

## Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL, com o apoio das empresas da Eneva – Pecém II Geração de Energia S.A., Itaqui Geração de Energia S.A., Paranaíba I, II e III Geração de Energia S.A.

As usinas termelétricas assumiram um importante papel na matriz energética nacional. Segundo o Ministério de Minas e Energia (Balanço Energético Nacional, 2014), em 2013, o crescimento da oferta interna de energia ocorreu como consequência do aumento de geração térmica. A atuação dessas usinas no total da geração de energia foi de 30,3% contra 23,9% do ano anterior e essa participação se manteve acima dos 30% nos dois anos seguintes (Balanço Energético Nacional, 2015; Balanço Energético Nacional, 2016).

Os eixos virabrequins de motores a gás ou diesel, que são responsáveis pela geração de energia dessas usinas termelétricas, são fabricados a partir do aço DIN 34CrNiMo6. Este aço também é utilizado em outros componentes mecânicos e estruturais, tais como: hastes de conexão, válvulas, engrenagens e outras partes de maquinários. Esse amplo espectro de aplicação se deve à boa razão resistência-peso desse metal, além do mesmo possuir dureza em toda seção do eixo, resistência à corrosão, alta ductilidade, alta tenacidade e alta resistência mecânica. (Branco, Costa e Antunes, 2012; Branco, Costa e Antunes, 2014)

Entretanto, devido a erros de projeto, problemas com especificação do material e/ou operações conduzidas fora das recomendações dos fabricantes, a incidência de falhas por fadiga em eixos virabrequins nas plantas termelétricas vem aumentando de maneira considerável.

De acordo com Stephens (2001), a fadiga é a falha mecânica mais recorrente em componentes de todos os campos da Engenharia. Para evitá-la é preciso uma projeção da vida em fadiga que incorpore análises numéricas e experimentais, levando em consideração o material utilizado, a geometria do componente, o tipo de carregamento sofrido, assim como o ambiente no qual ele será operado.

Por conta desses fatores mencionados anteriormente, a análise de fadiga em estruturas complexas não é trivial. Assim como tantos outros componentes mecânicos e estruturais, os virabrequins, quando em serviço, estão sujeitos à flexão e torção simultaneamente e, por isso sofrem carregamentos cíclicos multiaxiais, ou seja, em dois eixos ou mais eixos. Além disso, é preciso analisar se esses carregamentos estão em fase ou fora de fase, bem como se são proporcionais ou não.

O carregamento é dito em fase quando as máximas e mínimas das tensões normais correspondem às equivalentes cisalhantes. Já em carregamentos fora de fase há uma defasagem entre os picos e vales das duas tensões. Já a proporcionalidade do carregamento se refere à orientação dos eixos principais das tensões em relação aos eixos do componente. Ele será proporcional se mesmo com o estado de tensões variando no tempo, os eixos principais permanecerem fixos. Em contrapartida, será não-proporcional se essa orientação mudar. (Stephens, 2001)

Apesar de haver diferença em suas definições, muitos trabalhos tratam carregamento em fase como sinônimo de proporcional e fora de fase como não-proporcional. (Socie e Marquis, 2000; Papadopoulos, 1994; Papadopoulos *et al*, 1997)

A complexidade das tensões atuantes requer uma análise da vida em fadiga a partir de modelos mais avançados do que os já conhecidos para carregamentos uniaxiais. Afinal, assegurar a integridade dos virabrequins em serviço é essencial, uma vez que danos por fadiga podem resultar em perdas materiais, lucros cessantes, danos ambientais e, o mais sério, perda de vidas humanas.

Diversos critérios matemáticos foram desenvolvidos para estimar a falha por fadiga de metais em carregamento multiaxial. Alguns deles são baseados na tensão, enquanto outros se baseiam na deformação. No caso do virabrequim, ele é projetado para trabalhar com tensões de natureza elástica (abaixo do limite de escoamento) e deve ter uma resistência à fadiga infinita, isto é, resistir a números grandes de ciclos. Assim, os critérios baseados na tensão são os mais adequados para prever a falha por fadiga desses eixos. (Liu e Mahadevan, 2005)

Considerando o que foi mencionado anteriormente e assumindo a importância de análises capazes de predizer falhas por fadiga, o presente trabalho tem como objetivo analisar a aplicabilidade de seis modelos de fadiga multiaxial

de alto ciclo. Os seis modelos são: *Papadopoulos, Findley, Mataka, McDiarmid, Carpinteri & Spagnoli* e *Liu & Mahadevan* (Papadopoulos, 1994; Papadopoulos *et al*, 1997; Carpinteri e Spagnoli, 2001; Liu e Mahadevan, 2005).

Para um maior entendimento do estudo, o trabalho se dividiu em duas partes. Na primeira, alguns parâmetros de carregamento e propriedades de material foram utilizados para seis materiais diferentes, com a intenção de comparar os seis modelos, e de validar a metodologia adotada neste trabalho, checando se os resultados obtidos aqui estavam em concordância com os presentes na literatura. Na segunda, buscou-se na literatura dados sobre o material DIN 34CrNiMo6, bem como tensões de serviço suportadas pelo material para aplicar nos mesmos modelos.