente levam a conclusões imprecisas.

⇒ COMPREENSÃO PROFUNDA SOBRE A CORRENTE DAS DESCARGAS ELÉTRICAS

A NTS opera um dos mais completos laboratórios para simulação de descargas elétricas do mundo, em uma instalação de 18.000 pés quadrados, em Pittsfield, MA, EUA, com geradores de raios de 14 e 25 pés de altura, capazes de gerar tensões elétricas de até 2,4 MV (Figura 1).

A NTS está envolvida na pesquisa e desenvolvimento de projetos de proteção para pás de turbinas eólicas há décadas. Como as pás das turbinas eólicas são aerofólios, o profundo conhecimento da empresa sobre aplicações aeroespaciais é diretamente aplicável.

Justin McKennon, que lidera a Equipe de Modelagem Analítica na NTS Pittsfield, disse que os esquemas de proteção tradicionais das turbinas eólicas consistem de uma camada de proteção superficial (SPL) que cobre as as leves e altamente resistentes pás de compósito de fibra de carbono. Frequentemente, a SPL consiste de uma malha condutiva, destinada a transportar a corrente da descarga com segurança do ponto de "entrada" na pá para a terra.

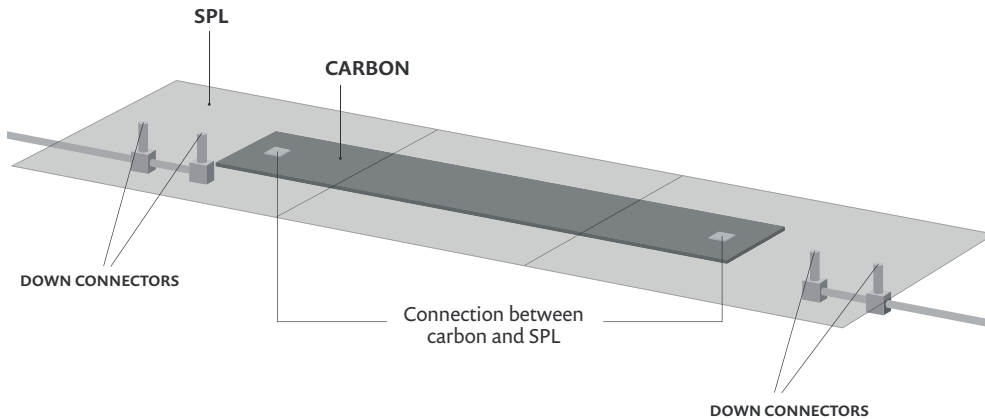


FIGURA 2. Geometria da fina camada de proteção superficial de alumínio (SPL) colocada sobre um compósito de carbono.

“Muitas arquiteturas de pás possuem camadas estruturais de fibra de carbono empilhadas correndo paralelamente à SPL, com conexões elétricas periódicas entre o compósito e a SPL durante todo o comprimento da pá”, McKennon explica. “Isto é feito para evitar que uma alta tensão se desenvolva entre as duas camadas. Pois, se isto acontecer, a formação de um arco voltaico pode acontecer, danificando a pá. Entretanto, enquanto estas conexões elétricas podem reduzir a tensão, elas também permitem que corrente flua pelo carbono, o que cria considerações adicionais de projeto.”

Compreender a capacidade de compósito de carbono de conduzir vários níveis de corrente, em conjunto com outros fatores tais como prováveis pontos “entrada” e possibilidades de perfuração, não é algo trivial. McKennon disse que dão o custo para testar fisicamente estas pás, algumas com mais de 70 metros de comprimento, a modelagem numérica dos efeitos das descargas elétricas tornou-se uma parte crucial do processo de projeto.

“Devido à complexidade da física envolvida, é fácil usar hipóteses inadequadas que podem ter um grande efeito sobre a precisão dos modelos”, disse McKennon.

⇒ SIMULAÇÃO AJUDA A REDUZIR SUPERDIMENSIONAMENTO

Uma hipótese comum, mas inadequada, é assumir que a condutividade do compósito de carbono é a mesma em todas as direções, embora,

na realidade, possam existir diferenças na condutividade nas diferentes direções. A Figura 2 mostra a geometria de um compósito de carbono colocado 5 mm abaixo de uma malha SPL com 500 µm de espessura, feita de uma lâmina de alumínio, a qual possui uma condutividade determinada de acordo com as medições

experimentais. A condutividade do carbono também é determinada

de acordo com os valores experimentais, e ambos os comportamentos o isotrópico ideal e o anisotrópico realista foram considerados no modelo do COMSOL.

Uma representação analítica de uma forma de onda de corrente no padrão IEC é utilizada para injetar corrente em uma das extremidades da camada SPL. A corrente sai na extremidade oposta, através de um condutor de descida, feito de cobre, assim como todas as conexões ao carbono.

Para investigar seus projetos e modelar a propagação de pulsos eletromagnéticos, McKennon resolveu uma equação de onda em função do tempo para o potencial vetor magnético no software COMSOL Multiphysics®. Os resultados permitiram a ele determinar as correntes associadas, os campos elétricos e outros valores nestes pontos, proporcionando uma compreensão do comportamento geral da corrente através de toda a estrutura.

O caso isotrópico subestima a

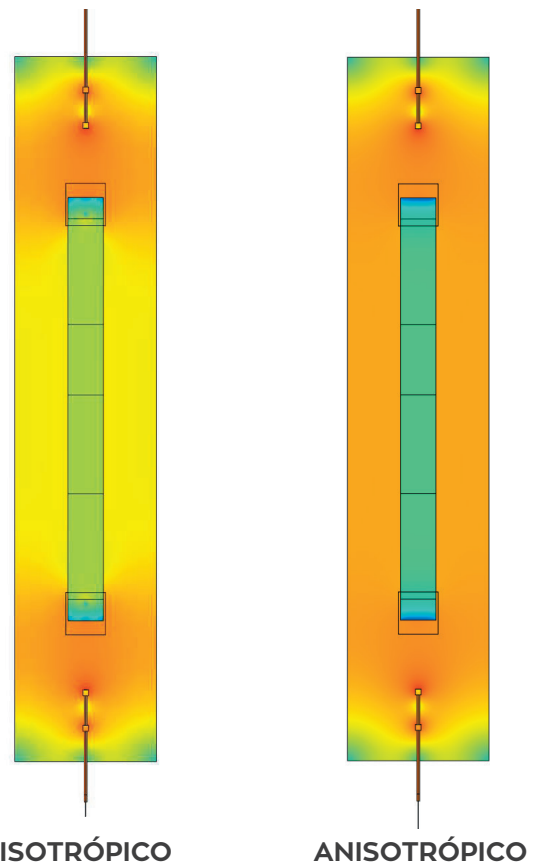


FIGURA 3. Os resultados de simulação mostram que a quantidade de corrente na camada SPL no caso isotrópico idealizado é significativamente menor do que o caso anisotrópico realista.

“Nossa capacidade de simular e ajustar modelos com rapidez reduz amplamente os riscos do programa e permite que dados de engenharia sejam obtidos praticamente de forma sob demanda.”

quantidade de corrente que passa pela camada SPL, inferindo que mais corrente passa pelo carbono e não pela camada SPL (Figura 3). O carbono é feito de muitas camadas de fibras individuais. É bastante condutivo na direção das fibras, porém fazer com que a corrente entre e saia do carbono é bastante desafiador. Caso muita corrente tenha que passar através de uma interface entre o carbono e outro material, muitas das fibras individuais do carbono podem se queimar devido ao aquecimento e/ou formação de arcos elétricos. O carbono suporta as principais cargas estruturais, e danos nele reduzem amplamente a vida útil da pá e, em alguns casos, podem causar a perda catastrófica da pá. Níveis maiores de corrente no carbono é algo que os engenheiros definitivamente querem evitar.

O caso isotrópico sobrestima a quantidade de corrente no carbono porque ignora as resistências reais dependentes da orientação no carbono (Figura 5). Desta forma, em vista de seu grande volume e comprimento, o carbono parece ser o caminho preferido pela corrente do que a camada SPL, embora esta não seja a realidade. Esta noção sobreestimada introduziria desafios adicionais que não são reais, reduzindo assim a velocidade do processo de desenvolvimento e levando a um produto com um superdimensionamento excessivo.

McKennon diz, "Para a modelagem de tais físicas complexas você realmente precisa saber o que é importante e o que é apenas ruído, e deve construir cuidadosamente seu modelo, indo passo à passo, para que nenhum erro ou hipóteses falsas sejam introduzidas e que possam afetar significativamente seus resultados."

⇒ RESULTADOS CONFIÁVEIS PARA DECISÕES NOS NEGÓCIOS

"Nossa capacidade de simular e ajustar modelos com rapidez reduz amplamente os riscos do programa e permite que dados de engenharia sejam obtidos praticamente de forma sob demanda", disse McKennon. "Ao invés de gastar quantidades consideráveis de tempo e dinheiro, fabricando dispositivos de teste complexos, podemos utilizar o COMSOL para simular os fenômenos físicos e reduzir drasticamente o escopo de problemas para estes projetos. Em muitos casos, os dados críticos simplesmente não podem ser medidos em dispositivos de teste reais, exigindo assim a simulação e análise para preencher estas lacunas."

"Tempo é dinheiro em nossa indústria, e nossos clientes estão muito contentes com o serviço que podemos fornecer agora, graças a estas capacidades. Na realidade, alguns clientes estão tão confiantes em relação à validade de nossas simulações que começaram a tomar decisões de negócios baseados apenas em nossos resultados, com pouca verificação experimental. Com tudo isso em jogo, nós simplesmente não podemos nos dar a chance de cometer erros, e o COMSOL é uma ferramenta valiosa, a qual acreditamos fornecer precisão do mundo real." ❖

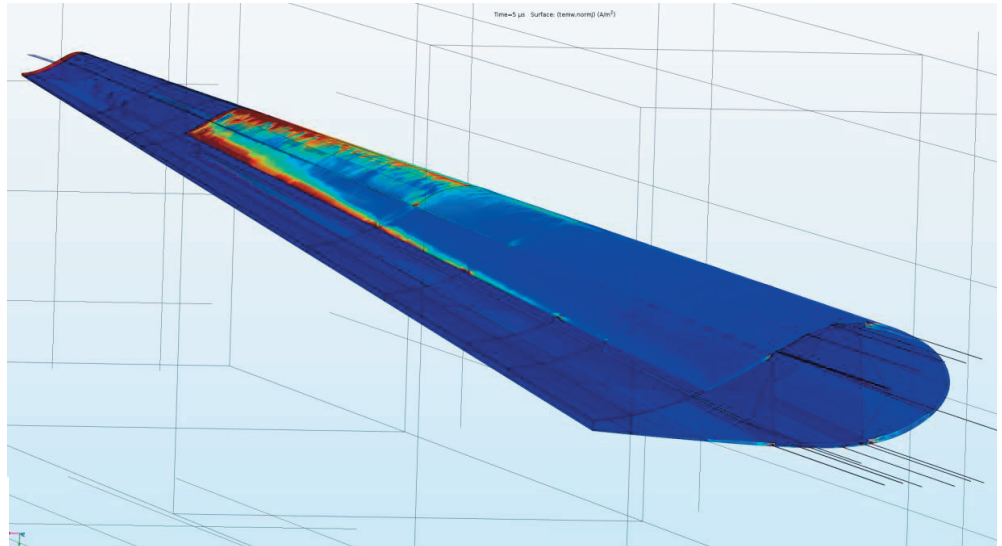


FIGURA 4. Resultados de simulação mostrando a densidade de corrente em uma pá de turbina eólica feita de algumas camadas empilhadas de carbono.

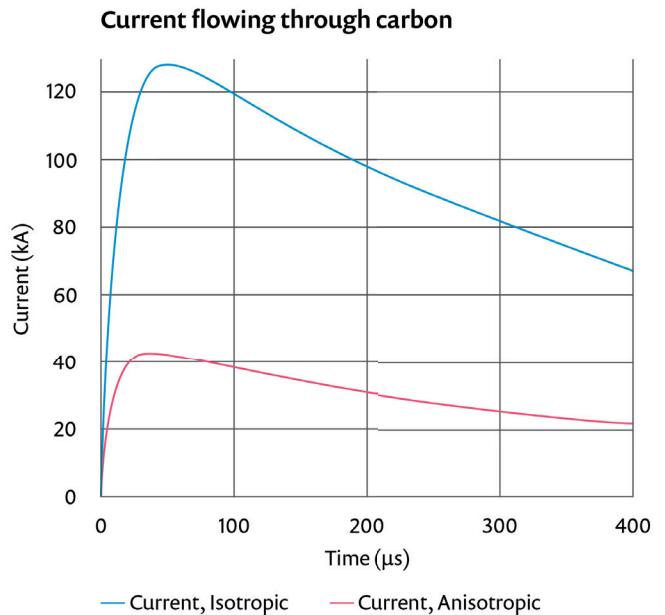


FIGURA 5. Um gráfico demonstrando os níveis de corrente nos casos isotrópicos e anisotrópicos do carbono.



Justin McKennon, líder da equipe de modelagem e trabalhos analíticos, NTS.

COMSOL CONFERENCE 2018

AUGUST 9-10
BANGALORE, INDIA

OCTOBER 3-5
BOSTON,
UNITED STATES

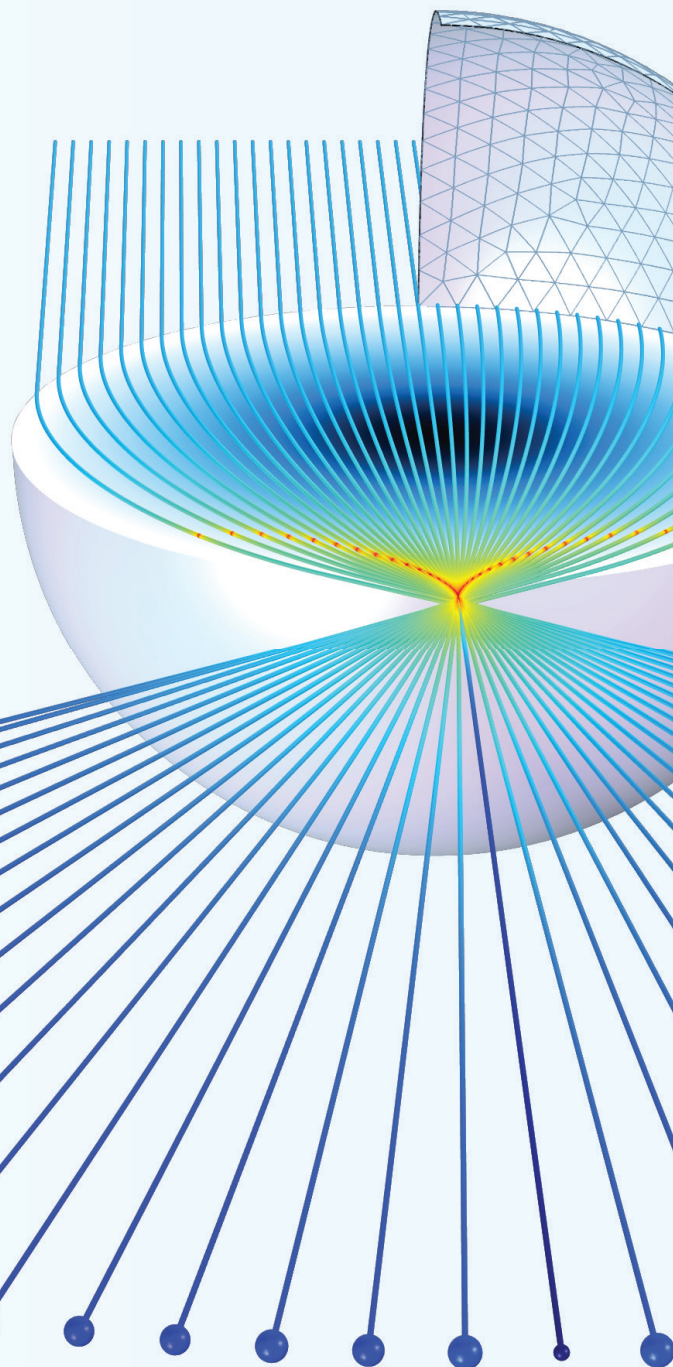
OCTOBER 22-24
LAUSANNE,
SWITZERLAND

NOVEMBER 1-2
SHANGHAI, CHINA

NOVEMBER 9
TAIPEI, TAIWAN

NOVEMBER 23
SEOUL,
SOUTH KOREA

DECEMBER 7
TOKYO, JAPAN



Experience the premier event for
multiphysics simulation.

Register today at:
comsol.com/conference

 COMSOL

Educação STEM: Aplicativos de simulação preparam os alunos para a vida além da sala de aula

por **IVANA MILANOVIC, UNIVERSIDADE DE HARTFORD**

Era uma vez uma época na qual ser professor era fácil — tínhamos giz e lousas, problemas práticos e lições de casa. Muita coisa não mudou por muitas décadas, independentemente das ferramentas com as quais trabalhávamos: lápis, régua de cálculo ou calculadora. Currículos de graduação em engenharia usavam cursos eletivos e de graduação para abordar os assuntos mais relevantes e as habilidades mais recentes a serem obtidas. Os professores lecionavam (com ou sem discussões Sócráticas) e faziam inúmeras derivações.

Nosso desejo e necessidade de melhorar o aprendizado de alunos e preparar melhor os graduandos para uma carreira bem sucedida nos levou a explorar vários modelos pedagógicos como aprendizado baseado em problemas em projetos ou em investigações (IBL). Entretanto, as investigações exigem um investimento significativo em termos de tempo, tanto dentro quanto fora da sala de aula.

E quem tem o tempo para isso nestes cursos baseados em aulas lecionadas, onde a cobertura do material a ser exposto não permite muito

“Nossa experiência constatou que a integração de modelagem matemática, simulação numérica e técnicas de visualização impactou profundamente o desempenho de nossos alunos em sala de aula, e, além disso, ajudar a inspirar seus futuros além da academia.”

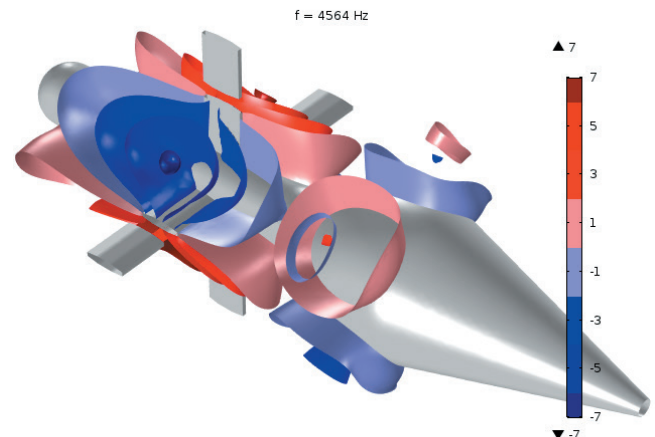
mais além disso? Como podemos aumentar a qualidade da educação em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM)?

Nossa abordagem combina um aprendizado baseado em problemas e investigações, simulações numéricas e aplicativos do software COMSOL Multiphysics®, e enfatiza a importância do aprendizado fora da sala de aula, com o suporte de eficazes materiais de referência e tutoria. Também mudamos da abordagem focada no fornecimento padrão de material e passamos a cobrir o que é crucial para o sucesso de nossos alunos, o que resulta em alunos mais engajados que, por sua vez, tem melhores níveis de desempenho acadêmico.

Na Universidade de Hartford, nós embutimos projetos baseados em simulação e IBL em dois cursos sucessivos do primeiro ano: mecânica dos fluidos e transferência de calor. Ambos os cursos foram modificados pra conter simulações modulares e contextualizadas com a construção de aplicações que desenvolvem competências técnicas em modelagem, um conhecimento mais profundo de conceitos de termofluidos, através da resolução de problemas tecnológicos realistas, e a elaboração de relatórios técnicos para cada simulação. Os aplicativos envolvem a criação de uma interface simplificada que contém a eficácia completa do modelo subjacente, sem expor o usuário final a sua complexidade. Para tanto, decidimos nos afastar do uso de lições de casa com nota e peso. O domínio da teoria e problemas analíticos é realizado por discussões em

sala de aula e estudo individual, enquanto a avaliação do conhecimento teórico e habilidades analíticas se baseia nos exames principais ao longo do semestre.

Requisitos de credenciamento e restrições econômicas resultam em currículos de graduação de engenharia que tipicamente não contêm cursos de fluidodinâmica computacional (CFD). Entretanto, nossa experiência constatou que a integração de modelagem matemática, simulação numérica e técnicas de visualização impactou profundamente o desempenho de nossos alunos em sala de aula e, além disso, ajuda a inspirar seus futuros além da academia.



Superfícies isobáricas em um típico bico de múltiplos jatos de um motor a jato. Imagem cortesia da Prof. Ivana Milanovic, Universidade de Hartford, Khairul Zaman e Christopher Miller, NASA Glenn Research Center, "Resonance & Tones in Multi-Stream Nozzle Flows", NASA Report 2017. Alunos de graduação Iliana Albion-Poles e Jeffrey Severino estão continuando este trabalho com o suporte da bolsa Connecticut Space Grant for Faculty Research.



SOBRE A AUTORA

Ivana Milanovic é professora de engenharia mecânica na Universidade de Hartford. Ela é uma autora contribuinte em mais de 90 artigos de periódicos, relatórios da NASA, trabalhos de conferências e lançamentos de software. A Dra. Milanovic é membro da Connecticut Academy of Science and Engineering, uma agência de cientistas e engenheiros no estado que fornece suporte e insight às agências estaduais e legislatura. Ela recebeu seu PhD em engenharia mecânica pela Tandon School of Engineering, Universidade de Nova Iorque e possui mestrado e bacharelado pela Universidade de Belgrado, Sérvia.