

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

PEDRO DIAS JOHNSTON

INFLUÊNCIA DA FERRAMENTA DE CORTE NO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE  
E NA FORMAÇÃO DO CAVACO DURANTE O TORNEAMENTO DE POLIAMIDA

Jaraguá do Sul

2017

PEDRO DIAS JOHNSTON

INFLUÊNCIA DA FERRAMENTA DE CORTE NO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE  
E NA FORMAÇÃO DO CAVACO DURANTE O TORNEAMENTO DE POLIAMIDA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao campus Geraldo  
Werninghaus do Instituto Federal  
de Santa Catarina para a  
obtenção do diploma de  
Graduação em Tecnologia em  
Fabricação Mecânica

Orientador: Delcio Luís Demarchi

Jaraguá do Sul

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Johnston, Pedro

Influência da ferramenta de corte no acabamento da superfície e na formação do cavaco durante o torneamento de poliamida / Pedro Johnston ; orientação de Delcio Demarchi; coorientação de Miriam Hennig. - Jaraguá do Sul, SC, 2017.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau. Fabricação Mecânica. .  
Inclui Referências.

1. Poliamida. 2. Torneamento. 3. Cavaco. 4. Rugosidade.  
I. Demarchi, Delcio. II. Hennig, Miriam. III. Instituto Federal de Santa Catarina. . IV. Título.

INFLUÊNCIA DA FERRAMENTA DE CORTE NO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE  
E NA FORMAÇÃO DO CAVACO DURANTE O TORNEAMENTO DE POLIAMIDA

PEDRO DIAS JOHNSTON

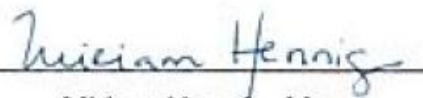
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção de diploma de graduação e  
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 23 de Fevereiro de 2017.



---

Delcio Luis Demarchi, Me.



---

Miriam Hennig, Me.



---

Cassiano Rodrigues Moura, Me.



---

Gil Magno Portal Chagas, Dr.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador professor Delcio Luís Demarchi pela oportunidade de estudo, sugestões, orientações, confiança, diretrizes e apoio na realização deste trabalho.

À minha namorada Marinara Gundt, pelo amor, carinho, compreensão e parceria.

Aos meus pais, Daniel Harper Johnston e Izabel Maria Dias Johnston, por todo o incentivo e confiança que depositaram em mim.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, por disponibilizarem os laboratórios para que fossem feitos os ensaios.

À minha orientadora geral professora Miriam Hennig pelas sugestões, orientações, diretrizes e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Cassiano Rodrigues Moura pelas sugestões e apoio no momento das medições de rugosidade.

Ao professor Gerson Ulbricht pelas orientações nas análises estatísticas.

Ao meu colega e amigo Marlo Fiamoncini pela ajuda com a usinagem dos corpos de prova.

À professora Estela Ramos de Souza Oliveira pelas orientações iniciais do meu trabalho na matéria de projeto integrador IV.

Ao representante da SECO TOOLS Alexandre Borges pelo excelente atendimento e fornecimento das ferramentas de corte necessárias a um preço acessível.

À empresa MGS Plásticos pelo excelente atendimento e fornecimento das barras de poliamida necessárias a um preço acessível.

A todos os meus amigos pela força e motivação durante este período.

## RESUMO

No mercado, há atualmente poucas opções de ferramentas de corte específicas para usinagem de polímeros em comparação à grande quantidade de ferramentas desenvolvidas para aço. As diferenças entre as ferramentas de corte para polímeros e aços, não está somente na variedade, mas também no custo, onde o para polímeros chega a ser 17% maior. A grande dificuldade em se usinar um polímero, é quanto ao controle na formação do cavaco e ao acabamento superficial ruim que se obtém na peça. Neste trabalho, foram realizados ensaios de torneamento na poliamida tipo 6, com duas classes de ferramentas de metal duro distintas, uma específica para polímeros (KX) e outra específica para aço (TP2501), com a finalidade de identificar a ferramenta e o parâmetro de corte que proporcione a melhor formação do cavaco e melhor acabamento superficial possível, e também identificar se o custo pago a mais pela ferramenta recomendada para polímeros vale o investimento. O critério de comparação foi, para a formação do cavaco, se o parâmetro de corte e ferramenta, lançou o cavaco para longe do corpo de prova, ferramenta e máquina, sem que ele interferisse na operação. Para o acabamento foi feita a medição da rugosidade, porque quanto menor a rugosidade melhor será o acabamento superficial da peça, e esses valores de rugosidade foram usados na análise da viabilidade da ferramenta determinando o quanto superior é o acabamento deixado com a ferramenta recomendada para polímeros. A classe de ferramenta que obteve melhores resultados foi a da classe KX, e o parâmetro de corte que obteve melhor resultado foi o com velocidade de corte superficial de 500 m/min, avanço de 0,35 mm/rev e profundidade de corte de 3 mm. Ambos proporcionaram uma boa formação para o cavaco que mesmo sendo em forma de fita não interferiu na operação, e um bom acabamento superficial. O acabamento deixado pela ferramenta da classe KX chega a ser 80% melhor que o da classe TP2501 enquanto o seu custo é só 17% maior.

**Palavras-Chave:** Poliamida. Torneamento. Cavaco. Rugosidade.

## ABSTRACT

*Nowadays on the market, there is a small variety of cutting tools, specifically for polymer milling, as compared to the wide range of choices, of cutting tools for metals, ferrous or non ferrous. The difference between these tools, is not only on their variety, but also in their relative costs, where the polymer types are around 17% more expensive. The difficulty in machining polymers, is the machining chip control and the consequent low quality finish, of the machined surface. In this paper, it was made a series of milling essays, on type 6 polyamide, with two different types of hard steel tools, one for type (KX) polymers and another for type (TP2501) steels, intending in identifying the ideal tool and milling parameters, which gives you best chip control and milling finish, also establishing, if the extra cost of the polymer indicated tool, is cost worthwhile. The comparison criteria, was based on the easiness of chip control, so that the chip wouldn't interfere, in the milling operation. To evaluate the machining finish quality, the roughness of the machined surface was measured, to verify the suitability of the polymer recommended tool. The tool best suited, from the testing results, was the KX class, and the cutting parameters, with better results, were 500 m/min surface speed, advance speed 0,35 mm/rev, and cutting depth of 3 mm. Both types of tools, had good chip control, not interfering on the milling operation, with a good surface finish. The finish obtained by the KX class tool, is up to 80% better than the TP2501 class, which justifies the 17% cost increase.*

*Keywords: Polymer. Machining. Chip. Finish.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cavaco enrolado na peça .....	13
Figura 2 - Classificação detalhada da forma dos cavacos segundo a norma ISO3685 .....	25
Figura 3 - Corte longitudinal mostrando os sulcos que ficam após a usinagem.....	27
Figura 4 - Torno usado na preparação do corpo de prova para o CNC .....	31
Figura 5 - Torno CNC usado nos ensaios .....	32
Figura 6 - Barras de Poliamida já cortadas .....	33
Figura 7 - Preparação das barras para a usinagem no torno CNC .....	33
Figura 8 - Dimensão do corpo de prova antes da usinagem no CNC .....	34
Figura 9 - Corpo de prova antes da usinagem no CNC .....	34
Figura 10 - Corpo de prova pronto para o ensaio.....	35
Figura 11 - Dimensões finais do corpo de prova .....	35
Figura 12 - Corpo de prova finalizado .....	36
Figura 13 - Medidas da ferramenta TP2501 .....	37
Figura 14 - Pastilha TP2501: com raio de ponta 0,4 mm (a) e 1,2 mm (b).....	37
Figura 15 - Medidas da ferramenta KX .....	38
Figura 16 - Pastilha KX: com raio de ponta 0,4 mm (a) e 1,2 mm (b) .....	39
Figura 17 - Medidas do suporte.....	39
Figura 18 - Fluxograma dos ensaios .....	41
Figura 19 - Rugosímetro usado nas medições.....	41
Figura 20 - Posicionamento para medição visto: cima (a), frente (b) e perspectiva (c) .....	42
Figura 21 - Ensaio 3: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	44
Figura 22 - Ensaio 6: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	45
Figura 23 - Ensaio 14: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	45
Figura 24 - Ensaio 17: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	46
Figura 25 - Ensaio 21: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	46
Figura 26 - Ensaio 29: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	46
Figura 27 - Ensaio 1: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 2x (b) e 5x (c)....	48
Figura 28 - Ensaio 2: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c).....	49
Figura 29 - Ensaio 5: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	50
Figura 30 - Ensaio 7: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c).....	50
Figura 31 - Ensaio 9: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	51
Figura 32 - Ensaio 10: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b) .....	51
Figura 33 - Ensaio 11: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	52
Figura 34 - Ensaio 12: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c).....	53
Figura 35 - Ensaio 13: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	54
Figura 36 - Ensaio 18: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	55
Figura 37 - Ensaio 26: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	55

Figura 38 - Ensaio 30: Cavaco enrolado na peça (a), cavaco ainda preso a peça mesmo após o termino da usinagem (b), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d) .....	56
Figura 39 - Ensaio 4: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	58
Figura 40 - Ensaio 15: Volume de cavaco (a), cavaco enrolado na peça (b), cavacos fundidos uns nos outros (c), cavaco ampliado em 5x (d) e acumulo de material que se formou a frente da ferramenta (e).....	59
Figura 41 - Ensaio 19: Cavaco enrolado na peça e nas castanhas (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d) .....	60
Figura 42 - Ensaio 20: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d).....	61
Figura 43 - Ensaio 23: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	62
Figura 44 - Ensaio 28: Volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d).....	62
Figura 45 - Ensaio 31: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c).....	63
Figura 46 - Ensaio 32: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d).....	64
Figura 47 - Ensaio 22: Cavaco preso a peça (a) e cavaco em forma de anel (b).....	66
Figura 48 - Ensaio 24: Cavaco preso a peça (a), cavaco em forma de anel 1 (b) e cavaco em forma de anel 2 (c) .....	66
Figura 49 - Ensaio 25: Cavaco preso a peça (a) e cavaco maciço (b) .....	67
Figura 50 - Ensaio 27: Cavaco preso a peça (a) e cavaco em forma de anel (b).....	67
Figura 51 - Ensaio 8: Cavaco fundido na peça (a), ferramenta com aresta postiça (b), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d) .....	69
Figura 52 - Ensaio 16: Cavaco preso a peça (a), cavaco fundido na peça (b), ferramenta com aresta postiça (c), volume de cavaco (d), cavaco ampliado em 2x (e), 2x (f) e 5x (g).....	70
Figura 53 - Analise da influência da classe da ferramenta e do avanço na rugosidade com as variáveis $r_s$ 0,4 mm, $v_c$ 500 m/min e $a_p$ 0,5 mm fixas.....	74
Figura 54 - Influência individual das variáveis sobre a rugosidade .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades da poliamida.....	17
Tabela 2 - Influência no grau de cristalinidade nas propriedades .....	19
Tabela 3 - Propriedades das poliamidas .....	19
Tabela 4 - Ângulos recomendados para usinagem da poliamida.....	23
Tabela 5 - Recomendações de parâmetros de corte .....	24
Tabela 6 - Campo usual de rugosidade para o torneamento .....	29
Tabela 7 - Variáveis do experimento.....	40
Tabela 8 - Variáveis dos ensaios .....	44
Tabela 9 - Variáveis dos ensaios .....	47
Tabela 10 - Variáveis dos ensaios .....	57
Tabela 11 - Variáveis dos ensaios .....	65
Tabela 12 - Variáveis dos ensaios .....	68
Tabela 13 - Média das medições de cada um dos parâmetros de rugosidade .....	73
Tabela 14 - Viabilidade das ferramentas da classe KX.....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS

T	- Tonelada
Mpa	- Mega pascal
psi	- Libras por polegada quadrada
J/mm <sup>2</sup>	- Jaule por milímetro quadrado
Pés-lb/pol <sup>2</sup>	- Pés libras por milímetro quadrado
°C	- Graus célsius
°F	- Graus fahrenheit
h	- Hora
g/cm <sup>3</sup>	- Gramas por centímetro cubico
mm	- Milimetro
m/min	- Metros por minuto
mm/r	- Milimetro por rotação
µm	- Micrometro
Ra	- Rugosidade média aritmética (µm)
Rq	- Rugosidade média quadrática (µm)
Rt	- Rugosidade total (µm)
Rz	- Rugosidade média (µm)
Rpm	- Rotações por minuto
Kw	- kilowatt
Ø	- Diâmetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Questão Central da Pesquisa	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>16</b>
2.1	Poliamida (PA) ou Nylon	16
2.1.1	Propriedades da Poliamida	16
2.1.2	Aplicações da Poliamida	20
2.2	Ferramenta de Corte	21
2.3	Parâmetro de Corte	23
2.4	Formação de Cavaco	24
2.5	Rugosidade	27
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>31</b>
3.1	Equipamentos utilizado	31
3.2	Corpo de Prova	32
3.3	Ferramentas utilizadas nos ensaios	36
3.3.1	Ferramenta recomendada para a usinagem de aço	36
3.3.2	Ferramenta de corte para polímeros	38
3.3.3	Suporte para as ferramentas	39
3.4	Variáveis para os experimentos	39
3.6	Metodologia e equipamentos usados na medição da rugosidade	41
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>43</b>
4.1	Análise dos cavacos	43
4.1.1	Grupo 1 com os ensaios 3, 6, 14, 17, 21 e 29	44
4.1.2	Grupo 2 com os ensaios 1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 26 e 30	47
4.1.3	Grupo 3 com os ensaios 4, 15, 19, 20, 23, 28, 31 e 32	57
4.1.4	Grupo 4 com os ensaios 22, 24, 25 e 27	65
4.1.5	Grupo 5 com os ensaios 8 e 16	68
4.2	Análise do acabamento da superfície	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>78</b>
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – Sequência dos ensaios	82
	APÊNDICE B – Programa usado para usinagem no torno CNC	85
	ANEXO A – Nota fiscal do material	89
	ANEXO B – Certificado do material	90

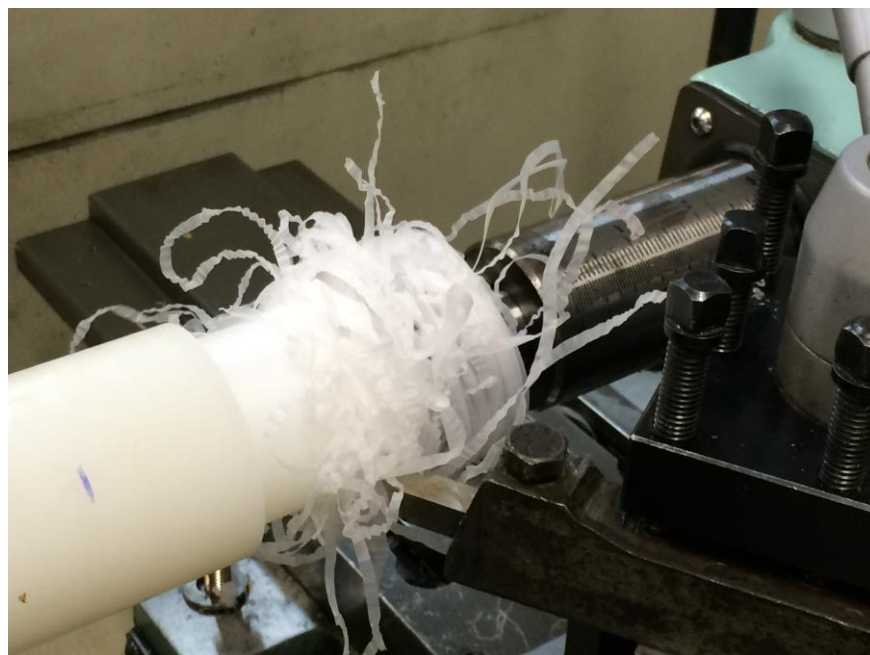
## 1 INTRODUÇÃO

A poliamida, mais conhecida pelo seu nome comercial Nylon, é um material atualmente muito comum na indústria porque tem diversas propriedades interessantes para a engenharia, como alta resistência à fadiga, é reciclável, boa resistência ao impacto, baixo coeficiente de atrito, entre outras, que permitem seu uso em diversas aplicações na indústria metalmeccânica, principalmente no ramo alimentício, conforme afirma Lokensgard (2013).

Não existe literatura vasta que trate da usinagem de poliamida, porém a usinagem não difere em sua essência da do aço, podendo assim ser utilizada as mesmas máquinas e ferramentas. Entretanto, a mesma experiência adquirida com a usinagem de aço não pode ser utilizada diretamente com a poliamida, já que os dois têm comportamentos bem distintos em relação à formação do cavaco e ao acabamento que fica após a usinagem.

A poliamida é um material difícil de ser usinado porque em um processo de corte contínuo (por exemplo, o torneamento), o seu cavaco tem a tendência de sair em forma de fita emaranhada, que acaba se enrolando na peça, ferramenta ou máquina, como diz Vanat e Braghini (2014). Na Figura 1 é possível ver o cavaco da poliamida enrolado na peça.

Figura 1 - Cavaco enrolado na peça



Fonte: O próprio autor (2016)

Mesmo que as ferramentas de corte para o aço possam ser usadas na poliamida, no mercado há ferramentas específicas para usinagem de polímeros, o fabricante afirma que elas trarão um melhor resultado na usinagem da poliamida.

Em empresas pequenas, como a MEITECH Jaraguá do Sul, que atua no ramo alimentício, fornecendo máquinas para abatedouros de frango, são usadas ferramentas de metal duro comuns, desenvolvidas para usinagem de aço, na usinagem de alguns componentes, de suas máquinas, feitos de poliamida. Entretanto, essas ferramentas de corte não foram desenvolvidas para o uso nesse tipo de material e, em teoria, não devem trazer bons resultados na usinagem da poliamida. O uso da ferramenta comum para aço pode estar causando transtornos aos operários das máquinas, com cavacos enrolados na peça, máquina ou ferramenta e gerando trabalhos de acabamento adicionais, posteriores à usinagem. Isso resulta em retrabalhos, que podem ser evitados, e por consequência redução do lucro da empresa.

Com isso, observou-se a necessidade de saber o quão melhor é a formação do cavaco e o acabamento superficial, na usinagem da poliamida, com a ferramenta de corte recomendada, em relação à ferramenta não recomendada. E também determinar se o valor mais alto da ferramenta de corte recomendada realmente justifica o investimento.

### **1.1 Questão Central da Pesquisa**

Há no mercado, atualmente, ferramentas de corte desenvolvidas especificamente para a usinagem de polímeros, como as da classe KX. O fabricante dessa ferramenta afirma que ela trará um melhor resultado na usinagem da poliamida do que se for usada uma ferramenta comum, desenvolvida para usinagem de aço. Porém essas ferramentas de corte desenvolvidas para usinagem em polímeros tem um custo entorno de 17% maior que as comuns, desenvolvidas para o uso em aço, devido ao seu acabamento diferenciado.

A questão a ser discutida, portanto, é a seguinte: o uso da ferramenta específica para polímeros (recomendada), resulta num melhor acabamento superficial e promove uma melhor formação do cavaco na usinagem da poliamida, quando comparada à ferramenta comum para aço (não recomendada), justificando assim, o seu custo mais elevado?

## 1.2 Justificativa

Os operadores de tornos, quando usinam a poliamida, têm grande dificuldade devido às características singulares do material, em relação à formação do cavaco, que tem a tendência de enrolar-se na peça, ferramenta ou máquina. Eles também acabam perdendo muito tempo removendo esses cavacos e melhorando o acabamento da peça após a usinagem, devido ao péssimo acabamento que resulta. Isso pode estar acontecendo devido ao uso de ferramentas e parâmetros de corte inadequados, ocasionados pela pouca informação relacionada à usinagem de polímeros. Esse tempo adicional se converte em custo adicional para a empresa.

Esse estudo poderá auxiliar empresas que fabricam peças de poliamida por processos de usinagem, dando-lhes uma referência do que é um bom parâmetro de corte e qual é uma boa ferramenta de corte (que juntos minimizem a possibilidade do cavaco enrolar-se nos componentes e obtenha um bom acabamento), no torneamento. Isso faz com que essas empresas economizem tempo (dinheiro) com trabalhos desnecessários e retrabalho.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Avaliar os parâmetros de corte para duas classes de ferramenta no torneamento da poliamida.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar a formação do cavaco no momento da usinagem;
- Analisar o acabamento superficial;
- Identificar a condição que combina o melhor acabamento superficial e a melhor formação do cavaco;
- Constatar se o custo a mais pago por uma ferramenta recomendada para polímeros vale o seu investimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para alcançar os objetivos deste trabalho, é necessário compreender melhor os materiais e os processos que serão utilizados.

O material a ser utilizado será a poliamida do tipo 6, por isso é necessário compreender melhor a suas propriedades e aplicações.

A usinagem é um processo que possui inúmeras variáveis. Pequenas mudanças em seus parâmetros podem causar resultados bem diferentes quanto à formação, o tipo do cavaco e ao acabamento deixado após a usinagem. Desse modo, é preciso ter um bom embasamento para que sejam feitas escolhas corretas dos parâmetros de corte e ferramentas a serem usadas nos ensaios.

### 2.1 Poliamida (PA) ou Nylon

Em 1938, foi desenvolvida oficialmente a primeira poliamida pela DuPont. Era a poliamida do tipo 6.6 e recebeu o nome de Nylon. O nome Nylon é usado comercialmente para qualquer poliamida que possa ser feita em filamentos, fibras, filmes e itens moldados (LOKENS GARD, 2013).

O consumo anual de poliamida 6 e poliamida 6.6 no Brasil chega a 24.000T. Nessa estimativa não estão inclusos os consumos destinados à produção de fios têxteis e de carpetes, que elevaria esse valor ainda mais. A poliamida 6, 6.6 e as suas derivações reforçadas são consideradas os principais termoplásticos de engenharia, sendo responsáveis, nos Estados Unidos, por 30% do consumo total de termoplásticos (WIEBECK; HARADA, 2005).

#### 2.1.1 Propriedades da Poliamida

Dentre os plásticos usados na engenharia, as poliamidas destacam-se por suas ótimas propriedades mecânicas e outras qualidades, tais como as citadas por Wiebeck e Harada (2005):

- a) durabilidade;
- b) baixo coeficiente de atrito;
- c) alta temperatura de fusão;
- d) boa resistência ao impacto;
- e) alta resistência à fadiga.

Elas também possuem uma ótima resistência aos solventes, exceto a alguns como ácido fórmico, por exemplo (WIEBECK; HARADA, 2005).

As poliamidas são autolubrificantes, impenetráveis a quase todos os produtos químicos e impermeáveis ao oxigênio. As propriedades dos nylons podem ser variadas introduzindo aditivos (LOKENS GARD, 2013). A Tabela 1 apresenta as propriedades da poliamida.

Tabela 1 - Propriedades da poliamida

Propriedade	Poliamida
Qualidade de moldagem	Excelente
Densidade relativa (g/cm <sup>3</sup> )	0,896 – 0,899
Resistência elástica, MPa (psi)	20 – 27 (3.000 - 3.850)
Resistência ao impacto, J/mm <sup>2</sup> (pés-lb/pol <sup>2</sup> )	8,5 - 12,5 (170 - 250)
Dureza, Rockwell	50 – 85
Expansão térmica, 10 <sup>-4</sup> /°C	21 – 25
Resistência ao calor, °C (°F)	50 – 95 (124 - 200)
Absorção de água (24 h), %	0,01
Taxa de queima	Lenta
Efeito da luz do Sol	Pouco – deve ser protegido
Efeito de ácidos	Muito resistente
Efeito de bases	Muito resistente
Efeito de solventes	Muito resistente
Qualidade para execução em máquina	Boa

Fonte: Adaptado de PLÁSTICOS INDUSTRIAIS (2013, p.510)

Como pode ser visto na Tabela 1, a família dos polialômeros tem excelentes propriedades, que podem ser interessantes para a indústria.

O uso da poliamida apresenta diversas vantagens e desvantagens conforme afirma Lokensgard (2013).

Vantagens:

- a) mais leves;
- b) alta resistência à fadiga;
- c) boa resistência ao impacto;
- d) resistente a altas temperaturas;
- e) baixo coeficiente de atrito;
- f) resistente as intemperes;
- g) recicláveis;
- h) boa resistência à solventes;
- i) resistente a bases.

Desvantagens:

- a) alta absorção de umidade com instabilidade dimensional;
- b) sujeito ao ataque por ácidos fortes e agentes oxidantes;
- c) alto encolhimento das seções moldadas;
- d) propriedades mecânicas e elétricas influenciadas pela umidade.

Todas as poliamidas são higroscópicas, ou seja, absorvem água, porém são altamente impermeáveis a gases (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.) (WIEBECK; HARADA, 2005).

O processo de fusão da poliamida é brusco porque ela não amolece ou funde, em uma faixa larga de temperatura. Quando atingem a temperatura de fusão, elas de repente tornam-se líquidas, possibilitando seu processamento (LOKENSARD, 2013).

As poliamidas são materiais amorfos quando fundidos e são mais difíceis de serem processadas do que outros termoplásticos. Com o resfriamento, solidificam-se e tornam-se nebulosas. A cristalinidade contribui com a rigidez e a resistência ao calor e por causa de sua estrutura cristalina, os produtos que têm poliamida como base apresentam uma aparência leitosa e opaca (LOKENSARD, 2013).

Conforme Tabela 2, nota-se que quanto mais cristalina for a poliamida, maior vai ser a resistência à tração, porém menor vai ser a resistência ao impacto. A cristalinidade do material, tem que ser escolhida conforme o uso que ela vai ter.

Tabela 2 - Influência no grau de cristalinidade nas propriedades

Influencia no grau de cristalinidade nas propriedades	
Propriedades que aumentam	Propriedades que diminuem
Densidade	Resistência ao impacto
Módulo de elasticidade	Tenacidade
Resistência à tração	Permeabilidade
Dureza e resistência à abrasão	
Resistência química	
Propriedades elétricas	

Fonte: Adaptado de PLÁSTICOS DE ENGENHARIA (2005, p.86)

De um lado o aumento da cristalinidade proporciona melhores propriedades e significa uma maior resistência (tração, rigidez e fluência), alta resistência à abrasão, menor absorção de água e boas propriedades elétricas e químicas. Em contrapartida, se a absorção de água reduz o grau de cristalinidade, apresentam vantagens, tais como uma maior tenacidade e resistência ao impacto (WIEBECK; HARADA, 2005).

Na Tabela 3 é possível notar que a poliamida do tipo 6.6 ou PA 6.6 tem propriedades melhores, o que explica o seu custo mais elevado no mercado. Com o grau superior de cristalinidade, maior número de ligações de hidrogênio e uma maior atração intermolecular nas PA6 e PA6.6, há uma maior resistência mecânica e térmica, do que a de outras poliamidas como PA6.10, PA6.11, PA6.12 e outras. No entanto, essas poliamidas são mais resistentes à absorção de água (WIEBECK; HARADA, 2005).

Tabela 3 - Propriedades das poliamidas

Propriedades	PA 6	PA 11	PA12	PA 6.6	PA 6.10	PA 6.12
Temperatura de Fusão (°C)	215	185	177	252	215	210
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,14	1,04	1,02	1,15	1,08	1,07
Resistencia à tração (Mpa)	83	55	52	83	62	59
Módulo de flexão (Mpa)	2 758	1 241	1 172	2 826	2 413	1 999
Absorção de água (%) em 24h de imersão	1,7	0,3	0,25	1,5	0,5	0,4

Fonte: Adaptado de PLÁSTICOS DE ENGENHARIA (2005, p.87)

A temperatura de deflexão térmica da poliamida também varia de acordo com o tipo. A PA6 tem uma faixa de 65 °C a 180 °C, enquanto a PA6.6 tem uma faixa de 90 °C a 235 °C (SIMIELLI; SANTOS, 2010).

A poliamida 6 é obtida através da caprolactama, um composto orgânico que possui em sua composição 6 átomos de carbono e também é um termoplástico. Cristaliza-se com uma alta atração intermolecular. Ela também possui segmentos de cadeias alifáticas, que conferem a ela uma certa flexibilidade na região amorfa. A combinação de alta atração nas zonas cristalinas e flexibilidade nas zonas amorfas faz com que a poliamida 6 seja tenaz acima de sua temperatura de transição vítrea (WIEBECK; HARADA, 2005).

Apesar das poliamidas 6 e 6.6 não serem obtidas da mesma matéria-prima, as duas são bastantes parecidas, diferenciando-se apenas pelo número de átomos de carbono presentes na molécula (WIEBECK; HARADA, 2005).

A poliamida 6.6 tem propriedades melhores que a PA6, tais como a resistência térmica e a absorção de água. Porém, o PA6 apresenta uma maior facilidade no processamento e tem um menor encolhimento pós-moldagem. As poliamidas 6 e 6.6 têm uma boa resistência aos hidrocarbonetos, porém são atacadas por ácidos minerais (WIEBECK; HARADA, 2005).

As poliamidas não possuem uma perfeita estabilidade à oxidação e quando estão no seu estado líquido são extremamente sensíveis a ela. Quando expostas ao calor e ao meio ambiente, por um longo período de tempo, essa exposição causa seu amarelecimento. Essa sensibilidade tende a aumentar quanto maior for a temperatura, geralmente quando passa de 70 °C a 80 °C, variando de acordo com o tipo de poliamida. Porém, esse amarelecimento é puramente estético, já que ele não altera em nada as propriedades da poliamida (WIEBECK; HARADA, 2005).

### 2.1.2 Aplicações da Poliamida

As poliamidas foram oferecidas ao mercado em 1941 e têm crescido nas aplicações desde então. Elas são atualmente um dos mais duráveis materiais plásticos e existem vários tipos no mercado atualmente. Nos Estados Unidos, as poliamidas do tipo 6 e 6.6 são as mais usadas (LOKENS GARD, 2013).

Embora a poliamida tenha sido desenvolvida principalmente como fibras, ela encontra uso como composto de moldagem, extrusões, revestimentos, adesivos e materiais de fundição (LOKENSGARD, 2013).

A área de aplicação da poliamida tipo 6 e 6.6 não modificadas ou reforçadas é muito grande, apresentando diversidade de aplicações na engenharia, tanto na indústria automobilística, mas também na indústria elétrica e eletrônica, indústria de construção, móveis e engenharia mecânica leve de precisão. Ela também não é atacada por fungos e bactérias, por isso é muito usada em recipientes de alimentos (WIEBECK; HARADA, 2005; LOKENSGARD, 2013).

As poliamidas do tipo 6, 6.6, 6.10, 11 e 12 são muito usadas para fabricar engrenagens, buchas, anéis, suportes, válvulas, assentos, pentes entre outras coisas. Elas são utilizadas onde se necessita uma boa durabilidade, operação em silêncio e baixo coeficiente de atrito. A poliamida não é só usada em produtos mecânicos na indústria, mas também nos mais variados produtos do nosso cotidiano, como adesivos, tinta de impressão e tecidos. Dois exemplos de novas aplicações para a poliamida são o uso em coletores de admissão e tampa de válvulas do motor de alguns carros (WIEBECK; HARADA, 2005; LOKENSGARD, 2013). Por haver tantas peças de poliamida usinadas, o tópico a seguir apresenta as características que uma ferramenta de corte deve ter para usinar corretamente a poliamida.

## **2.2 Ferramenta de Corte**

Para a seleção correta de uma ferramenta de corte, uma série de fatores tem que ser ponderados, como o material a ser usinado, processo de usinagem, condições da máquina, forma e dimensões da ferramenta, custo da ferramenta, condições de usinagem e condições de operação (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Para uma melhor usinagem da peça, a ferramenta deve ter uma aresta de corte afiada (VICK, 2013).

Uma composição recomendada para a ferramenta de corte, que usine poliamida, é que ela seja feita de carbureto de tungstênio ou apresente um recobrimento adequado, como o diboreto de titânio, por exemplo. Também pode ser

usada na usinagem da poliamida, uma ferramenta de corte de aço rápido (ANSI M2) ou uma ferramenta com ponta de diamante (LOKENSARGD, 2013).

As ferramentas com revestimento têm uma performance bem superior às sem revestimento (SANTOS; SALES, 2007).

Quase todos os plásticos podem ser usinados. Os termos fixos desgastam mais as ferramentas do que os termoplásticos (LOKENSARGD, 2013).

Ferramentas de corte de aço rápido, ou carbureto, normalmente usadas na usinagem de latão e alumínio, também podem ser usadas na usinagem de polímeros. Os avanços e a velocidades de corte são similares (LOKENSARGD, 2013).

Ferramentas convencionais de aço rápido, comumente usadas em operações com madeira, também podem ser usadas em plásticos, desde que sejam afiadas de maneira adequada. Já as ferramentas com ponta de diamante, ou carbureto são usadas para operações longas, que precisem de uniformidade, bom acabamento e que exijam precisão (LOKENSARGD, 2013).

As ferramentas de corte feitas de metal duro são conhecidas como classe dos cavacos longos, já que com sua elevada resistência ao desgaste e alta dureza, permitem a usinagem de materiais que produzam cavacos mais longos, formando uma grande área de contato (maior atrito), com a superfície de saída da ferramenta (SANTOS; SALES, 2007).

Como a maioria dos termoplásticos, a poliamida têm uma condutividade térmica e um módulo de elasticidade baixos. Isso faz com que a ferramenta de corte, utilizada para usiná-los, deve ser adequadamente afiada, para permitir que o corte se dê de uma forma cuidadosa, sem queima, obstrução ou geração de calor pelo atrito da ferramenta com a peça a ser usinada (LOKENSARGD, 2013).

Ferramentas, avanços e velocidades de corte, utilizadas na usinagem de latão e alumínio, também podem ser usadas na usinagem da poliamida (LOKENSARGD, 2013).

Para um bom acabamento, a ferramenta de corte deve ter um ângulo de posição zero ou negativo (VICK, 2013), conforme mostra a Tabela 4.

A Tabela 4 apresenta os melhores ângulos para a usinagem da poliamida.

Tabela 4 - Ângulos recomendados para usinagem da poliamida

Material de Trabalho	Ângulo de folga (°)	Ângulo de posição (°)
Poliamida	5 a 20	-5 a 0

Fonte: Adaptado de PLÁSTICOS INDUSTRIAIS (2013, p.168)

Para uma boa formação do cavaco na usinagem da poliamida, o ângulo de saída deve ser negativo ou nulo, e a ferramenta de corte deve ser afiada e fabricada preferencialmente de aço rápido (VANAT; BRAGHINI, 2014). Sabe-se que o uso de uma boa ferramenta não garante bons resultados na usinagem, se não estiver acompanhada por um bom parâmetro de corte. Por esse motivo o tópico a seguir apresentará recomendações de parâmetros de corte para usinagem da poliamida.

### 2.3 Parâmetro de Corte

Parâmetro de corte é o movimento entre a ferramenta e a peça durante a usinagem, e ele que permite que ocorra a usinagem da peça. Esses movimentos são estipulados durante o projeto e fabricação da peça e variam de acordo com o tipo de usinagem, material da peça, maquinário e ferramenta usados no processo (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Para maximizar a possibilidade de um bom acabamento, a profundidade de corte não deve ser superior a 0,5 mm (VICK, 2013).

Devido ao baixo ponto de fusão dos termoplásticos, o calor gerado no momento da usinagem, mesmo que pequeno, pode ocasionar uma alteração indesejada na forma da peça. Se for muito elevada a temperatura no momento da usinagem pode até fundir ou rachá-la (LOKENS GARD, 2013). A Tabela 5 apresenta parâmetros de corte encontrados na literatura.

Para muitos plásticos, pode ser usado no parâmetro de corte, a velocidade de corte de 150 m/min, com avanço de 0,12 mm/r a 0,5 mm/r (LOKENS GARD, 2013).

Tabela 5 - Recomendações de parâmetros de corte

Tipo	Título	Autor	$v_c$	$f$	$a_p$
Livro	Plásticos Industriais	Erik Lokensgard	150 m/min 90 m/min 120 m/min	0,12 mm/r 0,5 mm/r	3,8 mm
Empresa	X	VICK	50 m/min 500 m/min	Desbaste 0,5 mm/r Acabamento 0,05 mm/r	0,5 mm 10 mm
Artigo	O uso de ferramentas de metal duro no torneamento do Nylon	Karen Juliana Vanat Aldo Braghini Junior	150 m/min 300 m/min 450 m/min 600 m/min 750 m/min	0,15 mm/r 0,25 mm/r 0,35 mm/r	0,5 mm 1,0 mm 2,0 mm
Empresa	X	RASC-RS	50 m/min 500 m/min	Desbaste 0,5 mm/r Acabamento 0,05 mm/r	0,5 mm 10 mm

Fonte: O próprio autor (2016)

Com a Tabela 5, é possível ter exemplos de forma direta e simples, de parâmetros de corte usados em trabalhos, ou recomendações de livros ou empresas.

Sabe-se que o parâmetro de corte influencia na formação do cavaco. Nesse sentido, o seguinte tópico tratará da formação e tipos de cavacos.

## 2.4 Formação de Cavaco




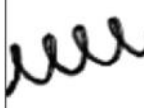












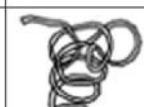

Em uma peça usinada, o material é retirado em forma de cavaco. O tipo de cavaco pode oferecer riscos e danos à peça, à máquina, à ferramenta e à integridade física do operador. Preferem-se cavacos curtos em forma de lascas, aos longos em forma de fida, devido ao volume considerável que eles ocupam (SANTOS; SALES, 2007).

A boa formação do cavaco vem com o uso da máquina, ferramenta e parâmetro de corte adequado, pois eles influenciam, no desgaste da ferramenta, no calor gerado durante a usinagem e na qualidade da peça (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Os tipos de cavacos de acordo com Santos e Sales (2007) são: contínuos, parcialmente contínuos, descontínuos e segmentados.

A Figura 2, a seguir, apresenta a classificação dos cavacos conforme a norma ISO3685.

Figura 2 - Classificação detalhada da forma dos cavacos segundo a norma ISO3685

1 - Cavaco em fita	2 - Cavaco tubular	3 - Cavaco espiral	4 - Cavaco hel. tipo arruela	5 - Cavaco hel. cônico	6 - Cavaco em arco	7 - Cavaco fragmentado	8 - Cavaco tipo agulha
							
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conect.		
							
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
							
1-3 - Emaranhado	2-3 - Emaranhado		4-3 - Emaranhado	5-3 - Emaranhado			

Fonte: ISO 3685 (1993, p. 8)

A geração de cavacos longos pode gerar diversos problemas na operação como afirmam Santos e Sales (2007):

- ocupam muito espaço;
- representam um risco para o operador caso se enrole na peça, ferramenta ou máquina;
- pode comprometer o acabamento superficial da peça;
- afeta a vida útil da ferramenta.

A mesma regra de formação de cavaco, que é usada para os metais, não pode ser usada também na poliamida, já que ela tem uma resistência inferior à dos metais, quando se trata de uma carga pontual (VANAT; BRAGHINI, 2014).

A formação do cavaco torna-se mais controlada quando tem como parâmetro de corte, uma profundidade de corte maior, um avanço mais alto e uma alta velocidade de corte, produzindo assim um cavaco mais espesso e, por sua vez, mais controlável, devido ao seu peso maior (VANAT; BRAGHINI, 2014).

Durante o torneamento da poliamida, o cavaco tende a sair em forma de fita contínua e não se rompe, ocasionando transtornos como enrolar na peça usinada,

ferramenta ou máquina. A melhor formação de cavaco para usinagem da poliamida é a em forma de fita contínua tubular ou helicoidal (VANAT; BRAGHINI, 2014).

A obtenção de cavacos segmentados em matérias de baixa condutividade térmica, ou relativamente alta, requer uma elevada velocidade de corte (SANTOS; SALES, 2007).

A profundidade de corte é o que mais influência no raio de curvatura do cavaco, seguida pelo avanço, ângulo de saída e a velocidade de corte (SANTOS; SALES, 2007).

Quanto maior for a velocidade de corte, mais longe é lançado o cavaco, evitando assim que o mesmo enrole no corpo de prova, na máquina ou na ferramenta. A baixa velocidade de corte ocasiona a formação de cavaco em fita longa e emaranhada (VANAT; BRAGHINI, 2014).

Duas técnicas que deram resultados satisfatórios, durante a usinagem, que podem causar o rompimento do cavaco em fita são: a variação da velocidade de avanço, através de comandos no programa CNC a injeção do fluido de corte em alta pressão, na superfície de saída da ferramenta, no sentido contrário à saída do cavaco (SANTOS; SALES, 2007).

Na usinagem, a energia consumida é convertida em energia térmica. O calor gerado na zona de cisalhamento é, na maioria das vezes, considerado benéfico para operação, já que reduz a tensão de cisalhamento do material. Dependendo do tipo de material que está sendo usinado, o aquecimento gerado pela usinagem pode causar problemas à peça nas suas dimensões, ou até provocar a fusão do material na região próxima à aresta de corte da ferramenta (SANTOS; SALES, 2007).

A velocidade de corte influencia na temperatura da operação. Com o aumento da velocidade de corte, conseqüentemente há um aumento da temperatura, e a plasticidade do material torna-se menor, diminuindo assim a possibilidade de aparecer aresta postiça (SANTOS; SALES, 2007).

Qualquer que seja o processo de fabricação, parâmetro de corte ou ferramenta utilizados, a qualidade da peça deve atender certos pré-requisitos de projeto e ondulações e falhas devem ser evitadas na fabricação de uma superfície. Uma característica importante é a rugosidade superficial que é medida e avaliada através de equipamentos específicos e será o tema do próximo item.

## 2.5 Rugosidade

A importância do acabamento superficial cresce à medida que há mais precisão no ajuste nas peças a serem acopladas. Quanto melhor for o acabamento superficial, maior vai ser resistência à fadiga da peça e melhor será a sua lubrificação (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2009).

As superfícies do acabamento superficial podem ser classificadas de acordo com Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009) como:

- a) superfície real – superfície que separa o corpo do meio ambiente;
- b) superfície geométrica – superfície ideal especificada no projeto;
- c) superfície efetiva – obtida pela medição de instrumentos, a superfície efetiva é a mais próxima da superfície real do corpo e quanto mais precisão tiver o aparelho de medição mais real essa superfície vai ser;
- d) perfil real – é um plano perpendicular à superfície real;
- e) perfil geométrico – é um plano perpendicular à superfície geométrica.

As superfícies reais distinguem-se das superfícies geométricas através das falhas na superfície da peça, de acordo como Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009) podem ser classificadas em:

- a) macrogeométricos ou erros de forma, que podem ser medidos com instrumentos de medição convencionais;
- b) microgeométricos ou rugosidade, que têm que ser medidos com aparelhos especiais como rugosímetro.

As ranhuras ou sulcos são provenientes do contato da ferramenta de corte com o corpo da peça numa usinagem e sua largura e profundidade variam com o raio de ponta da ferramenta (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2009), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Corte longitudinal mostrando os sulcos que ficam após a usinagem



Fonte: Adaptado de PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA – TOLERÂNCIAS, AJUSTES, DESVIOS E ANÁLISES DE DIMENSÕES (2009, p.199)

A rugosidade superficial de uma peça, de acordo com Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009) pode variar de acordo com as seguintes condições:

- a) rigidez da máquina;
- b) dureza superficial da peça sendo usinada;
- c) geometria da ferramenta;
- d) fixação correta da peça a fim de evitar trepidações.

A medição da rugosidade tem que ser feita na direção que forneça a rugosidade máxima (AGOSTINHO, RODRIGUES; LIRANI, 2009).

Se  $R_a$  for maior que  $3,0 \mu\text{m}$ , o comprimento mínimo da amostragem tem que ser de  $2,5 \text{ mm}$  e quanto menor for o raio de curvatura do cavaco, melhor será o acabamento superficial da peça (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2009).

O que mais influencia o bom acabamento superficial é em primeiro lugar o avanço, seguido do raio de ponta e a velocidade de corte (NUNES, 2011).

A velocidade de corte influencia pouco no acabamento superficial, devido ao fato que quanto maior for a velocidade de corte, o acabamento superficial torna-se insensível a sua variação (NUNES, 2011).

O aumento do avanço na usinagem influencia a rugosidade da peça, devido ao fato que com o aumento dele se aumenta também a distância entre os picos no perfil de rugosidade e conseqüentemente aumenta o valor da amplitude de rugosidade (NUNES, 2011).

O aumento do raio de ponta a tendência é diminuir a rugosidade. Ele influencia no perfil da rugosidade que é a combinação do avanço com o raio de ponta da ferramenta. Um raio de ponta igual ao avanço deixara o aspecto de rosca na superfície da peça. Para um bom acabamento a operação precisa de um raio de ponta com um avanço de no máximo 10 ( $r_e/r = \text{resultado} < 10$ ) valores superiores podem prejudicar o acabamento com atrito excessivo (NUNES, 2011).

A Tabela 6 apresenta o campo usual de rugosidade para uma operação como o torneamento.

Tabela 6 - Campo usual de rugosidade para o torneamento

Ra ( $\mu\text{m}$ )	51	25,4	12,7	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,013
Rq ( $\mu\text{m}$ )	53,6	26,8	13,4	6,7	3,4	1,68	0,86	0,42	0,21	0,105	0,053	0,026	0,013
Torneamento													

 Aplicação menos comum  Campo usual da aplicação

Fonte: Adaptado de PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA – TOLERÂNCIAS, AJUSTES, DESVIOS E ANÁLISES DE DIMENSÕES (2009, p.214)

Na Tabela 6 podemos observar as faixas de rugosidade (Ra e Rq) mais e menos comuns no torneamento.

Exemplos de peças, feitas com determinadas rugosidades conforme Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009) são:

- a) Ra = 0,4  $\mu\text{m}$  – superfícies de guia de elementos de precisão;
- b) Ra = 0,6  $\mu\text{m}$  – válvulas de esfera;
- c) Ra = 1,5  $\mu\text{m}$  – eixos, furos para engrenagens e assentos de rolamentos;
- d) Ra = 2,0  $\mu\text{m}$  – eixos, chavetas de precisão e alojamentos de rolamentos;
- e) Ra = 3,0  $\mu\text{m}$  – superfícies usinadas em geral;
- f) Ra = 4,0  $\mu\text{m}$  – superfícies desbastadas por operações de usinagem;
- g) Ra = 5,0  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$  – superfícies fundidas e estampadas;
- h) Ra = maior que 15,0  $\mu\text{m}$  – peças fundidas, forjadas e laminadas.

Para um melhor acabamento superficial, é necessário mais tempo de operação e conseqüentemente mais custo (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2009).

Neste capítulo foram apresentadas, as referências bibliográficas do trabalho. Foi dada atenção a itens essenciais, com uma breve introdução sobre a poliamida, que foi desenvolvida em 1838 pela DuPont, e o primeiro tipo a 6.6, foi dado o nome comercial de Nylon. Foram explicadas suas excelentes propriedades, tais como a alta durabilidade, baixo coeficiente de atrito, alta temperatura de fusão, boa resistência ao impacto e alta resistência à fadiga. Essas características da poliamida possibilitam diversas aplicações na engenharia, como buchas, anéis, suportes, engrenagens e muitos outros componentes. Também foram apresentadas as características que uma ferramenta que use a poliamida tem que ter, como uma superfície polida e aresta de corte afiada. Uma ferramenta com essas características, somadas aos parâmetros de corte recomendados, trariam bons

resultados na usinagem da poliamida. Um item importante foi a formação do cavaco que tem a tendência a sair em forma de fita contínua na poliamida. Também foi dada importância ao acabamento superficial para a peça.

Tudo isso serviu como base para o próximo tópico, que relatará como foi feita toda parte experimental do trabalho.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

São abordados neste tópico os procedimentos experimentais usados no trabalho. Foi analisada a variação na formação do cavaco e no acabamento, usando duas ferramentas de corte distintas, uma própria para o uso em polímeros e outra para uso em aço, variando alguns parâmetros como raio de ponta, velocidade de avanço, velocidade de corte e profundidade de corte. Foi definido que seriam feitos os ensaios a seco, para analisar a variação na formação do cavaco e o acabamento superficial, causados apenas pela troca das ferramentas e parâmetros de corte, sem a influência do fluido de corte que poderia interferir no resultado.

A seguir serão apresentados detalhes dos materiais, equipamentos e a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 Equipamentos utilizado

A máquina usada para a preparação do corpo de prova foi o torno convencional Nardini MASCOTE conforme mostra a Figura 4. Ele possui uma faixa de velocidade de 31,5 a 2500 rpm, potência de 4,7/3 Kw, curso transversal do carro de 225 mm e curso do carro porta ferramentas de 100 mm.

Figura 4 - Torno usado na preparação do corpo de prova para o CNC



Fonte: O próprio autor (2016)

A máquina usada nos ensaios foi o Torno CNC ROMI GL 240, conforme mostra a Figura 5, que possui uma faixa de velocidade de 6 a 6.000 rpm, potência máxima de 15 Kw, capacidade para alojar 12 ferramentas no magazine, curso transversal do carro de 188 mm e curso longitudinal do carro de 400 mm.

Figura 5 - Torno CNC usado nos ensaios



Fonte: O próprio autor (2016)

### 3.2 Corpo de Prova

Para o torneamento cilíndrico foram comprados 4.000 mm de barra cilíndrica com diâmetro de 60 mm de poliamida, conforme nota fiscal no Anexo A. Também foi fornecido pela empresa um certificado atestando que é uma poliamida do tipo 6, conforme Anexo B.

Os 4.000 mm de material foram divididos em 17 segmentos de 230 mm cada um, conforme Figura 6, sendo 16 deles usados nos ensaios e um de reserva, caso ocorresse algum problema com um dos corpos de prova.

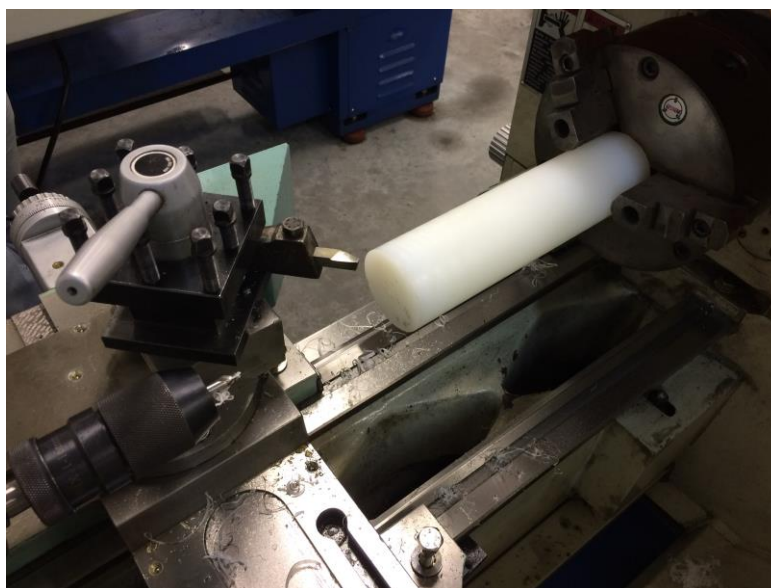
Figura 6 - Barras de Poliamida já cortadas



Fonte: O próprio autor (2016)

Após serem cortados, esses corpos de prova foram levados até um torno convencional Nardini MASCOTE, conforme Figura 7, onde foram realizados os faceamentos de ambos os lados e furos de centro, um em cada lado para fixação com a contra ponta. Também foi feito um rebaixo, no corpo de prova, que permitiu a eles uma fixação igual nas castanhas do torno CNC ROMI GL 240.

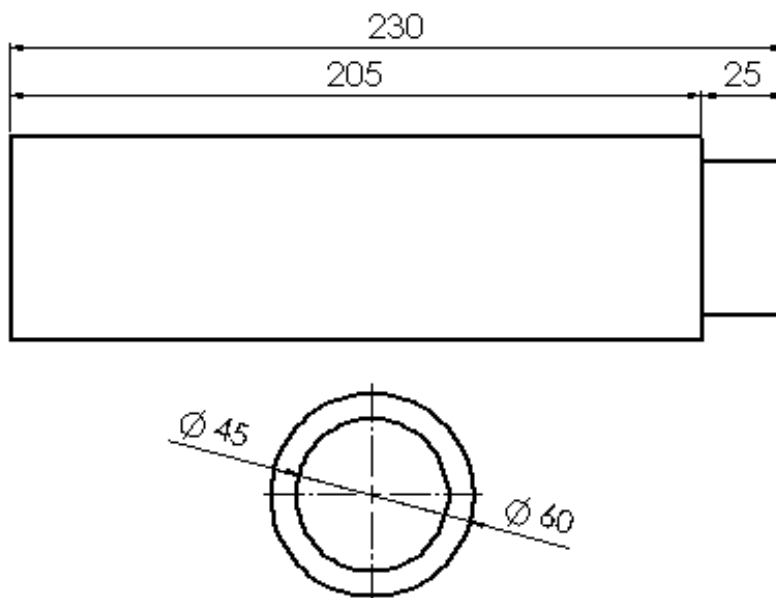
Figura 7 - Preparação das barras para a usinagem no torno CNC



Fonte: O próprio autor (2016)

A Figura 8 mostra as medidas da preparação do corpo de prova e a Figura 9 ele pronto para ser usinado no Torno CNC.

Figura 8 - Dimensão do corpo de prova antes da usinagem no CNC



Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 9 - Corpo de prova antes da usinagem no CNC

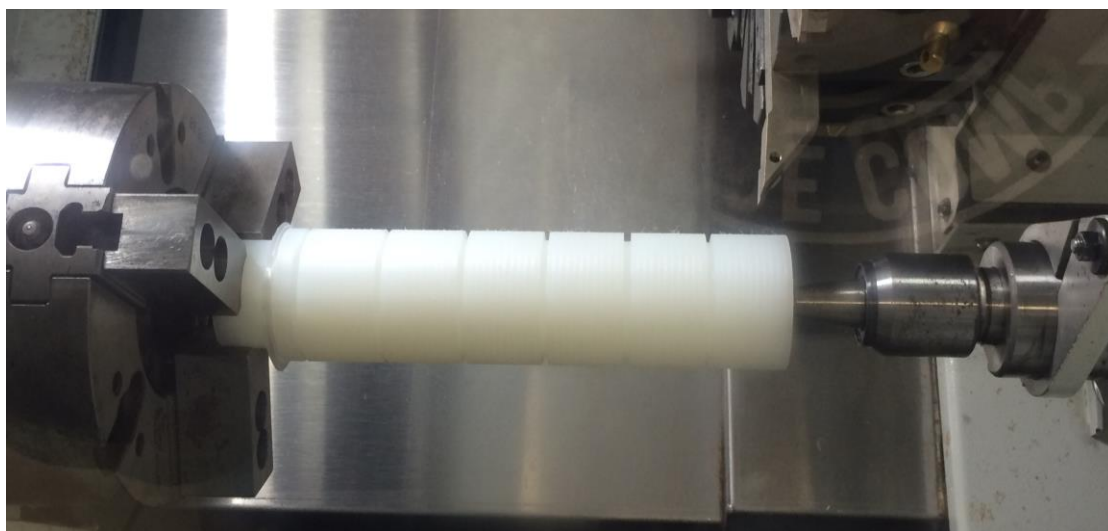


Fonte: O próprio autor (2016)

Não foram usinados todos os 16 corpos de prova antes já nas suas dimensões finais conforme Figura 11, para evitar um possível erro de posicionamento no momento da fixação do corpo de prova pelas castanhas e a contra ponta. Então assim que o corpo de prova estava em sua dimensão final, imediatamente já eram feitos os ensaios sem retirar a peça do torno CNC.

A Figura 10 mostra o corpo de prova após a usinagem, já com suas medidas finais, pronto para serem feitos os ensaios.

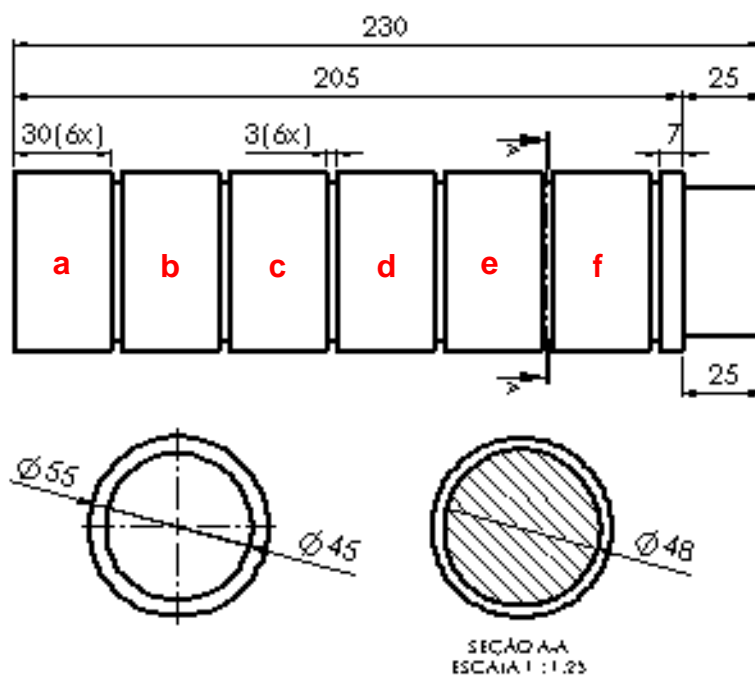
Figura 10 - Corpo de prova pronto para o ensaio



Fonte: O próprio autor (2016)

As Figuras 11 e 12 mostram as medidas finais do corpo de prova, e ele já pronto para serem feitos os ensaios. Conforme mostra a Figura 11 o corpo de prova foi dividido em 6 superfícies de ensaio (a, b, c, d, e e f), e para separar as superfícies foram feitos rasgos de 3 mm.

Figura 11 - Dimensões finais do corpo de prova



Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 12 - Corpo de prova finalizado



Fonte: O próprio autor (2016)

### 3.3 Ferramentas utilizadas nos ensaios

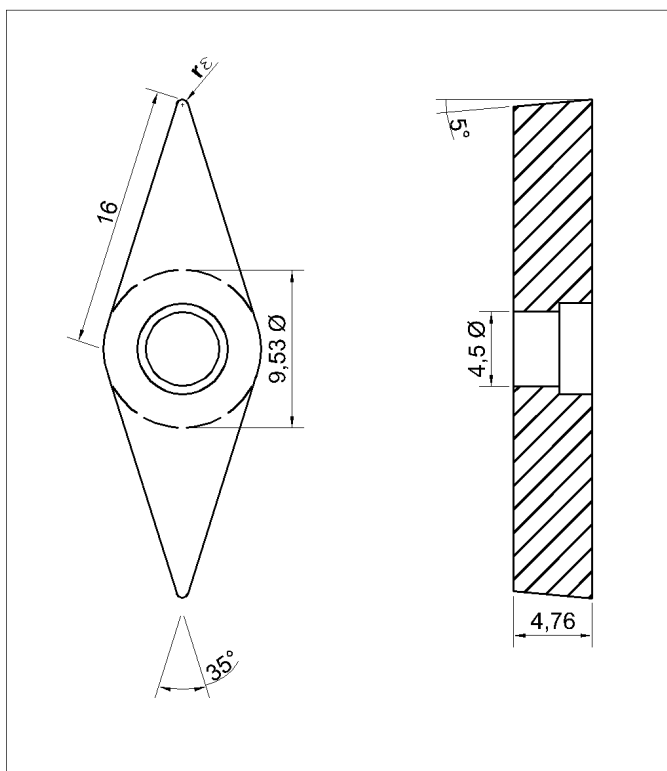
As ferramentas foram selecionadas tendo em vista a ideia de testar uma ferramenta adequada para a usinagem de peças de polímero e outra indicada para usinagem de peças de aço. Buscou-se encontrar duas ferramentas de corte que tivessem algumas semelhanças, tais como o formato da ferramenta, o raio de ponta e a espessura da ferramenta. Porém, devido ao fato de serem pastilhas de classes distintas, elas não são idênticas e o quebra cavaco e o acabamento das pastilhas não são iguais.

#### 3.3.1 Ferramenta recomendada para a usinagem de aço

Foram utilizadas duas ferramentas de metal duro do fabricante SECO classe TP2501 equivalente à classe ISO P25, próprias para usinagem de aço, com quebra cavaco MF2 e dois raios de ponta 0,4 mm e 1,2 mm com um custo de R\$ 76,30.

Na Figura 13 observam-se as medidas em milímetro da ferramenta de corte, onde  $r_\varepsilon$  é o raio de ponta da ferramenta, sendo 0,4 mm ou 1,2 mm, conforme o experimento. As medidas da ferramenta foram extraídas do catálogo do fabricante.

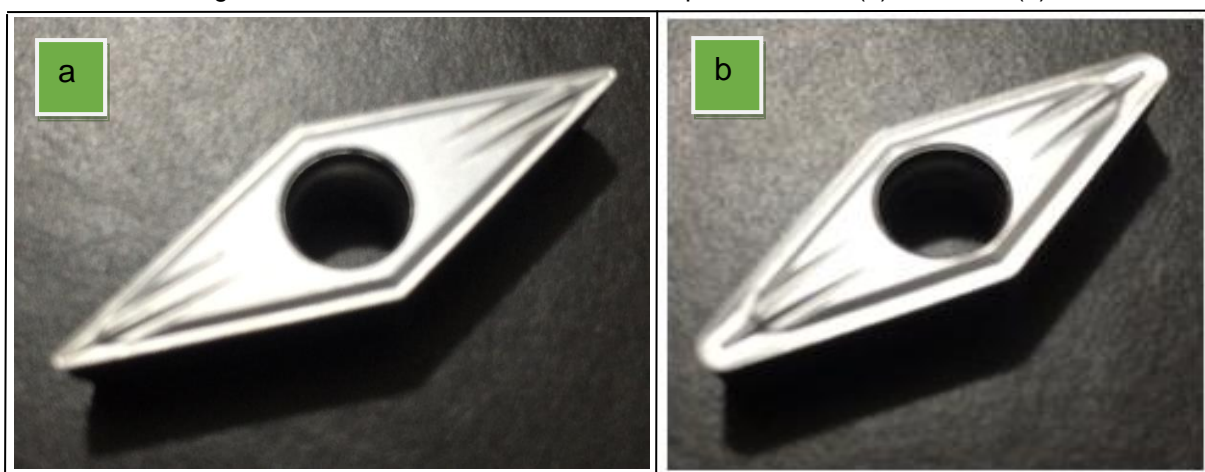
Figura 13 - Medidas da ferramenta TP2501



Fonte: O próprio autor (2017)

Na Figura 14 são apresentadas imagens das ferramentas, onde é possível visualizar o quebra cavaco e a diferença do raio de ponta das duas.

Figura 14 - Pastilha TP2501: com raio de ponta 0,4 mm (a) e 1,2 mm (b)



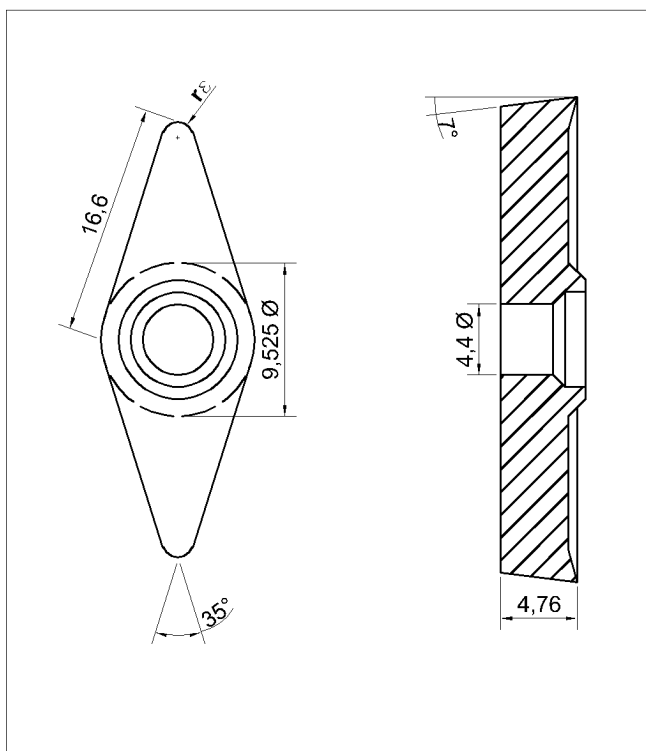
Fonte: O próprio autor (2016)

### 3.3.2 Ferramenta de corte para polímeros

Foram utilizadas duas ferramentas de metal duro polidas do fabricante SECO classe KX equivalente à classe ISO N15, próprias para usinagem de polímeros, com quebra cavaco AL e dois raios de ponta 0,4 mm e 1,2 mm com um custo de R\$ 89,00.

Na Figura 15 observam-se as medidas em milímetro da ferramenta de corte, onde  $r_\epsilon$  é o raio de ponta da ferramenta, sendo 0,4 mm ou 1,2 mm, conforme o experimento. As medidas da ferramenta foram extraídas do catálogo do fabricante.

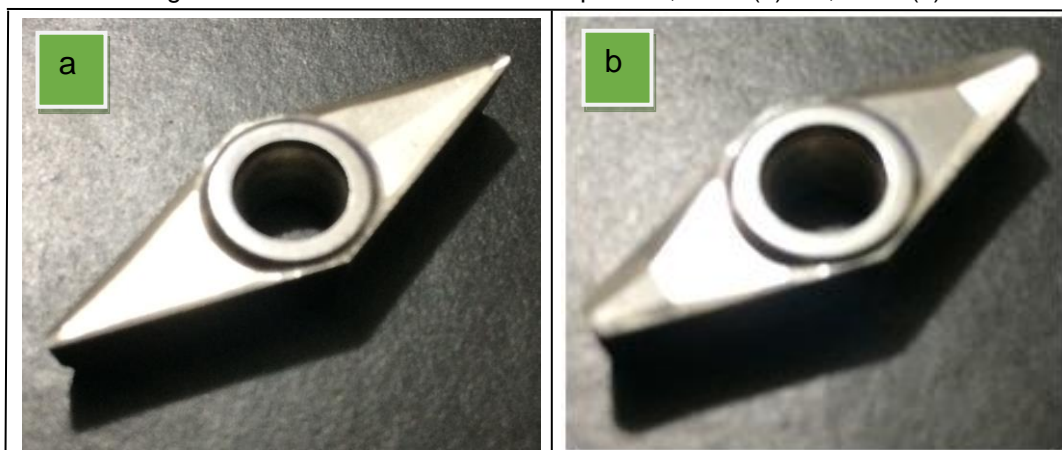
Figura 15 - Medidas da ferramenta KX



Fonte: O próprio autor (2017)

Na Figura 16 são apresentadas imagens das ferramentas, onde é possível visualizar o quebra cavaco e a diferença do raio de ponta das duas.

Figura 16 - Pastilha KX: com raio de ponta 0,4 mm (a) e 1,2 mm (b)

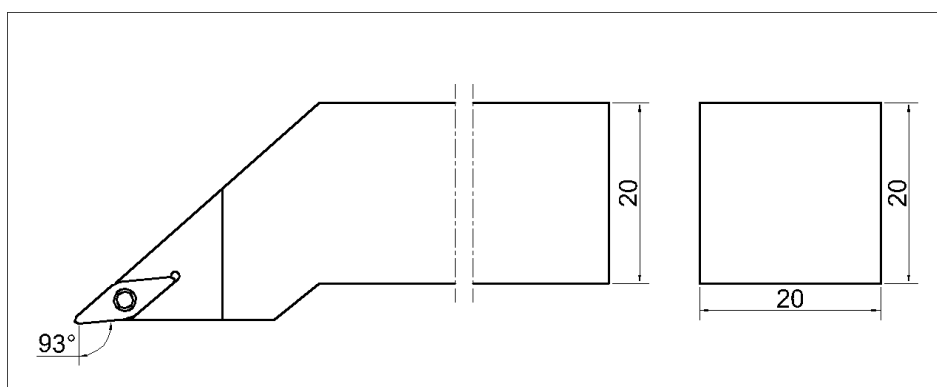


Fonte: O próprio autor (2016)

### 3.3.3 Suporte para as ferramentas

Para as ferramentas foi usado o suporte SVJBL 2020K16 e na Figura 17 é possível observar as medidas em milímetro do suporte. Ele também possui ângulo de saída e de inclinação de  $0^\circ$ . As medidas da ferramenta foram extraídas do catálogo do fabricante.

Figura 17 - Medidas do suporte



Fonte: O próprio autor (2017)

### 3.4 Variáveis para os experimentos

Para os ensaios foram definidas como variáveis a ferramenta de corte, raio de ponta da ferramenta ( $r_\epsilon$ ), velocidade de corte ( $v_c$ ), avanço ( $f$ ) e a profundidade de corte ( $a_p$ ) conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Variáveis do experimento

Tipo da Ferramenta	KX e TP 2501
$r_c$	0,4 mm e 1,2 mm
$v_c$	150 m/min e 500 m/min
$f$	0,05 mm/rev e 0,35 mm/rev
$a_p$	0,5 mm e 3 mm

Fonte: O próprio autor (2017)

As variáveis  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$ , foram definidas usando como base as recomendações de corte passadas por livros, empresas e também por parâmetros de corte, usados em alguns trabalhos acadêmicos, conforme Tabela 5.

Depois de definidas as variáveis dos testes, com o auxílio do software Minitab, foi realizado um planejamento com 3 repetições. O software gerou a ordem dos experimentos de forma aleatória. A sequência total dos 96 ensaios pode ser vista no Apêndice A.

Os corpos de prova foram usinados conforme sequencia apresentada a seguir:

A) Usinagem do corpo de prova:

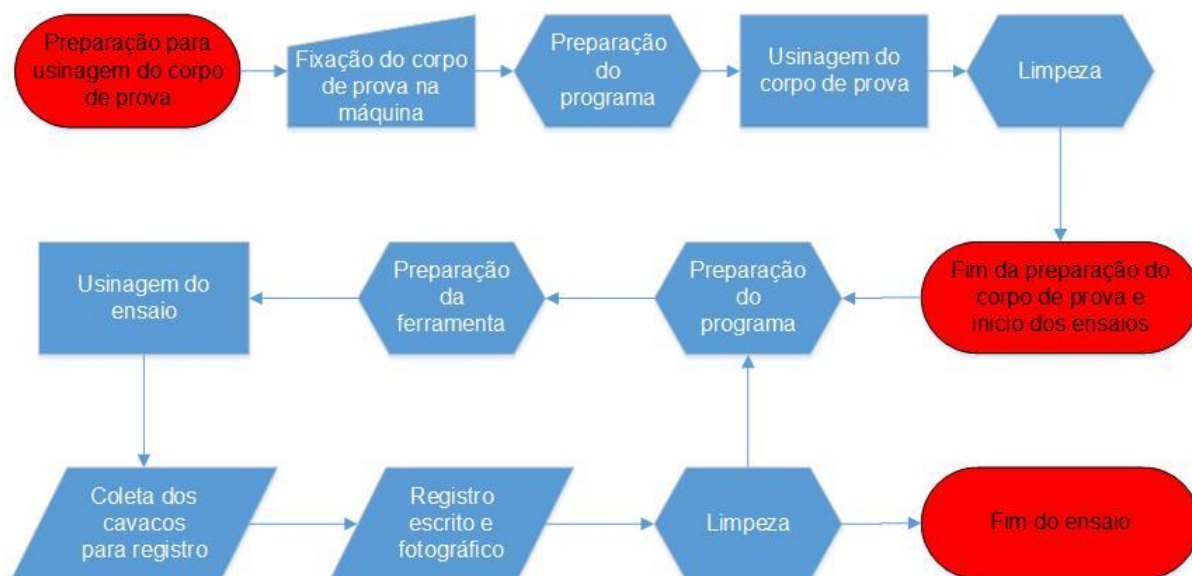
- Fixação do corpo de prova na máquina;
- Preparação do programa;
- Usinagem do corpo de prova;
- Limpeza do corpo de prova e da máquina.

B) Usinagem do ensaio:

- Preparação do programa;
- Preparação da ferramenta de corte;
- Usinagem do ensaio;
- Coleta dos cavacos para registro;
- Registro escrito e fotográfico;
- Limpeza do corpo de prova e da máquina.

A Figura 18 apresenta um fluxograma, mostrando os passos do ensaio. Lembrando que esses passos foram repetidos para todos os 16 corpos de prova.

Figura 18 - Fluxograma dos ensaios



Fonte: O próprio autor (2017)

O programa CNC usado, na usinagem do corpo de prova e dos ensaios, então no Apêndice B.

### 3.6 Metodologia e equipamentos usados na medição da rugosidade

Para cada condição de corte foi obtida a rugosidade através de um rugosímetro TESA Rugosurf 20, apresentado na Figura 19. Esse equipamento fornece diversos parâmetros de rugosidade, dos quais foram analisados a Ra, Rq, Rt e Rz.

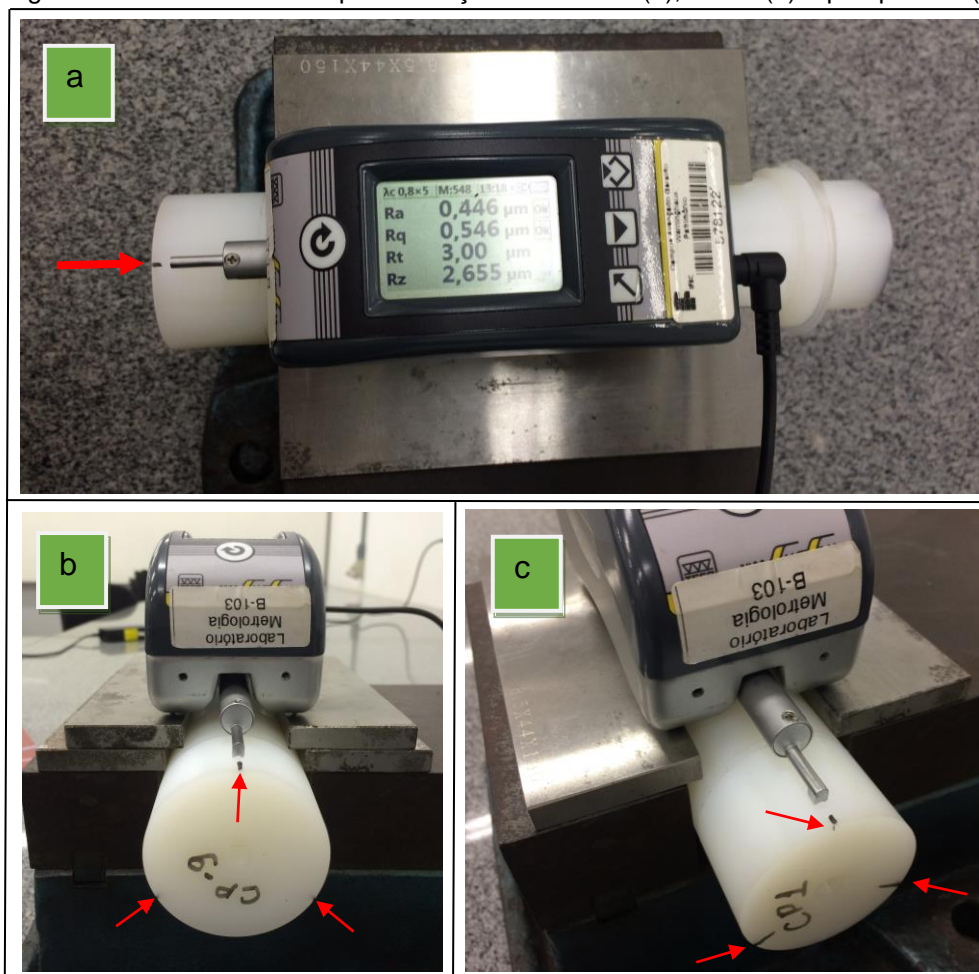
Figura 19 - Rugosímetro usado nas medições



Fonte: O próprio autor (2016)

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 4288, foram feitas três medições de rugosidade em cada corpo de prova, paralelas à direção de avanço, onde se espera uma maior rugosidade, obtendo-se um total de 288 medições. Cada uma das medições foi feita a cada 120°, no meio do corpo de prova, conforme mostram as marcas no corpo de prova, na Figura 20. Foi usado o valor do *cut-off* igual a 5.

Figura 20 - Posicionamento para medição visto: cima (a), frente (b) e perspectiva (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Para as medições serem feitas, o corpo de prova foi preso a uma morsa que estava sobre uma bancada, e o rugosímetro foi apoiado por calços, conforme Figura 20. Houve sempre o cuidado, para que o corpo de prova estivesse bem preso e o rugosímetro bem apoiado, a fim de não ocorrer erros de medição.

Feita toda a parte experimental do trabalho pode-se dar início a análise e discussão dos resultados que é o próximo tópico do trabalho.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados do uso das duas classes de ferramenta KX e TP2501 no torneamento da poliamida. Posteriormente, serão feitas as análises da medição de rugosidade e classificação dos cavacos. A apresentação dos dados será na forma de gráficos, tabelas e imagens dos cavacos, sempre acompanhados de sua análise.

### 4.1 Análise dos cavacos

Em quase todos os ensaios o cavaco obtido foi em forma de fita longa e emaranhada, equivalente ao tipo 1 - 3 da norma ISO 3685, apresentada na Figura 2. Também não foi observado o rompimento do cavaco durante os experimentos. As informações obtidas com os ensaios no que diz respeito aos cavacos serão apresentadas agrupando-se os ensaios onde as formações dos cavacos foram semelhantes. Foram criados 5 grupos:

- a) Grupo 1, foram encontrados os melhores resultados na formação do cavaco, onde o cavaco não interferiu em nenhum momento na operação;
- b) Grupo 2, foram encontrados resultados insatisfatórios, onde o cavaco interferiu na operação com a formação de um anel no final da usinagem e do último segmento do cavaco que não separou do corpo de prova;
- c) Grupo 3, também foram encontrados resultados insatisfatórios, houve a formação de um acúmulo de material a frente da ferramenta, que puxou o cavaco e o enrolou no corpo de prova;
- d) Grupo 4, novamente foram encontrados resultados insatisfatórios, porém com essas condições não houve um corte limpo do material e conseqüentemente acabou tendo a formação de um cavaco em forma de um anel sólido;
- e) Grupo 5, foi onde houve um resultado mais extremo, onde o calor gerado durante o torneamento causou a fusão dos cavacos uns nos outros e até com o corpo de prova.

#### 4.1.1 Grupo 1 com os ensaios 3, 6, 14, 17, 21 e 29

A Tabela 8 mostra as variáveis usadas em cada um dos ensaios.

Tabela 8 - Variáveis dos ensaios

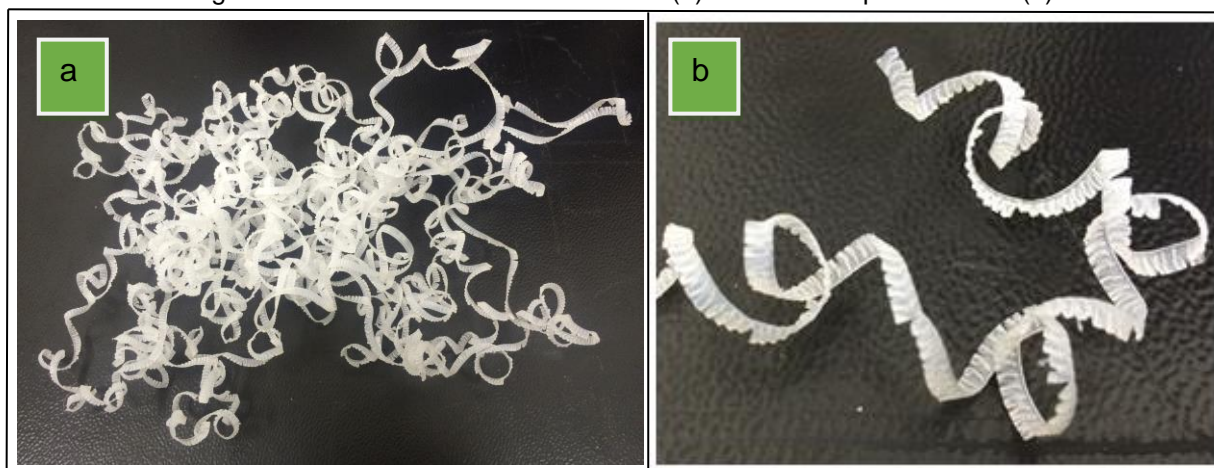
Ensaio	Classe da ferramenta	$r_e$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
3	KX	0,4	150	0,35	3
6	KX	0,4	500	0,35	3
14	KX	1,2	500	0,35	3
17	KX	0,4	500	0,35	0,5
21	KX	0,4	150	0,35	0,5
29	KX	1,2	500	0,35	0,5

Fonte: O próprio autor (2016)

Os cavacos dos ensaios 3, 6 e 14 formaram-se na forma de fita grossa, parcialmente segmentada conforme Figuras 21, 22 e 23. As dos ensaios 17, 21 e 29 formaram-se na forma de fita fina conforme Figuras 24, 25 e 26, todos cavacos longos e emaranhadas do tipo (1 - 3) conforme norma ISO 3685. Não houve rompimento do cavaco durante o ensaio.

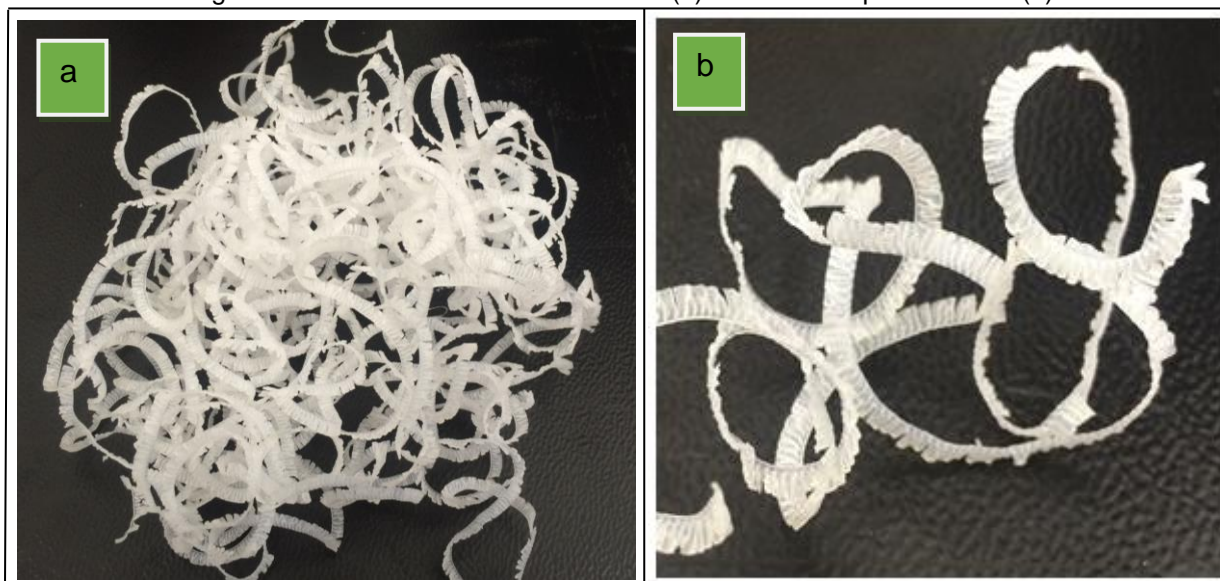
O cavaco se afastou da ferramenta e da peça corretamente, em nenhum dos ensaios ele se enrolou na peça e nem na máquina.

Figura 21 - Ensaio 3: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



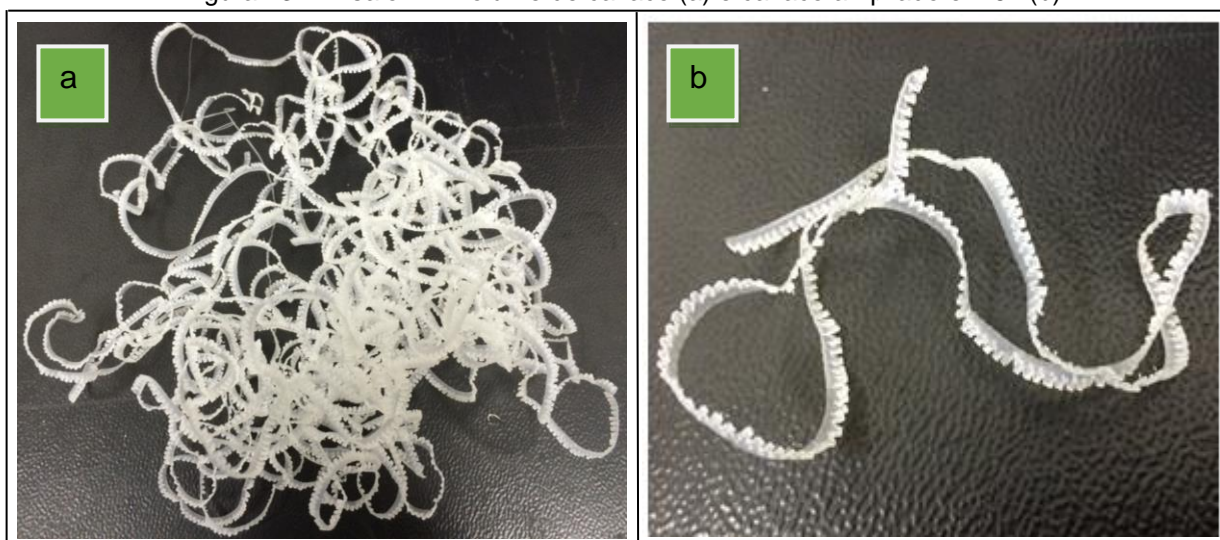
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 22 - Ensaio 6: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



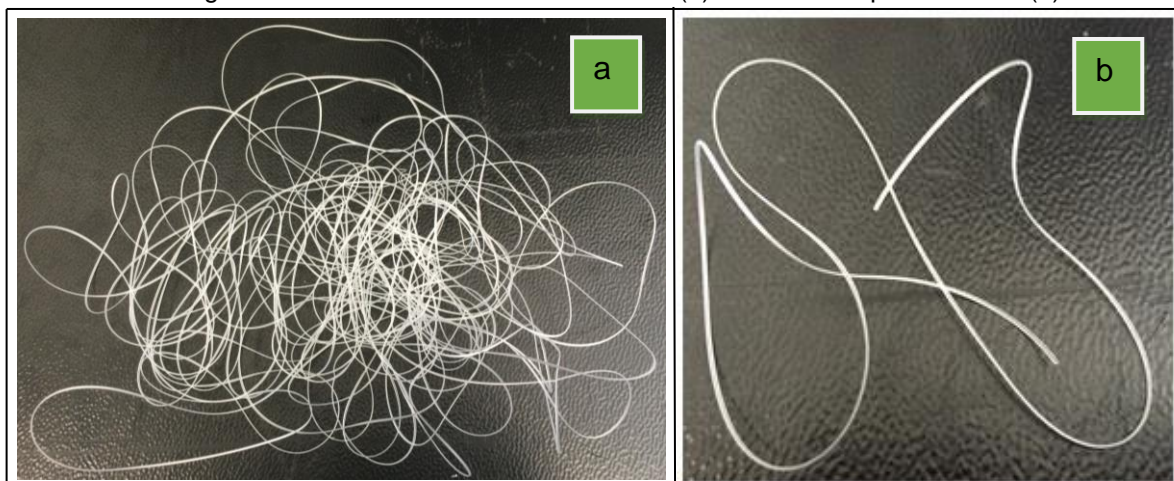
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 23 - Ensaio 14: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



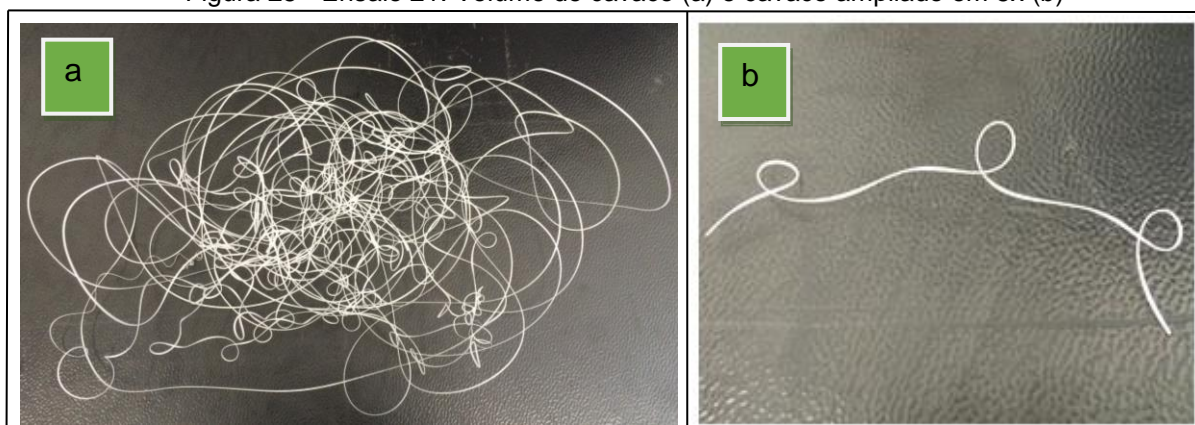
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 24 - Ensaio 17: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



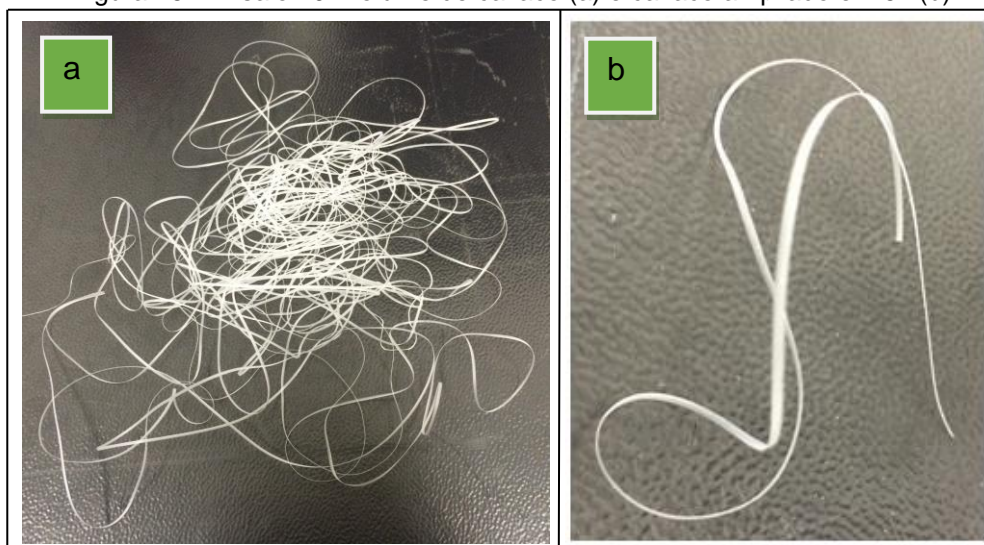
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 25 - Ensaio 21: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 26 - Ensaio 29: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



Fonte: O próprio autor (2016)

Os resultados dos ensaios do grupo 1 foram satisfatórios devido ao fato que a formação do cavaco não causou nenhum problema na operação. Nota-se ainda que todas as condições de corte tiveram dois itens das variáveis em comum, que foram a classe da ferramenta e o avanço ( $f$ ). Com isso conclui-se que o raio de ponta, velocidade de corte ( $v_c$ ) e profundidade de corte ( $a_p$ ) não tiveram tanta influência no tipo de cavaco formado.

Como já era esperado, a ferramenta da classe KX que tem uma aresta de corte mais afiada trouxe um corte limpo do material sem queima ou obstrução, proporcionando assim uma boa formação do cavaco, conforme Lokensgard (2013) e Vick (2013).

A formação do cavaco torna-se mais controlada quando há um avanço mais alto, como é o caso desses experimentos, de acordo com Vanat e Braghini (2014).

#### 4.1.2 Grupo 2 com os ensaios 1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 26 e 30

A Tabela 9 mostra as variáveis usadas em cada um dos ensaios.

Tabela 9 - Variáveis dos ensaios

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_\epsilon$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
1	KX	0,4	500	0,05	3
2	TP 2501	0,4	500	0,35	3
5	KX	0,4	150	0,05	3
7	TP 2501	0,4	150	0,35	3
9	KX	1,2	150	0,05	3
10	KX	1,2	150	0,35	3
11	TP 2501	1,2	500	0,35	3
12	TP 2501	1,2	150	0,35	3
13	KX	1,2	500	0,05	3
18	TP 2501	0,4	150	0,35	0,5
26	KX	1,2	150	0,35	0,5
30	TP 2501	1,2	150	0,35	0,5

Fonte: O próprio autor (2016)

Os cavacos dos ensaios 1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 12 e 13 formaram-se na forma de fita grossa enquanto os dos ensaios 18, 26 e 30 formaram-se na forma de fita fina, ambas lisas, longas e emaranhadas tipo (1 - 3) conforme norma ISO 3685. Não houve rompimento do cavaco durante o ensaio.

Em todas as condições, iniciou-se a operação sem que o cavaco se enrolasse no corpo de prova.

No final da operação dos ensaios 1, 5, 9, 10, 11, 12, 18, 26 e 30, quando já havia acabado a usinagem, o cavaco foi puxado pela rotação do próprio corpo de prova, devido ao fato que a ferramenta não terminou de separar um último segmento de cavaco do corpo de prova conforme Figura 38. Isso somado com a rotação da peça fez com que o cavaco se enrolasse nela como mostram as Figuras 31, 33, 36 e 37. Foi fácil remover o cavaco do corpo de prova.

No final da operação dos ensaios 2, 7, 11 e 12, houve a formação de um material na forma de um anel que pode ser visto nas Figuras 28, 30 e 34 que não foi eliminado junto com o cavaco durante a usinagem, ele teve que ser removido após a operação com um estilete. Foi fácil de removê-lo.

Figura 27 - Ensaio 1: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 2x (b) e 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 28 - Ensaio 2: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c)



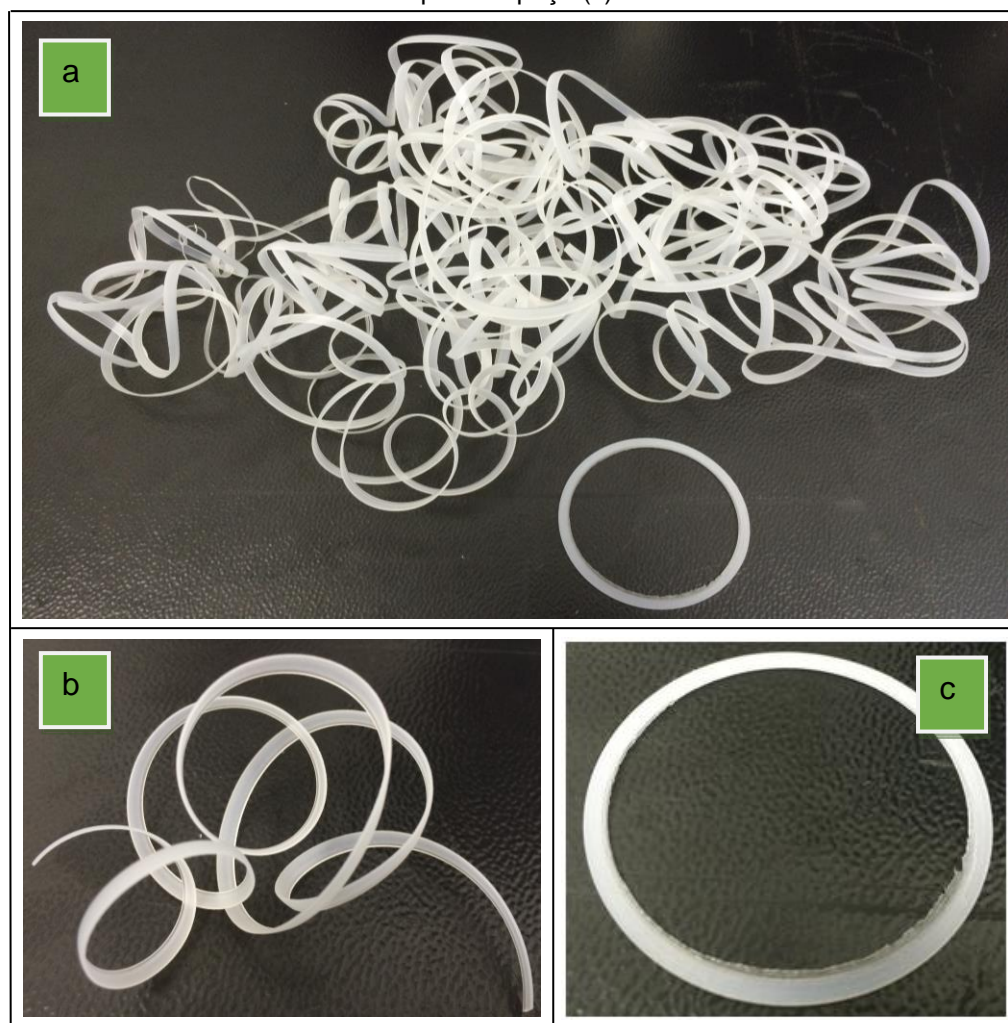
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 29 - Ensaio 5: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 30 - Ensaio 7: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c)



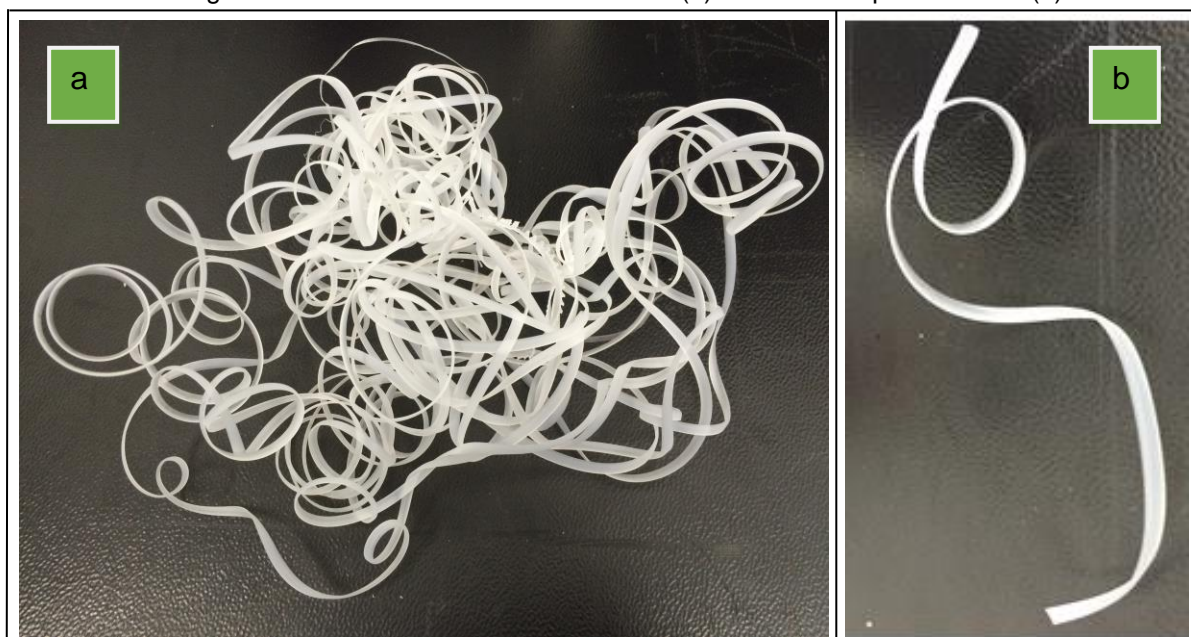
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 31 - Ensaio 9: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



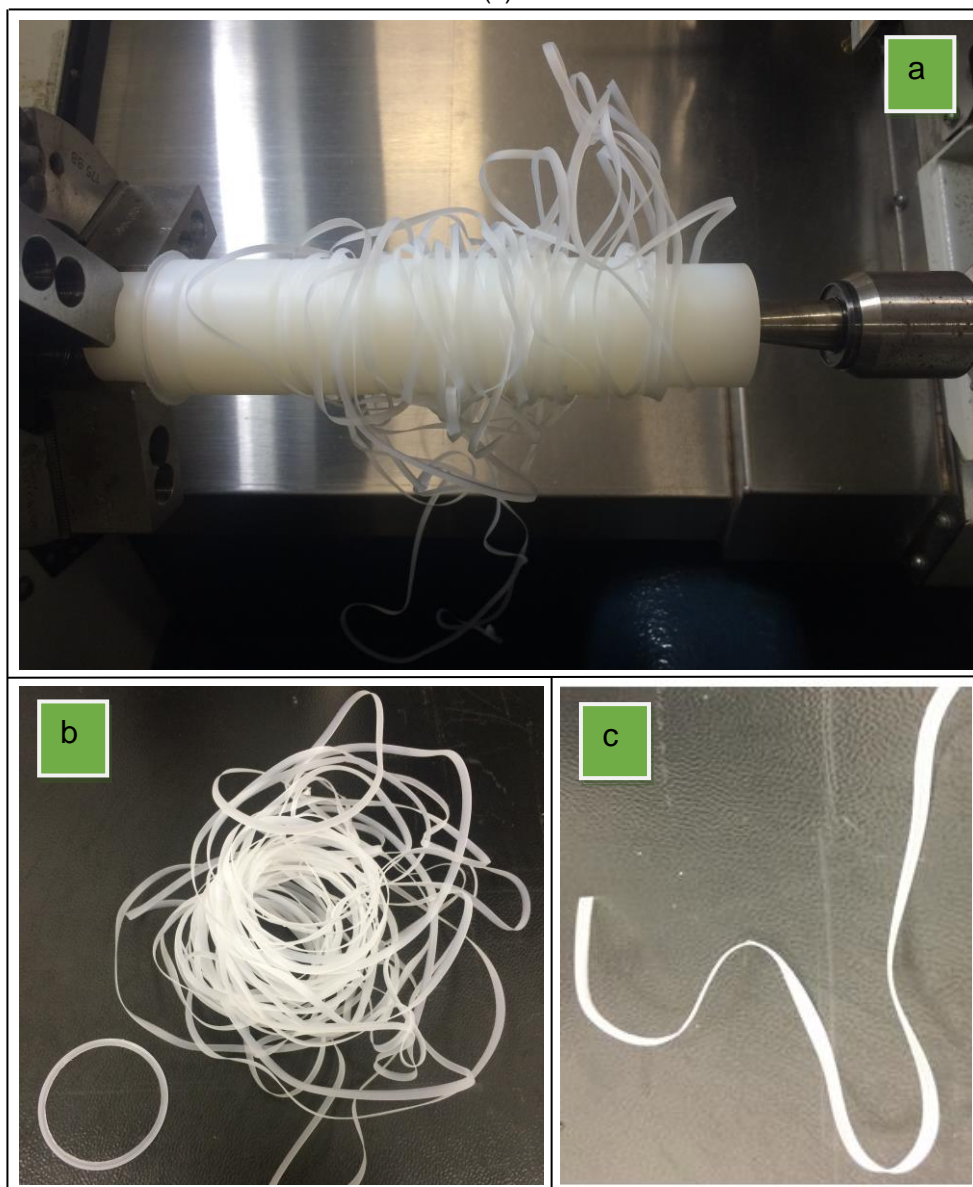
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 32 - Ensaio 10: Volume de cavaco (a) e cavaco ampliado em 5x (b)



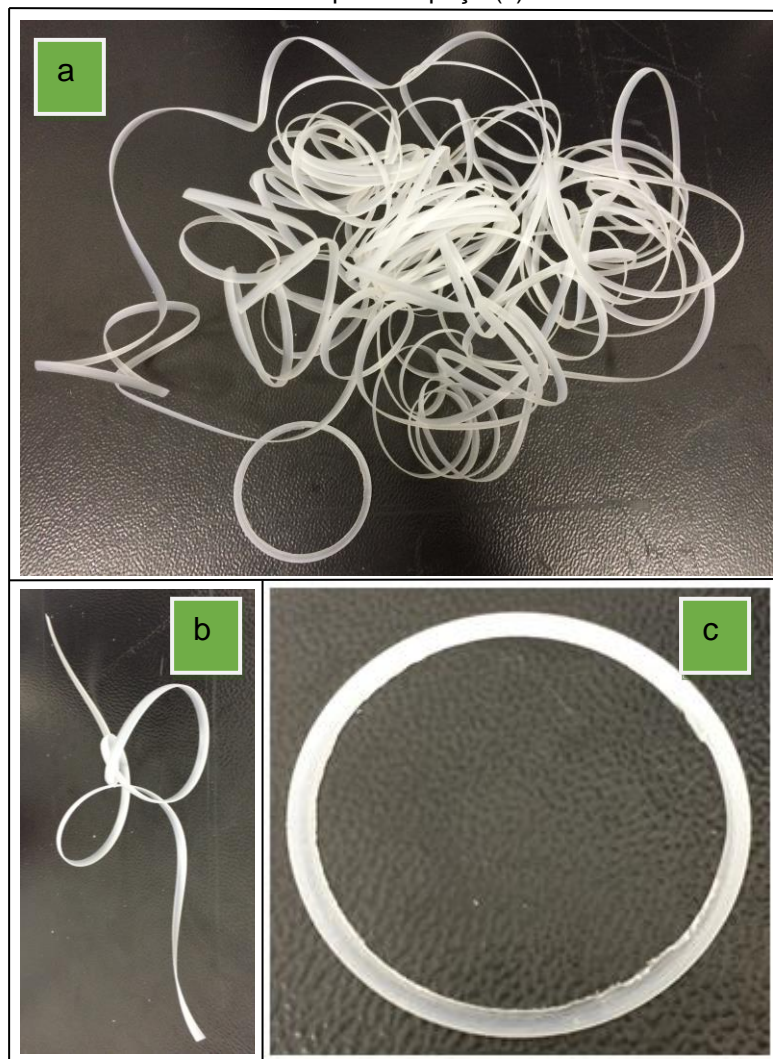
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 33 - Ensaio 11: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

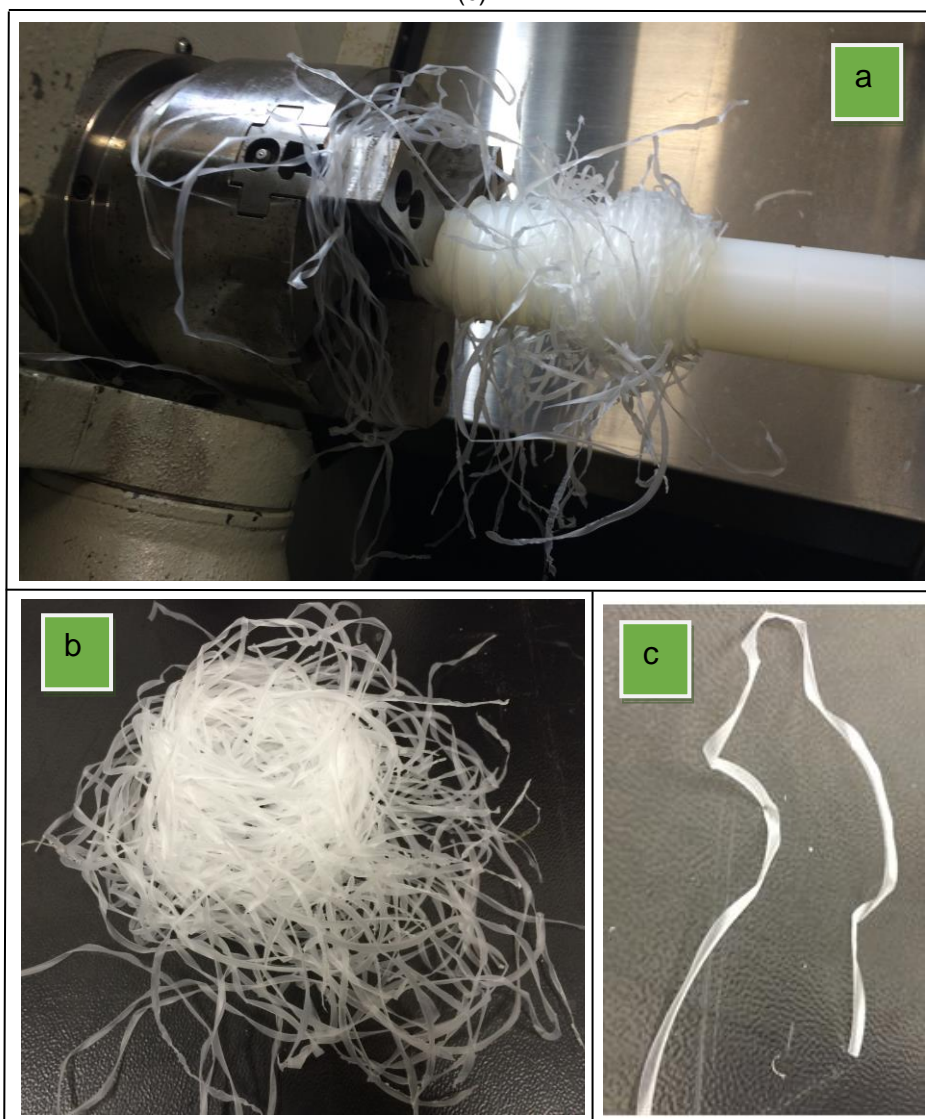
Figura 34 - Ensaio 12: Volume de cavaco (a), cavaco ampliado em 5x (b) e anel de poliamida que ficou preso a peça (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

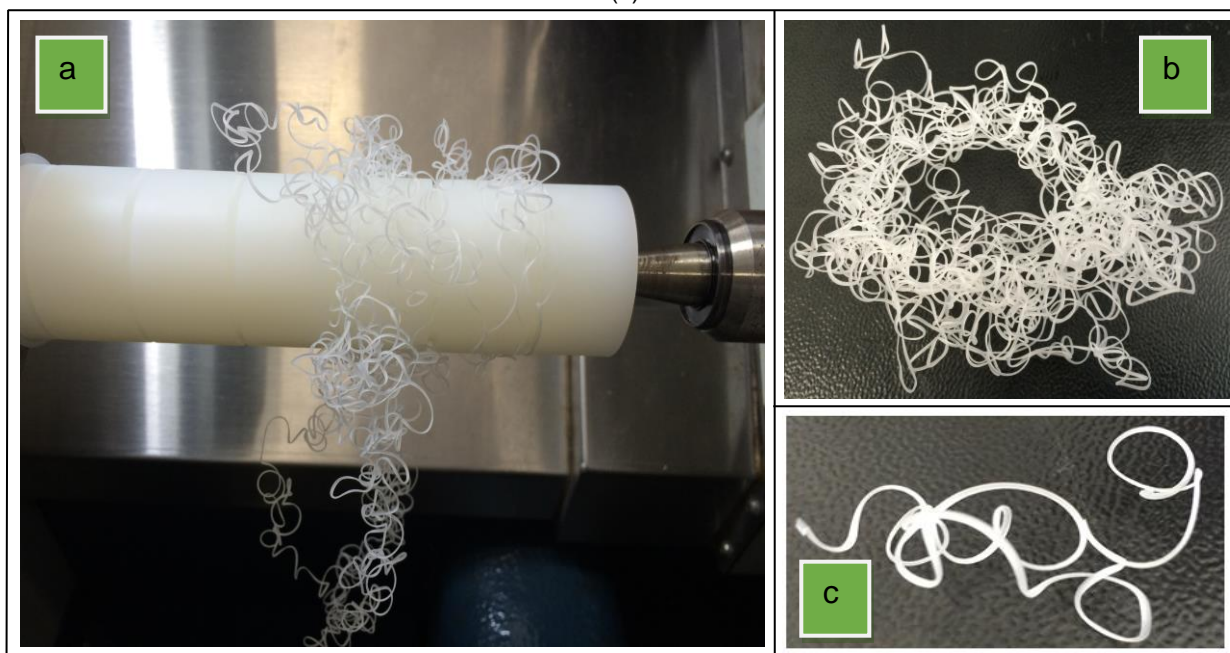
Conforme a Figura 35, nos ensaios 5 e 13, acredita-se que devido à proximidade da castanha, o cavaco acabou sendo puxado por ela e enrolou-se no corpo de prova e máquina. Foi fácil fazer a remoção do cavaco.

Figura 35 - Ensaio 13: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



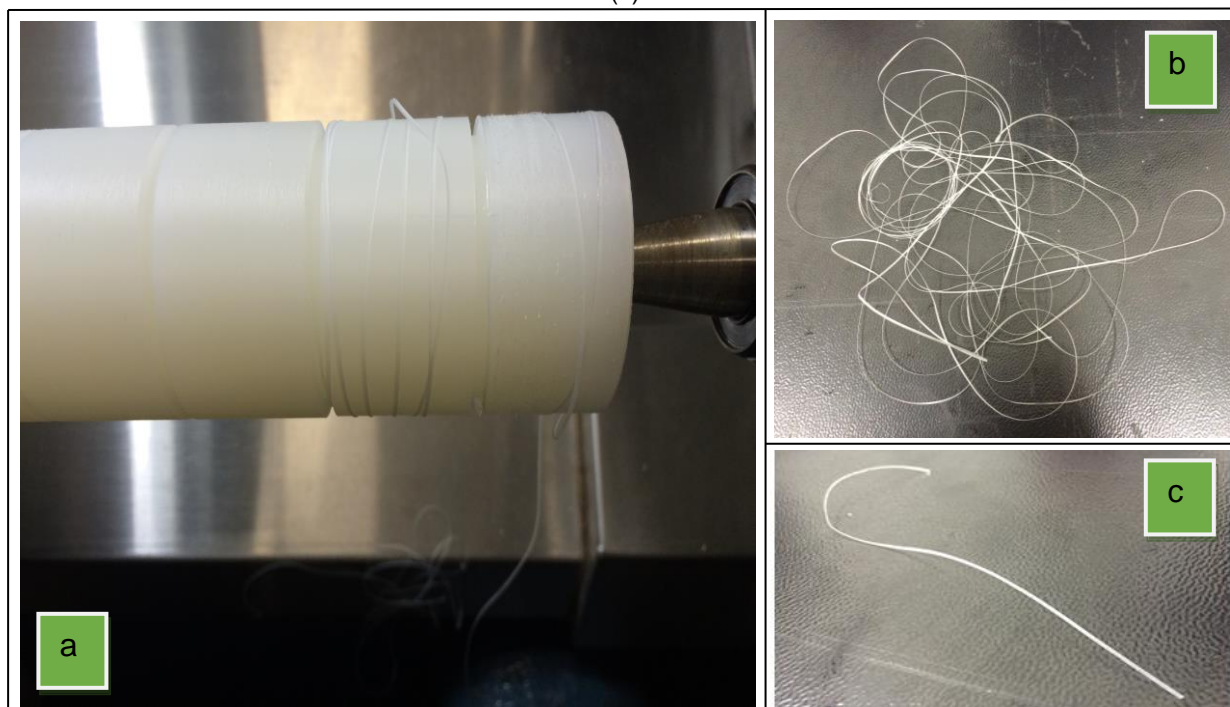
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 36 - Ensaio 18: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 37 - Ensaio 26: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 38 - Ensaio 30: Cavaco enrolado na peça (a), cavaco ainda preso a peça mesmo após o término da usinagem (b), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



Fonte: O próprio autor (2016)

O resultado dos ensaios do grupo 2 foram considerados insatisfatórios, devido ao fato que a formação do cavaco causou problema na operação ao se enrolar na peça. As variáveis não tiveram itens em comum, mas mesmo assim, foi possível notar que os parâmetros com profundidade de corte maior causaram mais problemas à operação do que os com  $a_p$  menor enrolando-se mais nas peças, e causando aquele anel que pode ser visto nas Figuras 28, 30 e 34.

Pelo fato da poliamida 6 ser um material mais dúctil e ter uma menor resistência à carga pontual, segundo Vanat e Braghini (2014), quando chega ao final da usinagem, onde há um rebaixo separando os corpos de prova, ao invés de a ferramenta cortar o último segmento do cavaco, ela acaba dobrando-o devido à falta de apoio lateral, não separando totalmente o cavaco do corpo de prova. Isso causa esse transtorno dele ser puxado pela rotação do corpo de prova após a usinagem e da formação do anel no final da operação.

Acredita-se que se não houvesse um rebaixo no final da usinagem, esse fenômeno não deveria acontecer.

Com esses resultados é possível perceber que seria necessária uma velocidade de corte ainda maior para poder lançar o cavaco para longe do corpo de prova e da máquina, conforme diz Vanat e Braghini (2014).

Mesmo com o lançamento para longe, o cavaco em fita está muito sujeito à influência do que está acontecendo e o que tem ao redor da peça usinada, podendo assim ser puxado ou se enrolar em algum componente da máquina, como aconteceu na Figura 35. Portanto para eliminar esse problema talvez fosse necessário aumentar ainda mais a velocidade de corte para transformar o cavaco de fita para segmentado, conforme afirma Santos e Sales (2007).

#### 4.1.3 Grupo 3 com os ensaios 4, 15, 19, 20, 23, 28, 31 e 32

A Tabela 10 mostra as variáveis usadas em cada um dos ensaios.

Tabela 10 - Variáveis dos ensaios

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_e$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
4	TP 2501	0,4	150	0,05	3
15	TP 2501	1,2	150	0,05	3
19	KX	0,4	500	0,05	0,5
20	KX	0,4	150	0,05	0,5
23	TP 2501	0,4	500	0,35	0,5
28	KX	1,2	500	0,05	0,5
31	TP 2501	1,2	500	0,35	0,5
32	KX	1,2	150	0,05	0,5

Fonte: O próprio autor (2016)

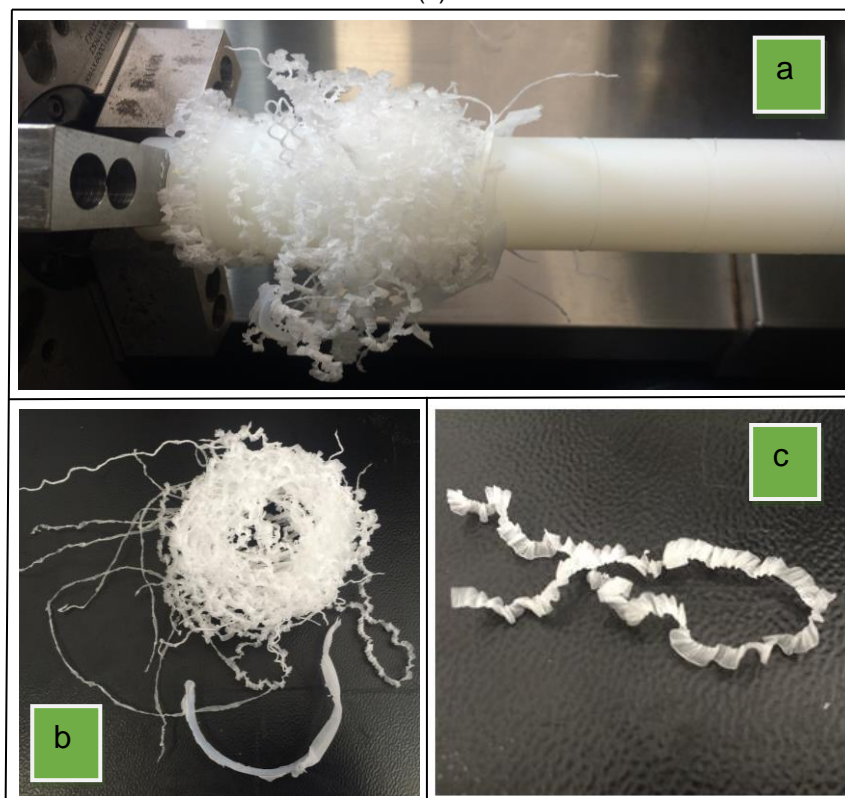
Os cavacos dos ensaios 4 e 15 saíram em forma de fita grossa, e os demais saíram em forma de fita fina, ambas lisas, longas e emaranhadas tipo (1 - 3) conforme norma ISO 3685, e não houve rompimento durante o passe.

Em todos os ensaios, iniciou-se o corte sem que o cavaco se enrolasse no corpo de prova. Porém, nas condições 4 e 15, houve a formação de um material, conforme mostra a Figura 39, a frente da ferramenta de corte, no meio da usinagem, acabou puxando o cavaco e ele se enrolou na peça. No ensaio 15, acredita-se que com a mudança do raio de ponta mudou-se a forma do cavaco, isso somado ao calor gerado, fez com que parte dos cavacos acabassem fundindo uns nos outros, conforme mostra a Figura 40. Foi difícil remover o cavaco do corpo de prova.

No meio dos ensaios 19 e 28 o cavaco foi puxado pela castanha, acredita-se que pela sua proximidade (Figura 41). Foi fácil remover o cavaco do corpo de prova e máquina.

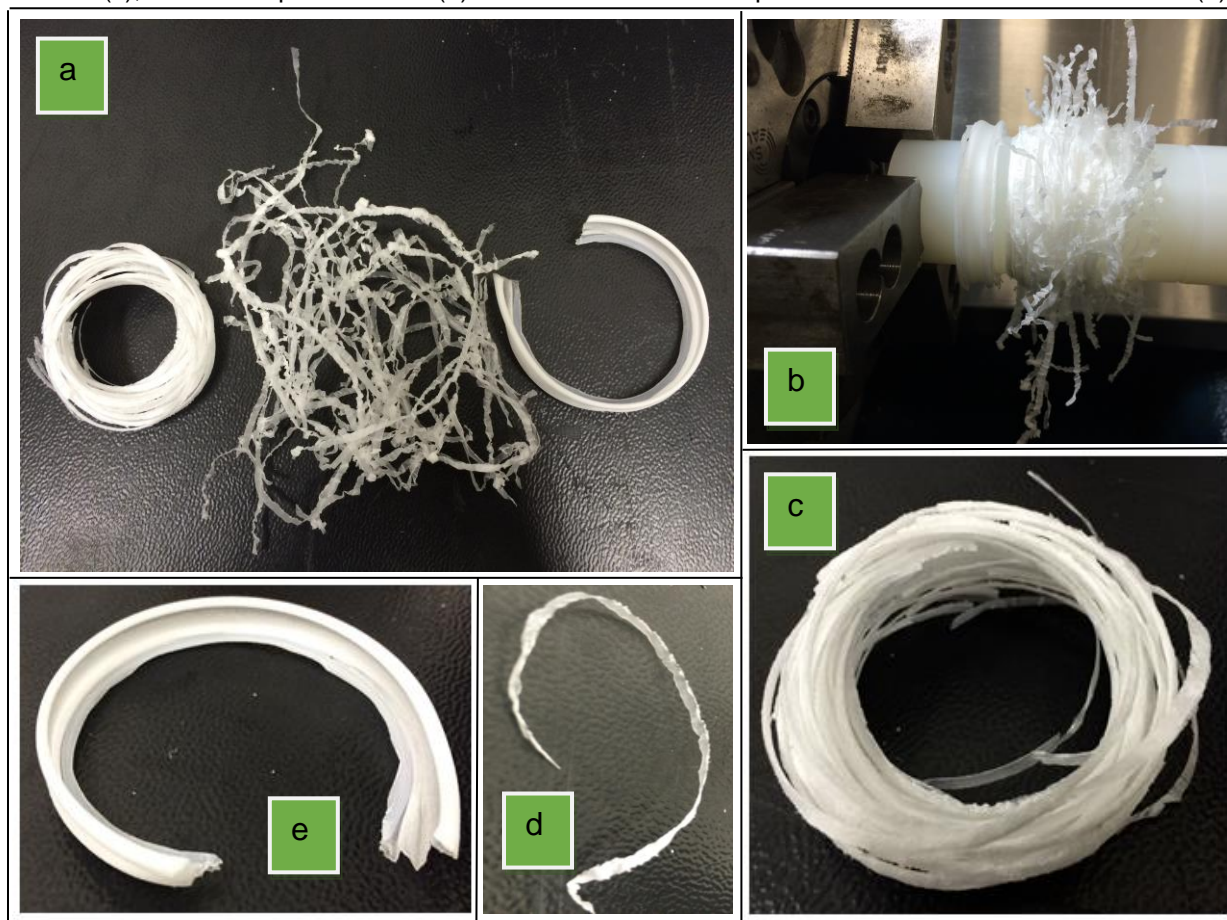
Nos ensaios 20, 23, 31 e 32, o cavaco acumulou-se à frente da ferramenta, e acabou sendo puxado pelo próprio corpo de prova no meio do ensaio, enrolando-se nele (Figuras 42, 43, 45 e 46). Foi fácil remover o cavaco do corpo de prova.

Figura 39 - Ensaio 4: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 40 - Ensaio 15: Volume de cavaco (a), cavaco enrolado na peça (b), cavacos fundidos uns nos outros (c), cavaco ampliado em 5x (d) e acúmulo de material que se formou a frente da ferramenta (e)



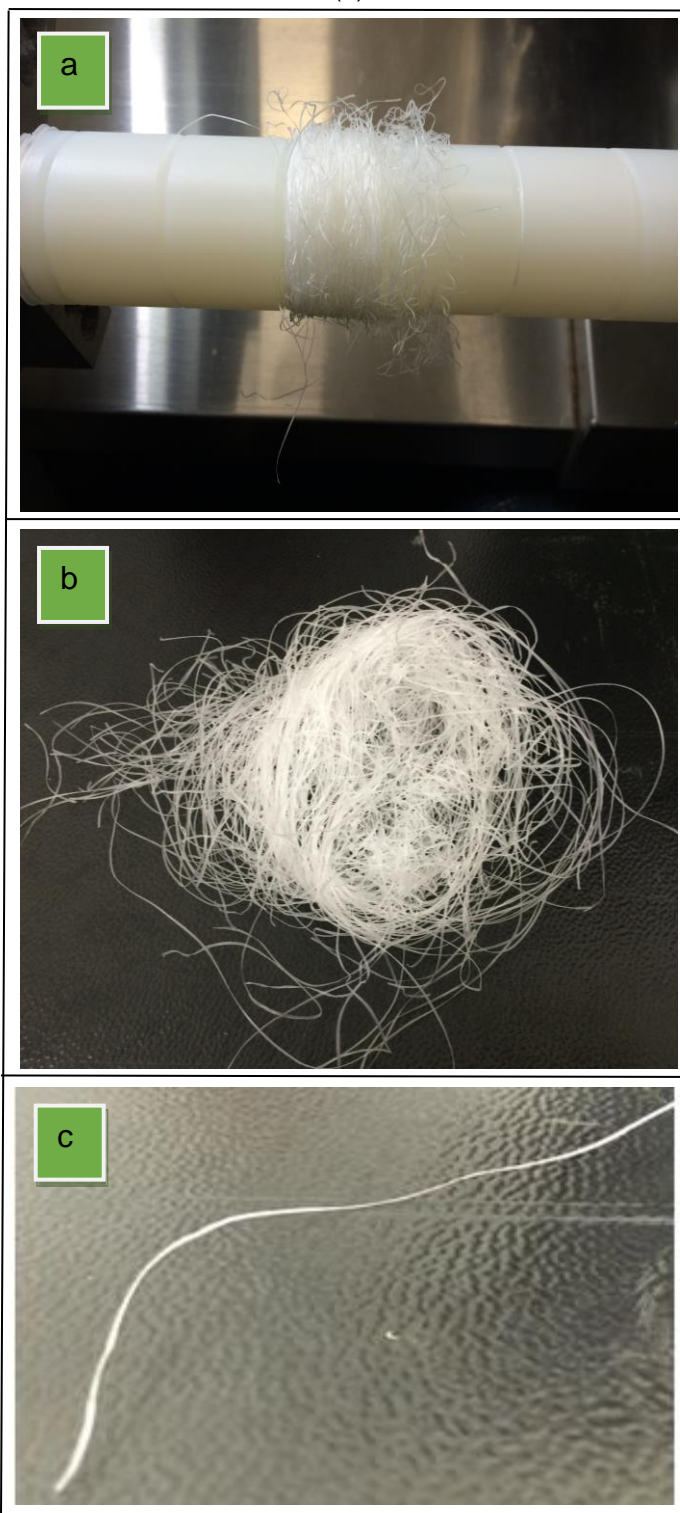
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 41 - Ensaio 19: Cavaco enrolado na peça e nas castanhas (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



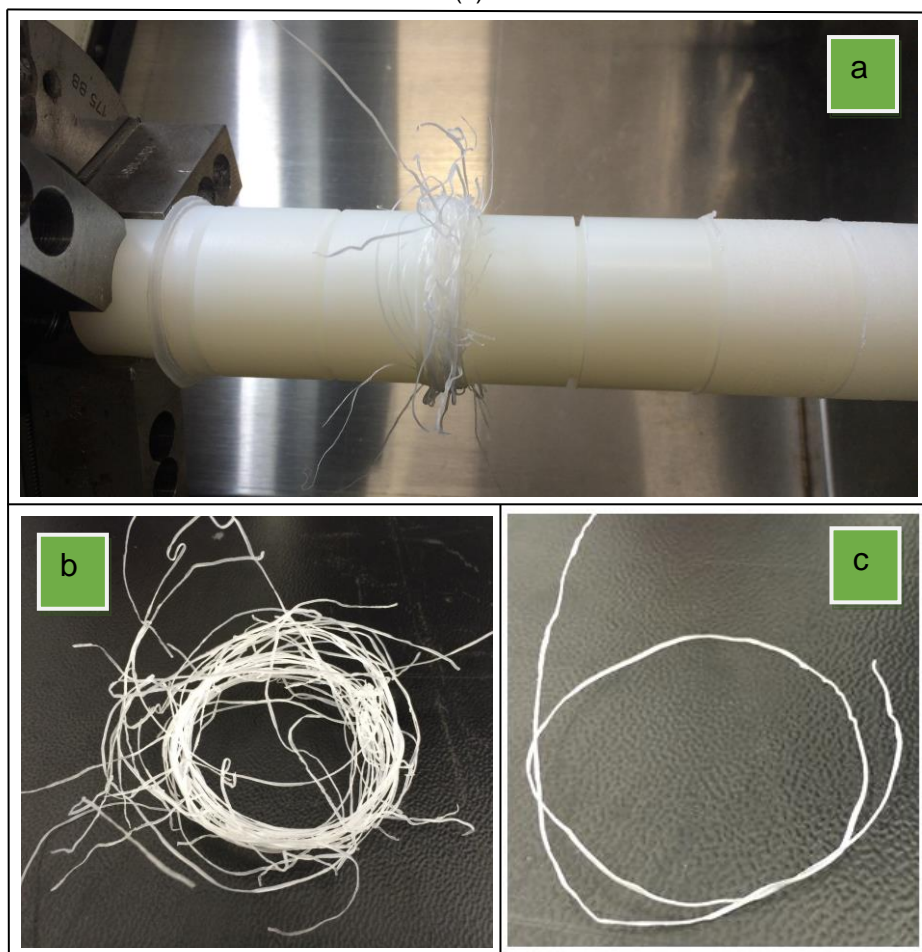
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 42 - Ensaio 20: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



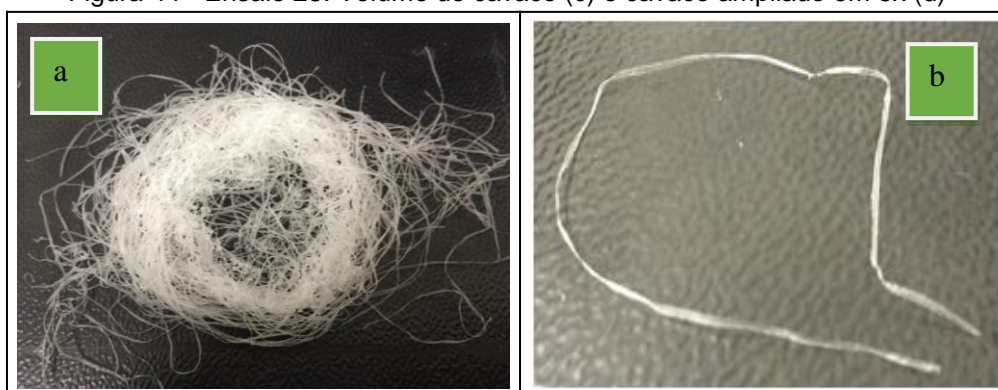
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 43 - Ensaio 23: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



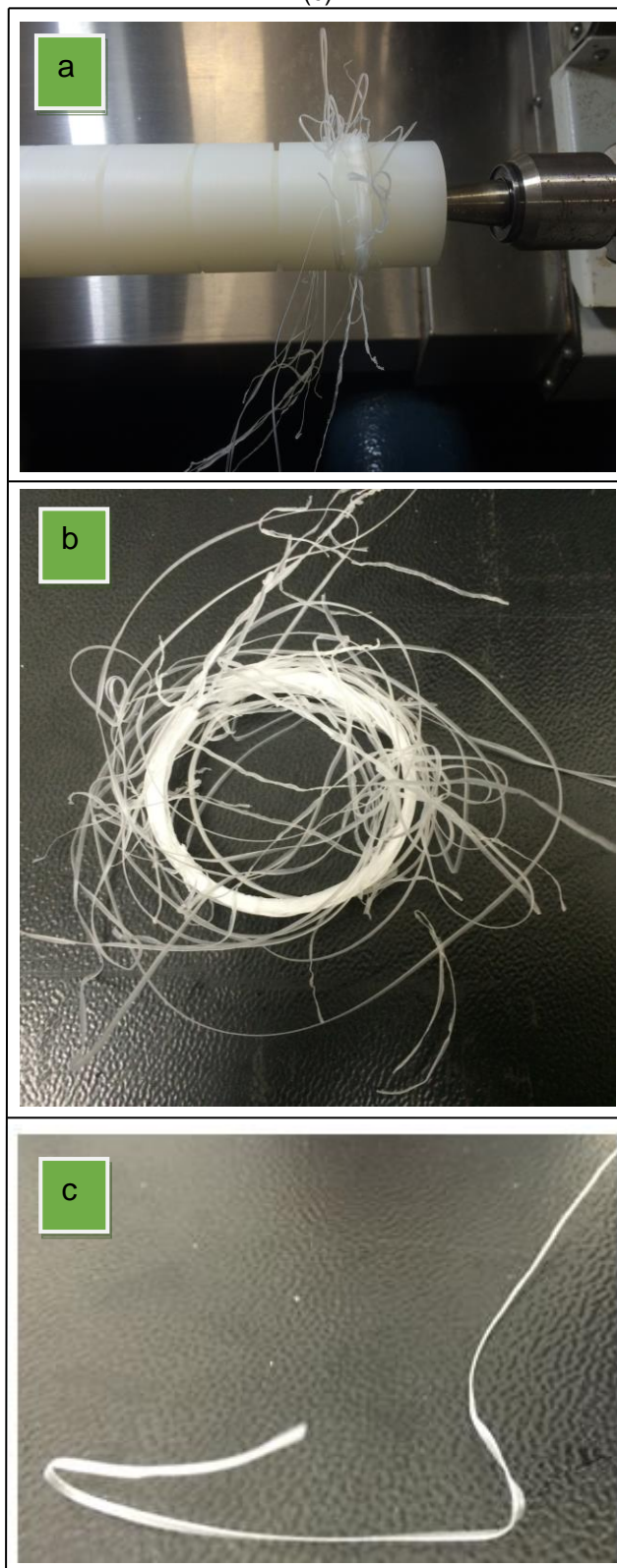
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 44 - Ensaio 28: Volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 45 - Ensaio 31: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (b) e cavaco ampliado em 5x (c)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 46 - Ensaio 32: Cavaco enrolado na peça (a), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



Fonte: O próprio autor (2016)

Os resultados dos ensaios do grupo 3 foram considerados insatisfatórios, devido ao fato que a formação do cavaco causou problema na operação ao se enrolar na peça. Os dois parâmetros com profundidade de corte maior causaram o acúmulo de material maciço indesejado à frente da ferramenta, enquanto o com  $a_p$  menor causou também um acúmulo a frente da ferramenta só que só de cavacos.

Nos ensaios 4 e 15, o conjunto de variáveis ferramenta com aresta de corte sem ser afiada, baixa velocidade de corte, baixo avanço e alta profundidade de corte ocasionaram o péssimo resultado, com o acúmulo de material a frente já que se sabe que para haver uma boa usinagem da poliamida, a ferramenta de corte deve ter a aresta de corte afiada, e uma alta  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$ , conforme Lokensgard (2013) e Vanat e Braghini (2014). Nota-se que o raio de ponta não teve muita influência nos resultados.

Os ensaios 20 e 32 acumularam-se na frente da ferramenta devido as baixas velocidade de corte e avanço o que fez com que o cavaco ficasse próximo à ferramenta. Nos ensaios 23 e 31, o formato do quebra cavaco somado à falta de acabamento polido da ferramenta, mais a alta velocidade de corte e o alto avanço, fizeram que o cavaco se enrolasse a frente da ferramenta e não fosse jogado para longe dela, conforme diz Santos e Sales (2007).

#### 4.1.4 Grupo 4 com os ensaios 22, 24, 25 e 27

A Tabela 11 mostra as variáveis usadas em cada um dos ensaios.

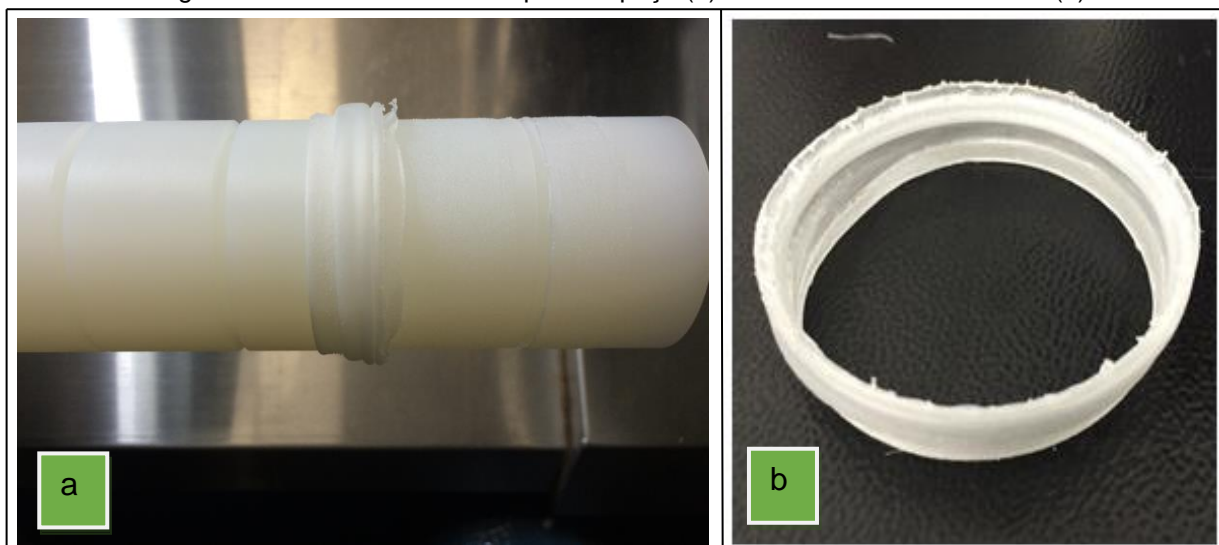
Tabela 11 - Variáveis dos ensaios

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_\epsilon$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
22	TP 2501	0,4	500	0,05	0,5
24	TP 2501	0,4	150	0,05	0,5
25	TP 2501	1,2	150	0,05	0,5
27	TP 2501	1,2	500	0,05	0,5

Fonte: O próprio autor (2016)

O cavaco formou-se na forma de um anel sólido que pode ser visto nas Figuras 47, 48, 49, 50. Acredita-se que isso ocorreu porque não houve um corte limpo do material pela ferramenta, mas o que ocorreu, na verdade, foi que a ferramenta empurrou para frente o material da peça. Foi difícil remover o cavaco do corpo de prova.

Figura 47 - Ensaio 22: Cavaco preso a peça (a) e cavaco em forma de anel (b)



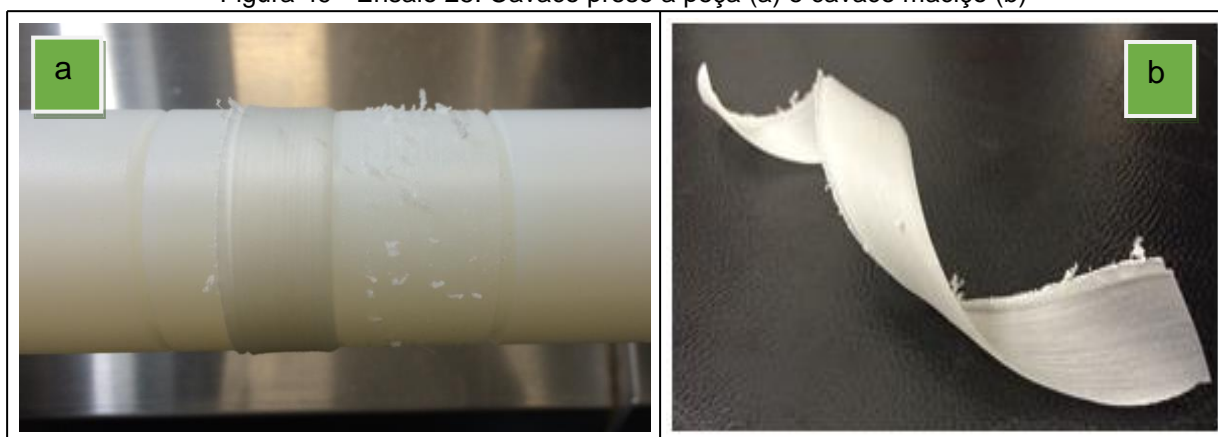
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 48 - Ensaio 24: Cavaco preso a peça (a), cavaco em forma de anel 1 (b) e cavaco em forma de anel 2 (c)



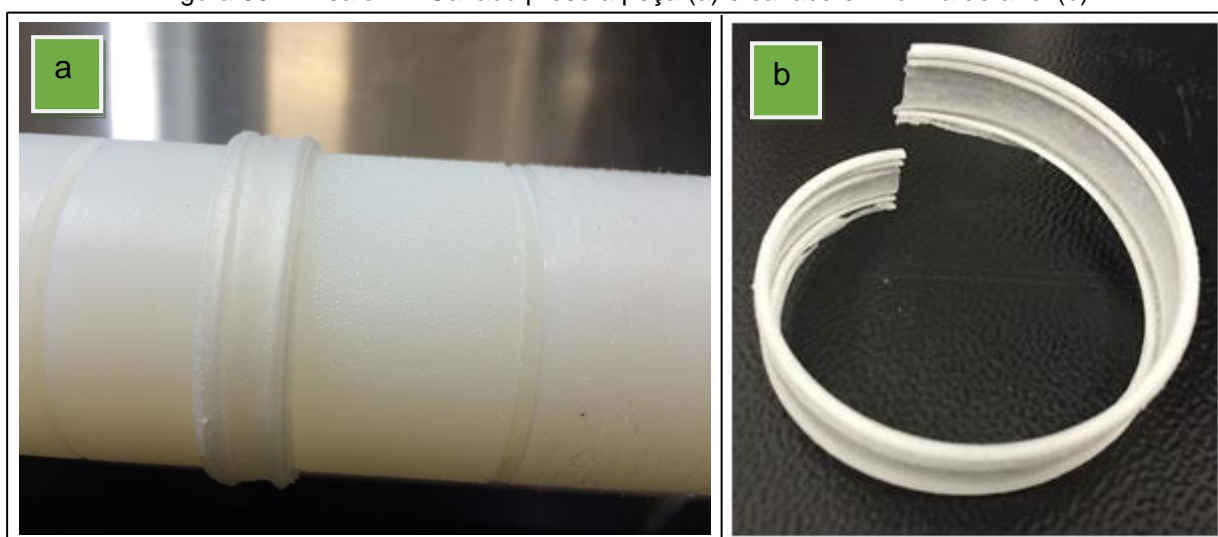
Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 49 - Ensaio 25: Cavaco preso a peça (a) e cavaco maciço (b)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 50 - Ensaio 27: Cavaco preso a peça (a) e cavaco em forma de anel (b)



Fonte: O próprio autor (2016)

Os resultados dos ensaios do grupo 4, foram considerados insatisfatórios, devido ao fato que não houve um corte limpo do material. Nota-se ainda que todos os ensaios tiveram três itens em comum, que foram a classe da ferramenta, o avanço ( $f$ ) e a profundidade de corte ( $a_p$ ). Com isso conclui-se que o raio de ponta e a velocidade de corte ( $v_c$ ) não tiveram tanta influência na formação desse cavaco. A somatória do uso de uma ferramenta com aresta de corte que não é afiada, somada a um baixo avanço e uma baixa profundidade de corte, fizeram com que não houvesse o corte do material.

Como é conhecido, para que haja uma boa usinagem da poliamida, a ferramenta de corte tem que ter a aresta de corte afiada, o que as ferramentas da classe TP2501 não tem, conforme Lokensgard (2013) e Vick (2013).

Com uso de um avanço e profundidade de corte mais baixos, aliados ao tipo da ferramenta de corte, não foi possível ter uma formação satisfatória do cavaco, conforme afirmam Vanat e Braghini (2014).

#### 4.1.5 Grupo 5 com os ensaios 8 e 16

A Tabela 12 mostra as variáveis usadas em cada um dos ensaios.

Tabela 12 - Variáveis dos ensaios

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_e$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
8	TP 2501	0,4	500	0,05	3
16	TP 2501	1,2	500	0,05	3

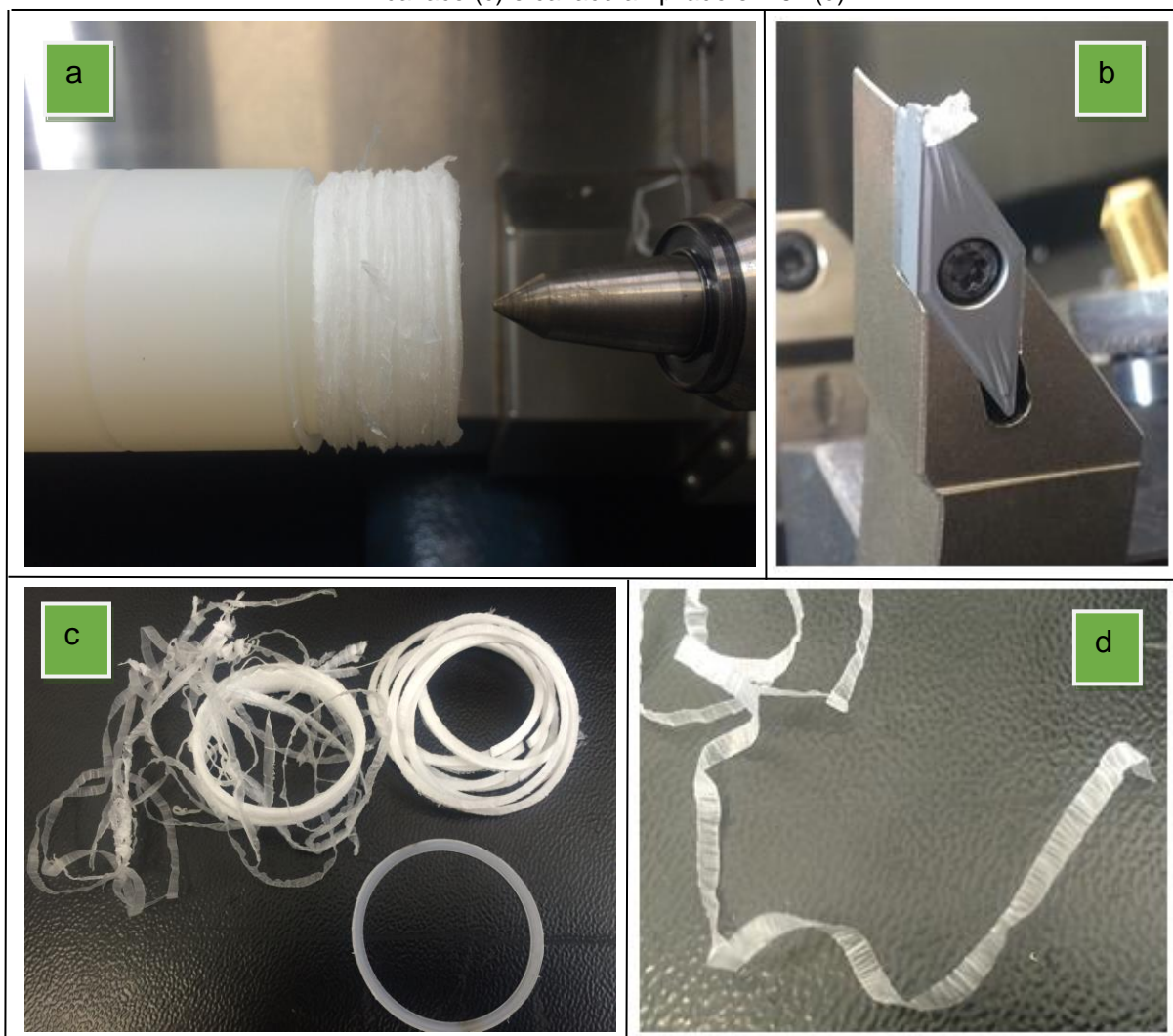
Fonte: O próprio autor (2016)

Os cavacos formaram-se em forma de fita fina, longa e emaranhada tipo (1 - 3) conforme norma ISO 3685 e não houve rompimento durante o passe.

Iniciou o corte e o cavaco formou-se seguindo o sentido da rotação da peça e imediatamente já se enrolou nela. Isso pode ter ocorrido devido ao fato que se formou uma aresta postiça nas duas condições, o que teria interferido de forma negativa na formação do cavaco. No ensaio 16 formou-se um acúmulo de material à frente da ferramenta.

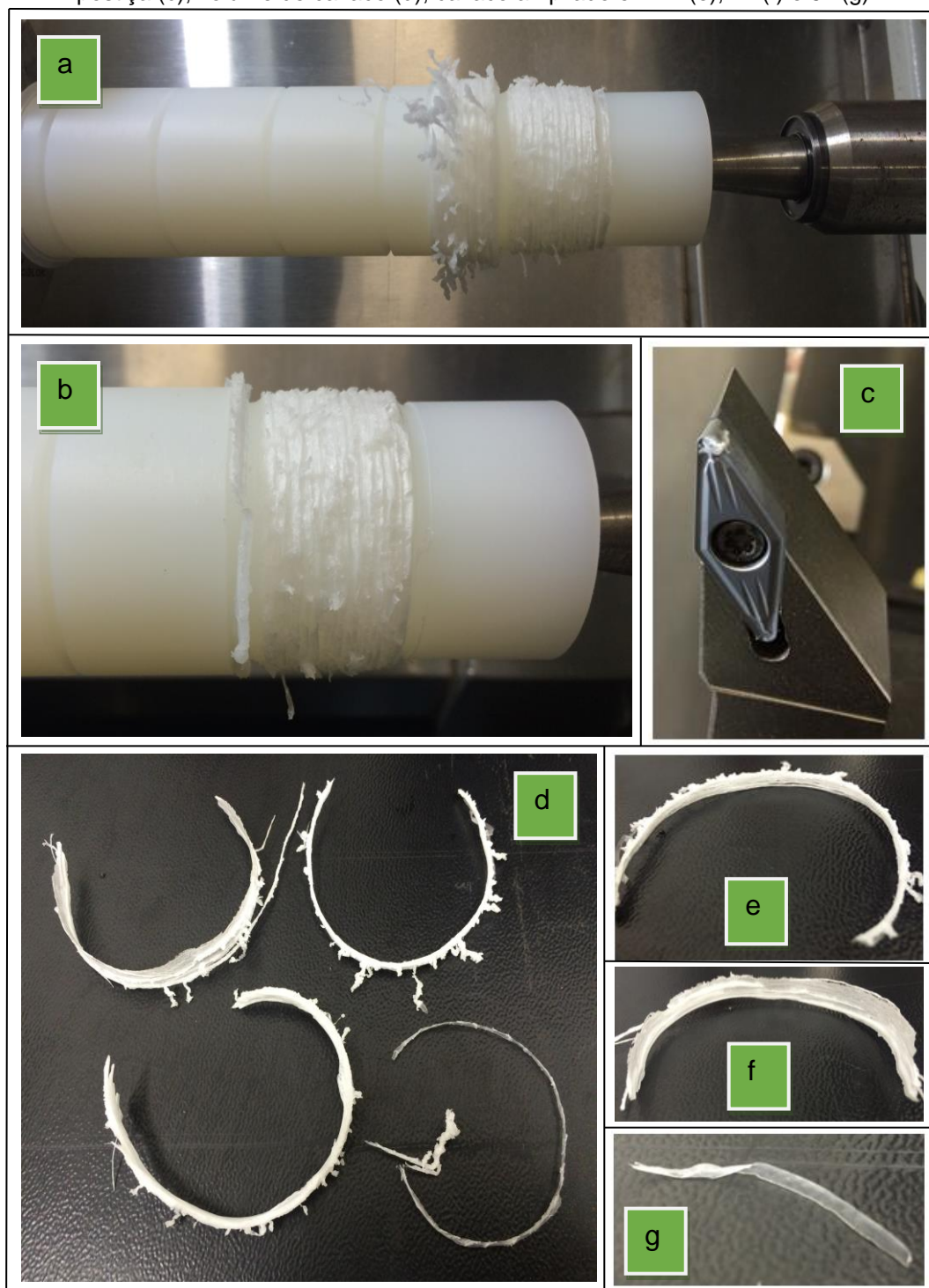
Acredita-se que o calor gerado pela alta velocidade de corte, somada ao baixo avanço e do agrupamento do cavaco acabou fundindo alguns cavacos entre si. No ensaio 16 esse fenômeno foi além e os cavacos acabaram fundindo-se com o corpo de prova inutilizando-o. No final também ficou um anel na condição 8. Foi difícil remover o cavaco do corpo de prova.

Figura 51 - Ensaio 8: Cavaco fundido na peça (a), ferramenta com aresta postiça (b), volume de cavaco (c) e cavaco ampliado em 5x (d)



Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 52 - Ensaio 16: Cavaco preso a peça (a), cavaco fundido na peça (b), ferramenta com aresta postiça (c), volume de cavaco (d), cavaco ampliado em 2x (e), 2x (f) e 5x (g)



Fonte: O próprio autor (2016)

Os resultados dos ensaios do grupo 5 foram considerados insatisfatórios, devido ao fato que não houve um corte limpo do material. Nota-se ainda que todas as condições de corte tiveram quatro itens em comum, que foram a classe da ferramenta, a velocidade de corte ( $v_c$ ), o avanço (f) e a profundidade de corte ( $a_p$ ).

Com isso conclui-se que o raio de ponta não teve tanta influência na formação desse cavaco. A somatória do uso de uma ferramenta com aresta de corte que não é afiada, somada a uma alta velocidade de corte, baixo avanço e uma alta profundidade de corte, fizeram com que esquentasse muito a peça e ferramenta, dessa forma, ocorreu a formação de uma aresta postiça e fundição dos cavacos uns aos outros e até na própria peça, conforme mostram as Figuras 51 e 52.

A alta velocidade de corte somada ao baixo avanço e à alta profundidade de corte contribuíram para o aumento da temperatura, e como se sabe o calor gerado na usinagem dos termoplásticos pode acabar fundindo a peça, segundo Lokensgard (2013).

A temperatura no torneamento pode chegar a 350 °C e sabe-se que a temperatura começa a influenciar a poliamida tipo 6 a partir dos 65 °C. O ponto de fusão da poliamida é de 215 °C, de acordo com Santos e Sales (2007), Simielli e Santos (2010) e Lokensgard (2013).

A presença da aresta postiça acabou alterando o formato do quebra cavaco da ferramenta e acredita-se que devido a isso não houve um corte limpo do material e o cavaco foi jogado para trás da ferramenta, enrolando-se no corpo de prova.

A velocidade e profundidade de corte maior, nem sempre são benéficas para a formação do cavaco de poliamida, lançando-o para longe da ferramenta e peça de forma controlada. A combinação dos dois pode causar o aumento da temperatura na usinagem e conseqüentemente causar deformações na peça.

As variáveis que influenciaram mais na formação do cavaco em ordem decrescente foram:

- a) Classe da ferramenta, já que os melhores resultados vieram com o uso da ferramenta da classe KX e os piores resultados vieram com o uso da ferramenta da classe TP2501;
- b) Avanço ( $f$ ), os melhores resultados vieram com o avanço mais alto e os piores com o avanço mais baixo;
- c) Profundidade de corte ( $a_p$ ), não teve tanta influência nos resultados porem mesmo que o pior resultado tenha vindo com a profundidade de corte maior, num geral o ( $a_p$ ) maior proporcionou mais controle na formação do cavaco;

- d) Velocidade de corte ( $v_c$ ), os resultados não apresentaram influência significativa da velocidade de corte, mas com valores maiores obtiveram-se melhores resultados;
- e) Raio de ponta ( $r_\epsilon$ ), essa foi a variável que menos influenciou na formação do cavaco, onde tanto nos melhores quanto nos piores resultados na formação do cavaco tiveram em seus parâmetros ambos os ( $r_\epsilon$ ).

Após serem feitas todas as análises da formação do cavaco, pode-se afirmar que no torneamento da poliamida se a prioridade for com a boa formação do cavaco sem transtornos dele se enrolar na peça, máquina ou ferramenta, deve-se usar uma ferramenta da classe KX com um parâmetro de corte, com raio de ponta 0,4 mm ou 1,2 mm, velocidade de corte de 150 m/min ou 500 m/min, avanço de 0,35 mm/rev e profundidade de corte de 0,5 mm ou 3 mm.

Feitas as devidas análises da formação do cavaco, o próximo tópico tratará a análise do acabamento da superfície, isso para poder ser feita uma ligação da condição de corte que promova a melhor formação do cavaco com a condição que promova o melhor acabamento superficial.

#### **4.2 Análise do acabamento da superfície**

Neste tópico serão apresentados os resultados das medições de rugosidade e discutida a influência que as variáveis testadas têm para esses resultados. Foram analisados os seguintes parâmetros de rugosidade: Ra, Rq, Rt e Rz.

A Tabela 13 apresenta a média das medições de cada um dos parâmetros de rugosidade, analisados em ordem crescente.

Na Tabela 13 é possível perceber que no ensaio 16, quando foi usada uma ferramenta da classe TP2501, não tem valor das medições pois o cavaco ter se fundido à peça, impossibilitando assim a medição da rugosidade nesse ensaio.

Observando ainda a Tabela 13, nota-se que nos ensaios, os oito valores mais baixos de rugosidade, a classe da ferramenta empregada foi a KX e as cinco últimas foram da classe TP 2501. Isso mostra claramente a superioridade do acabamento deixado pela KX (recomendada).

Tabela 13 - Média das medições de cada um dos parâmetros de rugosidade

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_\epsilon$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rt ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
19	KX	0,4	500	0,05	0,5	0,398	0,494	3,116	2,475
5	KX	0,4	150	0,05	3	0,473	0,587	3,878	2,958
20	KX	0,4	150	0,05	0,5	0,536	0,657	3,734	3,100
1	KX	0,4	500	0,05	3	0,616	0,773	5,319	3,946
9	KX	1,2	150	0,05	3	0,761	0,937	5,413	4,489
13	KX	1,2	500	0,05	3	0,783	0,967	6,433	4,793
32	KX	1,2	150	0,05	0,5	0,843	1,010	5,664	4,692
28	KX	1,2	500	0,05	0,5	0,854	1,136	9,264	6,157
4	TP 2501	0,4	150	0,05	3	2,318	2,947	21,354	14,522
14	KX	1,2	500	0,35	3	3,513	4,195	17,960	16,193
26	KX	1,2	150	0,35	0,5	3,820	4,534	18,157	17,151
24	TP 2501	0,4	150	0,05	0,5	3,900	5,010	34,128	24,276
29	KX	1,2	500	0,35	0,5	4,002	4,755	18,082	17,396
10	KX	1,2	150	0,35	3	4,500	5,352	22,174	20,415
30	TP 2501	1,2	150	0,35	0,5	4,829	5,874	25,412	22,082
8	TP 2501	0,4	500	0,05	3	4,896	6,222	43,010	29,190
15	TP 2501	1,2	150	0,05	3	5,030	6,534	46,061	29,285
25	TP 2501	1,2	150	0,05	0,5	5,724	7,180	52,061	31,081
12	TP 2501	1,2	150	0,35	3	6,696	8,151	34,151	29,384
31	TP 2501	1,2	500	0,35	0,5	6,812	8,200	31,480	28,753
11	TP 2501	1,2	500	0,35	3	7,562	9,066	38,409	32,876
23	TP 2501	0,4	500	0,35	0,5	9,571	11,250	43,979	39,467
21	KX	0,4	150	0,35	0,5	9,669	11,071	37,481	36,497
17	KX	0,4	500	0,35	0,5	10,082	11,593	38,633	38,132
18	TP 2501	0,4	150	0,35	0,5	10,394	12,625	52,802	46,412
6	KX	0,4	500	0,35	3	11,848	13,921	49,099	47,250
3	KX	0,4	150	0,35	3	12,131	14,323	51,499	49,050
27	TP 2501	1,2	500	0,05	0,5	13,055	16,050	92,853	60,453
2	TP 2501	0,4	500	0,35	3	13,306	15,721	62,463	55,071
7	TP 2501	0,4	150	0,35	3	14,686	17,266	64,480	58,793
22	TP 2501	0,4	500	0,05	0,5	16,315	19,767	105,501	74,493
16	TP 2501	1,2	500	0,05	3	X	X	X	X

Fonte: O próprio autor (2016)

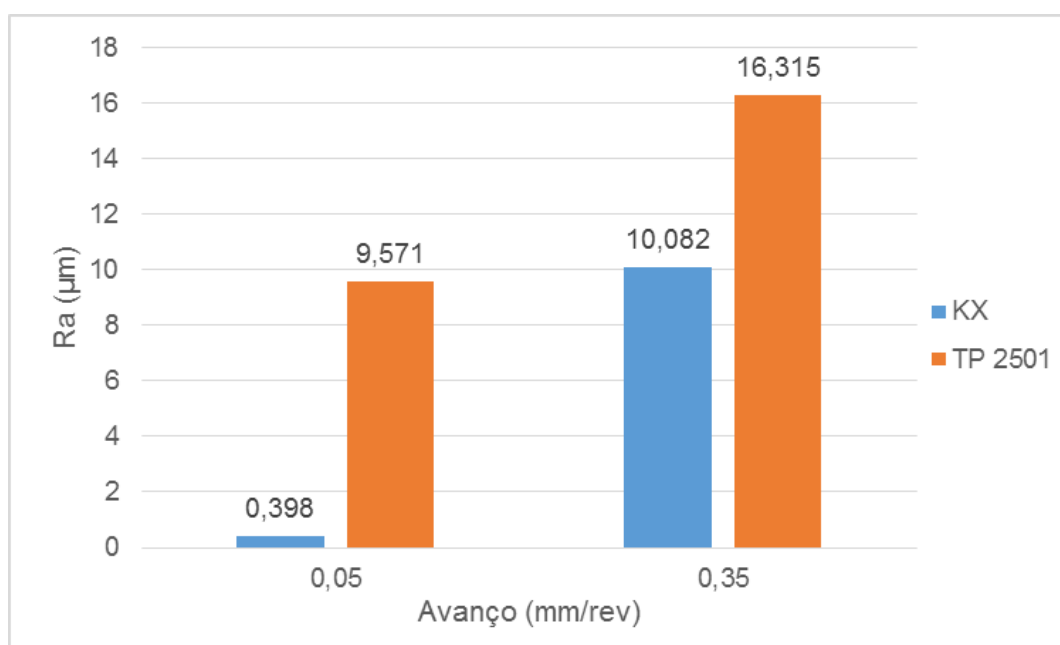
As ferramentas da classe KX tiveram menores rugosidades por terem uma superfície polida e uma aresta de corte afiada. Essas características possibilitam uma boa formação para o cavaco da poliamida, conforme Lokensgard (2013) e Vick (2013), diferente das características da ferramenta da classe TP 2501.

O ensaio 19 teve uma melhor rugosidade que o 1, mesmo ambas tendo as mesmas variáveis, isso ocorreu devido à profundidade de corte menor na condição 19, conforme Vick (2013).

Uma característica que contribuiu para o acabamento é o ângulo de posição da ferramenta que é de  $-3^\circ$ , conforme afirma Lokensgard (2013).

Sabendo-se que as variáveis que tem maior influência na rugosidade são a classe da ferramenta e o avanço, foi feito um gráfico visto na Figura 53, da influência combinada que eles têm na rugosidade da peça. Esse gráfico foi gerado deixando fixas as demais variáveis, e levando em consideração que conforme a Tabela 13, os melhores resultados foram obtidos com  $r_e$  0,4 mm,  $v_c$  de 500 m/min e  $a_p$  0,5 mm foram essas as variáveis usadas.

Figura 53 - Análise da influência da classe da ferramenta e do avanço na rugosidade com as variáveis  $r_e$  0,4 mm,  $v_c$  500 m/min e  $a_p$  0,5 mm fixas

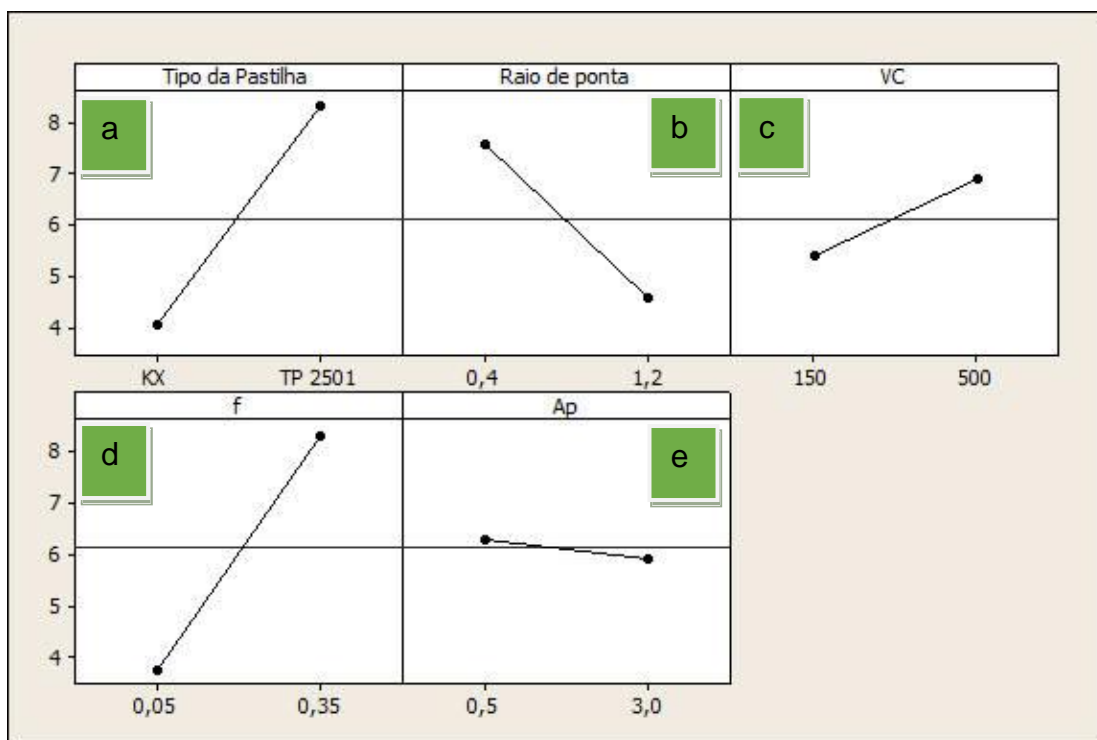


Fonte: O próprio autor (2017)

É possível observar no gráfico da Figura 53, que independente do avanço seja ele maior ou menor, claramente o uso de uma ferramenta da classe KX trará um acabamento superficial melhor, principalmente se usado um avanço menor de 0,05 mm/rev.

Após serem feitas as medições no rugosímetro e lançados os dados na Tabela 13, os dados foram colocados no Minitab e foram gerados 4 gráficos como o da Figura 54, um para cada parâmetro de rugosidade Ra, Rq, Rt e Rz. Porém, notou-se que os gráficos eram similares e optou-se por apresentar só um, o de Ra.

Figura 54 - Influência individual das variáveis sobre a rugosidade



Fonte: O próprio autor (2016)

Com a Figura 54 é possível identificar qual a variável dos experimentos (tipo de pastilha, raio de ponta,  $v_c$ ,  $f$  e  $a_p$ ) influencia mais no acabamento superficial da poliamida.

Na Figura 54 é possível observar os quadros:

- Influência da classe da ferramenta no acabamento: é bem visível que a classe da ferramenta influencia muito no acabamento superficial da peça, e que as ferramentas da classe KX são bem superiores às da classe TP2501. Esse melhor acabamento acontece, pois a classe KX tem uma aresta de corte afiada, possibilitando assim um corte mais preciso do material, como diz Lokensgard (2013) e Vick (2013).
- Influência do raio de ponta da ferramenta no acabamento: nota-se que o raio de ponta também tem grande influência no acabamento, e que o raio de ponta maior deverá trazer um melhor resultado que o menor. Isso acontece porque quanto menor o raio de ponta, maior será o número de sulcos (conforme a Figura 3), que ficarão na superfície da peça, conforme Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009).

- c) Influência da velocidade de corte no acabamento: A velocidade de corte não tem grande impacto sobre o bom acabamento, ela não é tão relevante para o acabamento pois conforme for subindo a velocidade de corte, a superfície vai tornando-se insensível a sua variação. Mesmo assim, com velocidades de corte menores, devem ser encontrados melhores resultados no acabamento, como afirma Nunes (2011).
- d) Influência do avanço no acabamento: o avanço influencia muito no acabamento e quanto menor for o avanço, melhor será o acabamento superficial da peça. Com o aumento do avanço aumenta-se também a distância entre os picos no perfil de rugosidade e conseqüentemente, o acabamento superficial da peça é prejudicado, como afirma Nunes (2011).
- e) Influência da profundidade de corte no acabamento: Essa variável foi a que menos influenciou na rugosidade da peça.

Os gráficos da Figura 54 fazem a análise individual de cada variável no acabamento superficial, e como o parâmetro de corte é um conjunto de variáveis, uma variável pode influenciar no resultado da outra. Com isso, pode haver divergência da condição que teve o melhor acabamento superficial da que está sendo apresentado nos gráficos.

Fazendo uma análise só dos gráficos da Figura 54, como foi concluído por Nunes (2011), as variáveis de um parâmetro que mais influenciam no acabamento superficial da peça são em primeiro lugar o avanço, seguido do raio de ponta e a velocidade de corte. Chegou-se ao mesmo resultado: em primeiro lugar o avanço, seguido da classe da ferramenta, raio de ponta, a velocidade e profundidade de corte.

Conforme a Tabela 6, as rugosidades obtidas com o torneamento da poliamida estão dentro do campo usual de rugosidade no torneamento, como foi mostrado por Agostinho, Rodrigues e Lirani (2009).

Para ser feita a análise da viabilidade da ferramenta recomendada para polímeros da classe KX, foi pego na Tabela 13 o resultado de dois parâmetros de corte similares onde só mudasse a classe da ferramenta, esses resultados foram lançados na Tabela 14 e nela pode ser visto em forma de porcentagem a superioridade do acabamento sobre o custo da ferramenta.

Tabela 14 - Viabilidade das ferramentas da classe KX

Ensaio	Classe da ferramenta	$r_c$ (mm)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)	Ra ( $\mu$ m)	Custo da ferramenta
5	KX	0,4	150	0,05	3	0,473	R\$ 89,00
4	TP 2501	0,4	150	0,05	3	2,318	R\$ 76,30
						80%	17%

Fonte: O próprio autor (2017)

Na Tabela 14 é possível observar que o acabamento superficial da peça é muito influenciado pela mudança da classe da ferramenta, e chega a ser 80% melhor com o uso da classe KX enquanto o seu custo é só 17% maior. Com esses resultados em mãos, sabe-se que quem for usinar a poliamida e precisa de um acabamento melhor, o valor maior pago pela ferramenta recomendada (KX) será compensado na qualidade do acabamento.

Após serem feitas todas as análises da rugosidade, pode-se afirmar que no torneamento da poliamida se a prioridade for com o bom acabamento superficial, deve-se usar uma ferramenta da classe KX com um parâmetro de corte, com raio de ponta 0,4 mm, velocidade de corte de 500 m/min, avanço de 0,05 mm/rev e profundidade de corte de 0,5 mm.

Feitas as devidas análises da rugosidade e formação do cavaco, somadas à análise do custo das ferramentas, pode-se seguir para conclusão.

## 5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são mencionadas as conclusões obtidas neste trabalho, que teve como objetivo analisar o comportamento de duas ferramentas de corte diferentes, durante o torneamento da poliamida.

A velocidade e profundidade de corte maiores nem sempre são benéficas para a formação do cavaco de poliamida. A combinação dos dois pode causar o aumento da temperatura na usinagem e, conseqüentemente, causar deformações na peça.

Variáveis que influenciaram mais na formação do cavaco em ordem decrescente foram:

- a) a classe da ferramenta;
- b) o avanço ( $f$ );
- c) a profundidade de corte ( $a_p$ );
- d) a velocidade de corte ( $v_c$ );
- e) o raio de ponta ( $r_\epsilon$ ).

As ferramentas de corte que tiveram um maior controle da formação do cavaco foram da classe KX, e tiveram um avanço mais rápido de 0.35 mm/rev conforme item 4.1.1, e mesmo com a variação do raio de ponta, velocidade de corte e profundidade de corte os resultados mantiveram-se bons e o cavaco não se enrolou no copo de prova, máquina e ferramenta em nenhum momento.

Os piores resultados obtidos na formação do cavaco foram com ferramentas da classe TP2501 item 4.1.5, e tiveram como parâmetros de corte uma alta velocidade de corte superficial 500 m/min, baixo avanço 0,05 mm/rev e alta profundidade de corte o que causou um superaquecimento da peça e ocasionou a fusão de cavacos no corpo de prova, chegando ao ponto de inutilizar os corpos de prova.

Com a análise dos gráficos, chegou-se à conclusão que as variáveis que mais influenciam no acabamento superficial são, em primeiro lugar o avanço, seguido da classe da ferramenta, raio de ponta, a velocidade de corte e profundidade de corte.

Quanto ao acabamento superficial, novamente as ferramentas da classe KX tiveram melhores resultados, obtendo  $R_a$  de até 0,398  $\mu\text{m}$ , o que pode ser considerado um bom acabamento no torneamento. As oito melhores medições de rugosidade foram todas com ferramentas da classe KX.

O acabamento deixado pela ferramenta da classe KX chega a ser 80% melhor que o da classe TP2501 com um custo apenas 17% maior. Com isso, se a prioridade no torneamento for o bom acabamento, deve ser usada uma ferramenta da classe KX. Dessa maneira o valor maior pago pela ferramenta recomendada será compensado na qualidade do acabamento.

Após serem feitas todas as análises e ponderações, chegou-se à conclusão que no torneamento da poliamida uma ferramenta da classe KX terá um desempenho superior a uma da classe TP2501. O parâmetro de corte que trará uma melhor formação do cavaco e acabamento superficial será o com uma velocidade de corte de 500 m/min, avanço de 0,35 mm/rev e profundidade de corte de 3 mm.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR ISO 4288**: Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, 2008.

AGOSTINHO, Oswaldo L.; RODRIGUES, Antonio Carlos dos S.; LIRANI João. **Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica**: Tolerância, ajustes, desvios e análise de dimensões. São Paulo – SP: Editora Edgard Blucher LTDA, 2009. 295p.

DINIZ, Anselmo E.; MARCONDES, Francisco C.; COPPINI, Nivaldo L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8ª edição. São Paulo – SC: Artliber Editora, 2013. 270p.

International Organization for Standardization. **ISO 3685**: Tool life testing with single point turning. Geneva, 1993.

LOKENS GARD, Erik. **Plásticos Industriais**: Teoria e aplicações. 5ª edição. São Paulo – SP: Cengage Learning, 2013. 616p. Traduzido por: vários tradutores.

NARDINI. **Especificações Técnicas**. MS 205. 1p.

NUNES, Luciano Tadeu. **Análise estatística da influência dos parâmetros de corte na rugosidade no torneamento do aço microligado DIN 38MnSiVS5**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

ROMI. **Características Técnicas**: Centros de torneamento ROMI GL240 / GL280. 12p.

RASC – RS. **Nylon 6**. Ficha técnica do material com suas características e recomendações de usinagem. Disponível em: <http://rasc-rs.com.br/dados-tecnicos/nylon-6-0>. Acesso em: 06/02/2017.

SIMIELLI, Edson R.; SANTOS, Paulo A. do. **Plásticos de Engenharia**: Principais tipos e sua moldagem por injeção. São Paulo – SC: Artliber Editora, 2010. 198p.

SANTOS, Sandro C.; SALES, Wisley F. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo – SC: Artliber Editora, 2007. 246p.

SECO. **Catalogo & Técnico Guia**: Turning. 2015. 703p.

VICK. **Nylon 6.0**: Datasheet. Revisão 2.1. Carapicuíba – SP. 2013.17p.

VANAT, Karen J.; BRAGHINI Jr., Aldo. Uso de Ferramentas de Metal duro no Torneamento do Nylon. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineiração**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 50-57, 2014.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e aplicações**. São Paulo – SC: Artliber Editora, 2005. 349p.

### APÊNDICE A – Sequência dos ensaios

Sequência dos ensaios					
Ensaio	Tipo da Pastilha	Raio de ponta	VC	f	Ap
1	KX	0,4	500	0,05	3
2	TP 2501	0,4	500	0,35	3
3	TP 2501	0,4	500	0,35	3
4	KX	0,4	150	0,35	3
5	TP 2501	0,4	150	0,05	3
6	KX	0,4	150	0,05	3
7	TP 2501	0,4	500	0,35	3
8	KX	0,4	500	0,35	3
9	KX	0,4	500	0,05	3
10	KX	0,4	150	0,35	3
11	TP 2501	0,4	150	0,05	3
12	KX	0,4	150	0,05	3
13	KX	0,4	150	0,35	3
14	TP 2501	0,4	150	0,35	3
15	TP 2501	0,4	150	0,35	3
16	TP 2501	0,4	150	0,35	3
17	TP 2501	0,4	500	0,05	3
18	KX	0,4	500	0,05	3
19	TP 2501	0,4	500	0,05	3
20	KX	0,4	500	0,35	3
21	TP 2501	0,4	500	0,05	3
22	TP 2501	0,4	150	0,05	3
23	KX	0,4	150	0,05	3
24	KX	0,4	500	0,35	3
25	KX	1,2	150	0,05	3
26	KX	1,2	150	0,35	3
27	TP 2501	1,2	500	0,35	3
28	TP 2501	1,2	150	0,35	3
29	KX	1,2	500	0,05	3
30	KX	1,2	500	0,35	3
31	TP 2501	1,2	150	0,05	3
32	TP 2501	1,2	150	0,35	3
33	KX	1,2	150	0,35	3
34	TP 2501	1,2	150	0,35	3
35	TP 2501	1,2	500	0,05	3
36	KX	1,2	150	0,05	3
37	TP 2501	1,2	500	0,35	3
38	TP 2501	1,2	500	0,05	3
39	KX	1,2	500	0,05	3
40	KX	1,2	500	0,35	3

41	TP 2501	1,2	500	0,35	3
42	TP 2501	1,2	500	0,05	3
43	KX	1,2	150	0,35	3
44	KX	1,2	150	0,05	3
45	KX	1,2	500	0,05	3
46	KX	1,2	500	0,35	3
47	TP 2501	1,2	150	0,05	3
48	TP 2501	1,2	150	0,05	3
49	KX	0,4	500	0,35	0,5
50	TP 2501	0,4	150	0,35	0,5
51	KX	0,4	500	0,05	0,5
52	KX	0,4	150	0,05	0,5
53	TP 2501	0,4	150	0,35	0,5
54	KX	0,4	150	0,35	0,5
55	TP 2501	0,4	500	0,05	0,5
56	TP 2501	0,4	500	0,05	0,5
57	KX	0,4	500	0,05	0,5
58	TP 2501	0,4	500	0,35	0,5
59	KX	0,4	150	0,35	0,5
60	KX	0,4	500	0,05	0,5
61	TP 2501	0,4	150	0,35	0,5
62	KX	0,4	150	0,05	0,5
63	TP 2501	0,4	150	0,05	0,5
64	KX	0,4	500	0,35	0,5
65	TP 2501	0,4	150	0,05	0,5
66	KX	0,4	150	0,35	0,5
67	TP 2501	0,4	500	0,05	0,5
68	KX	0,4	150	0,05	0,5
69	TP 2501	0,4	500	0,35	0,5
70	TP 2501	0,4	500	0,35	0,5
71	TP 2501	0,4	150	0,05	0,5
72	KX	0,4	500	0,35	0,5
73	TP 2501	1,2	150	0,05	0,5
74	KX	1,2	150	0,35	0,5
75	TP 2501	1,2	150	0,05	0,5
76	TP 2501	1,2	500	0,05	0,5
77	TP 2501	1,2	500	0,05	0,5
78	KX	1,2	500	0,05	0,5
79	KX	1,2	150	0,35	0,5
80	KX	1,2	500	0,35	0,5
81	TP 2501	1,2	150	0,35	0,5
82	TP 2501	1,2	500	0,05	0,5
83	KX	1,2	500	0,35	0,5
84	TP 2501	1,2	500	0,35	0,5
85	TP 2501	1,2	500	0,35	0,5

86	KX	1,2	500	0,35	0,5
87	KX	1,2	500	0,05	0,5
88	TP 2501	1,2	500	0,35	0,5
89	KX	1,2	150	0,05	0,5
90	KX	1,2	150	0,35	0,5
91	KX	1,2	150	0,05	0,5
92	KX	1,2	150	0,05	0,5
93	KX	1,2	500	0,05	0,5
94	TP 2501	1,2	150	0,05	0,5
95	TP 2501	1,2	150	0,35	0,5
96	TP 2501	1,2	150	0,35	0,5

**APÊNDICE B – Programa usado para usinagem no torno CNC**

a) Usinagem do corpo de prova:

```
O0003;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T0303 (DESB);  
G96 S400 M3;  
G54 G0 Z2;  
X57;  
G1 Z-206 F0.25;  
X60;  
G0 Z2;  
G1 X55;  
Z-206;  
G0 X55.5;  
Z1;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1212 (CANAL);  
G96 S200 M3;  
G92 S3000;  
G54 G0 Z-33;  
X58;  
G75 R2;  
G75 X48 Z-198 P10000 G33000 F0.15;  
G53 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%
```

## b) Usinagem 1:

O0501;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S150 M3;  
G54 G0 Z2;  
X54;  
G1 Z-32 F0.05;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%

## c) Usinagem 2:

O0502;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S150 M3;  
G54 G0 Z-32.9;  
X54;  
G1 Z-65 F0.05;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%

## d) Usinagem 3:

O0503;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S500 M3;  
G54 G0 Z-65.9;  
X54;  
G1 Z-98 F0.05;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%

## e) Usinagem 4:

O0504;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S150 M3;  
G54 G0 Z-98.9;  
X54;  
G1 Z-131 F0.05;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%



## f) Usinagem 5:

O0505;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S150 M3;  
G54 G0 Z-131.9;  
X54;  
G1 Z-165 F0.35;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%

## g) Usinagem 6:

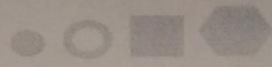
O0506;  
G21 G40 G90 G95;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
T1111;  
G96 S150 M3;  
G54 G0 Z-164.9;  
X54;  
G1 Z-197 F0.35;  
G53 G0 X0;  
G53 Z-100;  
M30;  
%

## ANEXO A – Nota fiscal do material

 <b>MGS</b> Plásticos de Engenharia		<b>DANFE</b> Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica											
MGS Indústria e Comércio de Plásticos Ltda. Rua Terra Boa, 761 83324-040 Pinhais - PR (41) 2107-1618(41) 2107-1600		0 - ENTRADA 1 - SAÍDA <input checked="" type="checkbox"/>		CHAVE DE ACESSO 4116 0580 3919 5600 0109 5500 1000 0338 0815 6367 1596									
NATUREZA DA OPERAÇÃO Venda de merc. a fl contrib.		NRO 33808 SÉRIE 1 FOLHA 1 / 1		Consulta de Autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no Site da SEFAZ Autorizadora									
INSCRIÇÃO ESTADUAL 1370050186		INSCRIÇÃO ESTADUAL DO SUBSTITUTO TRIBUTÁRIO		PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO 141160071574487 06/05/2016 17:18:17									
CNPJ 80.391.956/0001-09													
<b>DESTINATÁRIO / REMETENTE</b>													
NOME / RAZÃO SOCIAL PEDRO DIAS JOHNSTOM		7151		CNPJ / CPF 91.717.649-92									
ENDEREÇO Rua dos Imigrantes, 304		BAIRRO / DISTRITO Rau		CEP 89254-430									
MUNICÍPIO Jaraguá do Sul		UF SC		DATA DA EMISSÃO 06/05/2016									
DUPLICATAS/FATURA 130012/1 06/05/2016 416,59		INSCRIÇÃO ESTADUAL 9788896		DATA DA SAÍDA 06/05/2016									
TELEFONE / FAX		INSCRIÇÃO ESTADUAL 9788896		HORA DA SAÍDA 17:18									
<b>CÁLCULO DO IMPOSTO</b>													
BASE DE CÁLCULO DO ICMS 416,59		VALOR DO ICMS 16,66		VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 378,72									
VALOR DO FRETE 0,00		VALOR DO SEGURO 0,00		VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0,00									
VALOR APROX TRIBUTOS 0,00		OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS 0,00		VALOR DO IPI 37,87									
VALOR TOTAL DA NOTA 416,59													
<b>TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS</b>													
NOME / RAZÃO SOCIAL VEICULO PROPRIO		FRETE POR CONTA 0-EMITENTE 1-DESTINATÁRIO <input checked="" type="checkbox"/>		CÓDIGO ANTT									
ENDEREÇO		MUNICÍPIO		PLACA DO VEICULO									
QUANTIDADE 1		MARCA MGS		UF									
ESPÉCIE VOL		NUMERAÇÃO 1		CNPJ / CPF									
PESO BRUTO 13,55 Kg		PESO LÍQUIDO 13,55 Kg											
<b>DADOS DOS PRODUTOS / SERVIÇOS</b>													
CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO PRODUTO / SERVIÇO	NCM/SH	CST	CFOP	UN.	QTD	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	BASE DE CÁLC. ICMS	VALOR ICMS	VALOR IPI	ALIQ% ICMS	ALIQ% IPI
38	1 Bastao 060x1000mm Ny6 MGS Resolução do Senado Federal nº 13/12, Número da FCI DFE411FE-4FAA-42A4-9923-9C9AFD52DB49	39169090	300	6107	Kg	3,35	27,95	93,63	102,99	4,12	9,36	4,00	10,00
39	1 Bastao 060x3000mm Ny6 MGS Resolução do Senado Federal nº 13/12, Número da FCI 0ASD18B8-3013-481F-A6C2-5814A1D3E CFD	39169090	300	6107	Kg	10,20	27,95	285,09	313,60	12,54	28,51	4,00	10,00
ICMS alíquota de 4% de acordo com a resolução do Senado Federal nº 13/2012													
<b>CÁLCULO DO ISSQN</b>													
INSCRIÇÃO MUNICIPAL		VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS		BASE DE CÁLCULO DO ISSQN		VALOR TOTAL DO ISSQN							
<b>DADOS ADICIONAIS</b>													
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES						RESERVADO AO FISCO							
*** PRODUTO SEMI-ELABORADO NÃO DESTINADO A CONSTRUÇÃO CIVIL, OU APLICAÇÃO PARA CONSUMO						104308/3							

## ANEXO B – Certificado do material

# MGS



Plásticos de  
Engenharia

MGS Indústria e Comércio de Plásticos LTDA  
[www.mgsplasticos.com.br](http://www.mgsplasticos.com.br)

Fone: +55 41 2107-1616  
Fax: +55 41 2107-1601

**CERTIFICADO MGS<sup>®</sup>**

**Nylon (Ny6)**

Número do Certificado  
**33808**

Certificamos que o produto descrito abaixo é comercializado pela respectiva empresa também certificada como distribuidora de produtos MGS<sup>®</sup>.

**Empresa:** PEDRO DIAS JOHNSTOM

**Material:** Nylon (Ny6)

**Cor:** Branco

**Família:** Poliamidas

**Cor de Identificação:** Preto

**Unidade da Identificação:** Milímetros (mm)

**Tipo e Dimensões do Material:** Bastão 060x1000mm Ny6 MGS / Bastão 060x3000mm Ny6 MGS

**Nota Fiscal Número:** 33808

**Principais Propriedades:**

**Peso Específico:** 1,14 g/cm<sup>3</sup>

**Temperatura Min. (uso contínuo):** -40°C

**Temperatura Máx. (uso contínuo):** 100°C

**Dureza Rockwell:** R100

**Ponto de Fusão:** 220°C

Ressaltamos que as informações contidas em nossos catálogos e certificados **são de referência**, podendo haver mudança ou alteração sem aviso prévio. Os dados aqui listados se encontram dentro de tolerâncias estabelecidas **por normas e padrões exclusivamente referentes às respectivas propriedades, obtidos através de testes em laboratórios por amostragens aleatórias**. Estas referências não devem ser utilizadas **individualmente** para estabelecer limites de especificações nem como base exclusiva para objeto. A MGS não assume nenhuma obrigação ou responsabilidade por quaisquer recomendações apresentadas ou resultados obtidos a partir destas informações. Estas recomendações são apresentadas e aceitas por conta e risco do comprador. A divulgação destas informações não constitui uma autorização de operação ou para infração de nenhuma patente da MGS ou de outras empresas. A MGS garante que o uso ou venda de qualquer material aqui apresentado e comercializado por ela não infringe nenhuma patente que cubra o próprio material, porém não garante contra violações causadas por sua utilização conjunta com outros materiais ou na operação de qualquer processo. **ATENÇÃO:** Não utilize este material em aplicações médicas e que envolvam implantes permanentes no corpo humano. Para cada aplicação específica são necessários testes individuais, para determinação das suas efetivas características e propriedades. Outras propriedades mecânicas, térmicas, químicas e elétricas encontram-se em nosso site [www.mgsplasticos.com.br](http://www.mgsplasticos.com.br).

Pinhais, 09 de Maio de 2016

Qualidade MGS Plásticos