

DEFINIÇÃO DE PROCESSOS EM ENSAIOS DE USINAGEM PARA A VERIFICAÇÃO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL

DEFINITION OF PROCESSES IN MACHINING TESTS FOR SURFACE FINISHING VERIFICATION

Renato Luiz Gambarato¹

Vivian Toledo Santos Gambarato¹

Silas da Silva Santos²

Emerson Pirovano³

Alexandre Fernandes Stein³

RESUMO

A grande variedade de materiais disponíveis no mercado levanta questões sobre a melhor escolha para serem utilizados em aulas práticas nos laboratórios didáticos de processos de usinagem. Deve-se conhecer os materiais, suas propriedades físicas e seu custo para aquisição e para os processos de usinagem. O custo das máquinas, como um Centro de Usinagem CNC, e o custo de ferramentas e insumos são conhecidos, ou fáceis de se calcular. O acabamento superficial na usinagem é importante e definido no processo de criação da peça, ou do conjunto, e é essencial conhecê-lo, pois define se necessita de mais processos para atingir a rugosidade desejada. O consumo de energia elétrica também é muito importante, pois é um grande fator na formação dos custos de produção e merece atenção. O presente trabalho teve como objetivos a definição dos ensaios de usinagem, colocando na metodologia quais processos de usinagem devem (ou podem) ser executados nos materiais escolhidos, bem como a variação dos parâmetros de usinagem para cada processo, além da medição do estado do acabamento superficial (rugosidade) e o consumo de energia elétrica em cada processo, em um ambiente didático de uma Faculdade. Assim, como resultado, obteve-se os processos que são possíveis de se executar em um Centro de Usinagem CNC Didático, bem como os valores de referência e as variações dos parâmetros de usinagem para a verificação da rugosidade e consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Alumínio. Consumo. Parâmetros. Poliacetal. Usinagem.

ABSTRACT

The wide range of materials available in the market leads to issues about the best choice to be used for practical classes in laboratories of machining processes. It is important to know the materials, their physical properties and the costs for acquisition and machining processes. The cost of machines like those of CNC Machining Center, and the use of tools and supplies are known easy to calculate. Surface finishing in machining is important and it defined during the creation process of the part being of high importance for it defines whether it is necessary more processes to achieve the desired roughness. Electricity consumption is also very important, as it is a major factor in forming production costs. This paper aimed at the definition of machining tests, using as methodology which machining processes must (or can) be executed with the chosen materials as well as variation of the machining parameters for each process. Moreover, measurement of the finishing state surface (roughness) and the consumption of electricity in each process, within a teaching-learning environment of a superior school. Results showed feasible processes at a CNC Didactic Machining Center, as well as reference values and variations of machining parameters for checking roughness and electricity consumption.

Key Words: Aluminum. Consumption. Machining. Parameters. Polyacetal.

¹ Professor do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas – Fatec, Botucatu e-mail: renato.gambarato@fatec.sp.gov.br

² Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura). Fatec Botucatu

³ SENAI- Botucatu

1 INTRODUÇÃO

A diversidade de materiais disponíveis para a transformação aumenta a cada dia gerando novos produtos e novos usos, ou seja, novas oportunidades para pesquisadores e para a indústria.

A engenharia de materiais e pesquisas pelo mundo todo tem contribuído para a vasta lista de materiais disponíveis para que a indústria crie, adequa ou melhore seus produtos, aumentando a competitividade no mercado.

Essa inovação é crucial para que uma indústria se mantenha presente no cenário complexo que surge nos dias atuais, que conta com instabilidade financeira em vários países, problemas políticos e desconfiança dos investidores.

A diminuição dos custos de produção impacta diretamente no preço final de um produto, impactando também na aceitação que o mesmo terá no mercado ao qual for inserido.

No meio acadêmico, a redução de custos também reflete na competitividade das escolas, principalmente nas escolas particulares.

Mesmo as escolas públicas se preocupam com a redução de custos de materiais em seus laboratórios, garantindo o bom uso do dinheiro público.

Para melhor conhecer os custos de produção de produtos usinados, deve-se conhecer o custo de cada processo e do acabamento superficial desejado na peça final.

Para uma boa formação de preço de um produto, é importante conhecer bem todos os custos de produção.

Em produtos usinados, os processos utilizados para trabalhar a peça são muito importantes, mas os processos de acabamento superficial e o consumo de energia elétrica também são.

Quanto maior o número de processos de usinagem e acabamento são necessários, maior é o consumo de energia elétrica nas máquinas e, por consequência, maior será o custo de confecção da peça.

Conhecer o estado superficial final de cada processo e o consumo de energia elétrica para que a máquina execute o processo auxilia bastante na definição dos processos de usinagem que formaram a peça.

Assim, um trabalho que relacione processos de usinagem, parâmetros de corte, acabamento superficial e consumo de energia elétrica torna-se interessante, pois fornecerá um material de referência detalhado para a confecção de peças e definição dos custos de produção.

O objetivo deste trabalho foi a definição dos ensaios de usinagem, detalhando os processos e ferramentas utilizados, além do desenho das peças a serem usinadas nos ensaios.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Usinagem

Usinagem é o processo que produz em uma peça sua forma, dimensões ou acabamento. Esse processo caracteriza-se pela produção de cavacos, que são fragmentos resultantes da retirada do material através de ferramentas de corte (ferramentas de usinagem) (FERRARESI, 2009).

O cavaco possui características específicas que variam de acordo com o processo de usinagem aplicado. Porém, uma característica é constante: sua forma irregular.

A formação do cavaco apresenta situações específicas, como:

- Recalque;
- Aresta postiça de corte;
- Caracterização da superfície de saída da ferramenta, e;
- Formação periódica do cavaco.

Os processos de usinagem são feitos por máquinas específicas para cada tipo de processo.

Os equipamentos de usinagem mais comuns são o Torno Mecânico, a Fresadora e a Furadeira.

2.2 Fresamento

Segundo Stemmer (1995), fresamento é o processo de remoção de material através de movimentos rotativos de uma ferramenta chamada fresa. Uma fresa contém vários elementos cortantes (“dentes”) dispostos simetricamente em torno de um eixo, os quais retiram uma porção de material da peça, definindo assim, a forma desejada.

O movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa em relação ao seu próprio eixo. O movimento de avanço é proporcionado pela peça que está sendo usinada, a qual está fixada em uma mesa que, ao movimentar-se, direciona a peça contra a ferramenta, conferindo assim a forma final (DINIZ et al, 2008).

Em relação à direção do fresamento existe dois tipos de fresamento (SANDVIK, 2017):

- **Concordante:** a ferramenta de corte é avançada com a direção da rotação;
- **Discordante:** a ferramenta de corte é avançada com a direção oposta à sua rotação.

Em relação à posição do eixo árvore da máquina, existe três tipos de fresamento:

- **Horizontal:** quando o eixo árvore está na horizontal (0°);
- **Vertical:** quando o eixo árvore está na vertical (90°);
- **Inclinado:** quando a inclinação do eixo árvore é diferente de 0° e 90° .

Quanto às ferramentas, existem dois tipos, os quais são classificados pela disposição dos dentes ativos da fresa:

- **Fresamento tangencial:** quando os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta, assim o eixo da fresa é paralelo à superfície usinada;
- **Fresamento frontal:** quando os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta, assim o eixo da fresa é perpendicular à superfície usinada. Esta ferramenta é chamada de fresa frontal ou de topo.

2.3 Parâmetros de usinagem

Segundo Stoeterau (2019), processo de usinagem é composto por movimentos da ferramenta e da peça. Estes proporcionam a remoção do material conferindo a forma final da peça.

Vários destes movimentos são configuráveis nas máquinas, seguindo parâmetros de acordo com o material a ser usinado, a ferramenta utilizada, o processo de usinagem a ser executado e o resultado final que se espera obter (DINIZ et al., 2008).

Três parâmetros são muito importantes na usinagem, pois representam a configuração básica da máquina e do movimento da ferramenta.

São eles:

- **Velocidade de Corte:** é uma grandeza que relaciona o movimento da ferramenta e da peça para a remoção do material. Leva em consideração o material, o tipo de ferramenta, as dimensões da ferramenta. Os fabricantes de ferramentas recomendam alguns valores de acordo com o material e as dimensões da ferramenta.
- **Avanço:** O Avanço é o movimento entre a peça e a ferramenta, que possibilita a remoção contínua ou repetida do material. Esta movimentação define a forma final da peça após a remoção do material.

- **Velocidade do Fuso:** é a velocidade de rotação da ferramenta, quando aplicada a uma broca ou a uma fresa, ou a velocidade de rotação da peça, quando aplicada a um torno. É medida em rotações por minuto (RPM) e calculada com base no avanço e na velocidade de corte.

2.4 Poliacetal

O polioximetileno, ou poliacetal, é um polímero de formol constituído por cadeias moleculares lineares. Isso proporciona características físicas bastante atraentes à indústria e aos processos didáticos (WIEBECK e HARADA, 2005).

O poliacetal se destaca por sua dureza e sua rigidez, o que gera uma alta estabilidade dimensional, favorecendo bastante os processos e estudos de alta precisão.

Além disso, o poliacetal possui uma grande faixa de temperatura de trabalho, que vai de -40 °C a 165 °C, mais de 200 °C de variação (REMY et.al., 2000).

Possui alta resistência a solventes orgânicos, baixa permeabilidade a gases e vapor d'água, além de baixíssima absorção de água.

Devido ao seu baixo peso específico de 1,425 g/cm³, o poliacetal é um dos mais leves materiais utilizados em processos de usinagem. Um cubo 50x50x50mm pesa apenas 178g.

2.5 Alumínio

Alumínio é o metal mais abundante da superfície terrestre e é produzido a partir da Bauxita.

Possui propriedades físicas interessantes para a indústria em geral e é utilizado em uma vasta variedade de produtos do cotidiano, tais como latas de refrigerante, embalagens, presente em móveis, automóveis etc.

Sua temperatura de fusão é 600 °C, inerte à água na faixa de 0 a 100 °C. É um metal não ferroso dúctil e maleável, com um peso específico de 2,7g/cm³, assim, um cubo 50x50x50mm pesa aproximadamente 338g (REMY, 2000).

Segundo Davis (1993), existe uma classificação das ligas de alumínio, segundo a Aluminum Association, que define quatro dígitos para cada composição da liga utilizada, como segue:

- 1xxx – Alumínio comercialmente puro, utilizado principalmente na indústria elétrica e química;
- 2xxx – Ligas no qual o cobre é o principal elemento ligante, bastante utilizadas na indústria aeronáutica;
- 3xxx – Ligas no qual o manganês é o principal elemento ligante, usadas como liga de uso geral para aplicações arquitetônicas e vários produtos;
- 4xxx – Ligas no qual o silício é o principal elemento ligante, usadas em varetas de solda e folhas de brasagem;
- 5xxx – Ligas no qual o magnésio é o principal elemento ligante, usadas em cascos de barcos, pranchas e produtos expostos a ambientes marítimos;
- 6xxx – Ligas no qual o magnésio e o silício são os principais elementos ligantes, geralmente usadas para extrusão;
- 7xxx – Ligas no qual o zinco é o principal elemento ligante, usadas em estruturas aeronáuticas e aplicações de alta resistência;
- 8xxx – Ligas que incluem algumas composições com estanho e lítio;
- 9xxx – Reservado para o futuro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o material seguinte.

- Centro de Usinagem CNC Didático EMCO Concept Mill 55.
- Fresas tangencial e de topo: Fresa HSS Ø40mm, Fresa de Topo HSS Ø12mm, Fresa de Topo HSS Ø8mm, Fresa de Topo HSS Ø6mm.
- Software EMCO Siemens Sinumerik 840D Mill.
- Rugosímetro Mitutoyo SurfTest SJ-310.
- Medidor Digital de Consumo de Energia Elétrica (Bifásico) R.E. Eletricidade.
- Notebook Dell Inspiron 5547 com Intel i7, 16GB RAM, Radeon Graphics 2 GB, Windows 8.1
- Paquímetro Starret 0.05mm
- Poliacetal Branco
- Alumínio

3.2 Metodologia

Para a execução do projeto principal, faz-se necessárias as seguintes definições:

- definição dos **processos de usinagem** que comporão as sequências de usinagens;
- definição da **forma final da peça usinada**, tendo como base os processos de usinagens escolhidos para execução e análise;
- definição dos **parâmetros de usinagem e suas variações** a serem executadas para a verificação do estado do acabamento superficial e o consumo de energia gasto no processo;

Assim, as definições citadas nortearão os trabalhos de usinagem previstos para a etapa seguinte do desenvolvimento do projeto principal.

Para que fosse atingido o objetivo deste trabalho, fez-se necessária a atenção a detalhes:

- da **máquina** (Centro de Usinagem Didático CNC);
- das **ferramentas** (Fresas para metal rápido);
- dos **materiais** utilizados (Poliacetato e Alumínio) e;
- do **medidor de consumo de energia elétrica**.

3.2.1 Centro de Usinagem Didático CNC

O Centro de Usinagem Didático CNC escolhido para o desenvolvimento do projeto é da marca EMCO, modelo *Concept Mill 55*, como o comando CNC *Siemens Sinumerik 840D Mill*.

Por se tratar de um equipamento didático, possui algumas propriedades que restringem as atividades que podem ser executadas, como por exemplo o limite de abertura do dispositivo de fixação da peça a ser usinada, que é de 60mm, o que reduz o tamanho da peça a valores menores que 60mm.

Além da fixação da peça, há um limite de curso da ferramenta no processo de usinagem a 190mm no eixo X, 140mm no eixo Y e 120mm no eixo Z (com o porta-ferramentas).

O avanço da mesa de fixação possui um limite de 2 m/min, e a velocidade máxima do fuso (rotação máxima do eixo árvore) é de 150 a 3500 rpm.

3.2.2 Fresas para metal rápido

Com a limitação de Avanço e Velocidade do Fuso (RPM), os valores nominais para as ferramentas também são restringidos.

Os valores de avanço e rotação, não poderão ultrapassar o mínimo e máximo para as ferramentas e os materiais escolhido para o projeto.

As tabelas de referência geradas estarão dentro dos limites dos valores possíveis de avanço e rotação para as ferramentas (fresas), materiais (alumínio e poliacetal) e para o centro de usinagem utilizado.

3.2.3 Poliacetal e Alumínio

O Centro de Usinagem utilizado no projeto possui limitações no dispositivo de fixação (morsa) e na movimentação da mesa (onde a peça a ser usinada está fixada) em relação ao Eixo *Árvore* (onde a ferramenta está fixada).

Assim, os blocos de alumínio e poliacetal não poderão exceder 60mm de largura (eixo Y), 120mm de comprimento (eixo X) e 100mm de altura (eixo Z). Pois, apesar da máquina trabalhar com valores maiores, a morsa de fixação limita o eixo Y, e os eixos X e Z são restringidos pelo espaço de movimentação que as ferramentas necessitam para fazer a usinagem da peça.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atividades Desenvolvidas

Com base nos objetivos propostos, foi feita uma pesquisa bibliográfica para melhor embasar as decisões acerca da usinagem e das medições de rugosidade e consumo de energia elétrica em cada processo de usinagem.

Também foi pesquisada toda a documentação do Centro de Usinagem CNC utilizado neste trabalho, para verificar:

- os processos disponíveis para execução;
- os valores limites mínimos e máximos de cada parâmetro de usinagem disponível;
- os limites do dispositivo de fixação da máquina;

- os limites da movimentação das ferramentas no processo de usinagem;
- as ferramentas disponíveis e suas configurações.

4.1.1 Definição dos Processos de Usinagem

A lista de processos de usinagem que possam ser executados na máquina e materiais escolhidos para este trabalho é bem extensa. Caso fosse decidido executar todos os processos disponíveis, o custo do projeto o tornaria inviável. Além de necessitar de um tempo de projeto muito grande.

Assim, fez-se necessária uma escolha de alguns processos para compor a metodologia do projeto principal.

A escolha deveria basear-se nos processos mais utilizados em aulas de disciplinas específicas, bem como na utilização dos processos pela indústria.

Foi discutido sobre os processos que são comumente utilizados nos treinamentos em Programação e Operação de Centro de Usinagem CNC.

Os processos elencados foram faceamento, desbaste, cavidades e canais.

- **Faceamento:** é a operação de fresamento mais comum. É o processo que coloca as dimensões da peça bruta dentro das medidas definidas no desenho técnico, pois a peça bruta possui dimensões maiores que as dimensões finais, que são ajustadas com a retirada do material durante a usinagem.
- **Desbaste:** é a operação de fresamento que, normalmente, confere a forma externa da peça. A retirada do material é feita seguindo o desenho técnico do perfil final da peça, ou da região da peça a ser desbastada.
- **Canais:** é a operação de fresamento que gera formas fechadas que podem ser retos, curvos, angulares, curtos e longos, limitados ao diâmetro da ferramenta.
- **Cavidades:** é a operação de fresamento que gera formas fechadas (bolsões) com formatos circulares, retangulares, ou qualquer outro formato específico, com diâmetro maior que o da ferramenta.

Foi discutido quais poderiam entrar na lista de processos a serem executados para as verificações de Rugosidade e Consumo de Energia Elétrica.

Também foi citada a necessidade de se escolher os processos que pudessem ser executados no mesmo bloco de teste, economizando assim, material e dinheiro gasto.

4.1.2 Definição dos Parâmetros de Usinagem e suas Variações

Os parâmetros de usinagem disponíveis para variação são:

- **Avanço por dente:** é a distância percorrida pela ferramenta, no deslocamento da mesa fixadora, entre o contato de um dente e o contato do próximo dente com o material a ser removido, medido em milímetros (mm);
- **Avanço da mesa:** é a velocidade em que a mesa fixadora se desloca durante a usinagem do material, medido em milímetros por minuto (mm/min);
- **Velocidade de Corte:** é a distância total percorrida pela ferramenta por unidade de tempo, medida em metros por minuto (m/min);
- **Velocidade do fuso (RPM):** é o número de voltas completas executadas pela ferramenta fixada no eixo árvore em uma determinada unidade de tempo, medida em rotações por minuto (rpm).

A variação dos parâmetros de usinagem deverá seguir algumas diretrizes para que o resultado seja o proposto no objetivo do projeto principal, além de garantir que o seu desenvolvimento não prejudique nem a máquina, nem as ferramentas, nem a segurança e a integridade física das pessoas envolvidas, e, também, não danifique o material utilizado na usinagem, acarretando assim, um gasto desnecessário de tempo, por conta do retrabalho da preparação da peça-máquina-usinagem, e nem um gasto com a compra de mais material, que ficou por conta do autor do projeto.

4.1.3 Definição da Forma Final da Peça Usinada

O desenho técnico da peça em sua forma final leva em consideração:

- Os processos de usinagem que a definem, pois faz-se necessário a colocação de formas que devam ser usinadas pelos processos escolhidos. Proporcionando, assim, a possibilidade de executar o processo, medir o estado de acabamento superficial final e, também, medir o consumo de energia elétrica. Caso seja possível, as formas e dimensões inseridas devem fornecer opções de usinagem de processos conjuntos, ou seja, propiciando a execução de mais que um processo na mesma peça, otimizando, assim, os recursos materiais, evitando desperdícios;
- Os limites de movimento do eixo árvore da máquina, pois não há maneira de aumentar o tamanho da máquina. O Centro de Usinagem CNC Didático possui dimensões

reduzidas, em relação a um Centro de Usinagem CNC comum (industrial), porque a intenção da redução de tamanho é proporcionar ao aluno um ambiente escolar similar ao ambiente industrial, mas sem necessitar de barracões ou prédios em escala industrial. Então, as dimensões reduzidas adaptadas ao ambiente escolar limitam o movimento das ferramentas de usinagem na distância percorrida e na velocidade da execução dos processos. Assim, a peça deverá ter dimensões compatíveis com as opções fornecidas pela máquina didática;

- A variação dos parâmetros de usinagem, os quais estão condicionados às características do Centro de Usinagem CNC Didático. Vários fatores limitam os parâmetros de usinagem, tais como a Velocidade do Fuso (rpm) que limita os materiais, ferramentas e a velocidade de usinagem; o avanço da mesa fixadora limita a velocidade da usinagem; e, as dimensões da máquina limita o tamanho das ferramentas disponíveis, o que restringe todos os parâmetros de usinagem.

Assim, a forma inicial da peça, bem como a forma final, após a execução dos processos de usinagem, deve fornecer a oportunidade de executar todos os processos escolhidos, todas as variações definidas para os parâmetros de usinagem, e respeitar as limitações do Centro de Usinagem CNC Didático.

4.2 Resultados Alcançados

4.2.1 Processos de Usinagem

Foi definido que os processos que atendem os requisitos expostos anteriormente são:

- **Faceamento:** usinagem que irá preparar a superfície para os outros processos.
- **Desbaste:** usinagem que proverá a forma externa da peça.
- **Cavidade Retangular:** usinagem que fará o primeiro rebaixo no centro da face usinada.
- **Cavidade Circular:** usinagem que fará o segundo rebaixo no centro da face usinada.

4.2.2 Parâmetros de Usinagem

Para o desenvolvimento e atendimento dos objetivos do projeto principal, serão alvo de estudo o Avanço da Mesa Fixadora (F) e a Velocidade do Fuso (S).

Os parâmetros são calculados com base nas ferramentas utilizadas e com os dados fornecidos pelo fabricante.

O parâmetro informado foi a velocidade de corte para a máquina e as ferramentas, que é de 44 m/min.

Com isso, pode-se calcular os valores da Velocidade do Fuso (S) e do Avanço da Mesa (F).

Velocidade do Fuso (S) – este parâmetro ao ser calculado revela a velocidade mínima, em rpm, para cada ferramenta. Esta velocidade pode ser aumentada sem prejuízos à máquina ou à ferramenta.

Avanço da mesa fixadora (F) – este parâmetro pode ser calculado utilizando os valores da Velocidade de Corte (Vc) e da Velocidade do Fuso (S), revelando o valor máximo do avanço da mesa, podendo ser reduzido sem prejuízos à máquina ou à ferramenta.

Para o cálculo da Velocidade do Fuso (S) utiliza-se a seguinte fórmula:

$$S \text{ [rpm]} = (Vc \text{ [m/min]} * 1000) / (D \text{ [mm]} * \pi)$$

onde,

- S → Velocidade do Fuso
- Vc → Velocidade de Corte (informada pelo fabricante)
- D → Diâmetro da Ferramenta
- π → Pi ($\cong 3,14$)

Para o cálculo do Avanço da Mesa Fixadora (F) utiliza-se a seguinte fórmula:

$$F \text{ [mm/min]} = fz \text{ [mm/dente]} * z * S \text{ [rpm]}$$

onde,

- F → Avanço da Mesa
- fz → Avanço por dente (recomendado de 0,08 a 0,1 mm/dente)
- z → número de dentes da ferramenta
- S → Velocidade do Fuso

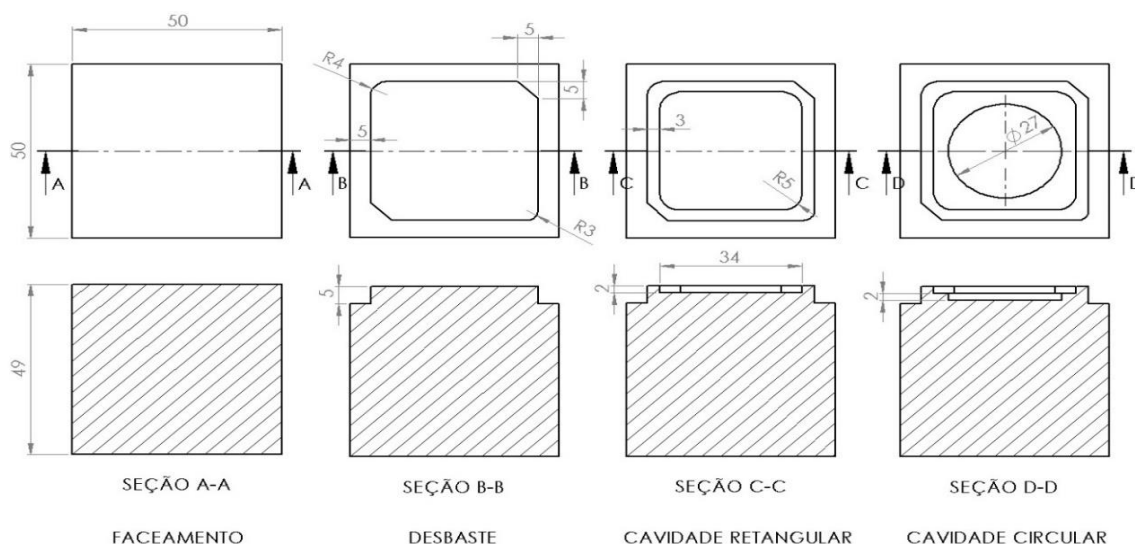
4.2.3 Desenho Técnico da Peça

Para que possam ser executados os processos de usinagem definidos, e os parâmetros de usinagem definidos, chegou-se ao desenho técnico da forma inicial e final da peça de testes.

A peça contém formas que necessitam dos processos definidos para atingir a forma final, propiciando alcançar os objetivos propostos.

A Figura 1 mostra a formas a serem usinadas e quais processos as delimitarão.

Figura 1 – Desenho Técnico da peça a ser usinada



Fonte: Próprio Autor, 2019.

4.2.4 Execução dos Processos e Medições

Para a implementação dos ensaios de usinagem e as medições de rugosidade e consumo de energia elétrica em cada processo, atingindo assim os objetivos propostos, uma ordem de execução será colocada.

Cada peça bruta será composta inicialmente por um cubo (para cada material escolhido – Alumínio e Poliacetal) com dimensões de 50 x 50 x 50mm.

Com uma área de usinagem de 2500 mm², será possível realizar todos os processos na face superior do cubo.

Os processos serão executados na seguinte ordem:

- 1) **Dry Run:** teste de funcionamento em vazio executado para a verificação de possíveis erros no programa CNC, além de verificar o consumo de energia elétrica mínimo naquele processo, pois não há esforço de ferramenta em usinagem. Esta execução será a única que não terá, ao seu término, a medição da rugosidade (acabamento superficial), visto que não haverá usinagem na peça.
- 2) **Faceamento:** será feita a usinagem em toda a face superior do cubo retirando 1mm de material, utilizando uma fresa de topo de diâmetro 40mm (Ø40mm) com 6 dentes. Após

a execução da usinagem será medida a rugosidade e o consumo de energia elétrica no processo para aquela área usinada.

- 3) **Desbaste:** será realizada a fresagem do perfil externo da forma final da peça, retirando 4mm de material nas laterais da peça, utilizando uma fresa de diâmetro 12mm (\varnothing 12mm) com 2 dentes. Após a execução da usinagem será medida a rugosidade e o consumo de energia elétrica no processo.
- 4) **Cavidade Retangular:** será realizada a fresagem de um bolsão retangular executando o ciclo CNC Pocket 1 do comando Siemens, retirando 2mm de material, utilizando uma fresa de topo de diâmetro 6mm (\varnothing 6mm) com 2 dentes. Após a execução da usinagem será medida a rugosidade e o consumo de energia elétrica no processo.
- 5) **Cavidade Circular:** será realizada a fresagem de um bolsão circular executando o ciclo CNC Pocket 2 do comando Siemens, retirando 2mm de material, utilizando uma fresa de topo de diâmetro 8mm (\varnothing 8mm) com 2 dentes. Após a execução da usinagem será medida a rugosidade e o consumo de energia elétrica no processo.

Os parâmetros de referência para as ferramentas e suas variações serão executados como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores dos parâmetros de usinagem e suas variações para cada ferramenta

Ferramenta (Fresa)	Velocidade do Fuso (S)	Avanço da Mesa (F)
Fresa \varnothing 40mm Faceamento	Valor de Referência = 350 rpm Inicia em 500 rpm Aumenta 700 rpm por repetição até 3300 rpm 500 – 1200 – 1900 – 2600 – 3300	Inicia em 300 mm/min Diminui 50 unidades por repetição até 100 mm/min 300 – 250 – 200 – 150 – 100
Fresa \varnothing 12mm Desbaste	Valor de Referência = 1168 rpm Inicia em 1200 rpm Aumenta 500 rpm por repetição até 3200 rpm 1200 – 1700 – 2200 – 2700 – 3200	Inicia em 300 mm/min Diminui 50 unidades por repetição até 100 mm/min 300 – 250 – 200 – 150 – 100
Fresa \varnothing 6mm Cavidade Retangular	Valor de Referência = 2335 rpm Inicia em 2350 rpm Aumenta 250 rpm por repetição até 3150 rpm 2350 – 2600 – 2850 – 3100 – 3350	Inicia em 300 mm/min Diminui 50 unidades por repetição até 100 mm/min 300 – 250 – 200 – 150 – 100
Fresa \varnothing 8mm Cavidade Circular	Valor de Referência = 1750 rpm Inicia em 1750 rpm Aumenta 350 rpm por repetição até 3150 rpm 1750 – 2100 – 2450 – 2800 – 3150	Inicia em 300 mm/min Diminui 50 unidades por repetição até 100 mm/min 300 – 250 – 200 – 150 – 100

Fonte: Próprio Autor, 2019.

4 CONCLUSÕES

Com base no exposto, conclui-se que foi possível definir ensaios de usinagem em um Centro de Usinagem CNC Didático, levando em consideração a máquina possui limites de tamanho de peça, tamanho das ferramentas, valores dos parâmetros de usinagem, o que levou à escolhas que atendessem aos objetivos propostos no trabalho, bem como às características da máquina. Os parâmetros escolhidos para serem variados nos ensaios são os mesmos utilizados na configuração da máquina e na definição teórica dos resultados esperados, o que garante a correspondência com um ambiente industrial real. O desenho da peça tornou possível executar todos os processos em uma quantidade reduzida de material, reduzindo o custo do projeto e otimizando o orçamento disponível, além de reduzir o tempo de preparação da máquina. Os ensaios de usinagem serão abordados em um próximo trabalho a ser publicado.

REFERÊNCIAS

- DAVIS, J. **ASM Specialty Handbook: Aluminum and aluminum alloys**. OH, EUA. 1993.
- DINIZ, A. E. MARCONDES, F. C. COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. Editora Artliber, 6 ed. São Paulo, 2008.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. Editora Blucher, 13 ed. São Paulo, 2009.
- REMY, A. GAY, M. GONTHIER, R. **Materiais**. Ed. Hemus, 2 ed. Curitiba, 2000.
- SANDVIK. **Fresamento**. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application_overview/Pages/default.aspx>. Acesso em: 22 de janeiro de 2017.
- STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.
- STOETEARU, R. L. **Notas de aula**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf>>. Acesso em: 25 de agosto de 2019.
- WIEBECK, H, HARADA, J. **Plásticos de Engenharia**. Ed. Artliber. São Paulo. 2005.