

## MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA BANCADA COM ATUADOR PNEUMÁTICO DE ENSAIO DE ESTRUTURAS<sup>1</sup>

**Sandra Edinara Baratto Vicelli<sup>2</sup>, Claudio Da Silva Dos Santos<sup>3</sup>, Antonio Carlos Valdiero<sup>4</sup>, Djonatan Ritter<sup>5</sup>, Nataniel Cavagnoli<sup>6</sup>, Luiz Antonio Rasia<sup>7</sup>.**

<sup>1</sup> PROJETO DE PESQUISA REALIZADO NO CURSO DE MESTRADO EM MODELAGEM MATEMÁTICA

<sup>2</sup> Bolsista CNPq, acadêmica do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

<sup>3</sup> Bolsista UNIJUÍ, acadêmico do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Líder do Grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”, Orientador

<sup>5</sup> Bolsista FAPERGS, acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNIJUÍ.

<sup>6</sup> Bolsista PIBIC/CNPq, acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNIJUÍ.

<sup>7</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Líder do Grupo de Pesquisa “Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica”, Co-orientador,

### Introdução

O presente trabalho tem como proposta principal a formulação de um modelo matemático que represente o comportamento dinâmico de um atuador pneumático para aplicações de força. A pneumática tornou-se uma das principais tecnologias de automação no meio industrial e sua aplicação se encontra em diversos setores. Existe um grande potencial de aplicações dos atuadores pneumáticos nas indústrias de processo, na manipulação e movimentação de material, robótica, máquinas de indústrias alimentícias, linhas de montagem e pequenas máquinas e sistemas automáticos utilizados em diferentes tarefas (PERONDI, 2002).

O uso de acionamentos pneumáticos possui diversas vantagens, podendo ser citados: Custo benefício, melhoria considerável em um sistema com um pequeno custo de implementação e de manutenção. Rapidez de resposta, tanto no movimento de um sistema pneumático, como no aumento do ritmo de trabalho. Robustez do sistema, pouca ou nenhuma interferência por vibrações, umidade, poeira ou corrosão. Fácil manutenção, troca rápida do sistema caso apresente defeito, e principalmente, é uma tecnologia limpa, que não polui o meio ambiente. (MORGADO, 2011).

Porém para atuadores pneumáticos a modelagem matemática é complexa quando comparada a outros tipos de acionamentos, pois o ar é bastante compressível e a vazão mássica nos orifícios de controle da servoválvula é uma relação não linear da pressão e do sinal de controle. O atrito entre as partes móveis e as vedações do atuador também exhibe características não lineares, tornando difícil o controle do sistema (BAVARESCO, 2007). As principais não linearidades presentes nos sistemas servo pneumáticos são a zona morta, a vazão mássica na servoválvula, a compressibilidade do ar e os efeitos do atrito entre as superfícies de contato do atuador.

Dessa forma, a modelagem matemática é muito importante para entendimento e previsão do comportamento dinâmico de atuadores pneumáticos e pode contribuir para a adequada aplicação e



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVIII Jornada de Pesquisa

desempenho em sistemas automáticos, principalmente na definição de estratégias de controle. O principal objetivo deste trabalho é pesquisar, formular e validar a modelagem matemática do comportamento dinâmico de um atuador pneumático, responsável pela aplicação de uma força de carga em uma bancada experimental de ensaio de pórticos e outras estruturas mecânicas.

### Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da modelagem matemática da força de acionamento pneumático compõe-se das etapas de revisão bibliográfica, da sistematização das equações constitutivas do sistema incluindo-se as não linearidades, da determinação dos parâmetros do sistema dinâmico, da implementação e simulação computacional do modelo matemático em ferramenta computacional, e da validação experimental em uma bancada disponível na UNIJUÍ Campus Panambi.

### Resultados e discussão

A bancada de ensaio para pórticos tem fins didáticos e de pesquisa (VALDIERO et al., 2011). Nesta bancada monta-se a estrutura do tipo pórtico, para ensaio de aplicação de uma carga central com a medição do espaço útil disponível, da massa da estrutura, da máxima força de carga que a estrutura resiste e da deflexão central da estrutura.

Para o acionamento desta estrutura será utilizado um cilindro pneumático com haste simples e dupla ação. O atuador pneumático funciona com o ar comprimido que é fornecido à servoválvula a uma dada pressão de suprimento previamente regulada. Durante a operação, o sinal de controle energiza o solenoide da válvula de modo que uma força magnética resultante é aplicada no carretel da servoválvula, produzindo o deslocamento do carretel. Este, ao ser deslocado, abre os orifícios de controle para que uma das câmaras do cilindro seja ligada à linha de pressão de suprimento e a outra seja ligada à pressão atmosférica. Dessa forma, produz uma diferença de pressão nas câmaras do cilindro, que dá origem a uma força pneumática resultante que move o êmbolo do cilindro e gera um deslocamento positivo ou negativo, dependendo do sinal de entrada.

A força pneumática depende da diferença entre as pressões nas câmaras A e B, a força de atrito ocorre principalmente nas superfícies de contato entre a haste e as vedações, sendo assim, a equação da dinâmica do movimento do êmbolo é dada através da aplicação da 2ª Lei de Newton para o equilíbrio das forças no êmbolo, dada pela equação: força pneumática igual a massa vezes a derivada segunda de  $y$  mais a força de atrito, onde  $M$  é a massa deslocada composta pelo êmbolo e pela haste do cilindro e a derivada segunda é a aceleração da haste do cilindro pneumático.

No equilíbrio a força de carga pode ser calculada pela diferença entre a força pneumática e a força de atrito, onde a força de atrito dinâmico pode alcançar valores significativos em comparação com a força pneumática disponível, ocasionando uma perda da capacidade de ação em relação à força de carga necessária para realizar a tarefa desejada. Dentre as principais dificuldades de modelar o atrito é que ele possui características dinâmicas como o atrito estático (FS), atrito Coulomb (FC), atrito viscoso e atrito Stribeck. Estas características dinâmicas do atrito são responsáveis por degradações





**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVIII Jornada de Pesquisa

no desempenho do sistema e resultam em efeitos danosos ao comportamento do atuador pneumático (VALDIERO, 2012). Neste trabalho utiliza-se o valor do atrito estático na situação de repouso onde se analisa a estabilidade da estrutura.

O modelo matemático proposto é descrito por um sistema de equações diferenciais ordinárias de 5ª ordem o qual descreve o servoposicionador pneumático linear, representado na forma de variáveis de estado. Onde  $y_1$  é a posição do êmbolo,  $y_2$  é a velocidade,  $y_3$  e  $y_4$  as pressões nas câmaras A e B do cilindro, e  $y_5$  é a dinâmica das microdeformações.

### Conclusões

Através deste trabalho foram demonstradas as etapas da modelagem matemática da força de acionamento de um atuador pneumático de dupla ação e haste simples, bem como as equações que regem este sistema. Pretende-se através deste projeto contribuir para a adequada aplicação e desempenho de sistemas automáticos, principalmente na definição de estratégias de controle.

**Palavras-Chave:** atuador pneumático, modelagem matemática, características dinâmicas.

### Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e a UNIJUÍ pelo apoio na forma de bolsas de mestrado, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico.

### Referências Bibliográficas

- BAVARESCO, D. Modelagem matemática e controle de um atuador pneumático. 2007. 107f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.
- MORGADO, F. D. J. Modelagem e Controle de Músculo Pneumático. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.
- PERONDI, Eduardo André, Controle Não-Linear em Cascata de um Servoposicionador Pneumático com Compensação de Atrito. 2002, 182f Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- VALDIERO, Antonio Carlos; Modelagem Matemática de Robôs Hidráulicos. Unijuí: Ed. Unijuí, 2012.
- VALDIERO, A. C. ; BORTOLAIA, Luis Antonio ; RASIA, L. A. . Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaio de pórticos como objeto educacional na engenharia. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau. COBENGE 2011. Blumenau: ABENGE, 2011. v. 1. p. 1-10.

