

INTRODUÇÃO

A otimização de estruturas de materiais compósitos é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de estruturas mais leves, mais rápidas e mais eficientes para estrutura aeronáutica. O baixo peso desejado para estruturas de uma aeronave requer que haja uma maior atenção às vibrações estruturais.

Este trabalho apresenta uma metodologia para o projeto de estruturas de material compósito para a maximização da velocidade de início de flutter, tendo a orientação da fibra em cada lâmina como variável de projeto.

METODOLOGIA

Problema Estrutural

O fenômeno de flutter pode ser relacionado às vibrações estruturais das superfícies aerodinâmicas. Logo, é preciso conhecer as frequências naturais (ω) e as formas modais (Φ) das estruturas de interesse. Para tal, resolve-se o problema de autovalores para a estrutura:

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \Phi_i = 0$$

A matriz de rigidez \mathbf{K} e a matriz de massa \mathbf{M} são formuladas através do método de elementos finitos, utilizando-se elementos de casca.

Problema Aeroelástico

A resposta aeroelástica de um sistema é resultado da interação entre forças inerciais, estruturais e aerodinâmicas. A equação de movimento de um sistema aeroelástico pode ser descrita:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{x}(t) = \mathbf{F}(t) = \mathbf{F}_e(t) + \mathbf{F}_a(t)$$

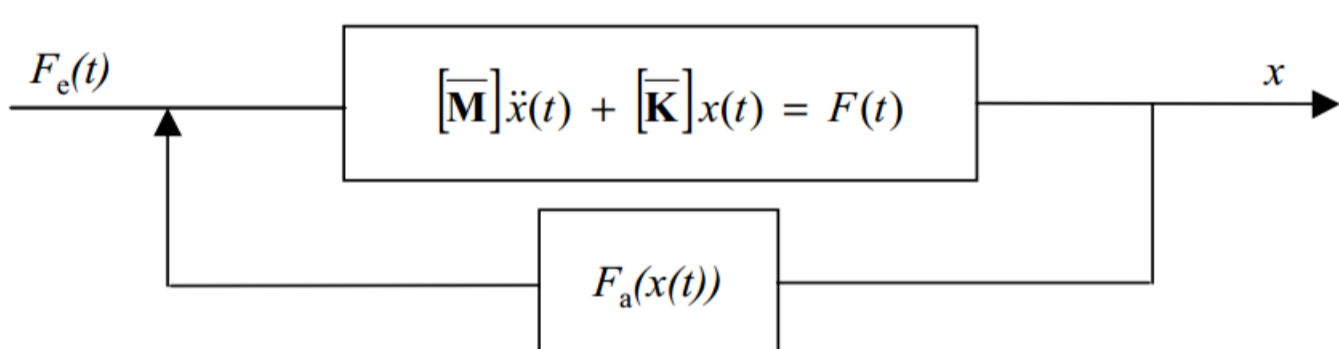


Figura 1 – Diagrama Aeroelástico

A velocidade de início de flutter é calculada pelo método de doublet lattice utilizando o software ZAERO.

Otimização

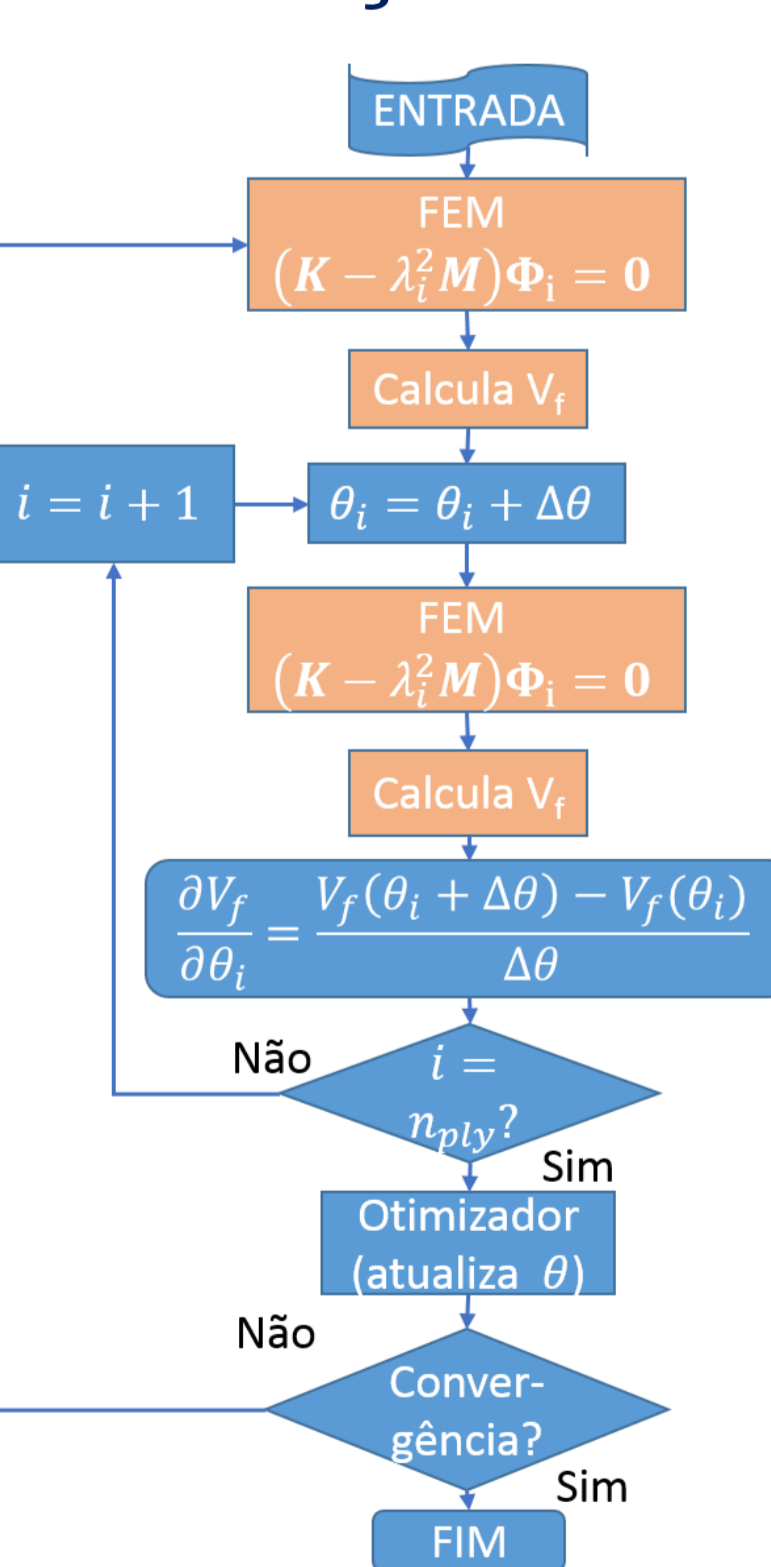


Figura 2 – Fluxograma do processo de otimização.

O fluxograma do processo de otimização pode ser visto na Figura 2.

O problema de otimização pode ser escrito da seguinte forma:

$$\max \left(\frac{\partial V_f}{\partial \theta} \right)$$

A função objetivo é calculada por diferenças finitas a frente.

$$\frac{\partial V_f}{\partial \theta} = \frac{V_f(\theta + \Delta\theta) - V_f(\theta)}{\Delta\theta}$$

O otimizador utilizado é do tipo LP (programação linear). A cada passo de iteração os limites das variáveis de projeto são atualizados baseado no histórico de atualizações.

A convergência é avaliada pela comparação da velocidade de flutter da última iteração com o histórico de velocidades obtidas.

RESULTADOS

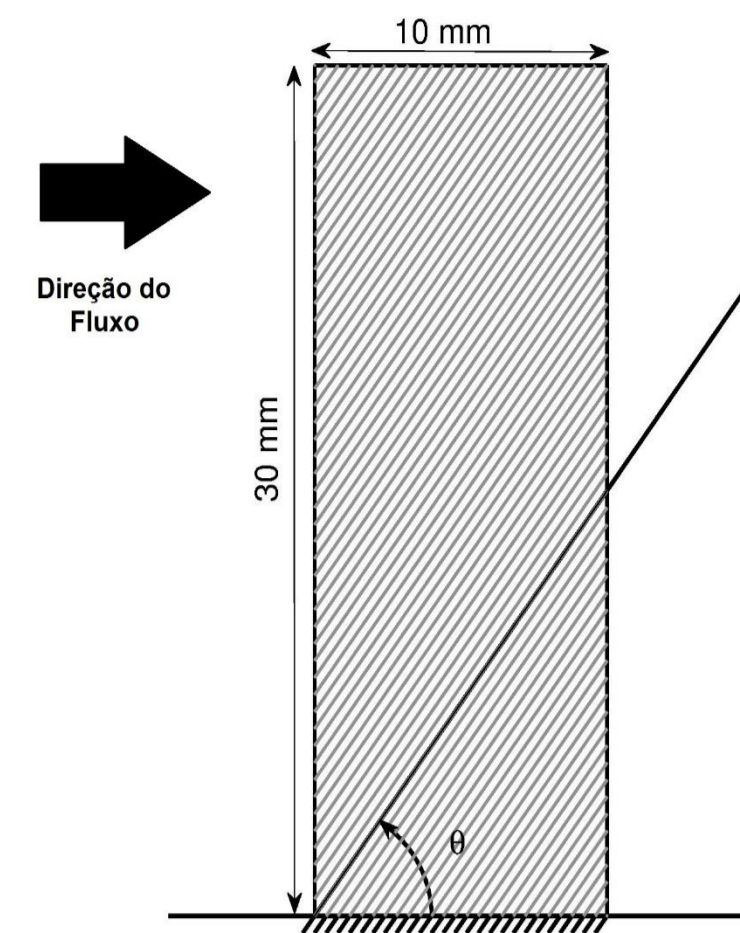


Figura 3 – Placa plana utilizada com representação da variável de projeto.

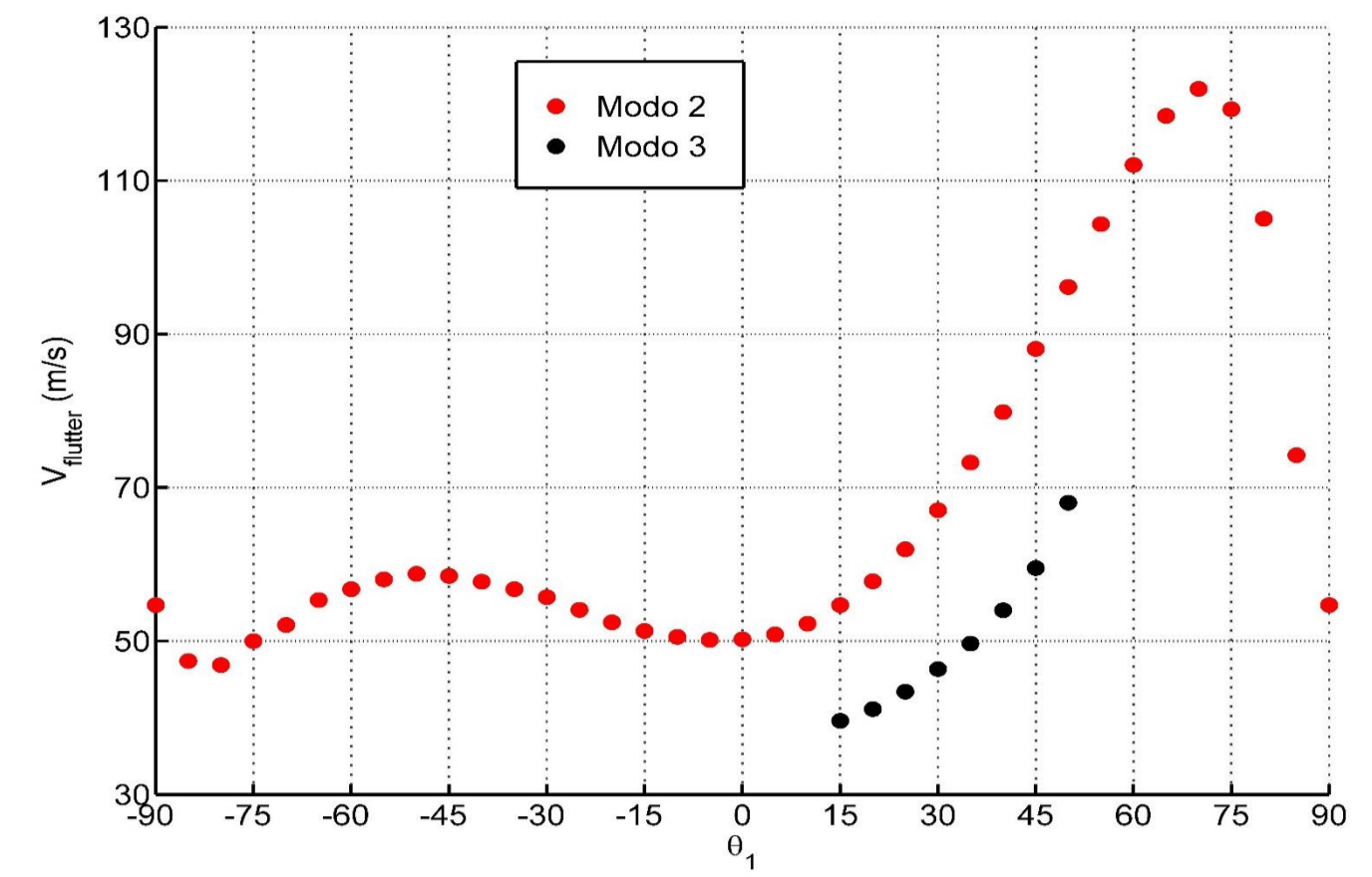


Figura 4 – Influência do ângulo das fibras na velocidade de início de flutter para uma única lâmina.

Da Figura 4 observa-se duas orientações que levam a um máximo local. Sendo as frequências iguais para ângulos simétricos em relação ao ângulo de 90°, pode-se perceber que, além da frequência, a forma modal também tem grande influência na velocidade de flutter.

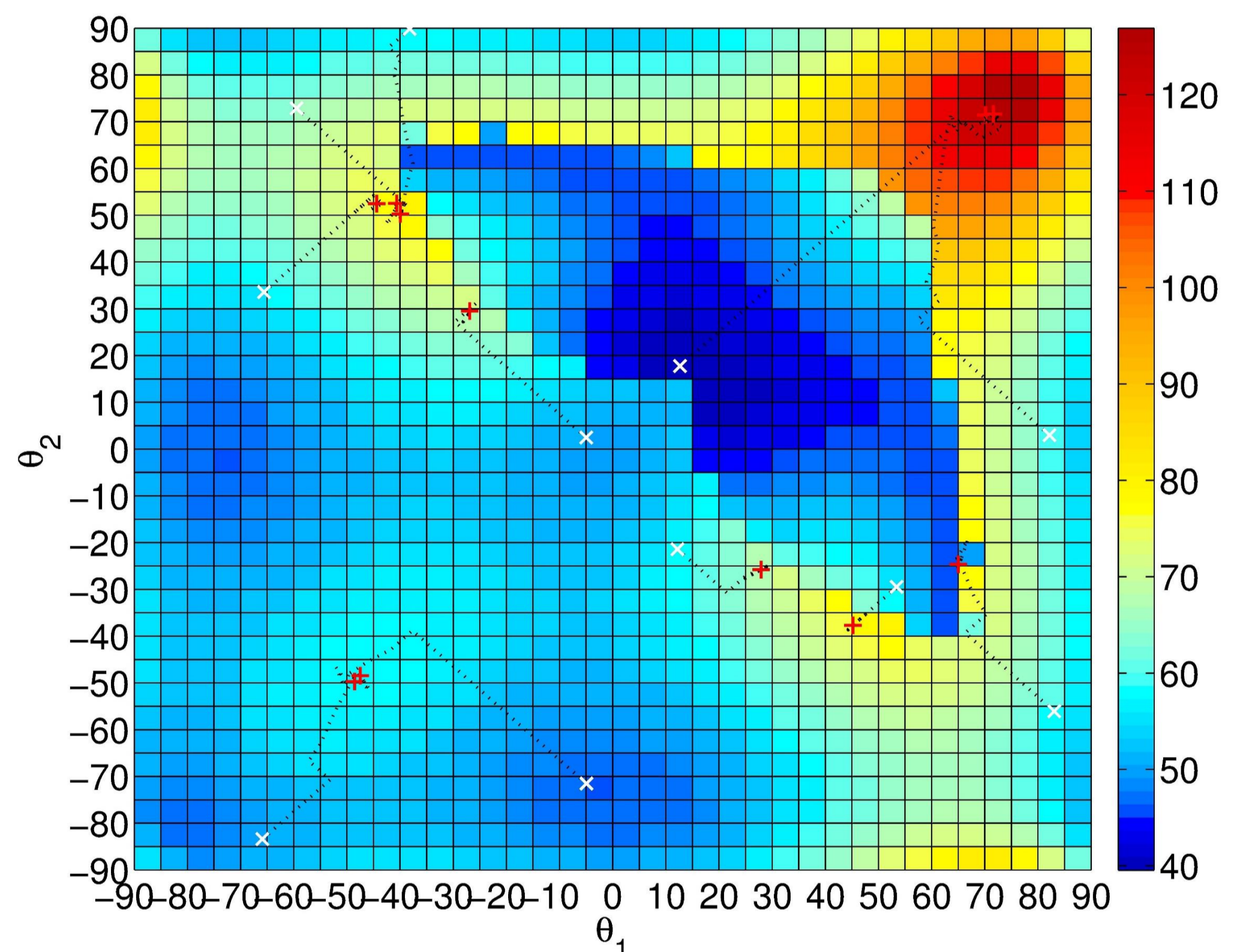


Figura 5 – Influência do ângulo das fibras na velocidade de início de flutter para um laminado de duas lâminas. Os resultados de otimização também são apresentados: o 'X' branco representa a configuração inicial e o '+' vermelho mostra a configuração ótima encontrada.

Na Figura 5 podemos observar que o ponto de máximo é o mesmo para a placa com orientação única. As otimizações apresentadas na figura mostram que dada qualquer configuração inicial converge para uma configuração de ótimo local.

CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos pode-se concluir que é possível amplificar as vantagens interessantes do uso de materiais compósitos (baixo peso, alto módulo específico) através de um projeto que leve em consideração a orientação das fibras.

A metodologia empregada mostrou-se eficiente, visto que é possível conseguir aumentar a velocidade de início de flutter em até cerca de 3 vezes. Porém, ainda existem casos em que a velocidade final obtida é muito inferior à velocidade máxima global.

PRÓXIMOS PASSOS

- Otimizar superfícies aerodinâmicas reais - 3D;
- Aplicar restrições de rigidez para a otimização;
- Considerar outros efeitos aeroelásticos – divergência;
- Comparar resultados para estruturas com orientação de fibra variável.