SIMULAÇÃO ESTRUTURAL E APRIMORAMENTO DE FRESADORA MINI ROUTER CNC

Palavras-Chave: USINAGEM, TOLERÂNCIA DIMENSIONAL, VIBRAÇÕES.

Autores(as):

Heron Matoch Santos, FCA – UNICAMP

Prof. Dr. Daniel Iwao Suyama (orientador), FCA – UNICAMP

Prof. Dr. Eduardo Paiva Okabe (coorientador), FCA – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Nos dias atuais, as empresas do setor de manufatura precisam constantemente otimizar seus produtos e processos produtivos para se manterem competitivas, buscando melhorar a qualidade dos produtos de forma que não haja um aumento muito grande no custo de fabricação. Desta forma, as dimensões são um elemento muito importante do conjunto de características que determinam a qualidade do produto. Elas estão relacionadas ao peso, durabilidade, desempenho e à intercambiabilidade, ou seja, a capacidade de uma peça se encaixar em conjuntos de diferentes fabricantes ou aplicações.

A partir das dimensões ideais especificadas no projeto e, dependendo da exigência da aplicação ou do nível de qualidade, é definida uma faixa de valores aceitáveis para as dimensões reais de uma peça. Esta faixa é denominada tolerância dimensional e quanto menos ela se afasta do valor ideal de projeto, mais difícil e custoso se torna a fabricação de um produto.

A usinagem é um conjunto de processos de fabricação que dão forma, acabamento e dimensões, ou qualquer combinação destas características, às peças por meio da remoção de material, denominado cavaco, utilizando uma ferramenta (ABNT 6175, 2015). Esse conjunto de processos apresenta excelente desempenho em relação às dimensões e ao acabamento das peças produzidas, podendo atender tolerâncias dimensionais estreitas.

Os processos de usinagem podem ser auxiliados por uma tecnologia denominada CNC (Comando Numérico Computadorizado), onde a máquina é controlada de forma eletrônica, executando ações que seguem uma programação que pode ser configurada de acordo com diversos parâmetros. Essa tecnologia aumenta ainda mais a precisão das dimensões obtidas, pois identifica a posição da ferramenta em relação à peça através de um sistema de coordenadas.

Dentro da usinagem, existem os processos de fresamento, onde a ferramenta é constituída por arestas cortantes dispostas ao redor de um eixo que gira em alta velocidade. As arestas removem material da peça através da movimentação da mesma em relação ao eixo por uma mesa na qual está apoiada. Os processos de fresamento são muito versáteis, podendo produzir peças com geometrias relativamente complexas e com boa precisão nas dimensões obtidas.

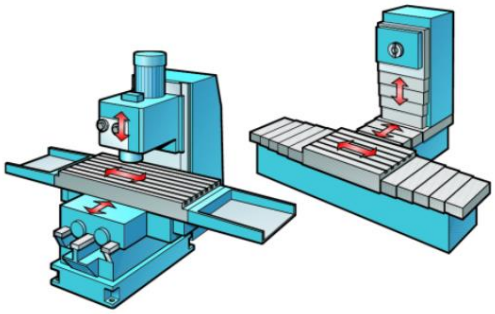


Figura 1: *Exemplos de fresadoras. Fonte:* SANDVIK COROMANT, [2009?].

Apesar do controle rigoroso das coordenadas utilizando CNC, alguns fatores externos podem interferir nas posições reais da ferramenta e da peça durante a usinagem, que podem passar a ser diferentes das posições especificadas na programação. Entre esses fatores, destacam-se as vibrações, que são causadas pelas forças cíclicas geradas pelo contato entre a ferramenta e a peça. Essas vibrações provocam deformações na estrutura da máquina ou na ferramenta.

Então, pode-se realizar uma análise modal para encontrar as frequências naturais da estrutura da máquina e os modos de vibrar. As frequências naturais são propriedades da própria estrutura, relacionadas à rigidez e à massa da mesma (INMAN, 2001), as quais são fatores determinados pela geometria da estrutura e pelas propriedades dos materiais, como módulo de elasticidade e densidade. Quando a frequência de vibração é igual ou próxima a uma frequência natural, ocorre ressonância, situação na qual o movimento da estrutura da máquina se maximiza e a maior deformação é atingida. A análise modal pode ser realizada através de um software de simulação ou utilizando acelerômetros, que medem a aceleração da estrutura e podem ser utilizados para medir vibrações.

METODOLOGIA:

O projeto tem como objetivo analisar o efeito de vibrações na estrutura de uma fresadora *Mini Router* controlada por CNC, que está disponível no Laboratório de Manufatura Digital (LAMADI) na FCA. A partir desse efeito, espera-se estimar possíveis impactos na tolerância dimensional de peças produzidas pela máquina.

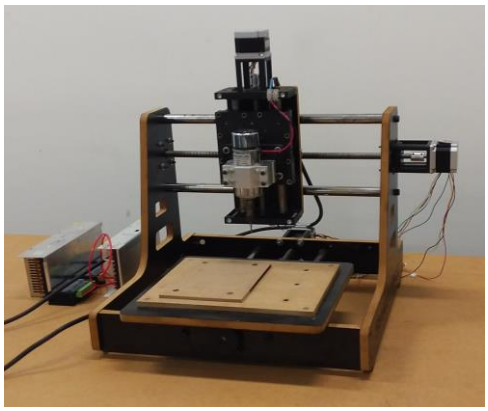
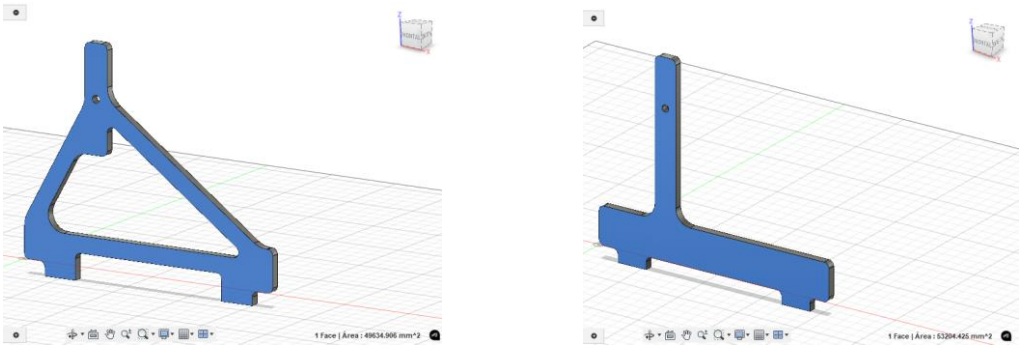


Figura 2: *Fresadora Mini Router CNC.*

Inicialmente, foi realizado o desenho dos componentes atuais da máquina e montagem da estrutura em um software de desenho (*Computer Aided Design*), denominado *Autodesk Fusion*. Além disso, foram desenhadas duas outras estruturas propostas para as peças laterais, uma em formato de "T invertido" e a outra em formato de triângulo vazado, de modo que fosse reduzida a quantidade de material e pudesse ser observado o efeito da alteração nas frequências naturais.



(a) (b)

Figura 3: *Estruturas laterais em triângulo vazado (a) e "T invertido" (b).*

Em seguida, as montagens foram levadas para um software de engenharia assistida (*Computer Aided Engineering*), denominado *Ansys Workbench*, para a realização de simulações para definir os modos de vibrar e as frequências naturais correspondentes a esses modos. Foi realizada a comparação dos valores de frequências naturais para diferentes materiais e entre as diferentes estruturas propostas. A estrutura atual da máquina contém peças feitas em MDF (*Medium Density Fiberboard*), que possuem um módulo de elasticidade relativamente baixo, ou seja, precisa de esforços menores para sofrer deformação. Portanto, foram realizadas simulações no *Ansys Workbench* da estrutura com essas peças em MDF e em seguida foram realizadas simulações para estas mesmas peças alteradas para aço, material com módulo de elasticidade bem maior.

Então, a etapa posterior consiste na determinação das frequências naturais com uma análise modal utilizando acelerômetros e um martelo de impacto, ferramentas específicas para este procedimento. As frequências serão determinadas para a estrutura atual em MDF e, posteriormente, para uma estrutura feita em alumínio, que é um material mais rígido.

RESULTADOS:

As simulações no *Ansys Workbench* permitiram não só comparar os efeitos do material e das estruturas nas frequências naturais, como também permitiram a localização de pontos na estrutura que são mais afetados por essas vibrações e sofrem maior deformação.

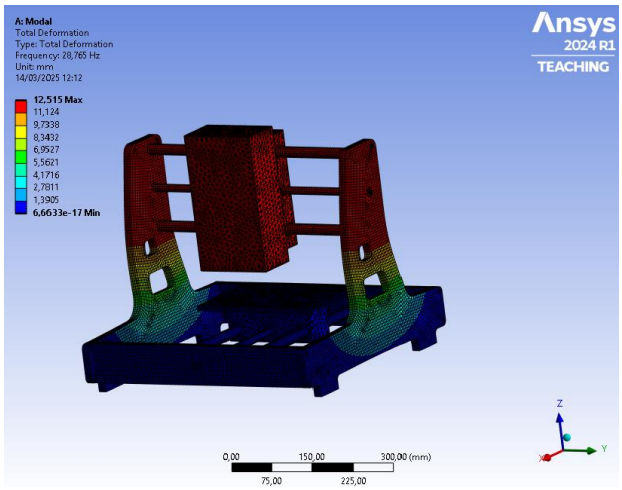


Figura 4: *Deformação da estrutura original no primeiro modo de vibrar (Ansys Workbench).*

A comparação dos materiais nas simulações apontou que, em todos os casos, trocar o material de MDF para aço aumenta drasticamente o valor da primeira frequência natural, para todas as estruturas..

Além disso, a comparação dos formatos da estrutura trouxe resultados variados, sendo que os formatos de triângulo vazado e “T” invertido causaram certa redução nas frequências para o material MDF, mas não causaram variações significativas para o material aço. Os resultados são apresentados na tabela a seguir.

Formato	Material	Primeira frequência natural (Hz)
Atual	MDF	28,765
“T” invertido	MDF	25,028
Triângulo vazado	MDF	23,437
Atual	Aço	117,92
“T” invertido	Aço	119,29
Triângulo vazado	Aço	117,27

Tabela 1:*Resultados do primeiro modo de vibrar para diferentes materiais e estruturas.*

CONCLUSÕES:

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a troca do material tende a reduzir a deformação causada pelas vibrações e aumentar o valor da menor frequência natural, devido ao efeito do módulo de elasticidade, pois os metais são mais rígidos que a madeira MDF. Aumentar o valor da menor frequência natural é interessante pois aumenta a faixa de velocidades de rotação que a máquina pode operar sem efeitos consideráveis de deformação por vibração. No entanto, a densidade dos metais é maior que a da madeira MDF, tornando a máquina mais pesada e dificultando o transporte.

Além disso, percebe-se que é possível otimizar a geometria da estrutura da máquina, tanto para reduzir o material usado quanto para tornar ela mais rígida e reduzir as deformações causadas pelas vibrações durante a usinagem.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6175: Usinagem - Processos Mecânicos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

SANDVIK Coromant. **Manual Técnico**. Sandviken: Sandvik, [2009?].

D. J. INMAN. **Engineering Vibration.** 2. ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2001.

ALVES, F. Você sabe o que é frequência natural e como interpretá-la?. **Mechworks**, 2023. Disponível em: < https://mechworks.com.br/voce-sabe-o-que-e-frequencia-natural-e-como-interpreta-la/>. Acesso em: 03 de ago. de 2025.