

## CONCLUSÕES

Nesta análise do campo de tensões de contato que surge em um substrato revestido devido a um indetador cilíndrico, pôde-se verificar que a eficiência do MEF está muito relacionada com a compreensão do fenômeno físico. Além disso, uma escolha adequada das alternativas ensejadas pela própria natureza do método, como uma densidade de malha convenientemente projetada para o modelo proposto, tem influência direta na precisão dos resultados obtidos. Isso se verificou muito claramente na entrada e na saída do contato, onde há fortes gradientes da primeira tensão principal. Nessas regiões, quanto mais refinada for a malha, melhores serão os resultados alcançados. A coerência na escolha de elementos estruturais e de contato com suas específicas funções de forma também tem papel preponderante na obtenção das reais magnitudes para os parâmetros de interesse.

Face aos objetivos propostos para este trabalho, pode-se dizer que houve uma trajetória bem-sucedida, salvo poucos desvios aceitáveis nos valores confrontados com os resultados analíticos que foram evidenciados na fase de validação do modelo. Observando os resultados experimentais também utilizados como auxílio na validação, pode-se ter a certeza do potencial de eficiência do MEF, resguardadas as considerações supracitadas de adequação das opções feitas e da experiência por parte do operador.

O modelo em MEF utilizado para simular o contato entre o cilindro e o plano revestido foi desenvolvido e aplicado em diferentes condições. As tensões

no modelo foram observadas dentro do regime elástico e a validação feita nas regiões mais críticas do modelo mostraram resultados razoáveis (nesse caso, com discrepâncias nunca superiores a 6%).

Em relação à análise da influência da espessura do revestimento no campo de tensões de contato, confirmou-se que, no caso de revestimentos mais rígidos que o substrato, quando se mantém constante o coeficiente de atrito, é possível encontrar uma ótima espessura de revestimento – o que faz com que o substrato seja melhor protegido por ele. No caso aqui analisado, para um coeficiente de atrito igual a 0.2, para o revestimento cerâmico carbeto de silício (SiC) sobre aço, o valor ótimo para espessura é  $h = 1.39$  vezes a semilargura da área de contato.

Pode-se concluir também que, quando há revestimentos dúcteis e mais flexíveis que o substrato, a tensão equivalente máxima de von Mises não se altera significativamente para pequenas espessuras de revestimento. No caso em que o revestimento é o bronze, a tensão equivalente de von Mises tem quase o mesmo valor se a espessura da camada ( $h/a$ ) for inferior a 1.39, para as condições específicas deste trabalho.

Verificou-se também que o campo de tensões não se altera significativamente para pequenos valores do coeficiente de atrito. Para as condições aqui analisadas, a influência da força tangencial no campo de tensões é muito fraca se o coeficiente de atrito for inferior a 0.15 para espessuras de revestimento constantes ( $h/a$ ). Esse resultado foi observado para  $h/a$  igual a 0.8889 para o SiC, 0.7420 para o bronze e 0.8127 para o aço.

Observou-se, ainda, que as máximas tensões trativas estão localizadas antes ou após a fronteira que delimita a largura do contato, a uma distância que vai de 0.5 a 1.0 vez a semilargura do contato, em relação a essa fronteira. Nesse ponto, ocorre o máximo valor da primeira tensão principal para as condições estudadas neste trabalho. Sabe-se que essas tensões trativas podem ocorrer também em pontos abaixo da superfície de contato, próximos da interface. Isso acontece para diferentes combinações de parâmetros e propriedades de materiais (OLIVEIRA & BOWER, 1996).

Interessa ressaltar certa linearidade nos resultados máximos de  $\sigma_1$  com respeito a valores do coeficiente de atrito que vão desde 0.1 até 0.35. Para valores do coeficiente de atrito superiores a 0.35, os resultados máximos de  $\sigma_1$  tendem a uma única função linear, indiferentemente do tipo de material do revestimento.

Os resultados máximos da primeira tensão principal apresentam variações muito fortes de um tipo de material de revestimento para outro quando o atrito é inferior a 0.1. Nas condições estudadas neste trabalho, quando o atrito é superior a 0.35, esses resultados máximos da primeira tensão principal não apresentam significativas variações ao se alterarem as propriedades mecânicas do material do revestimento.

## **Sugestões para a continuidade deste trabalho**

A continuidade deste trabalho evidentemente se justificaria, por exemplo, se as limitações que aqui foram impostas fossem retiradas. Seria o caso:

- Extrapolar a análise para além do limite elástico, verificando prioritariamente, para revestimentos dúcteis, a ocorrência de pontos onde houvesse plastificação que desse origem a mecanismos de falhas desse tipo;
- Sair da análise plana para uma tridimensional, em que um estudo, preferencialmente de um problema prático previamente proposto, fosse solucionado com respeito ao campo de tensão oriundo dessa situação;
- Estudar o comportamento da primeira tensão principal para o revestimento cerâmico em temperaturas que vão desde a temperatura ambiente até a temperatura máxima envolvida em um motor a combustão interna, passando por valores intermediários que permitissem adicionar uma linha de tendência ao comportamento desse parâmetro com respeito aos gradientes de temperatura.

A possibilidade de confrontação dos resultados numéricos sugeridos anteriormente com aqueles obtidos experimentalmente seria importante na ratificação das simulações propostas.

