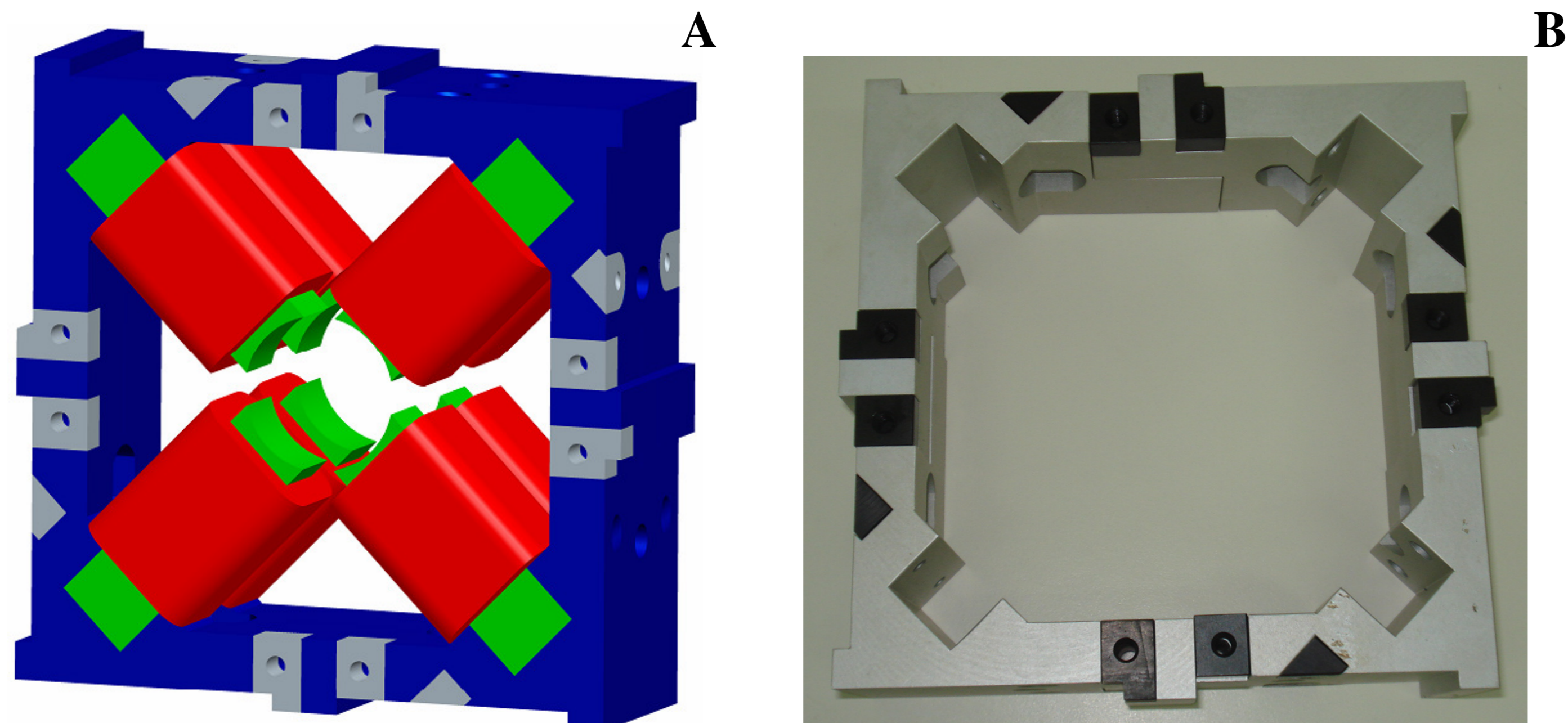


## Introdução

Nos últimos anos, nota-se na indústria um aumento crescente no número de máquinas rotativas suportadas por mancais magnéticos. O fato se deve às inúmeras vantagens deste tipo de mancal (tratados na literatura por “Active Magnetic Bearings”, AMB) sobre mancais de rolamento e hidrodinâmicos, como por exemplo ausência de contato (e desta forma, ausência de atrito), lubrificação e contaminação. Outra vantagem é que, além de servirem como elemento de sustentação, simultaneamente fazem o controle da vibração e o balanceamento do rotor, aumentando, assim, a vida útil dos componentes. Com as elevadas velocidades de rotação, possíveis devido a nova tecnologia, surge uma necessidade crescente de sistemas cada vez mais confiáveis e a prova de falhas. Neste sentido, os AMBs também se inserem no contexto de manutenção preditiva.

## Metodologia

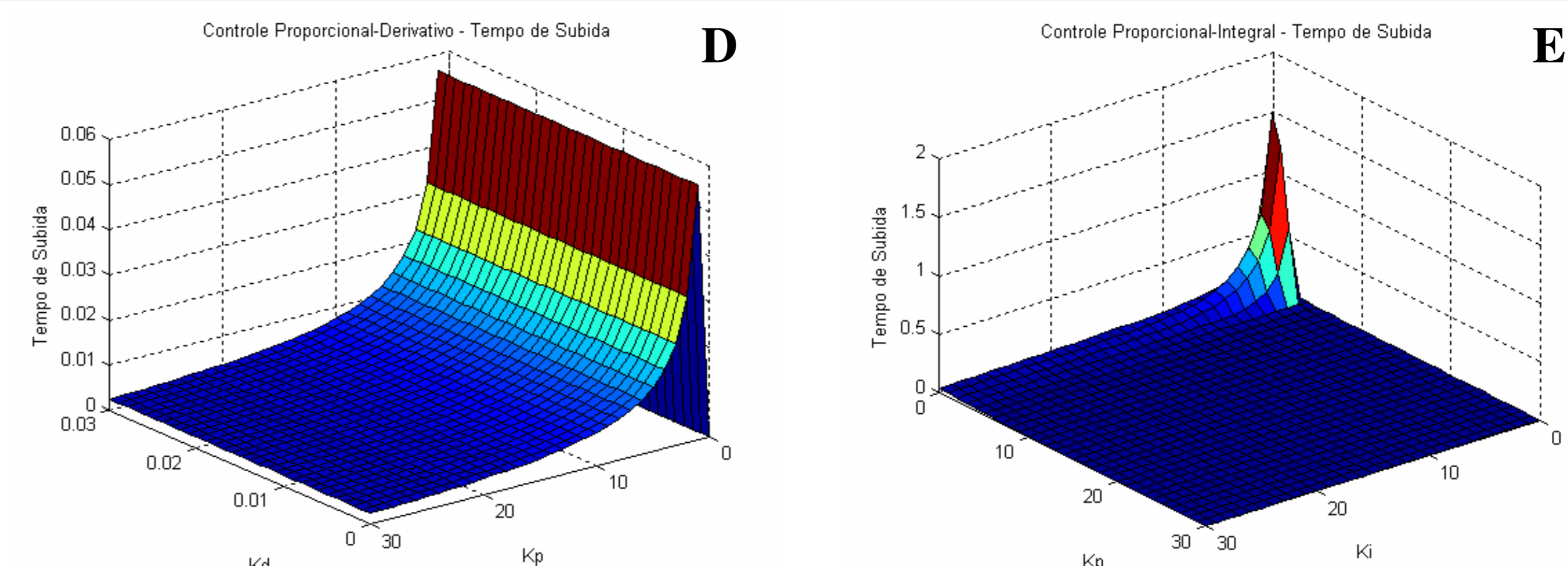
Foram aplicadas técnicas de controle básico para comparar o desempenho dos diferentes tipos de controladores derivados do controlador PID, a partir do modelo feito em Simulink-Matlab. Foram analisados três critérios de desempenho: erro estacionário, tempo de subida e tempo de acomodação. Em paralelo, foi projetado um atuador magnético (Figura A) e construída uma base (Figura B) para excitar o eixo em duas direções.



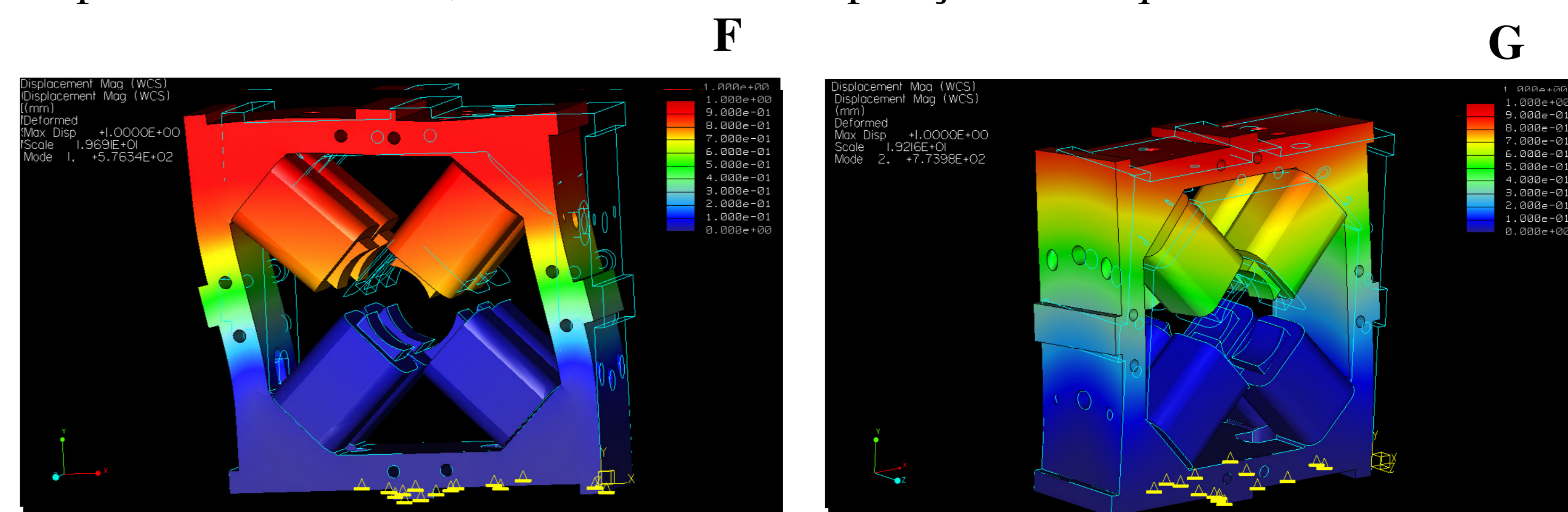
Em seguida, foi levantada a curva de saturação dos atuadores magnéticos e a caracterização dos novos amplificadores (Figura C) que serão utilizados com o atuador magnético, para definição da faixa de frequências (0 a  $10^4$  Hz).

## Resultados e Discussões

Os testes com o controlador P revelaram que, conforme o ganho aumenta, há uma melhora no desempenho. O controlador derivativo não apresentou mudança no desempenho, pois como o sistema se comporta como um sistema de primeira ordem, o termo derivativo contribui no sinal de controle com uma constante muito pequena se comparada a parcela do ganho proporcional. De maneira que, ao aumentarmos a constante derivativa, rapidamente o sistema é levado à instabilidade. A figura D representa o tempo de subida para a variação das parcelas P e D. O controlador integral apresenta bons resultados para pequenos valores dos ganhos proporcional e integral. Entretanto, a partir de um certo valor do ganho proporcional, a parcela integral se torna desnecessária, conforme mostrado na Figuras E (tempo de subida).



As frequências naturais e modos de vibrar do suporte de atuador foram obtidos a partir da análise por elementos finitos do modelo em CAD. Nota-se que a primeira frequência natural (Figura F) é aproximadamente de 576 Hz, e a segunda (Figura G) está próxima de 774 Hz, acima da faixa de operação da máquina.



A calibração do amplificador foi realizada variando-se a tensão de entrada do amplificador e medindo a corrente de saída. A partir dos valores obtidos, foi feita a regressão linear, Figura I. A curva de saturação obtida para 3 valores de air-gap está representada na Figura H. Para um *air-gap* de 2.0 mm, a tendência para saturação é facilmente observada. No caso de um *air-gap* de 2.5 mm, ainda é possível observar a tendência para saturação de forma sutil. Quando o *air-gap* é de 4.5 mm a tendência para saturação não mais ocorre no intervalo analisado.

## Conclusões

Conclui-se que o controlador proporcional é suficiente para controlar a força do atuador magnético.

As frequências dos dois primeiros modos de vibrar da estrutura estão acima da frequência de operação, não acarretando problema no que diz respeito à excitação de alguma de suas frequências naturais.

Os novos amplificadores apresentaram resposta satisfatória, praticamente linear.

Com a curva de saturação obtida, é possível saber até que ponto o aumento da corrente proporciona um aumento do campo magnético, e assim, um aumento da força magnética.

## Referências Bibliográficas

- CHIBA, Akira et al. Magnetic Bearings and Bearingless Drives. Oxford: Elsevier, 2005.  
 FURTADO, R. M., 2008, “Desenvolvimento de um Atuador Magnético para Excitação sem Contato de Sistemas Rotativos”, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 113 p., Dissertação (Doutorado).

