

# Mecanismos de Precisão Flexíveis atuados por transdutores Piezoelétricos para a realização movimentos sub micrométricos <sup>(1)</sup>

Alex Sandro Pereira<sup>(2)</sup>; André Roberto de Sousa<sup>(3)</sup>

## Resumo Expandido

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Edital PIPICIT da Pró-Reitoria de Pesquisa do IFSC

<sup>(2)</sup> Acadêmico do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do IFSC - Campus Florianópolis

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Metal Mecânica do do IFSC - Campus Florianópolis

**RESUMO:** Este resumo estendido apresenta as atividades desenvolvidas e os resultados de um projeto de pesquisa da utilização de atuadores piezoelétricos de baixo custo combinados com mecanismos flexíveis de alta precisão para comandar deslocamentos sub micrométricos. Após pesquisar o comportamento de atuadores piezo de baixo custo e analisar modelos de mecanismos flexíveis (flexures) de precisão, foi projetado e construído um conjunto atuador para realizar deslocamentos de magnitude sub micrométrica.

**Palavra Chave:** Nanotechnology. Piezoelectric. Flexures.

### OS DESAFIOS NO CONTROLE DE MOVIMENTO EM SISTEMAS DE ULTRA PRECISÃO

As tecnologias empregadas na área de nanotecnologia são grandemente dependentes de sistemas de ultraprecisão que consigam controlar movimentos nesta ordem e, nesta escala dimensional, pequenos detalhes nas características dos materiais, na concepção e construção de mecanismos, no desempenho de sensores e de atuadores assumem proporções imensas (Hsu, 2008). Nesse contexto, atuadores piezoelétricos e mecanismos flexíveis têm sido empregados como uma alternativa eficiente no controle de deslocamentos tão pequenos. Suas grandes potencialidades em termos de elevada sensibilidade na relação estímulo resposta, alta resposta dinâmica; e ausência de atrito entre partes móveis motivam sua aplicação para o comando de movimentos de tão baixa magnitude.

A capacidade de controlar movimentos da ordem de nanômetros ( $10^{-9}$  m) é um requisito para expandir tecnologias de ultra-precisão em diversas áreas. Nesta escala imperfeições desprezíveis em sistemas mecânicos comuns assumem um nível de influência muito grande. Sistemas a laser empregados em cirurgias oftalmológicas, por exemplo, empregam micromecanismos para direcionar o feixe de laser para operar os olhos dos pacientes. O micro deslocamento de espelhos tem que ser feito com extrema rapidez e exatidão, sob pena de problemas cirúrgicos. Este é somente um dos casos que podem ser citados como

dependentes das tecnologias modernas de ultraprecisão.

### ATUADOR PIEZOELÉTRICO DE BAIXO CUSTO

Atuadores piezoelétricos são utilizados há várias décadas em diversos tipos de mecanismos de precisão, seja para pulverização de líquidos, movimentação de espelhos em montagens ópticas, para acionamento de microválvulas, dentre outros, havendo diversos sistemas comercialmente disponíveis, todos eles importados e com custo considerável. Neste trabalho de iniciação científica procurou-se empregar uma configuração de baixo custo obtida com a utilização de auto falantes piezoelétricos conhecidos como *piezo buzzer*, que consistem de uma chapa de cobre recoberta por uma camada de cerâmica com propriedades piezoelétricas. Este sistema foi testado inicialmente e revelou boa capacidade de impor deslocamentos quando alimentado por uma tensão de 30V.

Para aumentar a capacidade de carga e a amplitude de deslocamento, neste trabalho se desenvolveu uma estrutura de atuadores empilhados, conhecida como *piezo stack*. Nesse conceito vários piezos foram agrupados e entre eles colocados espaçadores metálicos. Foi necessário furar as placas de cobre de modo que os cabos elétricos pudesse ter acesso ao cobre e à cerâmica. A figura 1 ilustra este conceito e o sistema construído, que ficou com 4 mm de espessura.

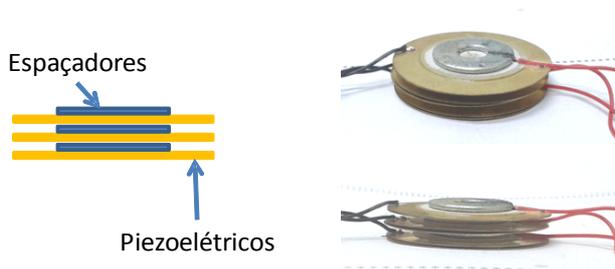


Figura 1 – Piezo stack de baixo custo

Este atuador foi empregado no teste dos mecanismos desenvolvidos neste trabalho, como descrito a seguir.

### DESENVOLVIMENTO DE MECANISMOS FLEXÍVEIS PARA MICROSISTEMAS MECÂNICOS

Para o acionamento e controle de micro movimentos é necessário atuadores com a capacidade provocar deslocamentos extremamente pequenos nos mecanismos, com baixa histerese e alta velocidade de resposta, e influências térmicas mínimas (figura 2). Em muitas das aplicações são empregados atuadores piezoelétricos (Doebelin, 2003).

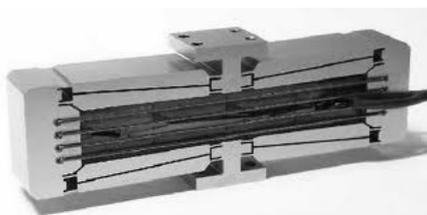


Figura 2 – Atuador piezoelétrico combinado com mecanismos flexíveis

No entanto, em escala de movimentação tão reduzida, são necessários mecanismos que permitam deslocamentos suaves e sem atrito. Em sistemas mecânicos clássicos o emprego de mancais para apoiar a movimentação é largamente empregado tendo em vista a magnitude de movimentação, mas para deslocamentos de magnitude tão pequena, os mancais clássicos possuem atrito inaceitável, e criariam instabilidades de movimentação críticas, conhecidas como *stick slip*.

Neste sentido, a utilização de mecanismos flexíveis (flexures) tem sido muito frequente em aplicações que requerem a movimentação em pequenos cursos (Smith, 2000). Atrito e folgas desprezíveis, alta repetibilidade no posicionamento e alta rigidez são algumas de suas características. No atual trabalho se pesquisou o emprego destes sistemas, sendo projetados e construídos dois mecanismos flexíveis unidirecionais, com a capacidade de transmitir o movimento de atuadores piezoelétricos para a aplicação da carga.

A figura 3 mostra diversas concepções de mecanismos flexíveis, configurados para diferentes tipos de movimentação.

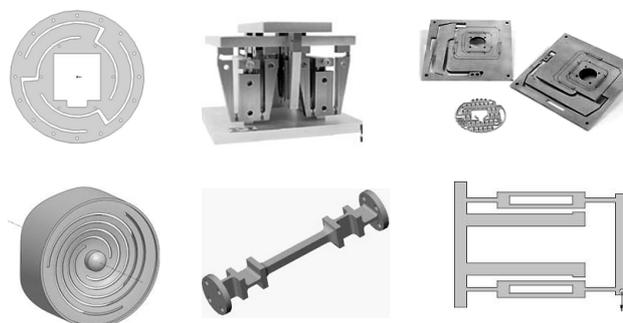
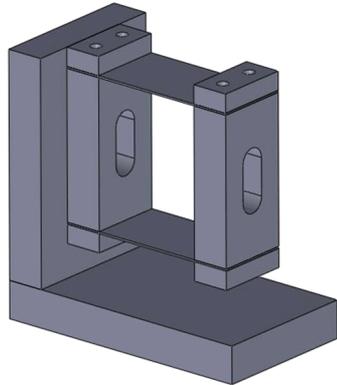


Figura 3 – Concepções de mecanismos flexíveis

### MECANISMO FLEXÍVEL DE MOLAS PARALELAS

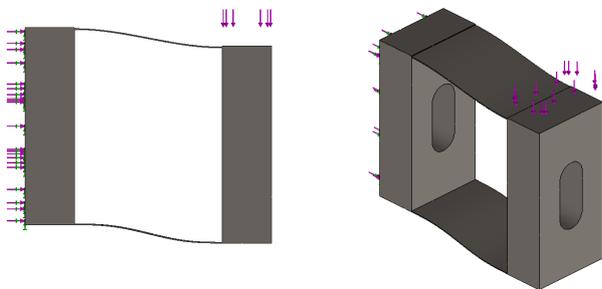
Um dos mecanismos desenvolvidos neste trabalho pode ser visto na figura 4 e consiste de um sistema com cinemática de molas paralelas, que recebe o esforço do atuador piezoelétrico na vertical e o transmite na mesma direção e com a mesma magnitude, sem ampliação ou redução de movimento.

Para isso foram utilizadas duas chapas de 0,1 mm de espessura que deformam-se elasticamente com a aplicação de carga lateral e recuperam esta deformação com a retirada da atuação do piezoelétrico. Embora exista uma pequena movimentação lateral do ponto de aplicação da carga, o deslocamento é fundamentalmente vertical. Por ter partes separadas, a montagem das peças precisa ocorrer de modo bastante forte, de modo que a fixação ocorra sem folgas e nem provoque deslizamentos entre estas peças quando em funcionamento.



**Figura 4 – Mecanismo flexível de molas paralelas**

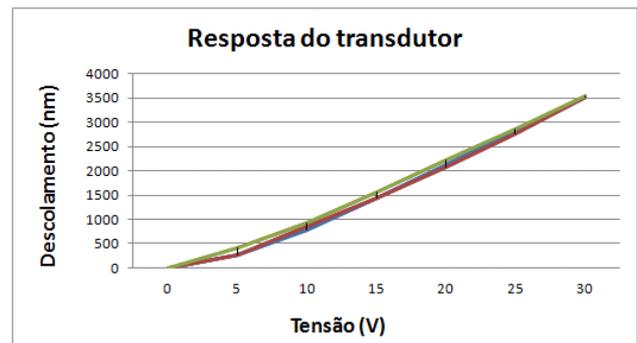
O sistema foi simulado em ambiente computacional utilizando o módulo de CAE do software solidworks, para otimização de suas dimensões e características de projeto. Nestas simulações conheceu-se a faixa de medição recomendável para o sistema, que resultou em 1,1 mm. A figura 5 mostra a configuração deformada da estrutura mecânica.



**Figura 5 – Configuração deformada do mecanismo**

Após esta simulação o mecanismo foi construído, montado e avaliado quanto à sua capacidade de movimentação mediante atuação pelo transdutor piezoelétrico. Para isso, foram empregados piezoelétricos de baixo custo, tipo *piezobuzzer*, alimentados eletricamente por tensão DC de 30 V. Nesta magnitude de tensão obteve-se deslocamentos de 3500 nm com repetibilidade de 120 nm quando atuado unidirecionalmente. A atuação bidirecional apresenta baixa repetibilidade dada a característica de histeres natural dos

atuadores piezoelétricos. A figura 6 mostra o sistema montado com o atuador piezo e os resultados encontrados nos ensaios de avaliação do mecanismo.



**Figura 6 – Resultados dos testes com o mecanismo de molas paralelas**

### **MECANISMO FLEXÍVEL DE ALAVANCAS**

Outro mecanismo flexível projetado e construído no contexto do projeto consiste de um sistema com a capacidade de ampliar o movimento do atuador piezoelétrico. Com este sistema buscou-se amplificar o deslocamento gerado pelo piezo por meio do princípio clássico da alavanca. Para que uma amplificação mais significativa fosse possível projetou-se um mecanismos composto por duas alavancas em série, de modo que o movimento aplicado de uma alavanca seja ampliado pela próxima. A figura 7 mostra o conceito deste mecanismo, que foi simulado computacionalmente, permitindo-se obter uma ampliação do movimento de 4,6 vezes.

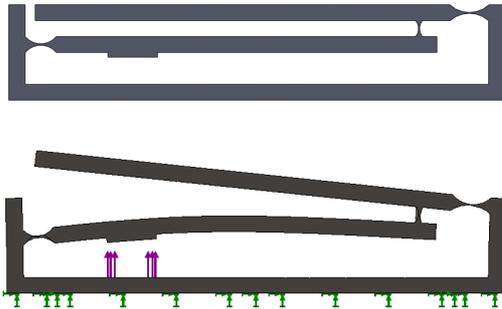


Figura 7 – Mecanismo flexível com alavancas

Após esta simulação o mecanismo foi fabricado, empregando-se o processo de eletroerosão a fio devido à complexidade geométrica da peça e às pequenas dimensões das junções flexíveis. Este protótipo foi, então, instrumentado com o transdutor de deslocamento e atuado pelo piezoelétrico sob tensão de 30V. Os resultados dos testes estão mostrados na figura 8. Em função das deformações elásticas na estrutura e da força de medição do transdutor de deslocamento os resultados ficaram abaixo do esperado em termos de ampliação do movimento. A ampliação obtida ficou em 2,2 vezes.

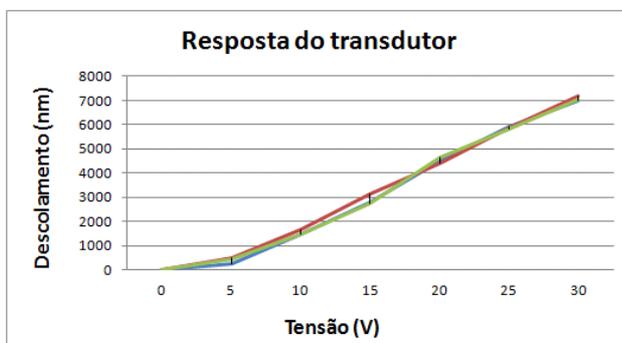


Figura 8 – Resultados dos testes com o mecanismo de alavancas

## CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa explorou alternativas de baixo custo para aplicação no comando de movimentos em escala submicrométrica. Na sua realização foram pesquisados atuadores piezoelétricos de baixo custo, avaliando-se a sua resposta em deslocamento frente a excitação elétrica. Após várias tentativas definiu-se a utilização de *piezo buzzers* de baixo custo como atuadores, configurados em várias camadas para melhor capacidade de carga e amplitude de movimentos.

Para compor um atuador com a capacidade de impor deslocamentos sub micrométricos, este transdutor foi integrado a mecanismos flexíveis para avaliar a capacidade do conjunto em efetuar pequenos deslocamentos de modo repetitivo e com baixa histerese. Dois tipos de mecanismos foram projetados, simulados, construídos e validados experimentalmente. Os testes com estes conjuntos mostraram uma repetibilidade próxima a 0,2  $\mu\text{m}$ . Um dos mecanismos possui um sistema de alavancas em série com o objetivo de ampliar o movimento gerado pelo transdutor. Embora a simulação indicasse boa possibilidade de sucesso, a validação prática mostrou que as deformações elásticas da estrutura e a força de medição do sistema que mede os deslocamentos restringiram os deslocamentos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Pró Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação do IFSC pelo apoio na realização da pesquisa.

Ao Professor Aurélio Sabino do Departamento Acadêmico de Metal Mecânica pelo auxílio na fabricação do mecanismo flexível de molas paralelas.

## REFERÊNCIAS

- Hsu, Tai Ran. **MEMS & Microsystems: Design, Manufacture, and Nanoscale Engineering**. Ed. Wiley, 2008 ISBN-10: 0470083018.
- Doebelin, E. **Measurement Systems : Application and Design**. ISBN: 007292201X. McGraw-Hill, 2003.
- Smith. S. **Flexures: Elements of Elastic Mechanisms**. ISBN-10: 9056992619. CRC Press, 2000.