

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

RODRIGO SEBOLD

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE APLICAÇÃO DE FLUIDO DE
CORTE CONVENCIONAL E O MÉTODO INTROJETADO NA RETIFICAÇÃO PLANA
DO AÇO SAE 4340

JARAGUÁ DO SUL

Fevereiro/2022

RODRIGO SEBOLD

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE APLICAÇÃO DE FLUIDO DE
CORTE CONVENCIONAL E O MÉTODO INTROJETADO NA RETIFICAÇÃO PLANA
DO AÇO SAE 4340.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Tiago da Silva, Mestre

JARAGUÁ DO SUL

Fevereiro/2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Sebold, Rodrigo

Estudo comparativo entre o método de aplicação de fluido de corte convencional e o método introjetado na retificação plana do aço SAE 4340 / Rodrigo Sebold ; orientação de Tiago Da Silva. Jaraguá do Sul, SC, 2022.
57 p.

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

1. Retificação. 2. Fluido lubri-refrigerante. 3. Lubrificação otimizada. 4. Lubri-refrigeração Introjetada. I. Da Silva, Tiago. II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III. Título.

RODRIGO SEBOLD

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE APLICAÇÃO DE FLUIDO DE
CORTE CONVENCIONAL E O MÉTODO INTROJETADO NA RETIFICAÇÃO PLANA
DO AÇO SAE 4340

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

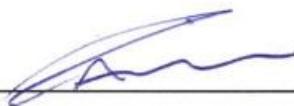
Jaraguá do Sul, 11 de fevereiro de 2022



Prof. Tiago da Silva, Mestre

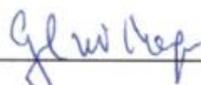
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Cassiano Rodrigues Moura, Me.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU

**Tudo o que vale a pena ser feito,
merece e exige ser bem feito.
(Philip Dormer Stanhope)**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente os agradecimentos vão ao Campus IFSC – Rau, por disponibilizar seus laboratórios, materiais, e sua infraestrutura em geral para elaboração deste trabalho.

A todos os servidores que passaram seus ensinamentos e conhecimentos desde o início do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, em especial ao orientador Tiago da Silva, pelo empenho na preparação dos materiais, e no auxílio no decorrer da elaboração do Trabalho.

A todos os colegas de graduação que compartilharam seus conhecimentos, que ajudaram em momentos difíceis no decorrer do curso, e por proporcionar um ótimo ambiente de aprendizado.

Agradeço a Deus também por tornar tudo isso possível.

RESUMO

O processo de retificação vem sendo usado em grande escala na indústria para obtenção de precisão geométrica e dimensional, análoga a obtenção de acabamento superficial de qualidade. Esse processo de usinagem possui muitas variáveis, e uma delas é o método de aplicação do fluido lubri-refrigerante para refrigeração e lubrificação da face de contato peça/ferramenta. Dentre os métodos empregados está o método otimizado, que visa aumentar a eficiência do fluido, diminuindo gastos com a aplicação em excesso e diminuindo também danos ambientais pelo uso mesmo. Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação do fluido pelo método Introjetado através de um flange, que possibilita com que o fluido chegue às arestas de corte através do efeito centrífuga que a rotação do rebolo causa, assim usando as informações de saída desse processo como rugosidade, vibrações, Taxa G, pode-se fazer a comparação da viabilidade desse método. Com isso consegue-se ver que o método Introjetado que foi aplicado teve bom desempenho no desgaste do rebolo e uma melhoria nas medições de rugosidade da peça. O ponto negativo analisado se dá no quesito limpeza da área de corte tendo em vista que não se consegue efetuar a limpeza devido à baixa vazão de fluido utilizada. Também foi visto que a névoa gerada por esse novo método é menor comparado ao convencional, tornando-o menos prejudicial à saúde do operador.

Palavras-Chave: Retificação. Fluido lubri-refrigerante. Lubrificação otimizada. Lubri-refrigeração Introjetada.

ABSTRACT

The grinding process has been used on a large scale in the industry to obtain geometric and dimensional precision, analogous to obtaining a quality surface finish. This machining process has many variables, and one of them is the method of applying the coolant-lubricant fluid for cooling and lubricating the workpiece/tool contact face. Among the methods used is the optimized method, which aims to increase the efficiency of the fluid, reducing expenses with excess application and also reducing environmental damage due to its use. This work aims to analyze the application of the fluid by the Introjected method through a flange, which allows the fluid to reach the cutting edges through the centrifugal effect that the wheel rotation causes, thus using the output information of this process as roughness , vibrations, G Rate, the feasibility of this method can be compared. With this, it can be seen that the Introjected method that was applied had a good performance in the grinding wheel wear and an improvement in the roughness measurements of the part. The negative point analyzed is the cleaning of the cutting area, considering that cleaning is not possible due to the low flow of fluid used. It was also seen that the mist generated by this new method is smaller compared to the conventional one, making it less harmful to the health of the operator.

Keywords: Rectification. Lubricant coolant. Optimized lubrication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de processos por UGND.....	14
Figura 2: Micrografia da superfície de um rebolo	16
Figura 3: Perfil real detectado pelo apalpador do rugosímetro.....	24
Figura 4: Processo de fabricação x rugosidade.	25
Figura 5: Corpo de Prova Aço SAE 4340.	30
Figura 6: Rebolo de óxido de alumínio.....	31
Figura 7: Óleo lubri-refrigerante solúvel.	32
Figura 8: Retificadora MELLO P25.....	33
Figura 9: Dressador de ponta aglomerada.....	34
Figura 10: Rugosímetro TR-210.....	35
Figura 11: Medidor digital de vibração MVA-300.	35
Figura 12: Dispositivo método Introjetado.	36
Figura 13: Preparação do rebolo para fixação no dispositivo.....	37
Figura 14: Dispositivo Introjetado instalado.....	38
Figura 15: Fluxograma com as etapas da metodologia.....	39
Figura 16: Obtenção dos valores de rugosidade.....	41
Figura 17: Comparativo das médias das rugosidades (Ra)	43
Figura 18: Gráfico da Taxa G.	45
Figura 19: Aspectos visuais do corpo de prova. ((A) Convencional, (B) Introjetado).46	
Figura 20: Superfície de corte do rebolo ao final dos ensaios.....	47
Figura 21: Face do rebolo após término do método Convencional.	48
Figura 22: Face do rebolo após término do método Introjetado.	49
Figura 23: Resíduos na área de trabalho da máquina.	51
Figura 24: Cavaco próximo ao Corpo de Prova com uso do método Introjetado.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivo específico	12
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 Usinagem	13
2.1.1 Usinagem com geometria não definida (UGND)	13
2.2 Rebolo	15
2.2.1 Grão abrasivo	17
2.2.2 Granulometria	18
2.2.3 Aglomerante e Material do Rebolo	21
2.2.4 Desgaste e dressagem do rebolo	22
2.3 Rugosidade	23
2.3.1 Rugosidade média	24
2.4 Fluidos de Corte	26
2.4.1 Riscos da utilização de fluido de corte.	27
2.4.2 Métodos de Aplicação do fluido	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 Materiais	30
3.1.1 Corpo de Prova	30
3.1.2 Rebolo	31
3.1.3 Fluido lubri-refrigerante	32
3.1.4. Máquina retificadora	32
3.1.5 Dressador	33

3.1.6 Rugosímetro.....	34
3.1.7 Medidor de vibração.....	35
3.1.8 Dispositivo para aplicação de fluido no método introjetado.....	36
3.1.9 Proteção da maquina.....	37
3.2 Metodologia de aplicação dos ensaios.....	39
3.2.1 Definição dos parâmetros.....	39
3.2.2 Medição de vazão do fluido lubri-refrigerante.....	40
3.2.3 Ensaio executados.....	40
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42
4.1 Rugosidade.....	42
4.2 Taxa G.....	44
4.3 Aspectos visuais.....	45
4.3.1 Corpo de prova.....	45
4.3.2 Rebolo.....	47
4.3.3 Resíduos.....	50
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O processo de usinagem por abrasão vem sendo utilizado em grande escala na indústria para obtenção de peças com precisão geométrica e dimensional, análoga a obtenção de bom acabamento superficial e qualidade.

Neste tipo de usinagem o material da peça é removido por meio da ação de grãos abrasivos, os quais são partículas não metálicas, extremamente duras e de geometria indefinida. Dentre os processos de usinagem por abrasão está a Retificação.

A retificação é considerada uma operação pouco eficiente, pois nela um elevado consumo de energia é revertido em uma baixa taxa de remoção de material, se comparada às operações com ferramentas de geometria definida. (MACHADO, 2009).

Essa operação de usinagem possui muitas variáveis, e uma delas é o método de aplicação do fluido lubri-refrigerante para refrigeração e lubrificação da face de contato peça/ferramenta.

O fluido lubri-refrigerante pode ser aplicado na região de corte de diferentes formas, como por exemplo o método convencional, o método otimizado, que visa aumentar a eficiência do fluido e diminuir o seu consumo. Há também o método MQF (mínima quantidade de fluido) que usa baixa vazão de fluido para lubrificar a região de corte com o auxílio do ar comprimido, que ajuda também no resfriamento da peça (BIANCHI, 2012).

Se a lubri-refrigeração aplicada não for eficiente e não cumprir o papel a que é destinada de refrigerar e lubrificar a região de corte, podem ocorrer danos a peça como queima superficial, mudanças micro estruturais, aparecimento de tensões residuais e possíveis erros de forma e dimensionais, (SAMPAIO, 2007).

Com isso espera-se que por mais que novos métodos de aplicação do fluido melhorem o processo, eles podem deixar a desejar em algum aspecto. Um dos meios de aplicação de fluido de corte ainda não pesquisado é o método de Aplicação Introjetado, que viabiliza a aplicação do fluido lubri-refrigerante pela estrutura do rebolo, fazendo com que o mesmo chegue à superfície de contato com a peça pelo

efeito centrífuga, extinguindo o problema de conseguir vencer a cortina de ar produzida pelo mesmo, e melhorando a eficiência na aplicação até a região de corte.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Fazer um estudo comparativo, entre o método de aplicação de fluido de corte Convencional e o método Introjetado, na retificação plana do Aço SAE 4340 temperado.

1.1.2 Objetivo específico

- Quantificar o desgaste do rebolo;
- Medir as vibrações ocasionadas pela rotação do rebolo;
- Verificar as viabilidades, pontos positivos e negativos, de cada método;
- Avaliar a rugosidade e o aspecto visual das peças retificadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Usinagem

No mundo em que vivemos existem muitas coisas que foram criadas para facilitar a vida humana, e o homem com sua capacidade racional de ver um problema e tentar resolvê-lo, criou outras coisas novas que auxiliariam no desenvolvimento contínuo da humanidade. Quando se descobriu que poderia fundir o ferro e transformá-lo em peças para engenharia e outros artefatos, também se notou a necessidade de ter outros materiais que pudessem modelar aquele tipo de ferro, e assim foi se dando a evolução constante (SANTOS; SALES, 2007).

Com a revolução industrial máquinas surgiram, como em 1797 o primeiro torno mecânico com avanço e em 1860 a primeira retificadora, etc.. Esses equipamentos foram úteis para se poder fabricar outras máquinas e assim aumentar cada vez mais a produção das empresas, (MACHADO *et al.*, 2011).

Novos processos de fabricação foram sendo inseridos nas empresas para conseguir fabricar peças com formas complexas e materiais diversos. Um desses processos foi a usinagem, que tem como objetivo transformar a matéria-prima em um produto final por meio da remoção de material em forma de cavaco. Essa usinagem pode ser dividida em duas categorias: a usinagem por geometria definida (UGD), em que a ferramenta possui uma forma, como uma broca por exemplo, e a usinagem por geometria não definida (UGND), que a ferramenta não se tem uma forma física definida, como um grão de um rebolo usado em retificadoras por exemplo (SANTOS; SALES, 2007).

2.1.1 Usinagem com geometria não definida (UGND)

A usinagem por geometria não definida (UGND) compreende as operações em que a aresta de corte não tem uma geometria definida, como um grão de rebolo. Alguns dos processos que estão dentro dessa classificação são mostrados na Figura

1.

Figura 1: Exemplos de processos por UGND.



Fonte: STOETERAU (2014)

Tais processos são responsáveis em sua grande parte por dar acabamento nas peças por um todo, em uma superfície ou detalhe que seja necessário, pois removem baixas taxas de material, comparada aos processos de usinagem por geometria definida (UGD) (SANTOS; SALES, 2007).

Alguns desses processos, como a retificação, tem por característica a melhor exatidão dimensional e geométrica, e uma melhoria na qualidade superficial da peça, levando assim, a serem feitos na maioria das vezes por último no processo de fabricação (MACHADO *et al.*, 2011). Esses processos são executados com cuidado e atenção, pois podem descartar uma peça e todo o tempo e mão de obra gasto durante sua fabricação (DINIZ *et al.*, 2013).

A remoção de cavaco no processo de retificação se dá por contato entre o rebolo e a peça a ser usinada. Este rebolo possui grãos abrasivos que são aglomerados e fixados por um material aglomerante. Ao entrar em contato com a peça esses grãos removem uma baixa quantidade de material pelo método de cisalhamento. No decorrer da usinagem, o rebolo vai perdendo sua afiação, pois os grãos abrasivos vão se desgastando e/ou até mesmo quebrando as pontas, com isso

se tem uma maior energia gasta para remover material, tendo em vista que em vez de cortar material, o rebolo passa a riscá-lo (MACHADO *et al.*, 2011).

Como há atrito gerado na zona de contato, o desgaste do rebolo vai se tornando maior devido ao calor gerado. Por isso se faz necessário o uso de fluidos lubrificantes que minimizam o aquecimento e o atrito da superfície usinada, através do resfriamento e da lubrificação desta interface rebolo/peça.

Se o calor produzido na remoção de material não for controlado, toda a peça pode sofrer avarias dimensionais devido a dilatação térmica e irregularidades geométricas, como o empenamento, e avarias na microestrutura do material, pois se este já passou por um processo de tempera, o calor produzido pode alterar as características do material (MACHADO *et al.*, 2011).

BIANCHI *et al.*, (2004) cita ainda que a energia gerada na remoção de cavacos no processo de retificação se transforma em calor, e como resultados negativos pode haver o aparecimento de fissuras, distorções, tensões residuais elevadas e não conformidades dimensionais. E ainda se não bastassem, esses efeitos podem ser acompanhados do desgaste acentuado do rebolo e aderência de material nos poros do ligante.

2.2 Rebolo

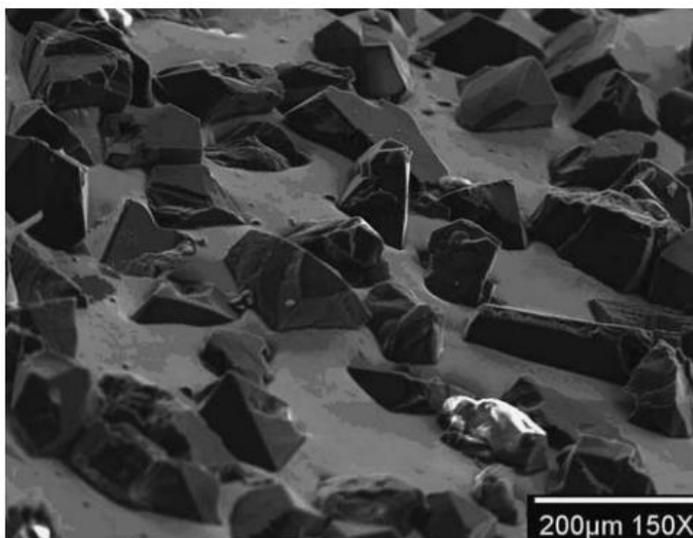
A ferramenta aplicada no processo de retificação é denominada rebolo. Este é constituído de abrasivos e material ligante. O rebolo deve ser relativamente poroso, permitindo que o fluido e os cavacos se alojem nos seus poros principalmente quando se tem um comprimento de retificação maior (MACHADO *et al.*, 2011).

Segundo Diniz *et al.*, (2013) o rebolo é um corpo, geralmente cilíndrico, formado pelo material aglomerante cuja função é unir inúmeros e pequenos grãos abrasivos que vão entrar em contato com a peça e realizar a usinagem. Portanto, cada grão abrasivo remove uma pequena porção de material da peça, o que confere a retificação uma possibilidade de se obter tolerâncias bastante apertadas.

A figura 2 a seguir mostra microscopicamente como é formada a estrutura do

rebolo em sua superfície.

Figura 2: Micrografia da superfície de um rebolo



Fonte: MALKIN e GUO (2008, p.30)

Os rebolos possuem características distintas, como:

- Material abrasivo;
- Tamanho dos grãos abrasivos (granulometria);
- Material ligante;
- Estrutura (porosidade);
- Dureza do rebolo.

Conforme a aplicação do rebolo essas características variam, por isso se criou um código para cada rebolo distinguindo suas especificidades. A tabela 1 representa como um rebolo é especificado.

Tabela 1: Chave de código para a seleção de rebolos

Abrasivo	Granulometria	Dureza	Estrutura	Ligante
38A	60	K	2	V
A: óxido de alumínio	8-14: muito grosseiro	A: macio	0-3: denso	V: vitrificado
B: cBN	16-36: grosseiro	Z: duro	4-6: médio	B: resinoide
C: Carboneto de silício	46-80: médio		7-9: poroso	R: elástico
D: diamante	90-220: fino		10+: altamente poroso	M: metálico
	240-1200: muito fino			

Fonte: MACHADO *et al.*, (2011 p.349)

Na coluna abrasiva temos um número acompanhado de uma letra, o número representa uma especificação do material abrasivo em questão. A granulometria se dá pelo passo dos fios da peneira utilizada para separação desses grãos abrasivos. Na sequência tem a classificação de dureza do rebole e a sua estrutura. E por último, uma letra que representa o tipo de aglomerante utilizado (MACHADO *et al.*, 2011).

2.2.1 Grão abrasivo

Conforme SHAW (1996), os grãos abrasivos são utilizados em todos os processos de retificação, eles são partículas refratárias duras e frágeis, que tem sua classificação baseada em sua dureza e/ou composição química.

Os grãos abrasivos podem ser naturais ou artificiais. Na classe dos abrasivos naturais temos como exemplo o quartzo, esmeril, coríndon, diamante entre outros. Estes são usados em ferramentas específicas como as lixas. Já os abrasivos artificiais como o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o carboneto de silício (SiC), tem uma abrangência maior na sua aplicação juntamente com os chamados super abrasivos, como é o caso do nitreto de boro cúbico (CBN) e o diamante policristalino (PCD) (DINIZ *et al.*, 2013).

Segundo DINIZ *et al.* (2013) e MACHADO *et al.* (2011) a escolha do abrasivo ideal vai da necessidade de aplicação ao tipo de material a ser usinado, para conseguir obter resultados mais significativos. Uma das grandes características a serem analisadas na aplicação é que o abrasivo tem que ser mais duro que o material

a ser retificado (MALKIN, 1989).

Descrição de alguns abrasivos mais utilizados na indústria, conforme citado por DINIZ *et al.* (2013):

- Al_2O_3 : Indicado para materiais de alta resistência a tração como: Aços em geral, aço rápido, aços temperados e cementados, aços inoxidáveis, FoFo maleável, FoFo nodular, ligas aeronáuticas e outros similares.
- SiC: Usado para retificação de materiais de alta dureza, como: FoFo cinzento, vidros, materiais não ferrosos (metal duro) e não metálicos.
- CBN: Usado para ferros fundidos e aços de extrema dureza.
- Diamante: usados em rebolos com ligas resinoides para retificação de metal duro, ou ligas metálicas para retificação de materiais como cerâmicas, pedras, vidros, etc.

Outra propriedade analisada nos grãos abrasivos é a friabilidade, que é a capacidade do grão abrasivo se desintegrar em pequenos fragmentos quando sob pressão, fazendo com que o grão perca o gume de corte gasto e tenha uma nova aresta cortante (MARINESCU *et al.*, 2004).

O tamanho do grão abrasivo utilizado reflete diretamente na rugosidade obtida após a execução do processo de retificação, pois um grão maior tende a efetuar uma maior extração de material, conseqüentemente o sulco gerado por essa extração tende a ser maior. Mas tudo pode ser mudado conforme os parâmetros utilizados, pois essa rugosidade pode sofrer alterações, por altas velocidades do rebole e baixa velocidade da peça incidem em uma rugosidade mais baixa também (MACHADO *et al.*, 2011).

2.2.2 Granulometria

Segundo MACHADO *et al.* (2011), o tamanho médio dos grãos abrasivos é o

principal responsável pela rugosidade. Os valores de rugosidade obtidos na retificação variam de 0,15 a 2,5 μm . Quanto menor o tamanho do abrasivo, menor a rugosidade da superfície retificada.

Os grãos abrasivos são separados e classificados por dois tipos de processos, o de peneiramento, que separa grãos de tamanho entre 8 a 220, o tamanho médio dos grãos se dá por 60% da distância entre os fios da malha superior pela qual o grão passou. E os de tamanho inferior, ou maiores que 220 são separados por flotação, eles são colocados na água e após períodos pré-estabelecidos, os abrasivos se sedimentados são recolhidos, quanto mais tempo demorar a se sedimentar, menor o tamanho do grão (MACHADO *et al.*, 2011).

Diniz *et al.*, (2013) afirmam que a classificação dos grãos abrasivos é representada por um número que corresponde a quantidade de malhas por polegada linear da peneira de classificação. Se um grão passa pela peneira de 60 malhas, ele ficará retido na peneira de 61 ou mais malhas. Esses são os números que classificam a escala granulométrica denominada de escala mesh.

A norma ABNT 15230 (2016) rege a especificação da granulometria dos grãos entre grosso, médio, fino e muito fino, a tabela 2 a seguir foi retirada da norma e mostra a classificação quanto a escala mesh.

Tabela 2: Granulometria dos abrasivos

Macrogrãos de F4 a F220 em conformidade com a ABNT NBR ISO 8486-1			Microgrãos de F230 a F2000 em conformidade com a ABNT NBR ISO 8486-2
Grosso	Médio	Fino	Muito fino
4	30	70	230
5	36	80	240
6	40	90	280
7	46	100	320
8	54	120	360
10	60	150	400
12		180	500
14		220	600
16			800
20			1000
22			1200
24			1500
			2000

Fonte: ABNT (2016)

Diniz *et al.* (2013) citam outro método, que separa os grãos abrasivos por muito grosso (6-14), grosso (16-30), médio (36-90), fino (100-240), muito fino (280-500) e pó (600-1600).

Quanto a aplicação dos grãos, Diniz *et al.* (2013) apresentam algumas regras que devem ser obedecidas.

Grãos grossos devem ser escolhidos para:

- Materiais moles, como aços;
- Remoção de grande volume;
- Baixa qualidade superficial requerida;
- Grandes áreas de contato.

Grãos finos devem ser escolhidos para:

- Materiais duros e quebradiços, como metal duro;
- Bom acabamento superficial requerido;
- Pequenas áreas de contato;
- Manutenção de bordas e perfis de pequenas dimensões.

2.2.3 Aglomerante e Material do Rebolo

Para que a estrutura de um rebolo seja resistente o suficiente para manter os grãos abrasivos unidos, é utilizado um material aglomerante, o qual também tem função de dar estrutura aos rebolos.

O aglomerante deve apresentar resistência mecânica suficiente para suportar forças centrífugas, as próprias forças de retificação, temperaturas elevadas e outros fatores externos, que podem oferecer risco a integridade do rebolo (MALKIN, 1989).

Estes aglomerantes podem ser feitos de materiais resinoides, borrachas silicatos, vitrificados e metálicos. Também existem rebolos no qual os grãos são depositados eletricamente, dispensando assim o uso de matérias aglomerantes (MALKIN, 1989).

Rebolos, como o de CBN, possui seu núcleo de um material metálico, e somente sua superfície com uma camada de abrasivo, uma vez que seria inviável fabricar seu corpo inteiro de material abrasivo (MACHADO *et al.*, 2011).

Diniz *et al.* (2013) apresenta dois tipos principais de liga utilizados na indústria, o resinoide e o vitrificado;

- Resinoide, que é composto por ligas orgânicas, com resistência e resiliência elevada, alguns rebolos fabricados com essa liga conseguem suportar velocidades de até 100 m/s. Essa liga é utilizada para desbastes pesados, e também pode ser usado para operações que exijam alto nível de acabamento.

MACHADO *et al.* (2011) salienta ainda que as ligas resinoides sofrem deterioração com ataques químicos causados por fluidos de corte. A simbologia utilizada para sua identificação é a letra B.

- Vitrificado: é a mais comum usada em retificações de precisão. Ela permite a fácil manutenção do perfil do rebolo. Ao contrário da liga resinoide, esta não suporta grandes impactos e pressões externas. Não é afetada por água, óleos e ácidos. Suporta velocidade periférica de 33 m/s, mas existem ligas desenvolvidas para suportar até 60 m/s. A simbologia usada para identificação é a letra V.

MACHADO *et al.*, (2011) cita também as ligas de borrachas, usadas principalmente em rebolos de arraste para retificações sem centros.

2.2.4 Desgaste e dressagem do rebolo

O desgaste do rebolo é definido pela perda diametral do mesmo durante um determinado ciclo de operações (DINIZ *et al.*, 2013).

Um rebolo pode sofrer desgaste sem perder sua afiação. Pois ao fraturar e depois de desprender do rebolo, os grãos são renovados, não causando a perda de afiação. Se um rebolo tem grande desgaste, sua afiação sempre se encontra agressiva. Já quando ele possui desgaste nulo, ele perde a afiação muito rápido (DINIZ *et al.*, 2013).

BIANCHI *et al.*, (2004) cita que apenas 10% do desgaste do rebolo se dá durante a usinagem, o restante é perdido com dressamento para afiação ou perfilamento.

Para medir o desgaste do rebolo durante a usinagem, usa-se a razão G, ou Taxa G, que é a relação entre o volume gasto do material usinado (Z_w), e o volume desgastado do rebolo (Z_s). Essa relação pode ser calculada conforme Equação abaixo (MACHADO *et al.*, 2011).

$$G = \frac{Z_w}{Z_s}$$

Uma relação G alta indica baixo desgaste do rebolo, enquanto uma Taxa G baixa, indica maior desgaste do rebolo.

Como o desgaste do rebolo não é sempre uniforme, com o tempo de usinagem a sua superfície se torna não concêntrica com o seu eixo, o que causa variações na superfície da peça. Se o desgaste do rebolo for predominante, o rebolo deve ser reposicionado para ficar dentro das tolerâncias geométricas da peça.

DINIZ *et al.*, (2013) afirmam que mesmo estando agressivo, o rebolo precisa passar por dressamento para justamente corrigir as imperfeições geométricas causadas durante o ciclo de trabalho, restaurando assim, novamente, a concentricidade da superfície de corte com o eixo do rebolo.

O dressamento também é responsável pelo desgaste do rebolo, mas este processo se torna indispensável para correção e reconstrução da camada exterior do rebolo, afiando-o, ou dando algum perfil específico para determinada operação (DINIZ *et al.*, 2013).

A dressagem do rebolo é responsável também por conferir a agressividade do rebolo. DINIZ *et al.*, (2013) afirmam que, quanto maior o passe de dressamento, maior a vida útil do rebolo e mais agressivo fica o rebolo, reduzindo as forças de corte, e por consequência a rugosidade da peça usinada tende a se elevar também. MACHADO *et al.*, (2011) concordam com o posicionamento de DINIZ, e complementa, que se o passe de dressamento for baixo, o rebolo tem uma vida útil curta, mas a rugosidade tende a se manter com valores baixos.

O limite do passo de dressagem se dá pela espessura do dressador utilizado, uma vez que esse valor seja ultrapassado, a superfície do rebolo fica com uma espécie de rosca, não removendo totalmente a superfície do rebolo (MACHADO *et al.*, 2011).

2.3 Rugosidade

A textura superficial de uma peça é de suma importância para a função que um determinado componente irá executar. Para mensurar essa textura usa-se a rugosidade como base. Em todo projeto deve ser expresso a rugosidade desejada afim de não encarecer o produto final. Uma vez que uma superfície que irá receber pintura não precisa ser retificada, ou brunida por exemplo (SANTOS; SALES, 2007).

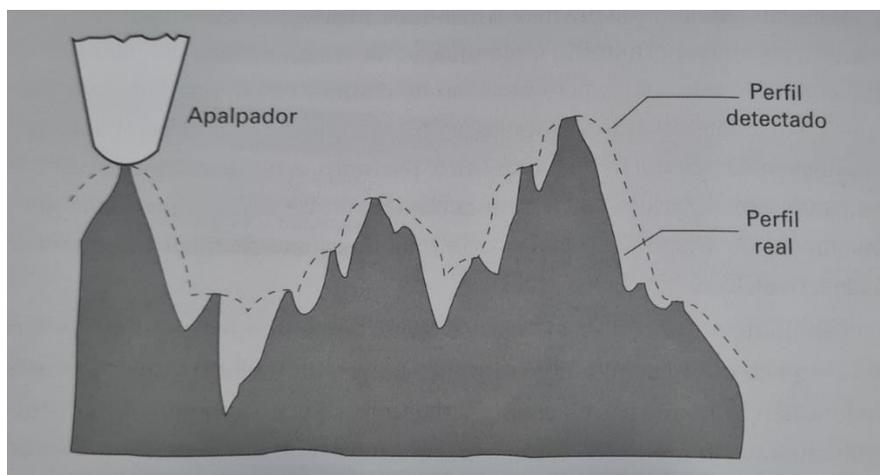
Imagina-se uma superfície retificada como sendo perfeita, mas essa aparência a olho nu pode ser desmistificada, ao enxergar através de um microscópio as irregularidades causadas pelo processo de fabricação. Deste modo pode se notar uma estrutura de picos e vales, também chamada de Rugosidade.

2.3.1 Rugosidade média

A rugosidade pode ser medida com o auxílio de um rugosímetro. Este equipamento possui uma ponta de diamante, com um raio na ponta que varia de 5 μm a 10 μm , que ao passar sob a superfície da peça, mostra entre outros valores, o valor da rugosidade média.

A figura 3 exemplifica a atuação da ponta do rugosímetro (MACHADO *et al.*, 2011).

Figura 3: Perfil real detectado pelo apalpador do rugosímetro.



Fonte: MACHADO *et al.* (2011 p. 312)

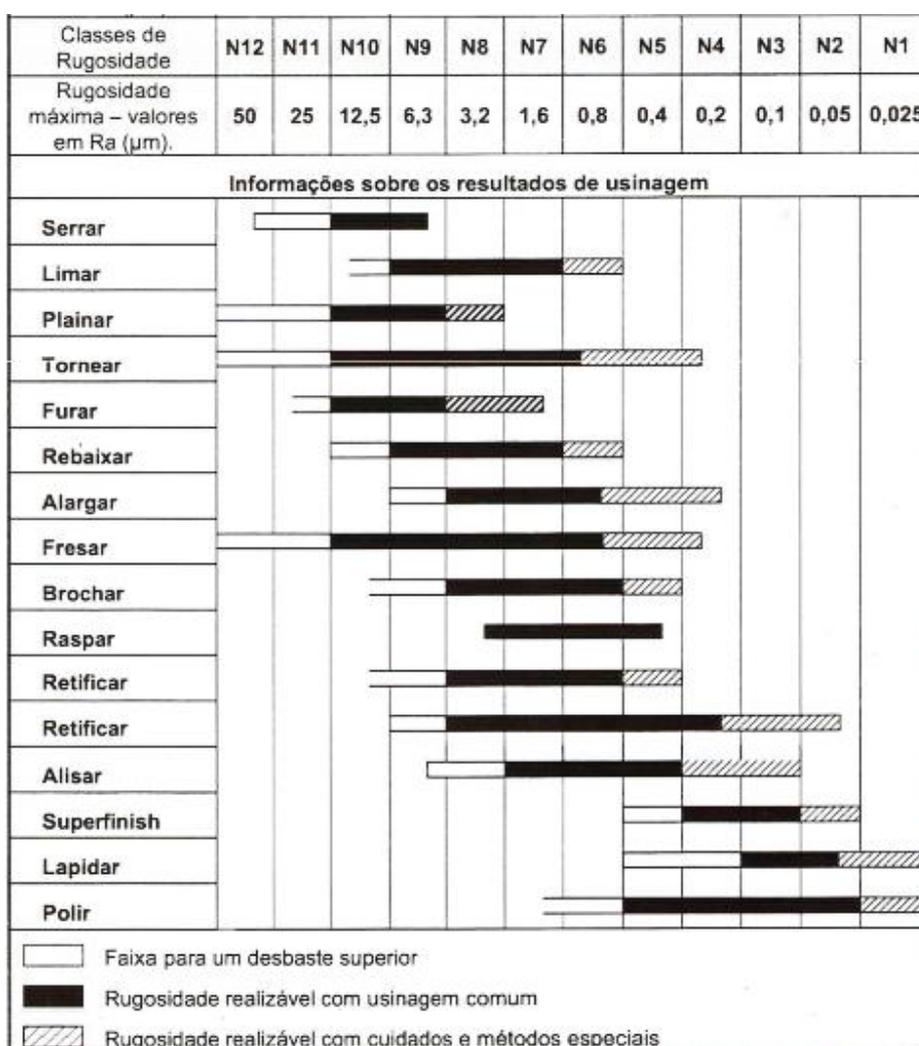
Como a ponta do apalpador possui um raio e este não consegue efetuar a medição completa nos vales da superfície, a base de leitura se dá por um perfil detectado, fazendo uma espécie de filtro na leitura do equipamento.

Com as medidas das alturas dos picos e dos vales da superfície da peça, e o

deslocamento do apalpador, o rugosímetro calcula a rugosidade média da peça. Esse valor é mostrado em micrometro (μm) (SANTOS; SALES, 2007).

A retificação como sendo um dos últimos processos na fabricação de uma peça, é responsável por conferir grande parte dos valores de rugosidade de um componente. Tais valores de rugosidade média (R_a) podem variar de $0,025 \mu\text{m}$ á $6,3 \mu\text{m}$, (sendo estes extremos casos específicos) conforme mostra figura 4 a seguir.

Figura 4: Processo de fabricação x rugosidade.



Fonte: CASTILHO (2017)

2.4 Fluidos de Corte

Os fluidos de corte começaram a ser utilizados na indústria em 1890 por F. W. Taylor. No começo era utilizado água para resfriar a ferramenta, mas vendo que somente o uso da água trazia oxidação a peça e a ferramenta, fez uma mistura de água e sabão, ou água e soda para evitar esse problema (DINIZ *et al.*, 2013).

Com o passar do tempo outros aditivos como: anticorrosivos, antioxidantes, antiespumantes, detergentes, emulgadores, biocidas, entre outros foram incrementados ao fluido de corte a fim de obter maior rendimento e reduzir problemas como oxidação tanto da peça como do equipamento utilizado, contaminação ao meio ambiente, risco ao próprio operador, etc. (SANTOS; SALES, 2007).

As principais funções de um fluido de corte, ou fluido Lubri-refrigerante são lubrificar em baixas velocidades de corte, e refrigerar em altas velocidades. SANTOS e SALES (2007), apresenta também funções secundárias dos fluidos:

- Melhoria no acabamento superficial da peça usinada;
- Ajuda na retirada do cavaco da zona de corte;
- Proteger a máquina/ferramenta e a peça de corrosão;
- Evitar o aquecimento excessivo da peça;
- Contribui para a quebra do cavaco;
- Refrigera a máquina/ferramenta.

SANTOS e SALES (2007) classifica os fluidos em:

- Ar: ar comprimido, ou algum gás em casos específicos;
- Aquoso: como a água e emulsões;
- Óleos: minerais, graxos, compostos, etc.

BIANCHI *et al.* (2004) ainda incluem em sua classificação os lubrificantes sólidos, que podem ser graxas, ceras, sabões, grafite e alguns tipos de pastas.

2.4.1 Riscos da utilização de fluido de corte.

Nos últimos anos várias pesquisas estão sendo feitas afim de restringir ao máximo o uso de fluidos nas indústrias metais mecânicas. Os objetivos que justificam essas ações incluem o custo do próprio fluido de corte, questões ecológicas, devido ao seu descarte ao final da vida útil do óleo, exigências legais com relação ao meio ambiente, e a saúde do ser humano, que pode sofrer de dermatites, alergias, perda da capacidade pulmonar, cânceres relacionados ao sistema respiratório e gastrointestinal, etc. (DINIZ *et al.*, 2013).

SANTOS e SALES (2007) apresentam que há relevância na escolha do tipo de fluido e o método de aplicação, devido aos fatores ambientais, de custo e de saúde humana. Acrescenta o risco de combustão e até explosão.

MACHADO *et al.*, (2011) apresentam uma alternativa que está sendo usada para amortizar os riscos, que é o uso de fluidos a base vegetal, uma vez que estes têm uma maior compatibilidade com a pele humana, tendem a formar menos vapor e névoa, contribuindo para um ar mais limpo e um ambiente de trabalho em melhores condições.

O fluido apresenta esses riscos não somente por suas características químicas. O empecilho que o afeta são os fungos e bactérias, que tendem a se criar no reservatório em que o mesmo se encontra, pois, o ambiente tem nutrientes, energia, condições térmicas e pH, tornando o propício para a procriação destes organismos (BIANCHI *et al.*, 2004).

2.4.2 Métodos de Aplicação do fluido

Os métodos convencionais de aplicação de fluido de corte são pouco eficientes, uma vez que eles são jorrados em uma direção tangente a superfície do rebolo. Como o rebolo está em movimento de rotação, ele cria uma barreira de ar em sua face causada pelo efeito centrífuga, dificultando o acesso do fluido na interface rebolo/peça. O que leva a uma eficiência de utilização do fluido entre 5% a 30%

(BIANCHI *et al.*, (2003).

Portanto, a velocidade que o jato de fluido deve ser jorrado sobre a área de corte deve ser igual ou superior a velocidade periférica do rebolo, permitindo que o fluido tenha sua função otimizada no processo (BIANCHI *et al.*, 2003).

A eficiência do fluido de corte na retificação se dá quando o fluido, ao penetrar essa barreira de ar, consiga chegar e preencher os poros do rebolo (MACHADO *et al.*, 2011).

Uma vez que, somente o jorro de fluido a baixa pressão, ou método convencional não é capaz de obter uma maior eficiência, em alguns casos se aumenta a pressão da bomba do fluido, para aumentar a sua vazão de saída, porem com esse aumento, o fluido tende a se dispersar, causando uma baixa eficiência do sistema (BIANCHI *et al.*, 2003).

Mecanismos como aletas defletoras também são instalados para visar a eliminação dessa barreira de ar. Mas os principais métodos utilizados na lubri-refrigeração em retificas são:

- Método otimizado;

O método otimizado busca parâmetros similares entre vazão do fluido e o formato do bico, a fim de diminuir turbulências, e melhorar o direcionamento do fluido de corte na interface rebolo/peça. A escolha dos parâmetros ideais de corte, também ajudam na otimização do fluido de corte no processo de retificação.

A otimização do processo gera menos desperdícios. Segundo BIANCHI *et al.*, (2003), cerca de 17% do custo de manufatura estão relacionados com fluido de corte, portanto se esse consumo diminuir com a mesma eficiência aplicada, aumenta o lucro da indústria.

- Método MQF (Mínima Quantidade de Fluido).

A Mínima Quantidade de Fluido (MQF) (MACHADO, *et al.*, 2011), ou Mínima Quantidade de Refrigeração (MQR) (BIANCHI *et al.*, 2003), tem por fundamento a pulverização de uma pequena quantidade de fluido, que costuma ser baixa. DINIZ *et al.*, (2013) diz que a vazão de fluido é de no máximo 60 ml/h, já MACHADO *et al.*, (2011) mostra que essa quantidade varia de 10 ml/h até 200 ml/h. O que se sabe é

que a quantidade usada é bem menor que no método convencional.

Porém como a aplicação do método MQF é junto com um jato de ar comprimido (de 1 a bar), esse método resulta em uma maior quantidade de névoa entorno do equipamento utilizado, e pelo ruído causado pela corrente de ar comprimido, afetando a saúde do operador (MACHADO *et al.*, 2011), (DINIZ *et al.*, 2013).

MACHADO *et al.*, (2011) salienta que as pesquisas são muito promissoras com esse tipo de aplicação de fluido, apresenta bons resultados na força de usinagem e ajuda diminuir a rugosidade, porém os resultados não são consistentes, dando uma incerteza perante ao seu uso em todas as aplicações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

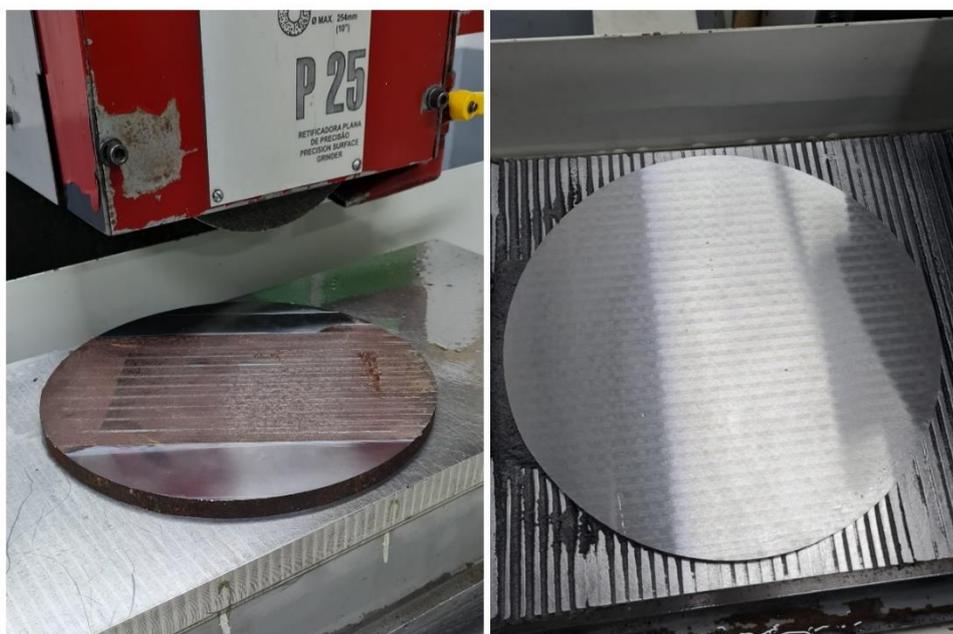
Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para a realização dos ensaios. Também será demonstrado os materiais e equipamentos utilizados para a execução dos ensaios.

3.1 Materiais

3.1.1 Corpo de Prova

O material do corpo de prova utilizado para os experimentos é o Aço SAE 4340. Com dimensão de 10,8 mm de espessura e 230 mm de diâmetro. Como o material utilizado era bruto, ajustou se as faces antes dos ensaios, como demonstra a figura 5.

Figura 5: Corpo de Prova Aço SAE 4340.



Fonte: Do Autor (2021)

Após ajustado as faces, o corpo de prova foi temperado, obtendo-se após a

tempera uma dureza média de 43 HRC.

3.1.2 Rebolo

O rebolo utilizado para efetuar os ensaios tem tamanho nominal inicial de 10” de diâmetro externo, 1” de espessura e 3” de diâmetro interno para acento no flange de fixação. O material é de óxido de alumínio branco. O tamanho de grão é 46, o que lhe caracteriza com uma granulometria média.

O rebolo, expresso na figura 6, possui a seguinte especificação: AA 46 K6V. A rotação máxima suportada pelo rebolo segundo o fabricante Stilex abrasivos é de 2675 RPM, sendo suportado pelo equipamento retificador que possui RPM máximo de 2400.

Figura 6: Rebolo de óxido de alumínio.

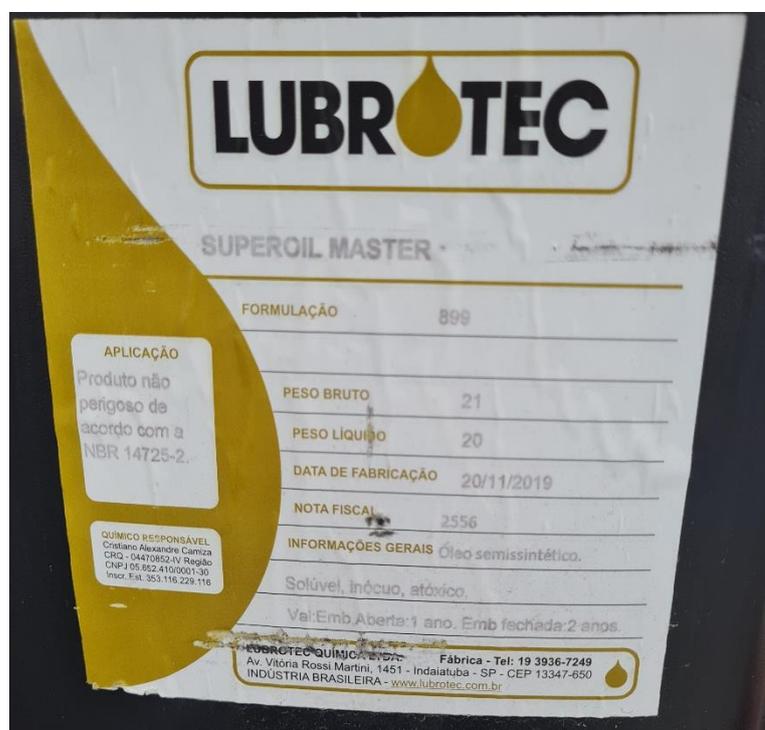


Fonte: Do Autor (2021)

3.1.3 Fluido lubri-refrigerante

O fluido lubri-refrigerante utilizado foi o óleo semissintético vegetal SUPEROIL MASTER 899, da fabricante Lubrotec. A solução aplicada foi de uma parte de óleo para cada 30 de água. A figura 7 demonstra as especificações do fluido.

Figura 7: Óleo lubri-refrigerante solúvel.



Fonte: Do Autor (2021).

3.1.4. Máquina retificadora

O equipamento utilizado para executar os testes foi uma retificadora plana da marca MELLO modelo P25 (figura 8) com avanços longitudinal e transversal. Possui painel digital para a visualização dos valores de deslocamento no eixo transversal (Y) e a altura do rebolo (Z).

A fixação do Corpo de Prova é feita por base magnética, conforme figura 8.

Figura 8: Retificadora MELLO P25.



Fonte: Do Autor (2021)

3.1.5 Dressador

O dressamento do rebolo foi realizado por um dressador diamantado de ponta aglomerada, como mostra a figura 9, foi utilizado o avanço de dressamento de 3,57mm/s, com 0,04 mm de profundidade de dressagem.

Figura 9: Dressador de ponta aglomerada



Fonte: Do Autor (2021)

O primeiro ensaio executado foi o de aplicação convencional de fluido, após seu término o rebolo recebeu novamente um dressamento com inúmeras passadas até regularizar sua superfície e afiar os grãos, para depois iniciar os testes com fluido Introjetado. Em ambas formas de aplicação de fluido, foi utilizado a mesma velocidade de dressamento.

3.1.6 Rugosímetro

O rugosímetro utilizado para mensurar os valores de rugosidade, que está ilustrado na figura 10, é da marca TIME, modelo TR-210. Os valores obtidos são em micrometro (μm).

O parâmetro de rugosidade utilizada nas medições foi a rugosidade média (Ra). O valor de Cut-off utilizado foi de 0,8 mm.

Figura 10: Rugosímetro TR-210



Fonte: Do Autor (2021).

3.1.7 Medidor de vibração

Para realizar o teste de vibração, usou-se o medidor digital de vibração da marca MINIPA, modelo MVA-300, conforme figura 11.

As medições foram realizadas no mancal do eixo arvore da retificadora, na parte posterior a fixação do rebolo, para se obter o valor mais próximo da vibração sofrida pelo rebolo, conforme sugerido pela norma NBR 10082 (2011).

Figura 11: Medidor digital de vibração MVA-300.



Fonte: Do Autor (2021)

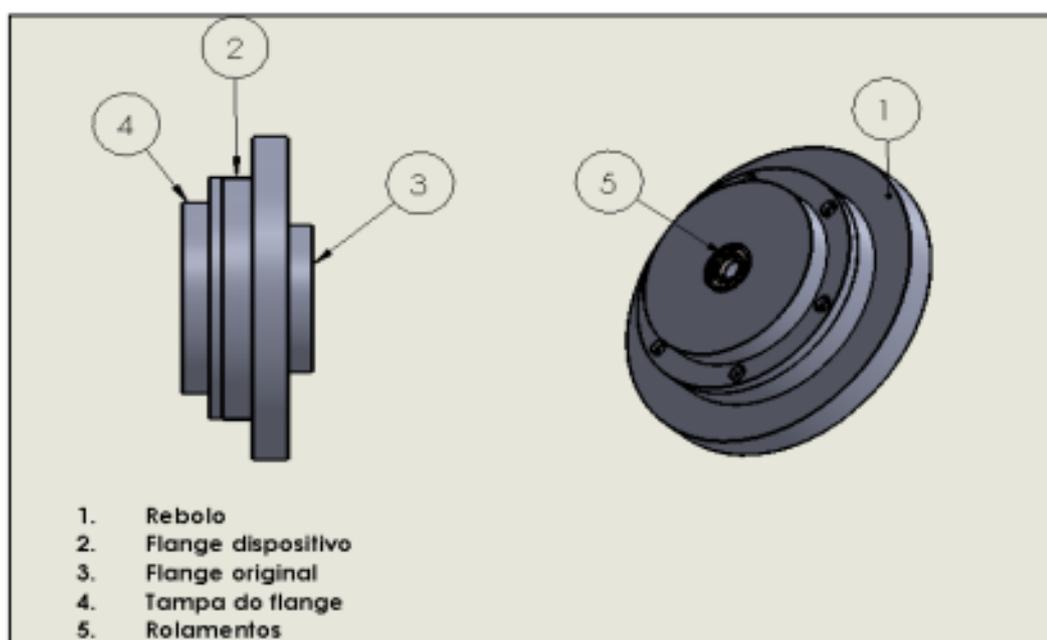
Ao verificar as médias de vibração que foram 0,37 mm/s no método Convencional, e 0,39 mm/s no método Introjetado, se anulou a possibilidade de a vibração interferir nos resultados de ambos os métodos analisados. Uma vez que o limite recomendado, pela norma ABNT NBR 10082 (2011), para máquinas de velocidade entre 600 rpm e 15000 rpm com mancal rígido é de 1,8 mm/s.

3.1.8 Dispositivo para aplicação de fluido no método introjetado

Para realizar a execução do método Convencional de aplicação do fluido, a retificadora foi utilizada em sua originalidade.

Já no método Introjetado, foi utilizado um dispositivo elaborado no Campus IFSC – Rau, e que possui o número de pedido de patente BR102019012539042, que faz com que o fluido seja distribuído por dentro do rebolo. Ele é constituído de um cone para ser fixo no eixo arvore da máquina retificadora (3), e o acento para encaixe do rebolo (1), como mostra a figura 12 a seguir.

Figura 12: Dispositivo método Introjetado.



Fonte: ALEIXO (2018)

O lado oposto do dispositivo possui a câmara de distribuição de fluido lubrificante que é fechada pela tampa do flange (4) e forma uma cavidade. Esta cavidade é alimentada por um adaptador de mangueira tipo espigão que fica localizado na parte interna dos rolamentos (5).

Quando o fluido é injetado pelo centro do dispositivo, com o rebolo já em rotação, a força centrífuga direciona o fluido para as extremidades do rebolo. Como este é poroso, permite a passagem do fluido até sua superfície.

Mas como todo rebolo possui uma especificação de papel geralmente colada em sua lateral, se faz necessário a remoção de uma dessas etiquetas, pois elas coincidem com a furação de expelimento de fluido da câmara de distribuição, conforme demonstrado na figura 13.

Figura 13: Preparação do rebolo para fixação no dispositivo.



Fonte: Do Autor (2021).

3.1.9 Proteção da máquina

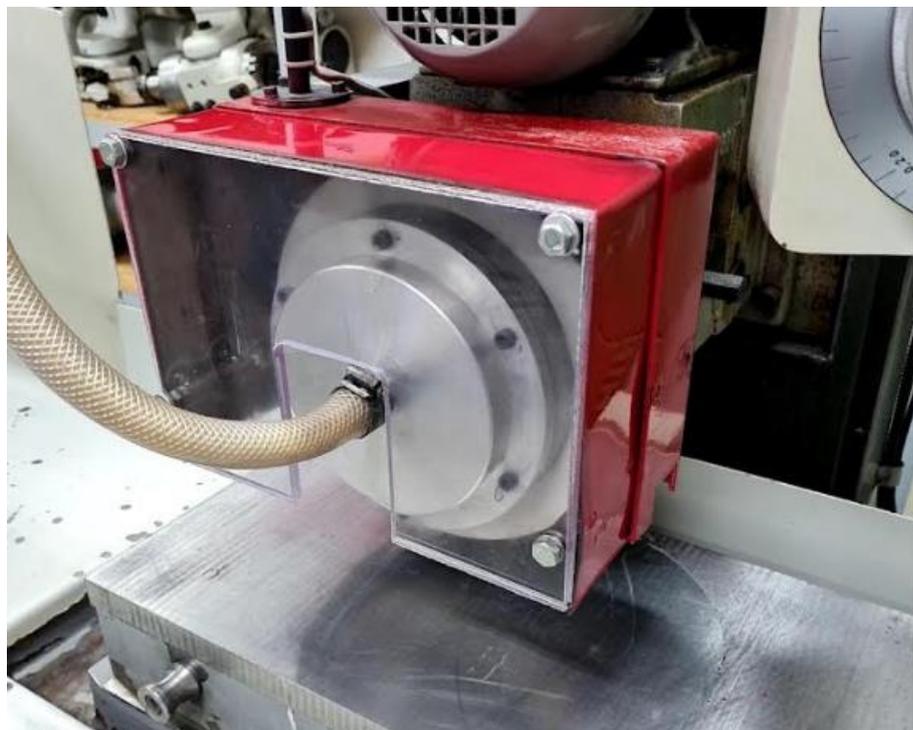
Com a fixação do dispositivo na retificadora, foi necessário um alargamento da

proteção do rebolo. A proteção frontal foi fabricada de policarbonato para facilitar a visualização do rebolo durante os testes.

Para não alterar as características da máquina, a proteção foi fabricada utilizando a mesma fixação utilizada pela original, podendo assim, ser colocada a tampa original novamente, e trabalhar com a máquina sem o dispositivo do método Introjetado.

A figura 14 a seguir apresenta o dispositivo montado na retificadora com a mangueira de fluido instalada, e a proteção devidamente fixada.

Figura 14: Dispositivo Introjetado instalado

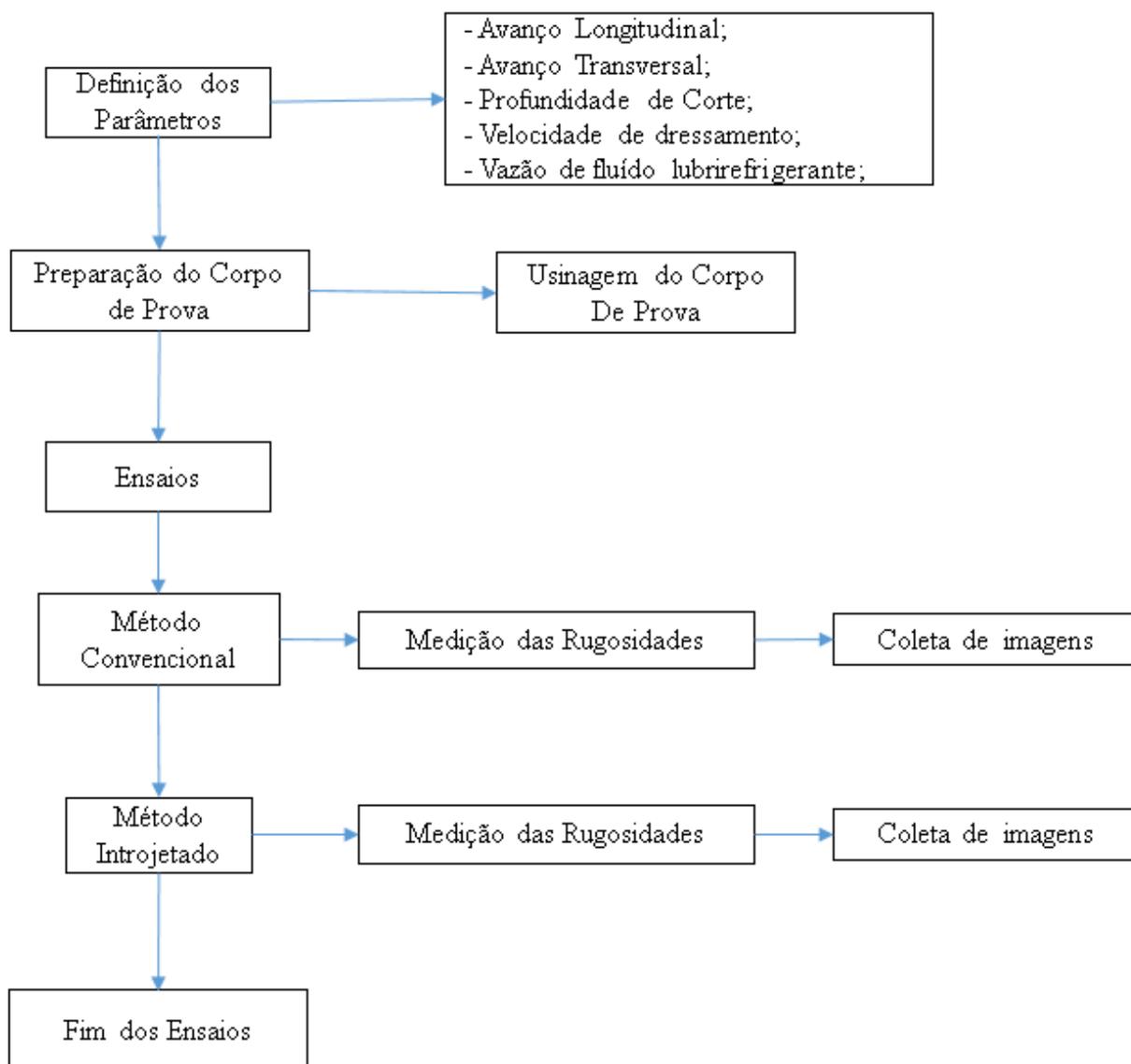


Fonte: Do Autor (2021)

3.2 Metodologia de aplicação dos ensaios

A execução dos testes seguiu uma metodologia estabelecida, que está representada no fluxograma expresso na figura 15 a seguir.

Figura 15: Fluxograma com as etapas da metodologia



Fonte: Do Autor (2021)

3.2.1 Definição dos parâmetros

Antes do início dos ensaios, foi efetuado a limpeza do equipamento, e a troca do fluido lubri-refrigerante, para assegurar a inexistência de fatores externos na execução dos mesmos.

Para realizar os ensaios, buscou-se utilizar parâmetros de corte agressivos, afim de se testar a eficiência do método Introjetado em comparação ao tradicional.

Então se estabeleceu para ambos os ensaios os seguintes parâmetros expressos na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros para usinagem.

Avanço Longitudinal	24 m/min
Avanço Transversal	4 mm
Profundidade de corte por passe	0,025 mm
Vazão de Fluido Lubri-refrigerante método Introjetado	1 l/min
Vazão de Fluido Lubri-refrigerante método Convencional	10 l/min

Fonte: Do Autor (2021)

3.2.2 Medição de vazão do fluido lubri-refrigerante

Como o sistema de lubri-refrigeração da retifica utilizada não possuía um medidor de vazão de fluido, foi utilizado um recipiente com medição de volume e utilizado um cronômetro para se saber quanto estava sendo bombeado por minuto.

O teste se repetiu por 3 vezes para se garantir a vazão desejada de 1 l/min para o método Introjetado, e 10 l/min para o método Convencional.

3.2.3 Ensaio executados

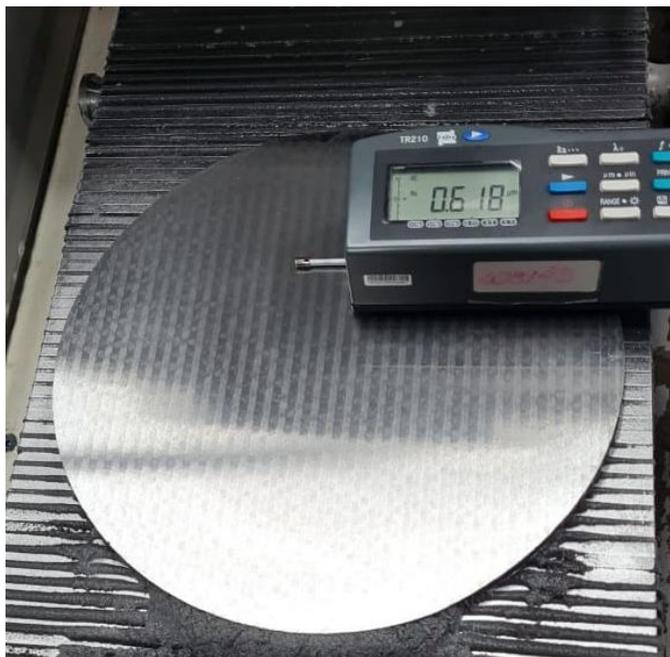
O método Convencional foi conduzido até a remoção de 20774 mm³ de material. Já o método Introjetado foi conduzido até os 42586 mm³.

Ao iniciar ambos os testes, foram realizadas as medições das rugosidades no primeiro passe de remoção de material, e após a cada 4 passes de profundidade era

mensurado novamente a rugosidade até o fim dos testes.

Para obter os valores de rugosidade, mediu-se em três pontos distintos do corpo de prova, como mostra a figura 16, para assim se obter os valores de rugosidade média (R_a).

Figura 16: Obtenção dos valores de rugosidade



Fonte: Do Autor (2021).

A cada medição de rugosidade registrou-se também imagens da superfície do Corpo de Prova para fazer a comparação visual entre os processos.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a finalização dos ensaios com a utilização de lubri-refrigeração Convencional e Introjetada, pode-se observar aspectos mensuráveis como: rugosidade média (Ra) e a taxa G para comparar os métodos aplicados. Também é possível analisar os aspectos visuais da peça, do rebolo, e os resíduos gerados.

4.1 Rugosidade

A Tabela 4 mostra os valores médios de rugosidade obtidos no decorrer dos testes em função do volume removido de material do corpo de prova.

Tabela 4: Valores médios de rugosidade média (Ra).

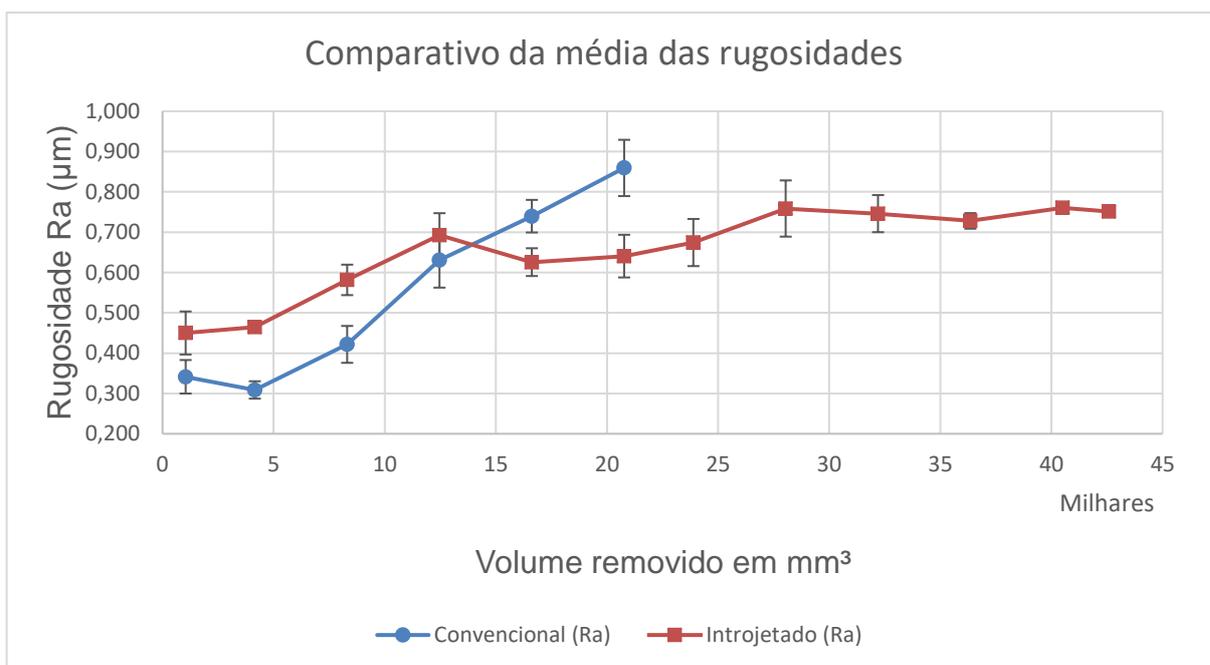
Volume removido (mm³)	Convencional (μm)	Introjetado (μm)
1039	0,341	0,450
4155	0,309	0,464
8310	0,422	0,582
12464	0,631	0,693
16619	0,740	0,626
20774	0,859	0,641
23890	-	0,674
28045	-	0,759
32199	-	0,746
36354	-	0,728
40509	-	0,760
42586	-	0,751

Fonte: Do Autor (2021).

Com os valores das rugosidades compilados, foi elaborado um gráfico de dispersão expresso na Figura 17, que demonstra o valor médio das rugosidades obtidas no método Convencional e no Introjetado. Também é possível observar o desvio padrão dos valores obtidos em cada medição.

Ao observar que a rugosidade no método Introjetado ainda estava com valor inferior comparado ao método Convencional, os ensaios no método Introjetado foram continuados. Assim removeu-se uma quantidade maior de material, até chegar ao volume final de 42586mm³.

Figura 17: Comparativo das médias das rugosidades (Ra) .



Fonte: Do Autor (2021).

No método Convencional pode-se observar que a rugosidade foi de 0,34 µm na primeira medição. Na segunda medição esse valor diminuiu. Isto pode ter ocorrido por conta de o rebolo perder sua agressividade inicial obtida após o dressamento, os grãos abrasivos perdem o gume de corte, e estes ficam arredondados, causando a baixa nas medições de rugosidade.

Já a partir da terceira medição a rugosidade começa a aumentar numa linha crescente e contínua em relação ao volume removido. MACHADO *et al.* (2011) descreve que essa situação ocorre devido ao riscamento (sulcamento) da peça retificada. Então, há a formação de rebarba na peça devido a perda de afiação dos grãos abrasivos que deformam a peça plasticamente.

Já no método Introjetado houve uma diferença inicial. A rugosidade obtida na primeira medição foi de 0,450 µm, superior ao método Convencional. Pode-se afirmar

que os grãos abrasivos foram mais agressivos no início do corte, a rugosidade média subiu numa linha crescente, e se igualou estatisticamente quando o volume removido chegou aos 12464 mm³.

4.2 Taxa G

Os resultados obtidos na medição de desgaste do rebolo podem ser demonstrados pela taxa G.

A tabela 5 mostra os valores dos volumes usinados e os respectivos desgastes do rebolo.

Tabela 5: Desgaste do rebolo

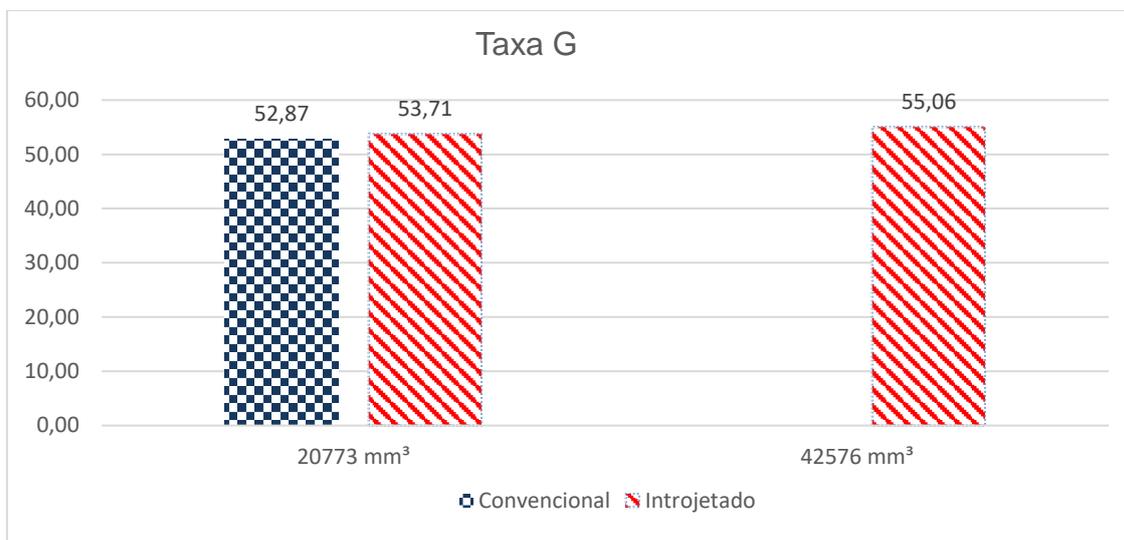
ENSAIO	CONVENCIONAL	INTROJETADO	INTROJETADO
VOLUME REMOVIDO	20773,78 mm ³	20773,78 mm ³	42586,25 mm ³
DIÂMETRO INICIAL	246,2 mm	242,36 mm	242,36 mm
DIÂMETRO FINAL	246,16 mm	242,32 mm	242,28 mm
DESGASTE DO REBOLO	392,88 mm ³	386,750	773,45 mm ³
TAXA G	52,87	53,71	55,06

Fonte: Do Autor (2021).

O método Introjetado foi dividido em duas partes, a primeira sendo até 20773,78 mm³ para igualar o volume removido do método Convencional, e a segunda parte até atingir o volume final de 42586,25 mm³. Foi feita a medição da taxa G para as duas etapas do teste.

No gráfico expresso na figura 18 podemos observar que o desgaste do rebolo foi maior no ensaio com aplicação convencional de fluido de corte, pois quanto maior a taxa G, menor o desgaste do rebolo.

Figura 18: Gráfico da Taxa G.



Fonte: Do Autor (2021).

A taxa G foi maior também na segunda etapa do teste com fluido introjetado.

Analisando os dados de taxa G pode se afirmar que o método de aplicação Introjetado é mais eficiente, e apresentou menor desgaste do rebolo.

4.3 Aspectos visuais

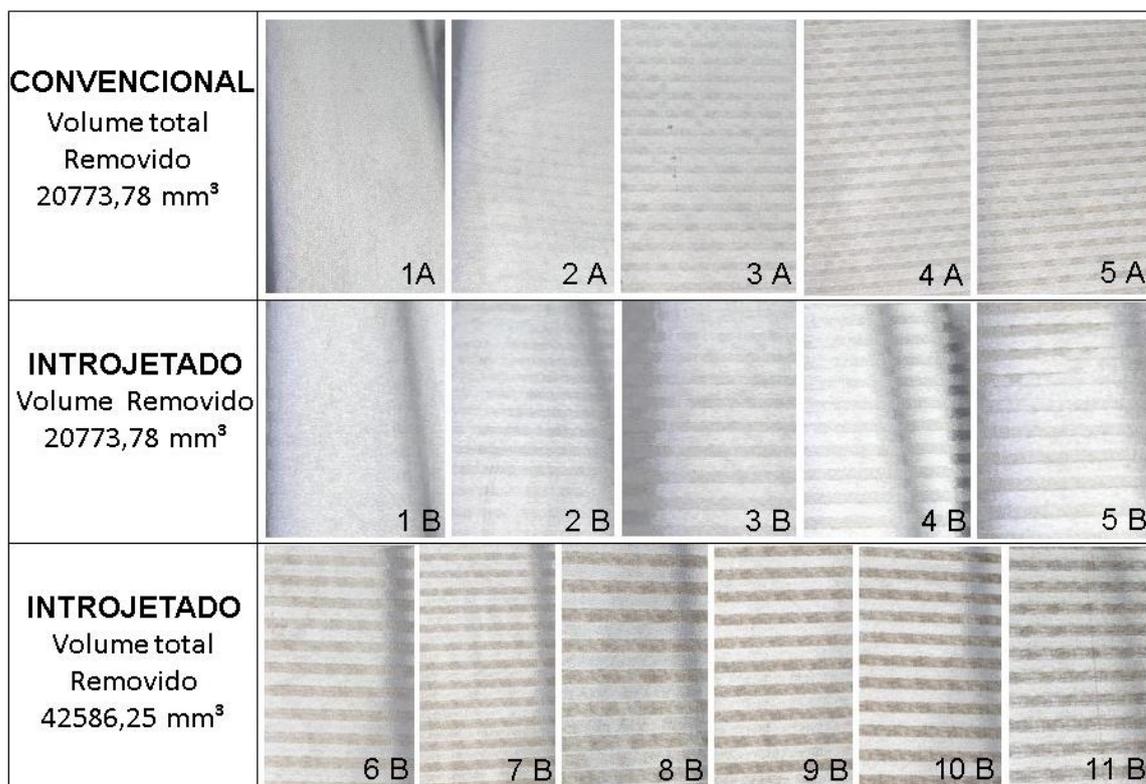
4.3.1 Corpo de prova

Além da medição da rugosidade da peça e da taxa G do rebolo, foi analisado os aspectos visuais dos corpos de prova.

A figura 19 mostra o resultado visual obtido durante os ensaios. O método Convencional está expresso pela letra A, e o método Introjetado está expresso pela letra B. As imagens foram colocadas lado a lado conforme a profundidade removida nos ensaios.

Como o método Convencional (A) removeu apenas 20773,78 mm³, ele está representado pelas figuras de 1 A até 5 A. O método Introjetado está representado da figura 1 B até 11 B.

Figura 19: Aspectos visuais do corpo de prova. ((A) Convencional, (B) Introjetado).



Fonte: Do Autor (2021)

Analisando as imagens na figura 19, pode-se observar que o método Introjetado (B), apresentou menos queima na superfície da peça do que o método Convencional (A). Ao comparar as marcas da retificação, o método Introjetado obteve desde o primeiro registro uma menor queima superficial. Isso pode ter ocorrido por conta de uma menor geração de calor.

Pode se notar que a queima da peça se dá de forma intercalada, isto ocorre, pois, o rebolo passa hora com movimento concordante, e hora discordante sobre a peça. Ao passar discordante os grãos abrasivos causam um maior atrito entre rebolo e peça, o que causa aumento de temperatura e conseqüentemente a queima.

Além disso, os parâmetros escolhidos para efetuar os testes em ambos os métodos favorecem a queima superficial do corpo de prova, pois foram escolhidos parâmetros agressivos afim de testar a eficiência do sistema Introjetado.

4.3.2 Rebolo

Para uma boa performance no processo de retificação, o fluido de corte tem a função de lubrificar e refrigerar a interface rebolo/peça. Também é dele o trabalho de retirar os cavacos resultantes juntamente com o material que se desprende do rebolo. Na figura 20 temos o comparativo da área de corte do rebolo após o final de cada ensaio.

Figura 20: Superfície de corte do rebolo ao final dos ensaios.



Fonte: Do Autor (2021).

No método Convencional é possível observar o rebolo com menos resíduos em sua face, devido à grande quantidade de fluido utilizado, auxiliando de forma mais significativa na limpeza do rebolo.

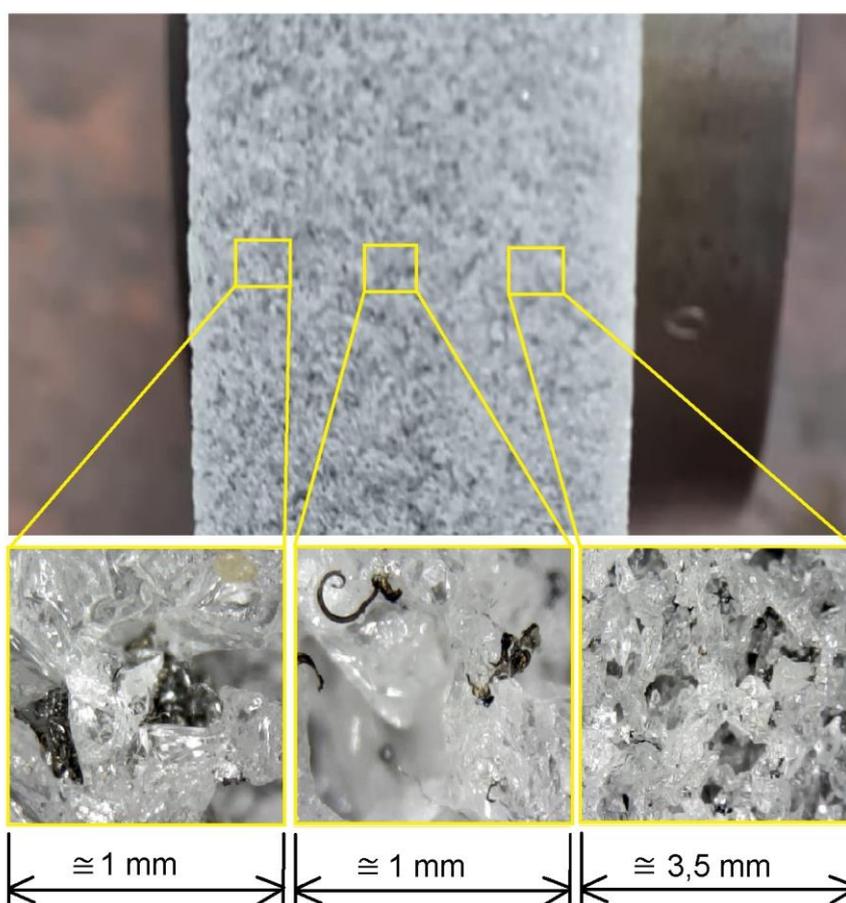
Já no método Introjetado, é possível observar uma coloração bem mais escura

do rebolo com uma pequena mancha branca, tal mancha é resultado de onde o fluido passou após sair da câmara de distribuição.

Mesmo tendo grande parte de sua face contaminada, a parte que recebeu fluido ficou mais limpa que a face do rebolo ao final do método Convencional, mostrando que se conseguirmos fazer o fluido se distribuir ainda mais pelas cavidades porosas do rebolo, aumentando a vazão do fluido, ou aumentando os orifícios de saída de fluido da câmara de distribuição, os resultados obtidos podem ser ainda mais satisfatórios.

Ao aproximar a imagem da face do rebolo ao final de cada método, consegue-se analisar melhor sua estrutura após a utilização. Nas figuras 21 e 22 é possível visualizar os cavaco emplastados e as áreas onde o fluido conseguiu êxito em sua função de limpeza.

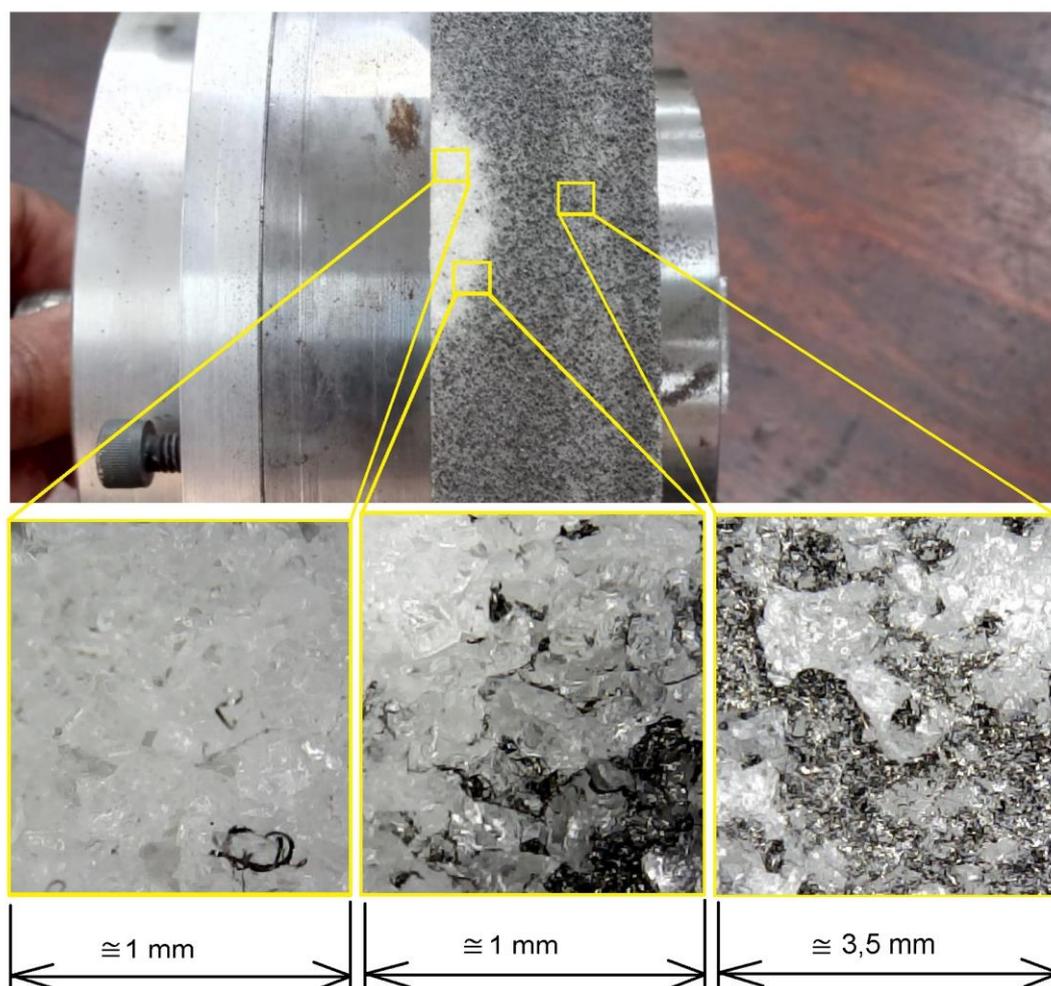
Figura 21: Face do rebolo após término do método Convencional.



Fonte: Do Autor (2021).

Na figura 22 temos a visão mais aproximada da estrutura do rebolo do método Introjetado. Pode-se observar nesta imagem que a porosidade do rebolo é capaz de ser utilizada como caminho para distribuição de fluido.

Figura 22: Face do rebolo após término do método Introjetado.



Fonte: Do Autor (2021).

Nota-se que para a vazão de 1 l/min, há uma região mais escura na face do rebolo que apresentou um acúmulo de resíduos conseguiu retirar apenas uma pequena porção de cavaco preso ao rebolo, o que causou a queima superficial da peça. Assim os poros do rebolo que são utilizados para o alojamento dos cavacos no momento do corte estavam entupidos, possivelmente aumentando o atrito e a

temperatura.

O excesso de cavacos emplastados na face do rebolo no método Introjetado, pode ter contribuído para a estabilidade da curva de rugosidade, não apresentando uma curva crescente comparado ao método Convencional, já que neste momento o rebolo não estava agressivo.

Alguns resíduos encontrados nas porosidades do rebolo também podem ter se inseridos no rebolo através do fluido do próprio reservatório, pois mesmo com o sistema de chicane, os cavacos do processo de retificação são pequenos o suficiente para flutuar pelo reservatório e serem carregados pela bomba que injeta fluido para o rebolo. A implementação de um outro sistema de filtragem do fluido que retorna ao reservatório ajudaria resolver este problema.

4.3.3 Resíduos

Os resíduos provenientes da usinagem por abrasão são formados por um aglomerado de cavacos com grãos abrasivos e material aglomerante. Deste material, parte fica na carenagem da máquina para ser removido após o uso do equipamento, e parte volta junto com o fluido para o reservatório.

O fluido de corte no sistema de retificação tem a função de transporte, ou remoção do cavaco para fora da área de contato rebolo/peça. A figura 23 mostra como ficou a zona de trabalho da máquina após os testes com o método Convencional e Introjetado.

Figura 23: Resíduos na área de trabalho da máquina.



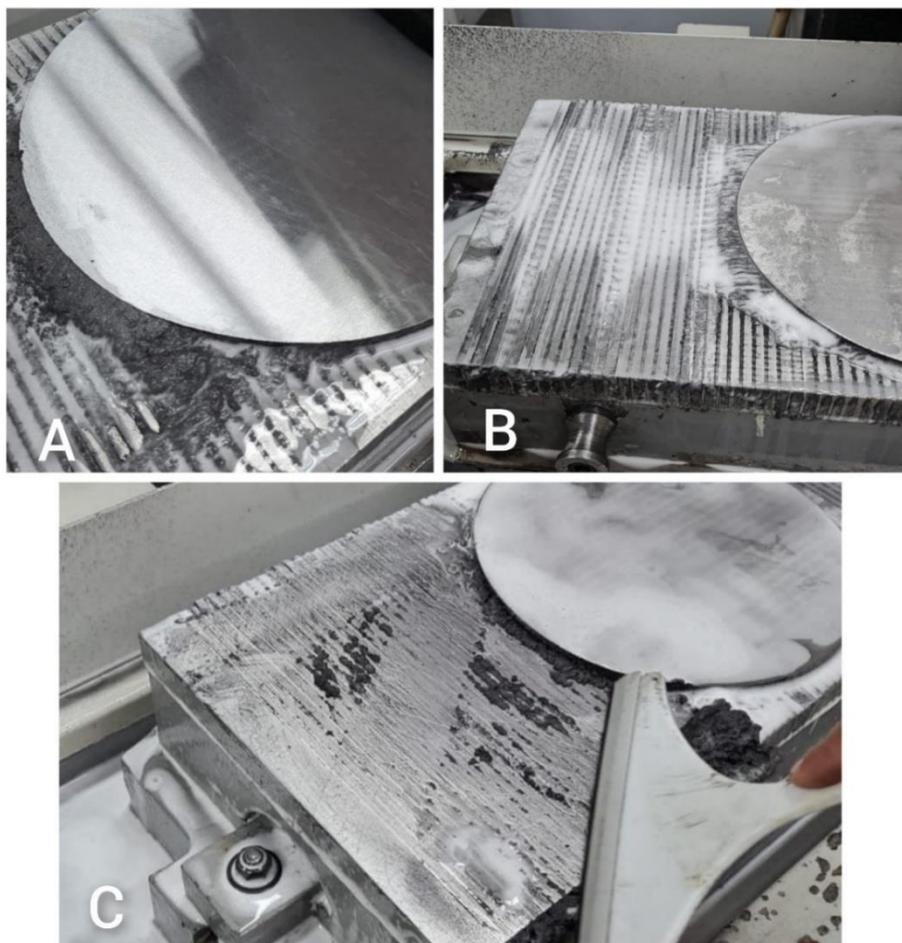
Fonte: Do Autor (2021).

O método Convencional, apresentou uma menor presença de cavaco na bandeja da retificadora, pois os 10 l/min utilizados ajudaram a retirar os resíduos presentes próximo a peça, espalhando os mesmos pelas canaletas de drenagem do fluido e escoando até o reservatório de fluido.

O fluido de corte direcionado de forma tangencial ao rebolo em rotação, fez com que houvesse muito fluido desperdiçado por respingos que iam para fora da carenagem da máquina. Já o método Introjetado não apresentou este desperdício de

fluido, porém, a cada 2 medições de rugosidade era necessário a limpeza manual dos resíduos ao redor do CP, conforme item C da figura 24.

Figura 24: Cavaco próximo ao Corpo de Prova com uso do método Introjetado.



Fonte: Do Autor (2021).

No item A e B da figura 24, pode-se perceber claramente os resíduos junto ao Corpo de Prova, com uso da baixa vazão de fluido que é expelido pelo movimento centrífugo do rebolo, o fluido não tem essa capacidade de limpeza da peça, ele se torna somente eficaz para lubrificar e refrigerar a região de corte do rebolo.

No quesito produtividade, o método introjetado fica em desvantagem, pois exige limpeza manual do Corpo de Prova no caso de grandes porções de material removido. Porém, como o processo de retificação geralmente é usado para dar acabamento, esse fator não se torna significativo, uma vez que pouco material é removido.

5 CONCLUSÃO

A avaliação da rugosidade apresentou valores favoráveis ao método Introjetado, pois com o volume removido quase duas vezes maior, o método Introjetado ainda apresentou valores menores de rugosidade comparado ao método Convencional de aplicação de fluido de corte.

A taxa G também obteve valores maiores no método Introjetado, com o mesmo volume removido. A Taxa G no método Convencional ficou em 52,87, e no método Introjetado 53,71. Ao remover 42586 mm³ no método Introjetado, a Taxa G subiu para 55,06, o que demonstra menos desgaste do rebolo se comparado ao método Convencional.

Analisando os aspectos visuais dos corpos de prova utilizados, o método Introjetado apresentou na primeira comparação de volume removido menor queima superficial.

A limpeza do rebolo utilizado foi mais eficiente com o uso abundante do fluido no método Convencional. Já no método Introjetado, observou-se que a limpeza efetiva se deu somente na região onde o fluido era expelido pelo dispositivo, o que mostra que o rebolo é capaz de conduzir fluido de corte pelos seus poros.

Outra consequência da baixa vazão de fluido é a limpeza do cavaco na região de corte, no método Introjetado foi preciso limpar manualmente o cavaco acumulado em torno da peça usinada, para que o próprio rebolo não espalhasse os resíduos, trazendo-o novamente para região de corte.

Com a maior vazão de fluido no método convencional, as carenagens da máquina também apresentaram menor presença de resíduos, pois o fluido auxilia na remoção e transporte do mesmo para as canaletas de drenagem e ao reservatório consequentemente.

O uso de 1 l/min utilizado no método Introjetado foi satisfatório. Assim é possível afirmar que pode se obter com este método a redução do custo do processo e um menor impacto no meio ambiente. A névoa gerada pelo dispositivo em torno da máquina também foi menor, favorecendo a qualidade do trabalho humano, e os possíveis danos à saúde do operador.

Sugere-se para trabalhos futuros:

- A modificação do dispositivo para saídas helicoides do fluido de corte, almejando uma distribuição maior do fluido de corte no rebolo.
- A modificação do sistema de filtragem do fluido de corte no reservatório, pois notou-se um possível retorno de cavaco ao rebolo que vem do reservatório após a retificação.
- Análise da microestrutura dos materiais retificados por cada método.
- Testagem com quantidade diferente de fluido de corte.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10082**: Ensaio não destrutivo - Análise de vibrações- Avaliação da vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 rpm a 15000 rpm. 2 ed. São Paulo: ABNT, 2011. 15 p.

ABNT. **NBR 15230**: Ferramentas abrasivas - Uso, manuseio, segurança, classificação e padronização. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 90 p.

ALEIXO, Marcelo. **DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE APLICAÇÃO OTIMIZADA DE FLUIDO DE CORTE NA RETIFICAÇÃO PLANA**. 2018. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, SC, 2018.

BELENTANI, Rafael de Mello et al. **Utilização da quantidade mínima de lubrificação (MQL) com água na retificação de aço CBN**. , São Carlos, v. 17, n. 1, fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000165>. Acesso em: 15 mar. 2020.

BIANCHI, Eduardo Carlos et al. **APLICAÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE NOS PROCESSOS DE RETIFICAÇÃO**. São Paulo: Artliber, 2004. 110 p.

CASTILHO, Marcio Abreu. **DESENHO TÉCNICO MECÂNICOS**. São Paulo: Sem, 2017. 40 slides, color.

DINIZ, Anselmo Eduardo et al. **TECNOLOGIA DA USINAGEM DOS MATERIAS**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 270 p.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **TEORIA DA USINAGEM DOS MATERIAIS**. São Paulo: Blucher, 2009. 371 p.

MALKIN, Stephen et al. **GRINDING TECHNOLOGY: Theory and Applications of Maching with Abrasives**. 1. Ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989.

MALKIN, Stephen; GUO, Changsheng. **GRINDING TECHNOLOGY: theory and applications of machining with abrasives**. 2. ed. New York: Industrial Press, 2008. 387 p.

MARINESCU, Ioan D.; ROWE, W. Brian; DIMITROV, Boris; INASAKI, Ichiro. **TRIBOLOGY OF ABRASIVE MACHINING PROCESSES**. Nova York: William Andrew Inc., 2004. 763 p. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42888900/Tribology_of_Abrasive_Machining_processe. Acesso em: 13 maio 2020.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2007. 246 p.

SHAW, Milton Clayton. **Principles of Abrasive Processing**. 13. ed. Tempe, Arizona: Clarendon Press, 1996. 574 p.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Processos de Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida**. São Paulo: Usp, 2014. 55 slides, color. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS3.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2020.