

PROJETO DE PESQUISA

Iniciação Científica – UFABC

Edital nº 04/2022

Otimização Topológica de Mecanismos Flexíveis Usando o Python

1 RESUMO

Em um mecanismo flexível o movimento é dado pela flexibilidade da estrutura ao invés da presença de juntas e pinos. Essa característica faz com que esses mecanismos tenham grande aplicação em dispositivos de mecânica de precisão e sistemas microeletromecânicos (MEMS). Várias técnicas são usadas no projeto de mecanismos flexíveis, sendo que entre elas a otimização topológica (OT) tem se mostrado a mais genérica e sistemática. O objetivo desse trabalho de iniciação científica é implementar um software (“solver”) para o projeto de mecanismos flexíveis, usando o método de otimização topológica. O algoritmo do OT combina um método de otimização com o método dos elementos finitos (MEF), para distribuir material no interior de um domínio de projeto de maneira a atender uma função objetivo especificada, satisfazendo dadas restrições impostas ao problema de otimização. O software para otimização e projeto de mecanismos flexíveis será desenvolvido utilizando a linguagem Python.

Palavras-chave: mecanismos flexíveis, otimização topológica, Python.

2 INTRODUÇÃO

Um mecanismo é um dispositivo mecânico utilizado para transmitir ou transformar força, deslocamento ou energia. Os mecanismos flexíveis constituem uma categoria de mecanismos onde o movimento é dado pela flexibilidade da estrutura ao invés da presença de juntas e pinos. O projeto de mecanismos flexíveis utiliza a propriedade de deformação como fonte de movimento [1]. A figura 1 mostra um mecanismo convencional (grampo de fixação) e a proposta de um mecanismo flexível, que se constitui numa alternativa ao grampo. Entre as principais vantagens dos mecanismos flexíveis podemos citar: o fato de consistir em um corpo monolítico (uma única peça), que pode ser fabricada com pequenas dimensões; a inexistência de problemas de folga devido à montagem de pinos; e o fato de não necessitar de lubrificação, pois não há

atrito entre peças [2].

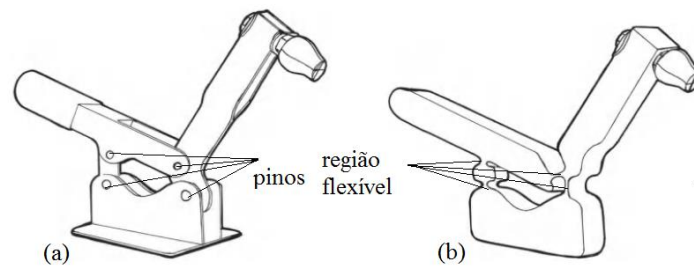


Figura 1 – (a) Mecanismo convencional e (b) mecanismo flexível.

Mecanismos flexíveis possuem grande aplicação em aparelhos que envolvem mecânica de precisão, como mecanismos de máquinas fotográficas e cabeçote leitor de um vídeo-cassete ou de um disco rígido de computador, onde devido à montagem compacta desses equipamentos, exigem-se peças de pequenas dimensões e o menor número possível de componentes a serem montados, caso contrário o problema de folga na montagem pode inviabilizar o funcionamento do equipamento. Outra área de aplicação de mecanismos flexíveis é na engenharia biomédica no projeto de instrumentos cirúrgicos, onde esses mecanismos podem ser usados na construção de garras ou pinças que produzam movimentos variados, sendo que a existência de poucas peças facilita a esterilização desses instrumentos. Uma área de grande aplicação de mecanismos flexíveis é o projeto de sistemas microeletromecânicos (ou MEMS em inglês), que são sistemas mecânicos com dimensões reduzidas e com circuitos eletrônicos acoplados [3]. Recentemente, Stanford [4] apresentou o projeto conceitual de um micro veículo aéreo, cujas asas são constituídas por mecanismos flexíveis oscilantes.

No entanto, o projeto genérico de mecanismos flexíveis é uma tarefa muito complexa, pois essencialmente se deseja saber qual a geometria da estrutura que deforme, gerando um dado deslocamento numa dada direção e ponto da estrutura, dado uma certa força aplicada em outra direção e ponto da estrutura. Assim, nos últimos anos pesquisadores vem propondo procedimentos sistemáticos para o projeto, os quais abordam métodos baseados em diversas teorias [5, 6]. Uma das abordagens teóricas mais utilizadas para o desenvolvimento de projetos de mecanismos flexíveis é a otimização estrutural, cujo enfoque é obter a flexibilidade distribuída no mecanismo. Esta teoria é baseada no método de Otimização Topológica (OT), que consiste em um método computacional poderoso de otimização estrutural que permite projetar a topologia ótima de estruturas segundo um certo critério de custo. Essencialmente, a OT busca a distribuição de material no interior de um domínio de projeto, retirando e adicionando material nesse domínio de maneira a maximizar (ou minimizar) a função objetivo especificada, satisfazendo dadas restrições impostas ao problema de otimização [7].

O projeto de mecanismos flexíveis é então, apresentado como sendo um problema de

otimização estrutural no qual a função objetivo é maximizar o deslocamento de um dado ponto da estrutura do mecanismo, dada uma certa força aplicada em outro ponto da estrutura, minimizando o volume total de material empregado na fabricação do mecanismo. O material em cada ponto do domínio contínuo pode variar de ar (não presença de material) até sólido (total presença de material) podendo assumir densidades intermediárias entre ar e sólido de acordo com um modelo de material definido [7]. Nesse trabalho de Iniciação Científica, pretende-se estudar a implementação da OT para o projeto de mecanismos flexíveis, desenvolvendo um solver em linguagem Python para resolver o problema de OT do mecanismo flexível. A OT torna o processo de projeto mais genérico e sistemático, fornecendo a topologia inicial, otimizada para uma certa aplicação, do mecanismo a ser construído, e com isso agilizando o processo para a obtenção do projeto final.

O uso da linguagem Python pode representar uma grande vantagem ao observar os benefícios e resultados que se pode obter com a infinidade de tarefas que ela realiza [8]. Atualmente é uma das linguagens de programação mais usadas em diversos segmentos e, em especial, na engenharia. Alguns aspectos da linguagem podem facilitar a implementação de tarefas e processos de maneira rápida e eficaz. A facilidade de entendimento é um ponto importante para utilização dessa linguagem que, com uma sintaxe simples e versátil, pode ser usada para poupar muito tempo em determinados processos. Assim, é possível criar rotinas computacionais de sintaxe clara, que permite maior acessibilidade ao programa e contribui para o aprendizado acadêmico. Seu uso vai desde automação de tarefas, análise de dados, desenvolvimento web, inteligência artificial e outros projetos de engenharia. Python oferece ainda funcionalidades importantes para a engenharia por meio das bibliotecas, pacotes e recursos com resultados semelhantes à softwares pagos, como o MATLAB. A linguagem, então, é uma alternativa de baixo custo que poderá atender às necessidades do projeto e chegar nos resultados esperados.

A utilização de um algoritmo de OT implementado em Python pode ser capaz de lidar com modelos 2D e 3D complexos e processar a solução encontrada de maneira muito rápida, quando comparado com outras linguagens já amplamente utilizadas nesse tipo de problema, fazendo com que o custo computacional seja reduzido. Ademais, os códigos implementados em Python trazem ainda a vantagem da possibilidade de interação direta com softwares computacionais de CAD e CAE. Além disso, a linguagem ainda conta com a vantagem de não necessitar de grande utilização da memória RAM para manipular vetores e matrizes, por exemplo. Portanto, a linguagem Python, que tem crescido em termos de popularidade, proporciona diversas vantagens em sua utilização e por isso foi a escolhida para esse projeto [13].

3 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho de Iniciação Científica (IC) consiste em implementar um solver de otimização topológica (OT) para o projeto de mecanismos flexíveis, usando a linguagem de programação Python. No desenvolvimento do projeto de pesquisa, pretende-se construir um código em Python para OT de mecanismos flexíveis. O desenvolvimento do programa em Python permite que o código possa ser adaptado e usado em outros problemas de otimização, o que contribui significativamente para a aplicação dessa linguagem na criação de softwares de OT para aplicação em engenharia. Durante o trabalho de IC, o aluno poderá explorar os conceitos e implementação de algoritmos de otimização, método dos elementos finitos (MEF) e aplicação da linguagem Python no projeto de mecanismos flexíveis. Além disso, o aluno de IC dará continuidade ao trabalho no mesmo tema iniciado por um aluno anterior que, por motivo de saúde, encerrou o seu programa de IC prematuramente.

4 PLANO DE TRABALHO

1ª. ETAPA

Revisão bibliográfica sobre o tema incluindo os conceitos teóricos do Método de Otimização Topológica, bem como a teoria de mecanismos flexíveis e suas aplicações. O orientador indicará a bibliografia a ser estudada pelo aluno e fornecerá o material necessário (artigos, teses, livros, apostilas etc.), atribuindo-lhe essencialmente os tópicos básicos para desenvolver o trabalho de iniciação científica proposto.

2ª. ETAPA

Estudo dos conceitos básicos do Método dos Elementos Finitos (MEF) [9]. Um software de elementos finitos é uma ferramenta poderosa de simulação utilizada largamente para auxiliar o desenvolvimento de projeto de produtos em diversas áreas da engenharia. Neste trabalho, o MEF é utilizado para obter o campo de deslocamentos, ou seja, a deformação da estrutura. A informação sobre a deformação da estrutura é necessária para o cálculo da função objetivo do problema de OT [7].

3ª. ETAPA

Essa etapa envolve o estudo de programação em Python e a familiarização com a programação de um software (“solver”) de Otimização Topológica (OT) e de MEF. A

familiarização com um software de OT será feita através do estudo de programas didáticos disponíveis na linguagem C e MATLAB, desenvolvidos pelo orientador do candidato [10] e pesquisadores da área [5, 6]. Além disso, códigos de OT encontrados na literatura podem ser utilizados como base para o estudo da programação em Python [11, 12, 13].

4ª. ETAPA

Implementação das rotinas de elementos finitos, em linguagem Python, que leve em consideração formulações que contemplem as propriedades elásticas de material sólido a ser utilizado no interior do domínio de projeto. O aluno implementará o procedimento do MEF para montagem da matriz de rigidez da estrutura e um algoritmo para solução numérica do sistema de equações lineares do MEF [9].

5ª. ETAPA

Nessa etapa será implementado as rotinas do software de OT, proposto em linguagem Python, que emprega as rotinas de elementos finitos desenvolvidas anteriormente e um algoritmo de otimização. Geralmente os algoritmos de otimização utilizados no MOT são baseados em programação matemática, como a Programação Linear Sequencial (PLS) [14] e o Método das Assíntotas Móveis (MMA) [15], porém dependendo da necessidade do projeto outro algoritmo poderá ser testado, como por exemplo o Critério de Optimalidade (OC) [7].

6ª. ETAPA

Nessa etapa, o aluno irá utilizar o software implementado em Python para sintetizar estruturas otimizadas de mecanismos flexíveis. Os primeiros resultados terão por objetivo reproduzir alguns resultados da literatura com o intuito de verificar e avaliar o software implementado em Python. Os mecanismos flexíveis gerados serão analisados por um software de projeto (CAE) para validar os resultados obtidos com o software de OT (em Python). Alterações e ajustes na programação do software de OT proposto serão realizados nesta etapa, caso necessário.

7ª. ETAPA

Redação e entrega de relatórios de iniciação científica, bem como publicação e apresentação do trabalho em evento específico.

5. CRONOGRAMA DO PROJETO

O cronograma de execução do plano de trabalho, proposto para o período de 12 meses, é apresentado na seguinte tabela.

Etapa/Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 ^a .	X	X										
2 ^a .		X	X									
3 ^a .			X	X	X							
4 ^a .				X	X	X						
5 ^a .						X	X	X	X			
6 ^a .									X	X	X	
7 ^a .						X						X

6. MATERIAIS E MÉTODOS

A implementação dos softwares (“solvers”) do projeto será feita na linguagem Python, rodando no sistema operacional Windows (ou Linux). As fases de programação e “debugger” serão feitas no editor do Visual Studio, que possui suporte para várias linguagens, entre elas o Python. Os resultados da OT (saídas do programa) serão visualizados no Windows, utilizando-se ferramentas de plotagem de imagens em linguagem Python. Para simulação computacional do comportamento dos mecanismos flexíveis será utilizado o software comercial de elementos finitos ANSYS.

Os softwares de programação e de CAE, bem como o computador necessário para o desenvolvimento do projeto, encontram-se disponíveis no Laboratório de Mecânica Computacional do CECS e, também podem ser acessados remotamente, caso seja necessário. A literatura necessária para o desenvolvimento do projeto está disponível em livros da biblioteca da Universidade, bem como em periódicos internacionais disponíveis no portal da CAPES e assinaturas de revistas eletrônicas adquiridas pela UFABC.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. L. Howell and A. Midha, A Method for the Design of Compliant Mechanisms with Small Length Flexural Pivots, ASME J. Mech. Design, 116, 280-289, 1994.
- [2] B. A. Salamon, A. Midha, An Introduction to Mechanical Advantage in Compliant Mechanisms, In DE-Vol. 44-2, Advances in Design Automation, ASME: 47-51, 1992.
- [3] P. Rai-Choudhury, MEMS and MOEMS Technology and Applications, SPIE Press, Bellingham, Washington, EUA, 2000.

- [4] B. Stanford, Three-Dimensional Topologies of Compliant Flapping Mechanisms, J. Aerosp., Eng, 27(4): 06014001, 2014.
- [5] O. Sigmund, On the Design of Compliant Mechanisms using Topology Optimization. Mechanics of Structures and Machines, 25(4), 495-526, 1997.
- [6] S. Nishiwaki, M. Frecker, S. Min and N. Kikuchi, Topology Optimization of Compliant Mechanisms using the Homogenization Method, International Journal of Numerical Methods in Engineering, 42, 535-559, 1998.
- [7] Bendsøe, M. P.; Sigmund, O., Topology Optimization: Theory Methods and Applications - Berlin: Springer-Verlag, ISBN 3-540-42992-1, 2003.
- [8] Manzano, J. A., Introdução à linguagem Python, Novatec, 2018.
- [9] Bathe, K. J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [10] Cícero R. de Lima, Projeto de Mecanismos Flexíveis Usando o Método de Otimização Topológica, dissertação de mestrado, EPUSP, 2002.
- [11] Sigmund, O., A 99 Line Topology Optimization Code Written in Matlab, Struct. Multidisciplinary Optimization, 21, 120-127, 2001.
- [12] E. Andreassen, A. Clausen, M. Schevenels, B. S. Lazarov and O. Sigmund, Efficient Topology Optimization in MATLAB Using 88 Lines of Code, Struct Multidisc Optim, 43, 1-16, 2011.
- [13] Z. H. Zuo and Y. M. Xie, A Simple and Compact Python Code for Complex 3D Topology Optimization, Advances in Engineering Software, 85, 1-11, 2015.
- [14] R.T. Haftka, Z. Gürdal, and M. P. Kamat, Elements of Structural Optimization, Dordrecht: Kluwer Academic, 1992.
- [15] K. Svanberg, The Method of Moving Asymptotes - A New Method for Structural Optimization, Int J Numer Methods Eng, 24, 359-73, 1987.