

MODELAGEM DE ESTRUTURAS PIEZELÉTRICAS. Marcel Sato, João Antonio Pereira. – Mecânica dos Sólidos - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira.

A utilização de materiais piezelétricos vem ganhando espaço nas diversas áreas de engenharia e ciências aplicadas, desde sistemas de monitoramento de grandes estruturas em setores aeroespaciais (para controle ativo de vibrações e ruídos), até em construções civis (sensoriamento de pontes), robótica (desenvolvimento de músculos artificiais) e biomedicina (estímulo de ação dos músculos). Os sistemas construídos com este tipo de material, geralmente são denominados estruturas inteligentes, que podem facilmente mudar seu comportamento para atender uma dada condição de uso. Os materiais com características piezelétricas mais usados, geralmente, são do tipo *PZT (Lead Zirconate Titanate)* e o *PVDF (PolyVinylidene Fluoride)*. A modelagem dessas estruturas, tendo em conta a interação entre os diferentes materiais que a compõe, ainda apresenta algumas dificuldades.

Este trabalho discute a modelagem de estruturas piezelétricas, através do método de elementos finitos, incluindo o efeito piezelétrico. A modelagem correta dessas estruturas torna-se necessária para um conhecimento maior de seu comportamento quando induzidas à deformação, visando atender uma dada condição de operação.

A estrutura analisada consiste em uma barra de alumínio coberta de PZTs, em que buscou-se analisar o seu comportamento quando submetida à uma dada solicitação, em comparação com o seu comportamento quando submetida à mesma situação, incluindo o efeito das coberturas de PZT (efeito piezelétrico). Este estudo, busca analisar a interação entre esses materiais, visando uma melhor interpretação da influência do PZT no comportamento da estrutura para diferentes situações.

A metodologia consistiu em analisar a viga submetida a diferentes situações, através do método de elementos finitos (EF). Para efetuar tal análise, foi utilizado o software *ANSYS®*, onde a viga de alumínio foi discretizada em 20x1 elementos sólidos de 8 nós, com graus de liberdade de deslocamento nas direções x,y e z, e rotação nos eixos x e y (SOLID 73). O programa fornece a opção de incorporação do elemento piezelétrico para um elemento sólido somente, de modo que a cobertura de PZTs foi discretizada em 16x1 elementos sólidos de 8 nós, com graus de liberdade de deslocamento em x,y e z e potencial elétrico (SOLID5). Os parâmetros da viga e dos PZTs, são mostrados na tabela (1).

Tabela (1) – Parâmetros da viga de alumínio e do PZT.

Parâmetros da viga	Valor	Parâmetros da cobertura de PZT	Valor
Módulo de Young (GPa)	70	Módulo de Young (GPa)	66
Coeficiente de Poisson	0,345	Constante piezelétrica d_{31} (m.V ⁻¹)	190e-12
Densidade (kg.m ⁻³)	2690	Constante dielétrica k_{33} (F/m)	7,33e-9
Comprimento (mm)	50,0	Constante de elasticidade c_{11} (N.m ⁻²)	1,076e11
Largura (mm)	1,6	Permissividade dielétrica ϵ_{31} (C.m ⁻²)	30,705
Espessura (mm)	1,0	Densidade (kg.m ⁻³)	7800
-	-	Comprimento (mm)	40
-	-	Largura (mm)	1,6
-	-	Espessura (mm)	0,7

Inicialmente, foi realizada uma análise estática da viga engastada-livre, submetida a uma força de 5N em sua extremidade. Posteriormente, foi realizada uma análise estática da viga engasta-livre, com a cobertura de PZTs (na parte superior e inferior da viga), submetida a mesma força de 5N. Os resultados obtidos numericamente, nos dois casos são mostrados na tabela (2) e os resultados gráficos, são mostrados na figura (1), viga sem cobertura de PZTs à esquerda e viga com cobertura à direita.

Tabela (2) – Resultados para viga submetida a força de 5N.

x(m)	Viga sem PZT		Viga com PZT	
	Nó*	Uy (m)	Nó*	Uz(m)
0,0000	1	0,00000	119	0,00000
0,0100	81	0,00122	124	0,00006
0,0200	77	0,00458	128	0,00021
0,0300	73	0,00955	132	0,00045
0,0400	69	0,01559	120	0,00073
0,0500	7	0,02220	64	0,00115

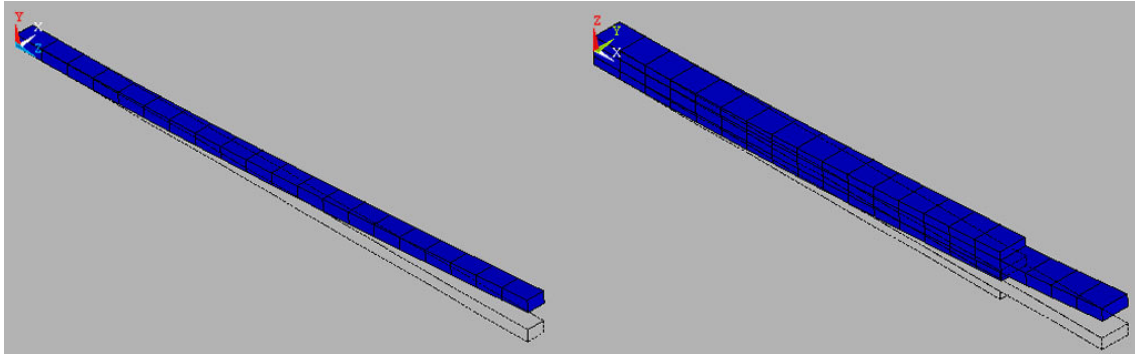


Figura (1) – Deslocamentos devido a ação da força de 5N.

Uma análise simples nos resultados mostrados na tabela (2), permite a observação de que a cobertura de PZTs, exercem grande influência na estrutura analisada. Os valores dos deslocamentos são menores na viga com PZT, em relação à viga sem a cobertura, devido ao sensível aumento de rigidez da viga.

Em um outro momento, realizou-se a análise estática da viga com PZTs submetida a duas situações distintas: na primeira, a viga engastada-livre foi submetida a uma força de 5N na direção positiva do eixo z (como no caso da primeira análise). Na segunda, a viga engastada-livre, foi submetida a mesma força de 5N, como no caso anterior, e as coberturas de PZT foram submetidas à uma tensão com 180° de defasagem, com o valor de 10 volts (na superfície externa da cobertura inferior e superior de PZT). Os resultados para a viga submetida à voltagem e força simultaneamente, são mostrados na tabela (3) e figura (2).

Tabela (3) – Resultados para viga submetida a voltagem e força simultaneamente.

x(m)	Nó*	Viga sob voltagem e força
0,0000	119	0,000000
0,0100	124	0,000056
0,0200	128	0,000214
0,0300	132	0,000448
0,0400	120	0,000728
0,0500	64	0,001147

* Os nós não foram numerados na estrutura plotada das figuras, pois a qualidade de visualização ficaria prejudicada.

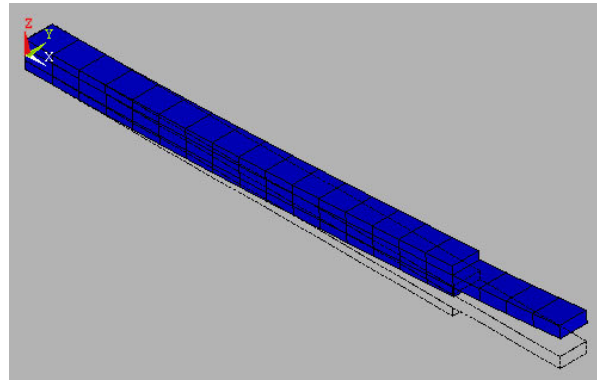


Figura (2) – Viga com cobertura de PZT submetida à voltagem e força.

A observação dos valores da tabela (3) e comparação com os valores fornecidos pela tabela (2), para viga com cobertura de PZT, permite a percepção de diferença entre os valores, da ordem de 10^{-5} . Essas diferenças, são resultado da influência do material piezelétrico, que foi submetido a uma voltagem com defasagem, o que resultou em uma deformação da cobertura de PZTs, no sentido contrário ao movimento causado pela força. O valor dessas diferenças é da ordem de 0,16%.

A última simulação, foi realizada com o objetivo de extrair os modos de vibração das estruturas, tanto com cobertura de PZT, quanto sem [os modos de vibrar das estruturas, são apresentados neste trabalho da seguinte forma: na figura (3), as imagens são referentes aos modos de vibrar da estrutura sem cobertura de PZT e na figura (4), estão as imagens referentes a estrutura com cobertura de PZT]. A tabela (4) mostra as frequências naturais, referentes aos quatro primeiros modos de vibrar das estruturas analisadas. A comparação entre os resultados modais foi realizada em relação aos valores das frequências naturais obtidas, já que a forma dos modos de vibrar são similares.

Tabela (4) – Frequências naturais.

	Viga sem PZT	Viga com PZT
Modo	Frequência (kHz)	Frequência (kHz)
1° Modo	0,362	0,745
2° Modo	2,279	4,063
3° Modo	6,417	8,568
4° Modo	12,685	15,439

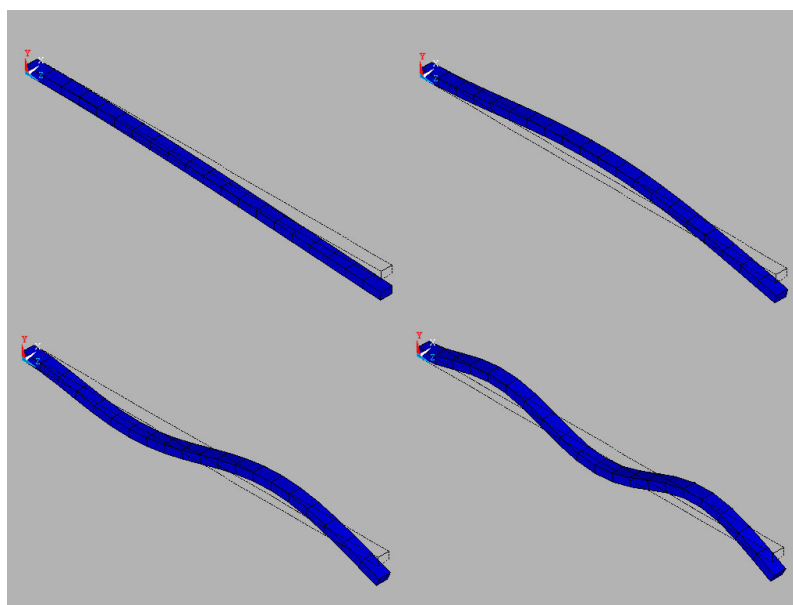


Figura (3) – Modos de vibrar da viga s/ PZT: 1° modo, 2° modo, 3° modo e 4° modo.

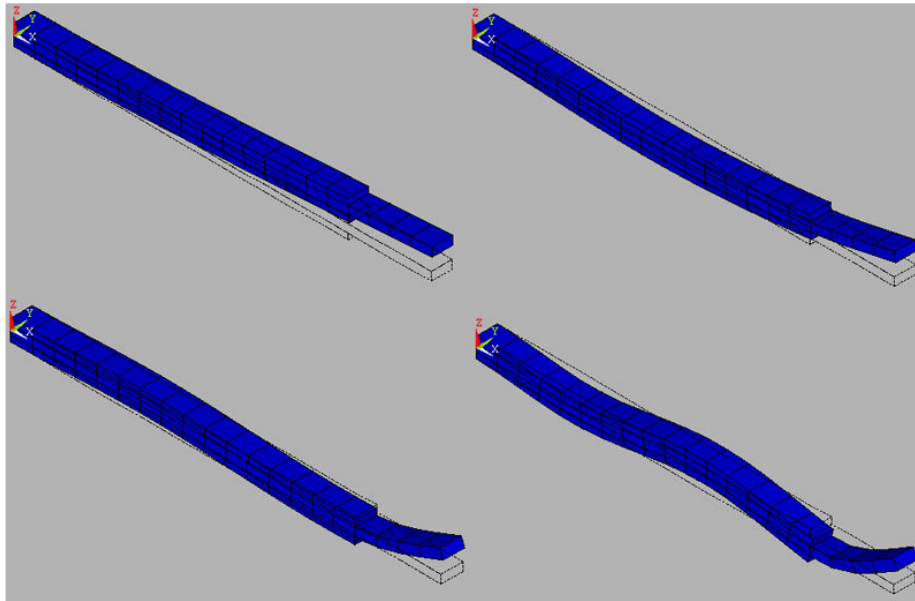


Figura (4) – Modos de vibrar da viga c/ PZT: 1° modo, 2° modo, 3° modo e 4° modo.

Pelos resultados apresentados nesse trabalho, de um modo geral, o acoplamento eletromecânico realizado com a colocação das coberturas de PZTs na viga de alumínio, apresentou grande influência no aspecto construtivo da estrutura, alterando os seus parâmetros. Isso fica evidenciado pela diminuição dos deslocamentos na análise estática e o aumento das frequências naturais, fatos que ocorreram devido ao aumento de rigidez da estrutura.

No que diz respeito à simulação da viga com cobertura de PZTs submetida à força (mecânica) e voltagem simultaneamente, comparada com os resultados da viga com cobertura submetida a força (apenas), nota-se que houve um decréscimo da ordem de 10^{-5} metro, o que para muitos pode parecer muito pequeno. Porém, quando este deslocamento ocorre em situações em que as dimensões da estrutura são muito pequenas, ele pode ter grande influência. Isso acontece com maior frequência na área de nanomecânica, onde lida-se com componentes de dimensões muito pequenas e o emprego de estruturas piezelétricas (estruturas inteligentes), é muito grande. Nesse sentido, o estudo da afinidade eletromecânica entre o material piezelétrico e a estrutura, além da influência dinâmica causada pelo acoplamento eletromecânico, são de grande importância e devem ser tratados com grande atenção.

Este trabalho foi realizado com a intenção de obter um maior conhecimento sobre a influência piezelétrica, tanto estruturalmente, quanto dinamicamente. Os resultados aqui apresentados foram considerados satisfatórios, necessitando como trabalho futuro, a validação experimental dos valores obtidos.

Referências Bibliográficas:

ANSYS® Theory Reference Release 8.0, SAS IP, Inc., 2003.

Lopes Jr., V.; Pereira, J. A.; and Inman, D. J.; **Structural FRF Acquisition via Electric Impedance Measurement Applied to Damage Location**, in XVIII IMAC – International Modal Analysis Conference, San Antonio, Texas, p.1549-1555, 2000.

Rocha, Téo Lenquist da. **Modelagem de estruturas inteligentes**. 2004. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, UNESP, Ilha Solteira, 2004.