

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**GETÚLIO DE OLIVEIRA BENATO JUNIOR**

**RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS DE CORTE E ACABAMENTO  
SUPERFICIAL NA LIGA DE ALUMÍNIO 7050**

Orientador: Prof. Dr.º Celso Fernandes Joaquim Junior

Botucatu-SP

Agosto -2016

## **Correlações entre parâmetros de corte e acabamento superficial na liga de alumínio 7050 em operação de fresamento**

### **Correlations between cutting parameters and surface finish in 7050 aluminum alloy milling operation**

#### **Resumo**

Os materiais não ferrosos possuem algumas características mecânicas, físicas e químicas que lhes proporcionam destaque em aplicações no ramo industrial atual. Entre estes materiais, destacam-se as ligas de alumínio que vêm sendo cada dia mais utilizadas em diversas áreas da engenharia, principalmente no setor automobilístico e aeronáutico. Entre os diversos processos de fabricação ao qual este material é submetido nas aplicações aeronáuticas, encontra-se a fresagem. O domínio das relações entre os parâmetros de corte empregados e a qualidade superficial atingida, permite previsibilidade e maior controle do processo, fundamental para este ramo de indústria. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo obter a correlação entre os parâmetros de corte utilizados no fresamento CNC e a rugosidade superficial final obtida em uma peça de bloco de liga de alumínio 7050, utilizando um ferramenta, denominada Micro turbo e um rugosímetro para efetuar as medições do acabamento superficial. Os ensaios alternaram os seguintes parâmetros de cortes: velocidade de avanço da mesa, velocidade de corte sendo tomadas as medidas de rugosidade superficial resultantes. Em função destes resultados foram obtidas curvas de tendências estimativas para predição da rugosidade superficial em função da velocidade de corte e da velocidade de avanço da mesa. Por meio dos resultados obtidos, ficou evidenciado que o aumento da velocidade de corte provoca adiminuição da rugosidade superficial e que o aumento da velocidade de avanço provoca o seu aumento. Concluiu-se que pode-se alcançar baixos valores de rugosidade média por meio da conjugação de altas velocidades de corte e baixas velocidades de avanço.

*Palavras-chave: Alumínio. Parâmetros. Rugosidade, Usinagem.*

#### **Abstract**

Non-ferrous materials have some mechanical, physical and chemical characteristics that provide them with featured apps in today's industrial sector. Among these materials, there are the aluminum alloys that have been used more every day in different areas of engineering, especially in the automotive and aviation industry. Among the many manufacturing processes

to which the material is subjected in aeronautical applications, milling lies. The field of relations between the cutting parameters used and the affected surface quality, predictability and allows greater control of the process, fundamental for this branch of industry. Thus, this study aims to get the correlation between cutting parameters used in CNC milling and final surface roughness obtained in a piece of aluminum alloy block 7050, using a tool called Micro turbo and rugosimeter to perform measurements of surface finish. The tests alternated the following cutting parameters: the table feed rate, cutting speed being taken measures resulting surface roughness. Based on these results trend curves were obtained estimates for predicting surface roughness depending on the cutting speed and the feed speed of the table. Through the obtained results, it was evident that increasing the shear rate leads to the decrease of the surface roughness and the increase in feed rate causes its increase. It was concluded that can achieve low average roughness values by the combination of high cutting speeds and low forward speeds.

*Keywords: Aluminum. Parameters. Roughness, Machining.*

## **1.Introdução**

As empresas atualmente buscam variantes para se destacar no mercado e se manterem competitivas. A usinagem CNC (Comando Numérico Computadorizado) surge como uma solução, principalmente no ramo automobilístico e aeronáutico, através de seu grande potencial para o aumento da produtividade concomitantemente com a qualidade de seus produtos fabricados.

De acordo com Heinz (2000, p.102-107), a indústria aeronáutica e aeroespacial, frente às mudanças ocorridas nos últimos tempos no transporte aéreo de massa e com o desenvolvimento de novos produtos, exige uma disponibilidade maior de novos materiais aos quais se tenha qualidade de informações suficientes para seu processamento.

Entre os materiais utilizados pela indústria aeronáutica e aeroespacial, destacam-se as ligas de alumínio por aliarem boas propriedades mecânicas e de processamento como facilidade de conformação e, em geral, boa usinabilidade, favorecendo o uso de processos de alta produção como a usinagem em CNC.

Segundo Weingaertner (1994, p.82-89), entre os materiais não ferrosos, o alumínio se destaca por ter alta resistência à corrosão e por apresentar um ótimo comportamento em temperaturas baixas comparadas aos materiais ferrosos, além de ter uma grande importância devido a sua baixa densidade. O alumínio pode, ainda, ser submetido a tratamentos

superficiais, que altera suas propriedades físicas e mecânicas, destacando-se, principalmente, pela ótima relação resistência/peso.

Ainda conforme Weingaertner (1994, p.82-89), principalmente no ramo aeronáutico, materiais que possuem elevada relação resistência/peso, como o alumínio. Têm grande potencial de aplicação na fabricação de aeronaves. Atualmente, diversas pesquisas e estudos são realizados para obtenção e descoberta de novos materiais com essas características.

Segundo Ribeiro e da Cunha (2001), pesquisas realizadas no ramo automobilístico, mostram que o alumínio oferece uma redução de cerca de 60% em relação aos aços e ferro fundido na fabricação de automóveis. Este tem sido um fator utilizado nas indústrias automobilísticas para redução de consumo de combustível e na emissão de gases poluentes no meio ambiente.

As ligas de alumínio utilizadas no ramo aeronáutico devem apresentar uma boa resistência mecânica, resistência à corrosão, condutibilidade elétrica, boa formabilidade e usinabilidade, alta resistência à fadiga, as quais podem ser obtidas por meio de alguns processos de fabricação, onde são induzidas tensões residuais na superfície do material. A liga 7050, objeto deste estudo, é uma liga de alto desempenho, muito utilizada no ramo aeroespacial. É uma liga endurecível por precipitação termicamente, utilizada na condição do tratamento térmico de envelhecimento, que devido as suas características minimizam a corrosão sob tensão. Tem como principais características a resistência mecânica elevada, maior dureza, grande resistência à tração e média resistência à corrosão. Entre as ligas de alumínio, a usinabilidade, assim como outras propriedades físicas e tecnológicas, varia muito com a composição química e com o tratamento térmico. A noção errônea de que o alumínio não é adequado à usinagem vem da falta de familiaridade com parâmetros corretos de trabalho (WEINGAERTNER; SCHROETER, 1991).

Os processos de fabricação, de maneira geral, determinam irregularidades nas superfícies dos materiais. No caso da usinagem, são gerados sulcos e marcas deixadas pela ferramenta que efetuou o desbaste sobre a superfície. É primordial ressaltar-se o acabamento superficial tratando do processo de usinagem, pois o mesmo é um dos processos mais precisos em questão de qualidade de acabamento superficial, e também por ser utilizado muitas das vezes como processo complementar de outro processo em que não foi possível obter uma boa qualidade na superfície. O acabamento superficial é de suma importância para superfícies que estarão expostas a desgastes, atrito, corrosão, resistência à fadiga, calor, propriedades óticas, escoamento de fluidos, aparências. Alguns fatores na usinagem influenciam diretamente um bom acabamento superficial, como por exemplo, os parâmetros de corte utilizados, a

geometria da ferramenta e da peça, vibrações da ferramenta, ferramentas inadequadas para operação, ferramentas danificadas, máquinas inadequadas ou sem manutenção, entre outros.

No quesito condições de corte, os parâmetros mais influentes são: a velocidade de avanço (f), a profundidade de corte (ap) e, por fim, a velocidade de corte (vc) (REIS E SILVA, 2001).

Reis e Silva (2001), enfatizam ainda que devido ao constante crescimento e desenvolvimento das indústrias fabricantes de ferramenta de corte, dispõe-se no mercado de diversas opções de pastilhas de corte, cada qual, com diferentes indicações de seus parâmetros de aplicação, sendo a principal a velocidade de corte.

Desta forma o presente trabalho visa analisar a influência da velocidade de corte e da velocidade de avanço no acabamento superficial da liga de alumínio 7050, a fim de verificar, para determinada ferramenta, as relações entre os parâmetros e a qualidade superficial resultante.

## **2. Referencial Teórico**

### *2.1 Usinagem*

Conforme Ferraresi (1970), entende-se por usinagem como um processo onde a peça é feita através da retirada de cavacos de uma matéria prima bruta, transformando a mesma em formas, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda podendo ser uma combinação deste através de ferramentas, máquinas e métodos adequados.

Segundo Slack (1996, p.474), como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir a peça, a forma ou as dimensões ou o acabamento, ou qualquer combinação destes três itens, produzem cavaco.

#### *2.1.1 Processo De Fresamento*

Como em qualquer outro processo de usinagem, o fresamento é realizado através da remoção de material em geração de superfícies em decorrência de movimentos rotativos de uma ferramenta com a peça.

Segundo Stemmer (1995), o processo de fresamento é aquele no qual se realiza a remoção do material de modo intermitente, através de movimentos rotativos de determinada ferramenta, geralmente multicorante, denominada fresa. Neste processo a peça se movimenta com uma velocidade em relação a fresa, chamado de velocidade de avanço. A principal

característica deste processo é que cada faca da fresa remove uma porção de material da peça em forma de cavacos

Ainda conforme Stemmer (1995), dois movimentos são importante considerar, o de rotação da ferramenta (rpm) e o de velocidade de avanço da mesa (f), esses dois fatores trabalham em conjunto para realizar a operação desejada. No fresamento o corte é alternado e o cavaco, proveniente da operação, é de espessura variável, A cada rotação que a ferramenta propicia, cada uma das suas facas remove certa quantidade de material da peça. A quantidade de material removido irá depender diretamente da rotação e da velocidade de avanço de mesa utilizado. As ferramentas utilizadas para efetuar a operação, são denominadas fresas geralmente proveniente de vários gumes em torno de seu eixo rotativo. As máquinas que realizam este processo de fresamento são denominadas fresadoras. As mesmas são construídas de modo a assegurar os movimentos necessários para a remoção de material e para gerar a forma ideal da peça. Os métodos de fresamento são divididos em dois grupos principais: Periférico ou tangencial, e o frontal ou plano. Os demais métodos que existem são considerados oriundos desses dois em questão e dependem também do tipo da peça e a ferramenta a ser utilizada.

No fresamento periférico, ou tangencial, é usinada a superfície através dos gumes da ferramenta, geralmente em paralelo em relação ao eixo rotativo da ferramenta. O caminho realizado por este tipo de fresamento é conhecido como contorno ou combinação de fresas utilizadas (MACHADO; DA SILVA, 2004, p.257).

No fresamento frontal, a superfície usinada é resultado dos gumes da ferramenta perpendicular a peça, esta geralmente em angulo reto em relação ao eixo da ferramenta. Podemos citar o faceamento como a principal operação deste método de fresamento (MACHADO; DA SILVA, 2004, p.257).

### *2.1.2 Direção de Fresamento*

Conforme Weingaertner (1994, p.82-89), a direção do corte e da velocidade de avanço identifica se o fresamento é discordante ou concordante. No fresamento concordante, os movimentos de corte e de velocidade de avanço tem o mesmo sentido, iniciando-se o corte com a espessura máxima do cavaco. No fresamento discordante, os movimentos de corte e velocidade de avanço são de sentidos opostos, iniciando a remoção do cavaco pela espessura mínima.

Ainda segundo Weingaertner (1994, p.82-89), no fresamento concordante o ângulo da direção de velocidade de avanço inicia-se com o corte em seu valor máximo, decrescendo até

zero. O sentido do movimento de velocidade de avanço é o mesmo do movimento rotatório da fresa. Componente vertical de força de usinagem possui sempre o mesmo sentido, o que elimina os efeitos negativos gerados no fresamento discordante. Contato da fresa com a peça se inicia no ponto de maior espessura do cavaco e se desloca até o ponto de menor espessura do cavaco.

Já no fresamento discordante o ângulo da direção de velocidade de avanço cresce desde zero até um valor máximo. O sentido do movimento de velocidade de avanço é contrário ao movimento rotatório da fresa. Da mesma maneira que, a espessura de corte aumenta de zero até um máximo. No início do corte, a fresa toca a peça e a força para baixo, causando uma força que tende a afastá-las. Logo após, porém, a força de corte aponta para cima, o que faz com que a fresa puxe a peça ao seu encontro. Esta variação de intensidade e do sentido da força de corte produz vibrações que prejudicam a tolerância e o acabamento superficial da superfície fabricada (WEINGAERTNER, 1994, p.82-89).

## *2.2 Alumínio*

Segundo Twitee Bierwagen (1998), o alumínio apresenta elevada resistência à corrosão atmosférica devido à formação espontânea de um filme de óxido e hidróxido que protege a superfície do metal. A natureza exata deste filme ainda é discutível, sendo este destruído em soluções fortemente ácidas ou alcalinas. O principal consumidor deste metal é a indústria aeronáutica e aeroespacial, no entanto não é usado puro, devido à diminuição da resistência mecânica a altas temperaturas, comumente existentes no transporte aéreo. As ligas mais utilizadas neste propósito são as da série 2XXX e 7XXX, nas quais os níveis de resistência mecânica máxima são obtidos por tratamentos térmicos e mecânicos.

Segundo Ewers (2015), além do custo, há a segurança ao zelar pela vida dos milhões de passageiros transportados, a indústria aeronáutica reconhece no alumínio o material mais adequado para garantir isso aos passageiros. Principais vantagens do alumínio estão na relação resistência versus peso, na proteção contra a corrosão, na elasticidade e, também, no custo do insumo. Em caso de um impacto contra um pássaro, por exemplo, o alumínio é capaz de absorver o choque e se deformar, enquanto outros materiais podem rachar ou quebrar. Ainda segundo Ewers (2015), uma das situações em que o alumínio se mostra mais eficaz é na resistência a danos sofridos em solo, principalmente ao redor das portas de embarque, que são usualmente danificadas pelo contato com caminhões, mas que resistem bravamente graças à absorção de impacto exercida pelo material. Além disso, o alumínio possui resistência elevada à fadiga. Quando há algum desgaste, seus sinais são conhecidos, como trincas e

corrosão, observáveis a olho nu, ao contrário dos compósitos que exigem inspeção por meio de um sistema de ultrassom.

### 2.2.1 Características e Propriedades das Ligas de Alumínio 7050

Segundo Alimex (2000), a liga de alumínio 7050 pertence a família das ligas 7XXX ou liga alumínio - zinco. O zinco por si só é altamente solúvel no alumínio e exerce influência apreciável sobre a microestrutura. Por outro lado, outros elementos, por exemplo, magnésio, cobre, cromo, manganês, zircônio, ferro e o silício tem solubilidade limitada, possibilita assim a formação de uma segunda fase na matriz de alumínio.

Conforme Alimex (2000), trata-se de uma liga de alta resistência, que tem por principais características, boa usinabilidade, alta condutividade térmica e resistência a corrosão e ao desgaste. A mesma apresenta uma dureza media de 180HRB, é resistência mecânica de 600MPa, aproximadamente. Ainda conforme Alimex (2000), as propriedades físicas para a liga em questão em temperatura ambiente foram fornecidas pelo fabricante, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e composição química percentual em peso em balanço com o alumínio da liga 7050

Temperatura					20°C
Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]					2830
Módulo de elasticidade [GPa]					71,5
Condutividade térmica a 20°C [W/m°C]					165
Análise [%]		Zn	Mg	Cu	Al
		6,0	2,4	1,6	rest.

\* considerar uma variação de 15% do valor para condutividade térmica.

Fonte: Jones(1996, p.572).

### 2.2.2 Usinabilidade nas Ligas de Alumínio

Segundo Gomes e Barbosa Filho (1977), a taxa de usinabilidade de qualquer material metálico costuma ser enganadora, pelo fato de não possuir termos precisos. Outro fator pelo qual é difícil buscar informações precisas relativas a taxa de usinabilidade, se deve ao fato de depender de muitos fatores dos próprios fatores de usinagem, que pode ser: velocidade de corte, velocidade de avanço, profundidade de corte e tipos das ferramentas, das máquinas

operatrizes e dos fluidos de corte. Cada material apresenta condições particulares que ditam as normas mais adequadas de usinagem.

Na indústria do ramo de usinagem alguns materiais possuem excelente usinabilidade quando se consideram fatores como vida de ferramenta, potência, força ou temperatura de corte, entre outros, onde o alumínio é um bom exemplo (MACHADO; DA SILVA, 2004, p.257).

Conforme Weingaertner (1994, p.82-89), mesmo com todos os requisitos favoráveis, o maior fator contra a usinagem em alumínio é que o mesmo apresenta grandes coeficientes de dilatação comparados aos aços, e também possui baixa elasticidade comparada ao aço carbono. Com o inevitável aquecimento, gerado pelo processo de deformação da usinagem, existirá uma grande variação dimensional devido a esta dilatação, podendo causar um emplastramento de ferramenta, acabamento superficial inadequado, vibrações de ferramentas, dentre outros. Esta dilatação é decorrente ao processo produzir altos níveis de temperatura, juntamente com as tensões presente no processo de corte, já que no processo de usinagem toda energia consumida é convertida em forma de calor, que é gerado pelas zonas de cisalhamento.

### *2.3 Rugosidade*

Segundo Faccio (2002), a rugosidade é o conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície.

Conforme Rosa (2009), a rugosidade é de suma importância para o comportamento dos componentes mecânicos, ela influi diretamente na qualidade de deslizamento, resistência ao desgaste, possibilidade de ajuste do acoplamento forçado, resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, qualidade em aderência a camadas protetoras, resistência à corrosão e à fadiga, nas vedações e aparências.

Conforme Agostinho, Rodrigues e Lirani (1990, p.295), alguns fatores na usinagem influenciam diretamente no acabamento superficial, como por exemplo, os parâmetros de corte utilizados, a geometria da ferramenta, vibrações da ferramenta, ferramentas inadequadas para operação, ferramentas danificadas, máquinas inadequadas, máquinas sem manutenção, dentre outros. Ainda segundo Agostinho, Rodrigues e Lirani (1990, p.295), a rugosidade pode ser entendida com desvio de conformação, podendo ser analisada através de vários parâmetros como ondulações, comprimento da área, amplitude de picos e vales, orientações. Com base nestes parâmetros pode-se encontrar diversas características de superfície, o mais utilizado e

aceito é o parâmetro Ra (Root Mean Square), pois o mesmo é capaz de diagnosticar grandes variabilidades, por ser utilizados na maioria dos processo e por ser classificado por classes.

### 3. Procedimentos Metodológicos

A fim de avaliar o efeito de alguns parâmetros de corte na qualidade superficial decorrente da fresagem com uso da liga de alumínio 7050, foram realizados ensaios utilizando um bloco de alumínio da liga em questão com dimensão de 104mm<sup>3</sup>, usinado em um centro de usinagem CNC modelo ROMI 1250 Siemens, um aparelho rugosímetro da marca Mitutoyo modelo 178-923-2A com cut-off de 0,5mm, para efetuar a medição da rugosidade, como ferramenta foi utilizada uma micro turbo da marca Mitsubishi de diâmetro de 25mm com duas pastilhas de Raio2mm, utilizando como software de programação MasterCam X3.

Variaram-se parâmetros de rotação e avanço conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Parâmetros utilizados

Ensaio	Rpm	Velocidade de avanço (mm/min)				
Faixa 1	2000	400	2500	5000	7500	10000
Faixa 2	4000	400	2500	5000	7500	10000
Faixa 3	6000	400	2500	5000	7500	10000
Faixa 4	8000	400	2500	5000	7500	10000
Faixa 5	10000	400	2500	5000	7500	10000

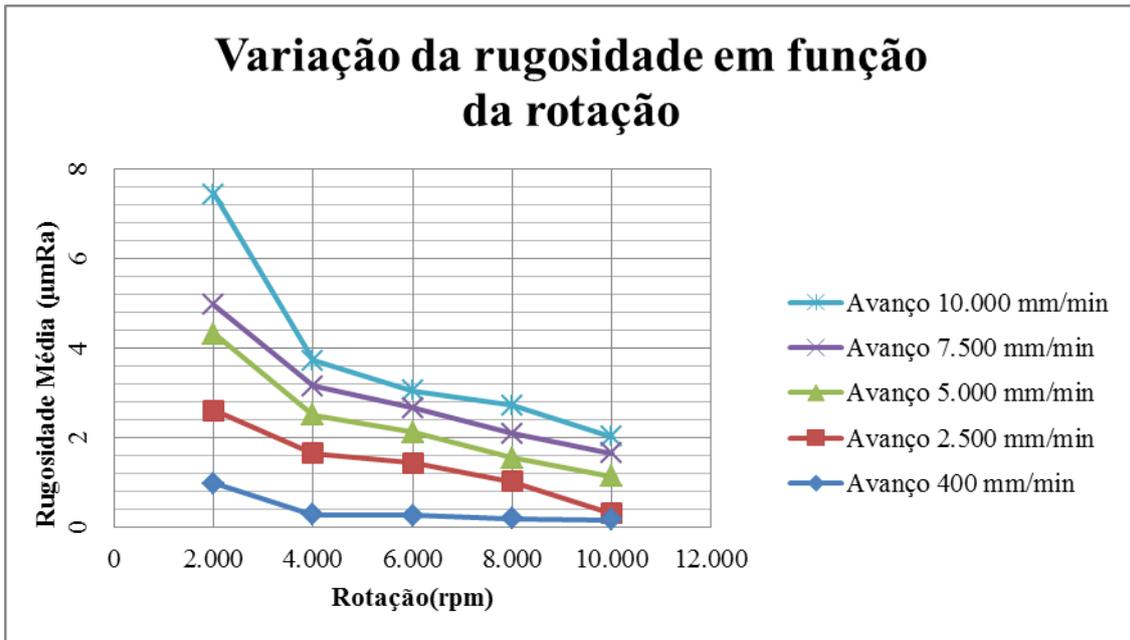
Fonte: Elaborado pelos autores

A profundidade de corte (ap), foi mantida constante e igual a 2 mm, com espaçamento lateral (at), igual a 20 mm. Utilizou-se sentido de corte concordante. Foram usinados em cada face do bloco faixas, nas quais variaram-se os parâmetros de corte devidamente identificados. Foram realizados através do rugosímetro, três medições de rugosidade (ra), sendo utilizado o valor da media aritmética. O objetivo foi correlacionar o efeito dos parâmetros de corte no acabamento superficial decorrente do processo mensurado através da rugosidade.

### 4. Resultados e discussões

As Figuras 1 e 2 apresentam os gráficos da variação da rugosidade superficial, medida em  $\mu\text{mRa}$ , para o bloco de alumínio, em função da rotação e da velocidade de corte, respectivamente, para cinco diferentes velocidades de avanço.

Figura 1 - Variação da rugosidade em função da rotação para diferentes velocidades de avanços



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme Sandvik (2011), velocidade de corte é a velocidade instantânea do ponto selecionado sobre o gume, no movimento de corte, em relação a peça. No fresamento, o movimento de corte é proporcionado pela rotação da ferramenta. A velocidade de corte é, então, uma velocidade tangencial, conforme a equação (1).

$$VC = \pi \times D \times n / 1000 \quad (1)$$

Onde:

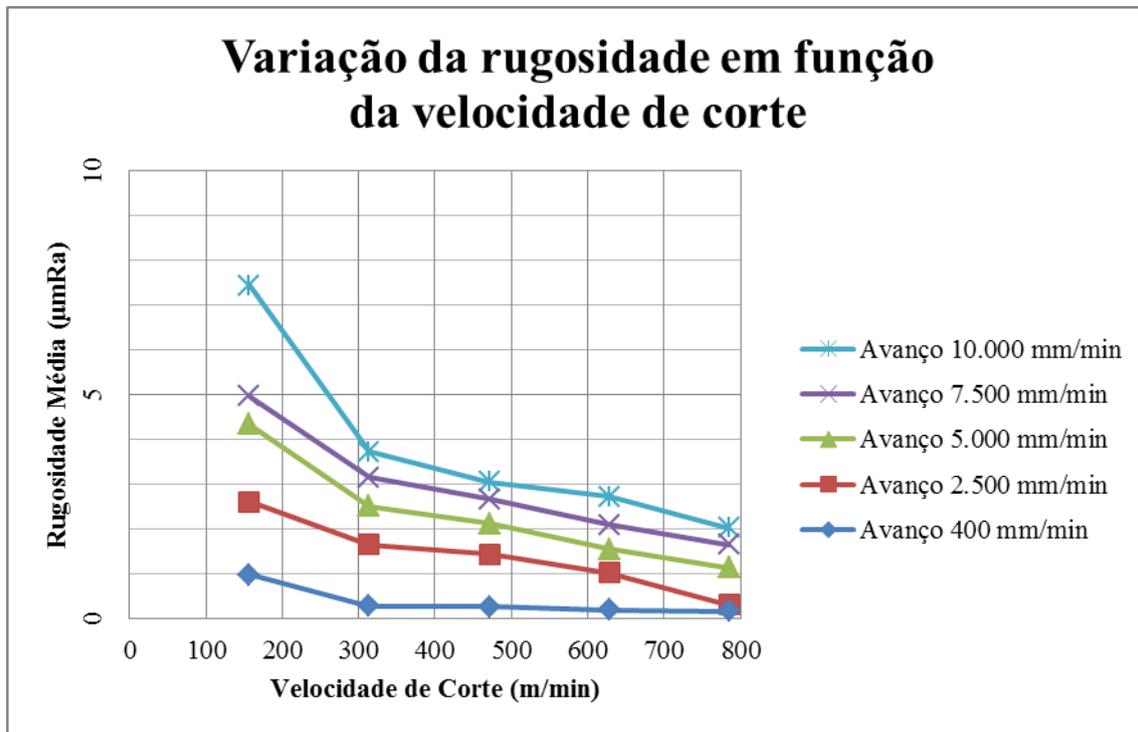
Vc= velocidade de corte (m/s)

D= diâmetro da ferramenta (mm)

n = rotação do motor (rpm)

Desta forma, a Figura 2 apresenta comportamento análogo à Figura 1, contemplando apenas o efeito da alteração de valores de rotação (rpm) para velocidade de corte (m/min).

Figura 2 - Variação da rugosidade em função da velocidade de corte para diferentes velocidades de avanços.



Fonte: Elaborado pelos autores

O gráfico da Figura 2 evidencia uma tendência de queda nos valores da rugosidade com o aumento da velocidade de corte (rotação) para todas as velocidades de avanço estudadas.

A velocidade de avanço de 400 mm/min determinou a menor variação da rugosidade com o aumento da velocidade de corte (rotação), com obtenção de valores praticamente constantes de rugosidade a partir de 314 m/min (4000 rpm). Este comportamento é evidenciado pelo baixo valor do coeficiente angular de sua curva de tendência, conforme demonstra Tabela 3.

Para todas as velocidades de avanço, houve redução acentuada nos valores da rugosidade para velocidades de corte de 157 m/min (2.000 rpm) para 314 m/min (4.000 rpm), sendo mais considerável a queda relativa à velocidade de avanço de 10.000 mm/min.

As curvas de tendência da variação da rugosidade em função da velocidade de corte para velocidades de avanço de 5.000 mm/min e 7.500 mm/min apresentam valores similares nos coeficientes angulares conforme demonstra tabela 3.

Tabela 3- Equações lineares representativas das curvas de tendências da rugosidade (y) em função da velocidade de corte (x) para diferentes velocidades de avanços.

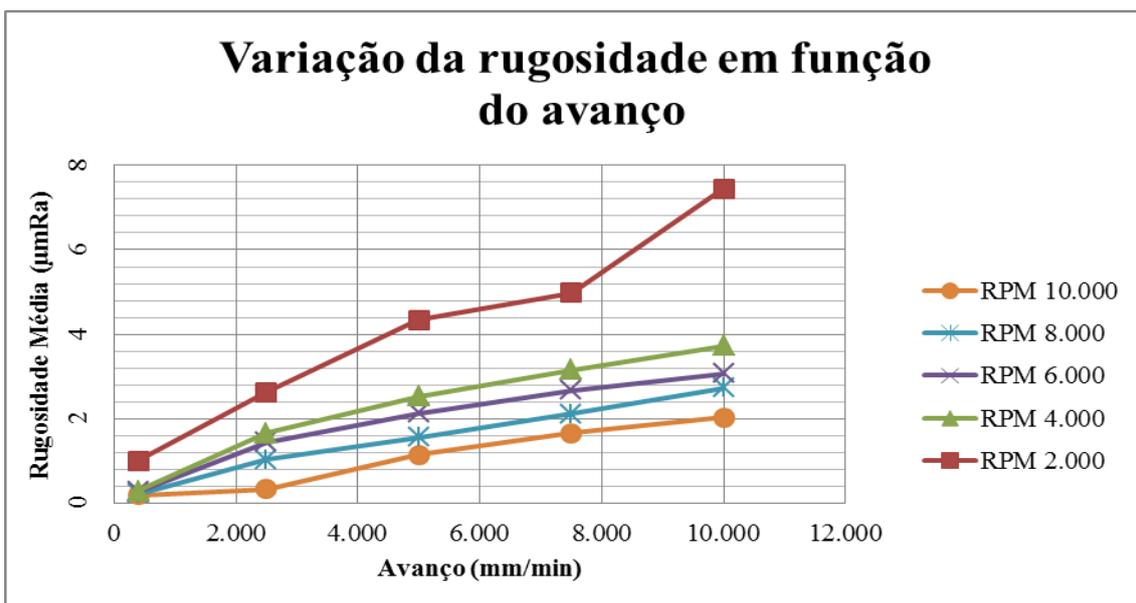
Curva da rugosidade em função da velocidade de corte		
Velocidade de avanço (mm/min)	Equação	Módulo do coeficiente angular
400	$y = -0,0011x + 0,9007$	-0,0011
2500	$y = -0,0033x + 2,9847$	-0,0033
5000	$y = -0,0047x + 4,5477$	-0,0047
7500	$y = -0,0049x + 5,2213$	-0,0049
10000	$y = -0,0075x + 7,3547$	-0,0075

Fonte: Elaborado pelos autores

Embora a curva de tendência da variação da rugosidade em função da velocidade de corte, referente a velocidade de avanço de 10.000 mm/min a maior inclinação determinado pelo valor inicial da rugosidade, seu comportamento é similar as curvas de tendência para as velocidades de avanço de 5.000 e 7.500 mm/min.

A Figura 3, apresenta o gráfico da variação da rugosidade superficial, também medida em  $\mu\text{mRa}$ , em função da velocidade de avanço para cinco diferentes rotações.

Figura 3 - Variação da rugosidade em função da velocidade de avanço da mesa para diferentes rotações.



Fonte: Elaborado pelos autores

Pelo gráfico da Figura 3, verifica-se que para todas as rotações ensaiadas houve tendência de aumento no valor da rugosidade com o aumento da velocidade de avanço.

Para as rotações de 4.000, 6.000, 8.000 e 10.000 rpm ensaiadas, notou-se que as curvas apresentam praticamente a mesma tendência em relação à variação da rugosidade com o aumento das velocidades de avanços, conforme mostram os coeficientes angulares das curvas de tendências apresentadas na Tabela 4.

Para a velocidade de corte de 785 m/min (10000 rpm) com a velocidade de avanço de 400 mm/min, obteve-se o valor da rugosidade média mais baixo entre os ensaios realizados, atingindo 0,180  $\mu\text{mRa}$ .

A Tabela 4 apresenta as equações lineares representativas das curvas de tendências relativas à Figura 3.

Tabela 4 - Equações lineares representativas das curvas de tendências da rugosidade (y) em função da velocidade de avanço (x) para diferentes rotações.

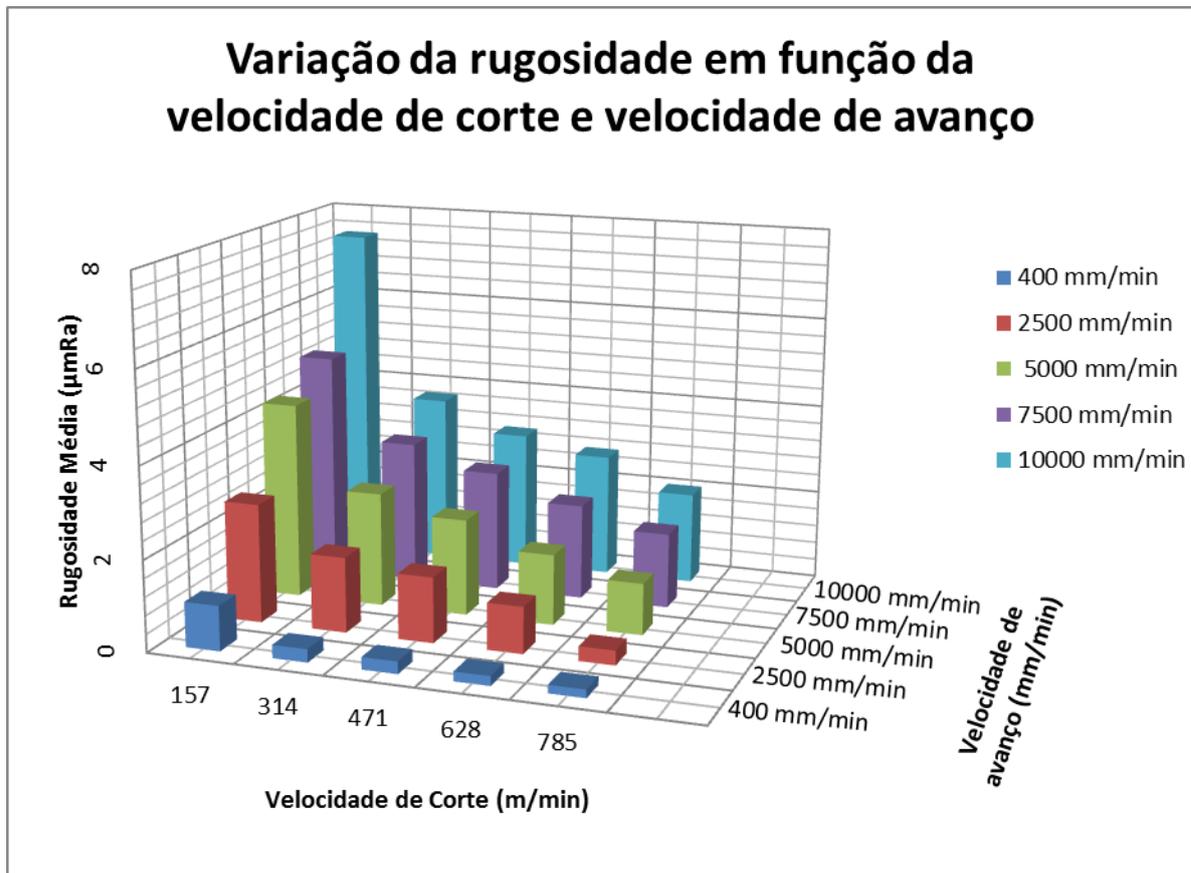
Curvas da rugosidade em função da velocidade de avanço		
Rotações (rpm)	Equação	Módulo do coeficiente angular
2000	$y = 0,0006x + 0,8757$	0,0006
4000	$y = 0,0003x + 0,5247$	0,0003
6000	$y = 0,0003x + 0,4972$	0,0003
8000	$y = 0,0003x + 0,248$	0,0003
10000	$y = 0,0002x + 0,0049$	0,0002

Fonte: Elaborado pelos autores

Os ensaios realizados com rotações de 2.000 rpm apresentaram para velocidades de avanço a partir de 5.000 mm/min, dificuldades em sua execução, determinadas por alto nível de vibrações os quais apresentaram danos a ferramenta, ocasionando lascamentos em suas arestas de corte e conseqüentemente para a velocidade de avanço de 10.000 mm/min, ocasionou a quebra da pastilha.

A Figura 4 apresenta o gráfico da variação da rugosidade superficial em função da velocidade de corte e da velocidade de avanço.

Figura 4 - Variação da rugosidade em função da velocidade de avanço e da velocidade de corte.



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se claramente na Figura 4 o efeito conjunto da variação da velocidade de corte e da velocidade de avanço sobre os valores da rugosidade média; Baixos valores da rugosidade podem ser obtidos com a conjugação de altas velocidades de corte e baixos valores de velocidade de avanço.

## 5. Conclusões

Os dados obtidos nos ensaios realizados neste trabalho permitiram concluir que os parâmetros de corte; rotação, velocidade de corte e velocidade de avanço da mesa afetam o acabamento superficial obtido na operação de fresamento da liga de alumínio 7050, impactando em sua rugosidade superficial.

Ficou evidenciado que o aumento da velocidade de corte, provoca a diminuição da rugosidade superficial Também pôde-se verificar que o aumento na velocidade de avanço da mesa provoca, para todas as rotações ensaiadas, o aumento da rugosidade superficial.

Concluiu-se que pode-se alcançar baixos valores de rugosidade média por meio da conjugação de altas velocidades de corte e baixas velocidades de avanço.

Foram obtidas curvas de tendências estimativas para predição da rugosidade em função da velocidade de corte e da velocidade de avanço da mesa, o que se caracteriza como uma ferramenta útil para estimativas da qualidade do acabamento em função dos parâmetros de corte para fresamento da liga de alumínio 7050.

## Referências

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 5ª reimpressão, Editora Edgar BlücherLtda, São Paulo, 1990. 295 p.

ALIMEX, **Aluminium Saw-Cut and High Tensile Strength Special Plates for the Mould Making and Mechanical Engineering Industries**. 2000. Disponível em: <[http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2003/artigos/COF03\\_0802.pdf](http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2003/artigos/COF03_0802.pdf)> Acesso em: 10 dez. 2015.

ARFELD, E. D., HANUM, A. L. **Aços de corte fácil de baixo carbono**. *Metalurgia - ABM*, Volume 33, Número 241, p.773-776, dezembro de 1977.

EWERS, JULIANA. **Inovação: Firmeza no ar**. Campinas: Destaque, Edição Especial, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/29/artigo242842-1.asp>> Acesso em: 02 dez. 2015.

FACCIO, IAN. **Investigações sobre o acabamento superficial de usinagem com altíssima velocidade de corte**. São Paulo: USP, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica: área de projeto e fabricação), Escola Politécnica, Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, 2002.

FERRARESI, D.. **"Fundamentos da usinagem dos metais"**, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1970.

GOMES, M. R., FILHO, E. B. **Propriedades e usos de metais não-ferrosos alumínio, chumbo, cobre, estanho e zinco**. São Paulo: ABM, 1977.

HEINZ, A. **Recent development in aluminum alloys for aerospace applications**. *Materials Science & Engineering*, Volume A, Número 280, p. 102-107, 2000.

JONES, D.A. **Principles and prevention of corrosion**. 2nd. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 572 p.

MACHADO, A. R. e DA SILVA, M.B., **"Usinagem dos Metais"**, apostila, 8a versão, EDUFU, Uberlândia, 2004, 257 p.

REIS, A.M. E SILVA, M.B, 2001, **"Análise das Superfícies Usinadas em Presença de Aresta Postiça de Corte"**. Anais: I Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.

RIBEIRO, MARCOS VALERIO; DA CUNHA, Elias Alves. **“USINAGEM DA LIGA DE ALUMÍNIO ASTM AA 7050 POR TORNEAMENTO.”** Guaratinguetá: UNESP, 2001.

ROSA, LUÍS CARLOS. **Acabamento de Superfícies; Rugosidade Superficial.** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2009.

SANDVIK COROMANT. **Technical Guide: Turning, Milling, Drilling, Boring, Tool Holding.** 2011

SLACK, N. **Administração da Produção.** 1.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 474p.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II.** 2. ed. Florianópolis : Editora da UFSC, 1995.

TWITEE G.P. BIERWAGEN, **Progress in Organic Coatings,** Volume 33, Número 91. 1998.

WEINGAERTNER, W. L. **Qualidade superficial e formação de cavacos na usinagem de Al e Cu. Máquinas e Metais,** p.82-89, Maio 1994.

WEINGAERTNER, W. L., SCHROETER, R. B. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas,** 2a ed., São Paulo, 1991.