



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TAMMY LOPES DE SOUZA CARVALHO

**INFLUÊNCIAS DOS PARÂMETROS DE RETIFICAÇÃO DO AÇO SAE 1045
NA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE**

Recife

2019

TAMMY LOPES DE SOUZA CARVALHO

**INFLUÊNCIAS DOS PARÂMETROS DE RETIFICAÇÃO DO AÇO SAE 1045
NA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de graduação de Engenharia
Mecânica como requisito para obtenção do
grau em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profº. Maxime Montoya.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- C331i Carvalho, Tammy Lopes de Souza.
Influências dos parâmetros de retificação do aço SAE 1045 na rugosidade da superfície / Tammy Lopes de Souza Carvalho. - 2019.
45 folhas, il.
- Orientador: Prof. Maxime Montoya.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.
Inclui referências.
1. Engenharia Mecânica. 2. Acabamento superficial. 3. Retificação.
4. Rugosidade. 5. Aço SAE 1045. 6. Espessura de corte. 7. Taxa de remoção do material.
I. Montoya, Maxime (Orientador). II. Título.

621 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2020-6

TAMMY LOPES DE SOUZA CARVALHO

**INFLUÊNCIAS DOS PARÂMETROS DE RETIFICAÇÃO NA RUGOSIDADE
DA SUPERFÍCIE DO AÇO SAE 1045**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de graduação de Engenharia
Mecânica como requisito para obtenção do
grau em Engenharia Mecânica.

Aprovada em : 17/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Maxime Montoya (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Flávio José da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Francisco Expedito de Lima (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho primeiramente à Deus por me guiar nesse novo caminho profissional, me fornecendo forças pra ir em busca dos meus objetivos. Agradeço aos meus pais, irmão e esposo por sempre me apoiarem nas decisões mais difíceis e sempre estarem presentes. Agradeço também a todos os professores que me ajudaram quando eu precisei e só reafirmaram que eu estava seguindo o caminho que sempre desejei.

RESUMO

A retificação é um dos últimos processos pelo qual peças usinadas são procedidos, pois este é o principal responsável por garantir o acabamento superficial e a precisão dimensional do produto final. Diante disso, nessa etapa, há um grande valor agregado à peça e qualquer erro acarretará prejuízo financeiro. Portanto, a fim de se evitar retrabalho, é imprescindível o conhecimento das influências dos parâmetros configuráveis adotados no processo de retificação, uma vez que a combinação dessas variáveis ocasionará influências na rugosidade final obtida. No presente trabalho, foram analisadas as influências dos parâmetros de entrada na retífica Mello P-25 sob a rugosidade de pequenas peças. Os experimentos foram realizados em corpos de prova de aço SAE 1045, os quais foram retificados e posteriormente foram mensurados os parâmetros de rugosidade média (R_a). Um estudo fatorial simplificado foi o responsável por combinar os seguintes parâmetros presentes na retífica: velocidade longitudinal da mesa, velocidade transversal do carro e avanço vertical do cabeçote porta-ferramenta. O rugosímetro utilizado para a obtenção da rugosidade média foi o microscópio confocal Carl Zeiss LSM 700. Todos os corpos de prova apresentaram rugosidade média inferior à $0,4\mu\text{m}$, mas não houve diferença significativa entre os valores de rugosidade média obtidos. Dentre os parâmetros avaliados, pode-se notar uma maior influência nos experimentos em que a variável foi a velocidade transversal do carro. Quanto à velocidade longitudinal da mesa, notou-se um discreto aumento da rugosidade média ao longo do aumento dessa velocidade, porém estatisticamente não há diferença significativa. Em relação ao avanço vertical do porta ferramenta, para maiores valores desse parâmetro maior foi a rugosidade média. Também foram utilizadas as expressões de espessura de corte e de taxa de remoção do material para verificar se há alguma tendência de crescimento da rugosidade média. Houve uma tendência do aumentos da rugosidade média para maiores valores de taxa de remoção de material, enquanto não houve essa mesma tendência para maiores valores de espessura de corte.

Palavras-chave: Acabamento superficial. Retificação. Rugosidade. Aço SAE 1045. Espessura de corte. Taxa de remoção do material.

ABSTRACT

Grinding is one of the last process that workpieces usually are submitted, because this process is the major responsible for ensuring the final surface and the dimensional accuracy of the product. So, at this stage there is already a great value added to the piece and any error in this phase will cause financial loss. In order to avoid rework, the knowledge of the influences of the configurable parameters adopted in the rectification process is extremely required. The combination of these variables will influence the surface roughness. In this present work, the influence of these input parameters on the Mello P-25 grinding machine will be analyzed through the surface roughness of small workpieces. The experiments were performed on SAE 1045 steel specimens, which were rectified and subsequently the average roughness (Ra) parameters were measured. A simplified factorial study was responsible for combining the following parameters present in the grinding machine: table longitudinal speed, carriage transverse speed and vertical advance of the wheel. The rugosimeter used to obtain the average roughness was the Carl Zeiss LSM 700 confocal microscope. All experiments presented average roughness lower than $0.4\mu\text{m}$, but there was no significant difference between the average roughness values obtained. Among the evaluated parameters, the greater influence was observed in the experiments which the variable was only the transverse speed of the car. Regarding the longitudinal velocity of the table, there was a discreet increase of the average roughness along the increase of this velocity, but statistically there was no significant difference. And in the vertical advancement of the wheel, higher values of this parameter also increased the average roughness. The expressions of cutting thickness and material removal rate were also used to verify if there is any tendency of growth of the average roughness. There was a tendency to increase the average roughness to higher values of removal material rate, while not the same tendency was observed for higher values of cutting thickness.

Keywords: Superficial roughness. Grinding. Roughness. SAE 1045 steel. Cutting thickness. Removal material rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama dos elementos que influenciam no perfil da superfície	15
Figura 2- Perfil Real	15
Figura 3- Perfil Efetivo	16
Figura 4- Perfil de Rugosidade	16
Figura 5- Linha Média	16
Figura 6- Representação gráfica do parâmetro de rugosidade Ra	17
Figura 7- Representação da medida de rugosidade Ry	18
Figura 8- Largura dos elementos de perfil	18
Figura 9- Representação das inclinações locais	19
Figura 10- Comprimentos para avaliação de rugosidade	20
Figura 11- Elementos presentes em uma retificação plana	21
Figura 12- Fases de formação do cavaco	22
Figura 13- Retífica plana tangencial P25	25
Figura 14- Microscópio Confocal LSM 700 Zeiss	27
Figura 15- Fluxograma das etapas de trabalho	28
Figura 16- Dressagem do rebolo	29
Figura 17- Vista superior retífica	30
Figura 18- Painel de regulação da velocidade transversal do carro	31
Figura 19- Perfis de rugosidade com lentes objetivas de 20, 50 e 100x	33
Figura 20- Perfis de rugosidade com lentes objetivas de 20 e 100x	33
Figura 21- Rugosidade versus a velocidade transversal da mesa.....	36
Figura 22- Rugosidade versus o avanço vertical do cabeçote porta ferramenta	37
Figura 23- Rugosidade versus a velocidade longitudinal da mesa.....	37

Figura 24- Rugosidade versus a espessura de corte equivalente	39
Figura 25- Rugosidade versus a taxa de remoção do material da peça	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS GERAIS	13
2.1	Objetivos Específicos.....	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	Rugosidade	14
3.2	Rugosímetros	19
3.3	Retificação	21
4	MATERIAIS	25
4.1	Retífica Plana	25
4.2	Corpo de Prova	26
4.3	Microscópio Confocal	26
5	MÉTODOS.....	28
5.1	Fabricação dos corpos de prova	28
5.2	Dressagem do rebolo	29
5.3	Ajustes dos parâmetros dos ensaios	29
5.3.1	Regulação da velocidade longitudinal da mesa.....	30
5.3.2	Regulação da velocidade transversal do carro.....	30
5.3.3	Regulação do avanço vertical do cabeçote porta ferramenta	31
5.4	Realização dos ensaios.....	31
5.5	Conservação dos corpos de prova	32
5.6	Ajuste Confocal	32
5.7	Seleção da Magnificação	34

5.8	Medição da rugosidade	34
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6.1	Efeito dos parâmetros da retífica sobre a rugosidade.....	35
6.2	Modelização da rugosidade.....	38
7	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O cenário dos processos de fabricação por usinagem busca a união de duas questões cruciais ao sucesso do negócio: a obtenção da máxima produtividade associada ao mínimo custo em operações (ALVES; BIANCHI; AGUIAR, 2008). Esse objetivo pode ser contemplado através da confecção de produtos finais com as especificações pré-determinadas no projeto inicial, sem fazer uso do retrabalho, ou de demais operações de acabamento. Para a obtenção de produtos finais, com dimensões e acabamentos desejados, é imprescindível entender o funcionamento dos processos, das máquinas e dos acessórios utilizados.

A retificação é considerada um processo de usinagem de precisão e visa a garantia de altos níveis de qualidade geométrica, dimensional e superficial da peça, mantendo assim a integridade física do material (ALVES; BIANCHI; AGUIAR, 2008).

A qualidade de uma peça quanto à rugosidade superficial e a precisão dimensional é importante variável do desempenho da usinagem (COLACO; MEDEIROS, 2014). Define-se rugosidade como um erro micro geométrico presente na superfície da peça, detectada através do uso de equipamentos denominados rugosímetros (COSTA, 2019). Sua presença influencia diretamente alguns comportamentos nas peças mecânicas, tais como: capacidade de deslizamento, resistência ao desgaste e escoamento de fluidos (COLACO; MEDEIROS, 2014). O sistema de medição mais aderido no Brasil é o sistema da linha média, ou também chamado de sistema M cujo parâmetro amplamente difundido é o de rugosidade média (R_a). Além disso, existem outros parâmetros de rugosidade que se baseiam nesse conceito de linha média, como por exemplo: Rugosidade de profundidade média (R_z), Rugosidade Total (R_t), Rugosidade máxima (R_y). Sendo assim, é imprescindível selecionar o parâmetro ideal para cada tipo de superfície a ser analisada.

O Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM), presente na Universidade Federal de Pernambuco, é um centro de pesquisa que tem como objetivo prover soluções tecnológicas para as atividades de projeto, construção, operação e manutenção das mais diversas áreas de engenharia (UFPE, 2019). O prédio é composto por vários laboratórios, equipados com máquinas de última geração.

Entre os equipamentos presentes no INTM, encontra-se a retificadora plana tangencial (P25 do fabricante Mello). Um estudo que contemple a variação dos

parâmetros de entrada é o ideal para se entender a influência da combinação das variáveis na qualidade das peças geradas.

O presente trabalho destina-se a analisar a alteração dos parâmetros de entrada da retífica, assim como averiguar os valores de rugosidade obtidos. Dessa forma, será possível um melhor entendimento dos parâmetros operacionais adequados para garantir a rugosidade especificada da peça.

2 OBJETIVOS GERAIS

Analisar a influência dos parâmetros: velocidade longitudinal da mesa, velocidade transversal do carro e avanço vertical do porta cabeçote na rugosidade da superfície do aço SAE1045.

2.1 Objetivos Específicos

- Definir as dimensões do corpo de prova;
- Identificar os parâmetros operacionais da retífica plana;
- Definir o rugosímetro utilizado para mensurar a rugosidade;
- Analisar e escolher o parâmetro de rugosidade mais adequado às superfícies geradas por retificação plana;
- Identificar as relações entre as variações dos parâmetros operacionais com os diferentes valores de rugosidade obtidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão apresentados nessa seção temas necessários para embasamento e compreensão do trabalho realizado. A fim de facilitar a leitura, o referencial teórico foi dividido em 3 partes: rugosidade, rugosímetros e retificação.

3.1 Rugosidade

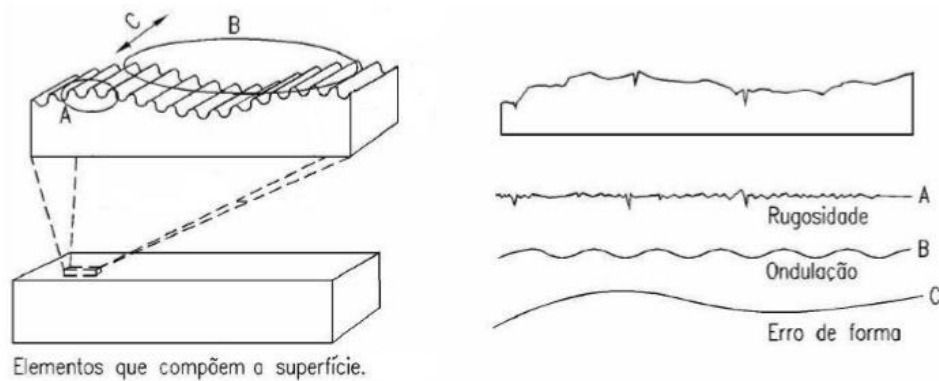
Rugosidade é um erro micro geométrico presente nas superfícies das peças, sendo detectada através do uso de equipamentos denominados rugosímetros (COSTA, 2019). A mesma está presente em todas as superfícies e são provenientes dos variados parâmetros utilizados nos processos de fabricação. O estudo do acabamento superficial é fundamental, pois além de garantir um bom aspecto visual, também permitirá uma diminuição do atrito entre superfícies em contato, como em peças acopladas.

As superfícies geradas nos processos de fabricação não são superfícies perfeitas quanto a dimensões e a geometria, pois existem desvios que só podem ser observados quando estas são ampliadas em relação ao seu tamanho original (OLIVEIRA, 2004). Oliveira (2004) ainda afirma que quando analisadas com os recursos apropriados, as superfícies apresentam irregularidades, compostas pelos desvios macrogeométricos e microgeométricos.

Os erros macrogeométricos, representados pelos erros de forma ou ondulações, são geralmente causados pelos defeitos em guias de máquinas ferramentas, fixação ineficiente da peça ou ferramenta, deformações por temperatura e vibrações. Esse tipo de erro pode ser facilmente medido através de instrumentos de medição convencionais, como micrômetros e relógios comparadores (MARCHIORI, 2013). E erros microgeométricos são aqueles provenientes da forma da ferramenta de corte, do avanço transversal, da profundidade de corte, entre outros. Estes erros podem ser mensurados através dos rugosímetros.

Todos esses desvios geométricos se encontram sobrepostos na superfície da peça, como mostrado na figura 1. Portanto, para efetuar a medição da rugosidade, é fundamental separar todas essas camadas. Essa separação é realizada através de um filtro, o qual separa o perfil de rugosidade dos demais desvios de forma (NETO, 2017).

Figura 1- Diagrama dos elementos que influenciam no perfil da superfície.



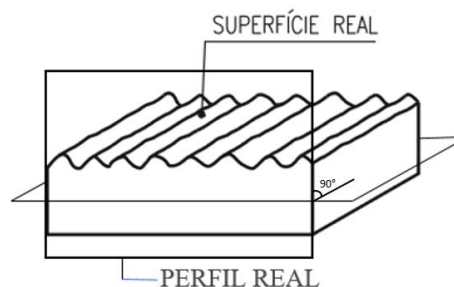
Fonte: Rosa (2011).

As rugosidades apresentam altas frequências e baixas amplitudes de onda quando comparados com os demais desvios. Portanto, devem ser aplicados filtros que permitam separar, ou atenuar, sinais com frequências inferiores, recebendo assim o nome característico de filtros passa-alta (NETO, 2017).

A superfície das peças retificadas apresentam perfis compostos por picos e por vales. Os perfis a serem analisados serão resultantes da intersecção da superfície da peça com um plano perpendicular imaginário. Existem os seguintes tipos de perfil (FILHO, 2011):

- Perfil Real: o plano perpendicular cortará a superfície resultante do processo de usinagem e originará uma linha irregular (Figura 2).

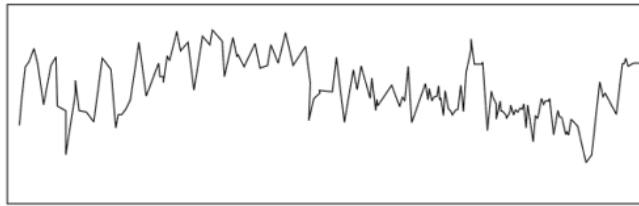
Figura 2 – Perfil Real.



Fonte: Adaptado de Módulo de Metrologia Mecânica – Telecurso (2000).

- Perfil Efetivo: imagem aproximada do perfil real, obtido por um meio de avaliação ou medição, sem qualquer tipo de filtragem (Figura 3).

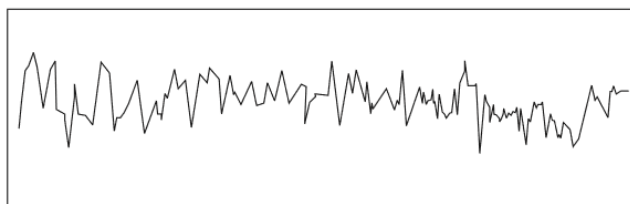
Figura 3 – Perfil Efetivo.



Fonte: Módulo de Metrologia Mecânica – Telecurso (2000).

- Perfil de Rugosidade: obtido a partir do perfil efetivo, após o uso de algum método de filtragem (Figura 4).

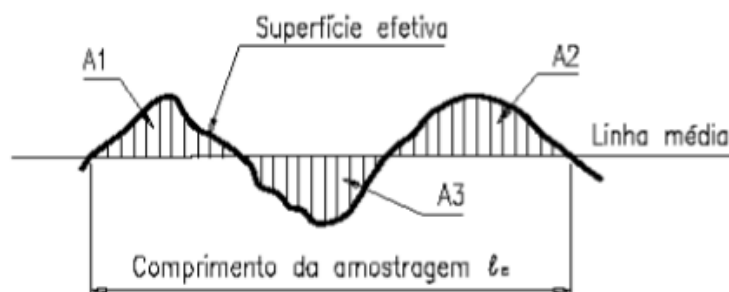
Figura 4 – Perfil de Rugosidade.



Fonte: Módulo de Metrologia Mecânica – Telecurso (2000).

O cálculo dos parâmetros de rugosidade pode ser realizado a partir de dois sistemas de avaliação: o sistema da linha média (LM) e o sistema da envolvente (E). Segundo Neto (2017), Filho (2011) e Macedo (2012) o sistema mais difundido no Brasil é o da linha média. De acordo com a NBR ISO 4287 (2002), a linha média é a linha paralela à direção geral do perfil (Figura 5), no comprimento da amostragem, de tal forma que a soma das áreas superiores, compreendidas entre ela e o perfil efetivo, seja igual à soma das áreas inferiores no comprimento da amostragem (MACEDO, 2012).

Figura 5 - Linha média.



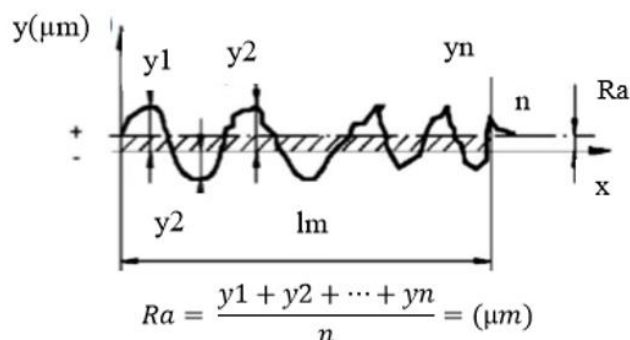
Fonte: Agostinho, Rodrigues e Lirani (1977).

Partindo do princípio da linha média, pode-se caracterizar três grupos de parâmetros geométricos que quantificam os diversos formatos assumidos pelo perfil de rugosidade (BARROS, 2018):

1. Parâmetros de amplitude: determinados por alturas dos picos, profundidades dos vales ou ambos.
2. Parâmetros de espaçamento: determinados pelo espaçamento do desvio do perfil ao longo da superfície.
3. Parâmetros híbridos: determinados pela combinação dos parâmetros de amplitude e espaçamento.

Dentre os parâmetros de amplitude existentes, o mais utilizado é da rugosidade média (R_a), definido pela média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos $y(x)$ dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (Figura 6).

Figura 6 – Representação gráfica do parâmetro de rugosidade R_a .



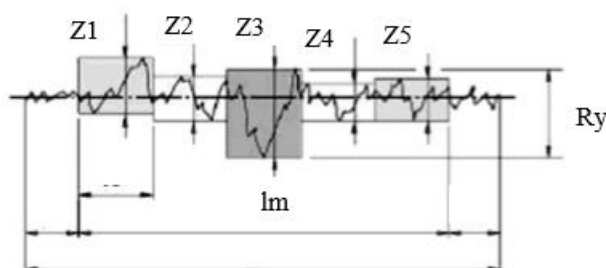
Fonte: ABNT NBR ISO 4287 (2002).

Esse parâmetro pode ser aplicado na maioria dos processos de fabricação, contudo, na presença de picos ou vales atípicos, necessita-se de parâmetros complementares para concluir a análise.

Outro parâmetro utilizado é a rugosidade máxima (R_y), definida como sendo o maior valor das rugosidades parciais (Z_i) que se apresenta no comprimento da medição (L_m). A rugosidade parcial Z_i é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos existentes dentro de um comprimento de amostragem (L_e). Graficamente, este valor representa a altura entre os pontos máximo e

mínimo do perfil (Figura 7). Este parâmetro é utilizado para auxiliar a análise do perfil quando os resultados obtidos de R_a são valores muito discrepantes.

Figura 7 - Representação da medida de rugosidade R_y .



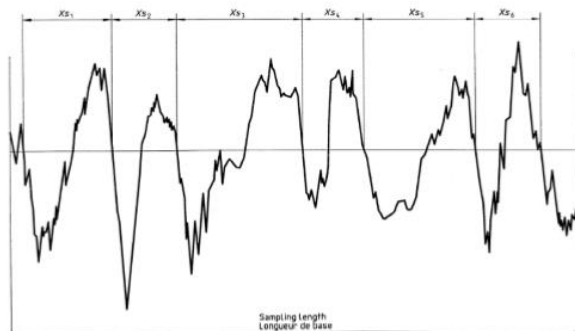
Fonte: Filho, P. A. (2011).

Também há a rugosidade média (R_z), que é a média aritmética dos 5 valores da rugosidade parcial. Ou ainda, o desvio médio quadrático (R_q), bastante usada nos Estados Unidos da América.

Quando o conhecimento da forma das irregularidades é importante, os parâmetros de amplitude não podem ser analisados de uma forma isolada. Logo, pode-se utilizar os parâmetros de espaçamento ou os híbridos para complementação da análise da rugosidade.

Como parâmetro de espaçamento tem-se a largura média dos elementos de perfil (Figura 8), representado pela sigla R_{sm} . A sigla X_s é o valor médio da largura dos elementos do perfil compreendidos no comprimento amostral (GUEDES, 2014). Esse parâmetro informa o espaçamento médio entre os picos presentes, e completa a caracterização da densidade de picos de um determinado perfil (PÁDOA, 2018).

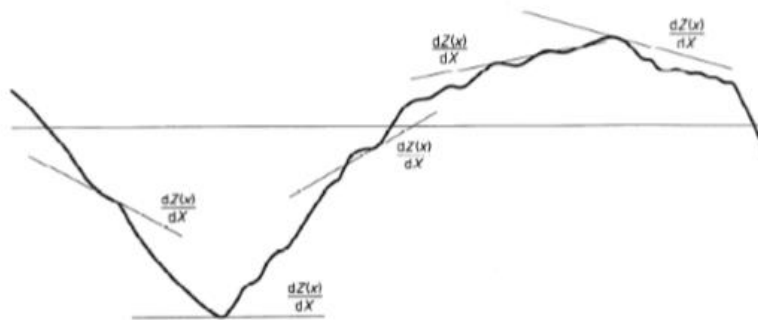
Figura 8 – Largura dos elementos de perfil.



Fonte: ABNT NBR ISO 4287 (2002).

Já como parâmetro híbrido, tem-se o declive quadrático médio do perfil ($R\Delta q$) que se refere ao valor quadrático médio dos declives locais (Figura 9), compreendidos no comprimento amostral (GUEDES, 2014).

Figura 9 – Representação das inclinações locais.



Fonte: ABNT NBR ISO 4287 (2002).

3.2 Rugosímetros

O rugosímetro é o aparelho utilizado para a medição da rugosidade, é responsável por analisar a qualidade do estado superficial da peça, assim como assegurar a precisão dimensional.

Os rugosímetros podem ser classificados como com ou sem contato do apalpador. Segundo o trabalho de Secco, Vieira e Gordo (2000), essa definição dependerá do tipo de sensor de medição, os quais podem ser: apalpadores (eletromecânicos), feixe de luz (óticos) ou de elétrons (laser).

Os rugosímetros eletromecânicos são os mais utilizados, caracterizando a medição por contato. A preferência pela medição com contato é dada principalmente pelo menor custo e pela sua portabilidade. O apalpador com ponta de diamante faz a varredura da superfície inteira ou de apenas um perfil acima da superfície (CHAND et al, 2011). Já os rugosímetros sem contato são ideais para casos em que a aferição da rugosidade deve ser realizada durante a fabricação do produto. Seu funcionamento baseia-se no uso de feixes ópticos, os quais essencialmente analisam o sinal refletido pela superfície testada.

O rugosímetro deverá percorrer uma trajetória descrita em função de um comprimento, definido como comprimento de amostragem (L_e) ou cutoff. Os filtros permitem que apenas um valor pré-determinado de frequência seja analisado (NETO, 2017), sendo essa frequência denominada de cutoff. Ainda segundo Neto (2017), seus valores podem ser definidos em função do parâmetro de rugosidade R_a , como pode ser observado na tabela 1.

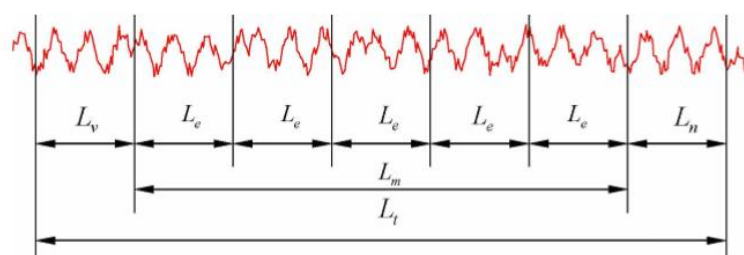
Tabela 1 - Comprimentos de amostragem em função do valor de R_a .

R_a (μm)	Comprimento de amostragem da rugosidade – L_e (mm)	Comprimento de avaliação da rugosidade – L_m (mm)
$(0,006) < R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	4
$2 < R_a \leq 10$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

Fonte: ABNT NBR ISO 4288 (1996).

Na Figura 5 podemos observar que a distância percorrida pelo aparelho deve ser igual a 7 vezes o comprimento de L_e (NETO, 2017). Os percursos inicial (L_v) e final (L_n) serão descartados da avaliação, por possuírem finalidade de amortecimento das oscilações da medição. O percurso de medição propriamente dito é representado por L_m , referente a 5 vezes o comprimento L_e . Caso seja realizado um percurso composto por um número de vezes inferior a 5, o parâmetro de rugosidade receberá um índice igual a este número, por exemplo: Ra_1 , Rz_3 , Rp_2 .

Figura 10 - Comprimentos para avaliação de rugosidade.



Fonte: Novaski (1994).

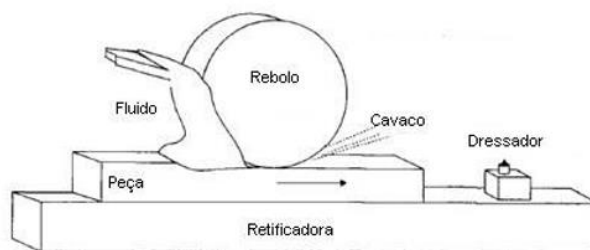
3.3 Retificação

A retificação é um processo de acabamento muito utilizado na fabricação de variadas peças industriais. Visa melhorar o acabamento superficial e garantir a integridade das peças. É, portanto, um processo de alta precisão e importância econômica, haja vista que a perda de uma peça nesta etapa significa perda de capital, porque o valor agregado nesta fase é muito elevado devido aos outros processos que o antecederam (SOUZA, 2009). Entretanto, ainda pode ser considerado como um processo de pouco domínio tecnológico se comparado aos demais processos convencionais de usinagem (AGUIAR; DOTTO; BIANCHI, 2005).

As operações de retificação podem ser classificadas de acordo com a forma geométricas das peças obtidas, tais como: cilíndrica externa ou interna, plana e plana rotativa (SCHUHLI, 2007).

Nesse retífica plana a peça é presa em uma placa magnética, fixada à mesa da retificadora. Durante a usinagem, a mesa desloca-se em um movimento retilíneo da direita para a esquerda e vice-versa, fazendo com que a peça ultrapasse o contato com o rebolo. Além disso, há também o deslocamento transversal da mesa, o qual juntamente com o movimento longitudinal permite uma varredura completa da superfície a ser usinada (TELECURSO, 2000). A retífica plana atua em todos os tipos de superfícies planas, tais como: paralelas, perpendiculares ou inclinadas.

Figura 11 – Elementos presentes em uma retificação plana.



Fonte: Rowe (2009).

Os principais elementos envolvidos na retificação plana estão, representados na figura 11, são: o rebolo abrasivo, a formação do cavaco, o fluido de corte e o dressador (ARAÚJO, 2015).

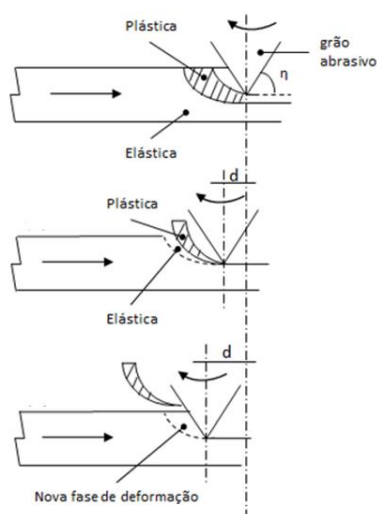
Rebolo é a ferramenta de corte desse processo, composto principalmente por grãos abrasivos unidos por um ligante. As arestas dos diversos grãos apresentam geometria de corte desconhecidas e sua distribuição na superfície da ferramenta é aleatória (PEREIRA, 2013). A remoção do material é resultante do contato desses grãos com a superfície da peça.

A taxa de remoção do material em uma retificação é consideravelmente menor quando comparada aos demais processos de usinagem. Esses pedaços retirados são denominados cavacos e a sua formação será variada de acordo com os seguintes fatores: propriedades e estrutura do material da peça, parâmetros da retificação, características do rebolo e mecanismos de remoção (RODRIGUES, 2016).

A formação de cavaco por um abrasivo pode ser observada na figura 12 e encontra-se dividida em três fases (NUSSBAUN, 1987):

1. Contato grão-peça: o abrasivo entra em contato com a peça a ser usinada e, ainda sem cortar partículas de metal, o grão desliza durante um tempo muito pequeno, comprimindo o material e criando uma deformação elasto-plástica.
2. Deformação plástica definida: continuação da deformação e geração de calor, que ocorre mesmo que o processo de corte ainda não tenha começado, formando previamente o cavaco.
3. Corte e saída: devido ao movimento do grão e à deformação da partícula submetida à compressão, dão-se o corte e a expulsão do cavaco.

Figura 12 – Fases de formação do cavaco.



Fonte: NUSSBAUN (1987).

A remoção do cavaco da região de corte é essencial e ocorrerá através das porosidades do rebolo, além de ser auxiliado pela presença do fluido de corte. A utilização do fluido de corte é essencial nesse tipo de processo, uma vez que combate os danos térmicos à estrutura superficial da peça e também minimiza o desgaste da ferramenta. Caso esse excesso de cavaco não seja removido eficientemente da ferramenta, o poder abrasivo do rebolo irá diminuir e, conseqüentemente, aumentará o atrito na região de corte, resultando assim em uma maior rugosidade superficial.

A retirada de material da superfície promove uma grande liberação de energia na forma de calor, responsável pela elevação da temperatura na região de corte. Esse aumento de temperatura pode ocasionar vários tipos de danos térmicos, tais como (MALKIN, 1989):

- Queima da superfície.
- Têmpera excessiva da camada superficial com possível reendurecimento e aumento da fragilidade.
- Indesejáveis tensões residuais de tração.
- Redução da resistência à fadiga.
- Trincas.

Tais defeitos podem ser evitados ou amenizados modificando-se os parâmetros de entrada utilizados na operação, assim como através do uso de fluido refrigerante.

Dentre os parâmetros de caracterização do processo de retificação, um dos mais utilizados é o chamado espessura de corte equivalente (heq), que pode ser calculado pela seguinte expressão (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999):

$$heq = a_p \times (V_p / V_c) \quad (1)$$

Onde: a_p = profundidade de penetração na retificação plana tangencial; V_p = velocidade da peça; V_c = velocidade de corte (velocidade do rebolo);

A espessura de corte equivalente representa fisicamente a espessura de material removidos pelos grãos da ferramenta de corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999). Ainda segundo esses autores, Um aumento desse heq causa um aumento dos esforços de corte e da rugosidade da peça, além de diminuir o tempo de vida do rebolo.

Também pode-se calcular a taxa de remoção de material (Q_w), definida como a quantidade de material removida por unidade de tempo (mm^3/s), através da equação (ROWE, 2009):

$$Q_w = a_p \times V_p \times b \quad (2)$$

Onde: b = largura de contato rebolo-peça (mm).

4 MATERIAIS

Nessa seção serão listados todos materiais envolvidos na realização dos experimentos e na análise da rugosidade. Para um fácil leitura, essa parte foi dividida em 3 partes: retífica plana, corpo de prova e microscópio confocal.

4.1 Retífica plana

Utilizou-se a retífica plana tangencial P25 do fabricante Mello (Figura 13), sem a utilização de líquido refrigerante. Os parâmetros variáveis de entrada do equipamento são os seguintes: velocidade longitudinal da mesa, velocidade transversal do carro e avanço vertical do cabeçote porta rebolo.

Figura 13 – Retífica plana tangencial P25.



Fonte: Mellfaber (2019).

A velocidade longitudinal da mesa abrange uma faixa de 0 e 20m/min. Já o movimento transversal do carro está disponível em três configurações: movimento transversal intermitente, movimento transversal contínuo e avanço vertical nas reversões do carro. Por fim, o movimento vertical do cabeçote possui como incremento uma faixa de variação entre 0,001mm a 0,010mm.

A ferramenta utilizada no processo de retificação é o rebolo, cuja movimentação é determinada a partir do acionamento de um botão e sua rotação ocorre com uma

velocidade de corte constante de 30 m/s. O rebolo é constituído de óxido de alumínio e 240mm de diâmetro por 25mm de largura, tipo AA60K6V.

O deslocamento vertical do cabeçote porta rebolo também foi acionado por botões, mas caso a necessidade fosse obter uma aproximação à nível milimétrico, havia um volante de acionamento manual.

O balanceamento do rebolo é de fundamental importância para um bom processo de retificação. Para o seu balanceamento, o mesmo deve ser retirado da retífica, já munido de seu eixo de balanceamento e transferido para o suporte balanceador, o qual deverá estar perfeitamente nivelado.

A fixação da peça é realizada através da mesa magnética, na qual a força eletromagnética é definida através de um potenciômetro regulador. É recomendado utilizar sempre a intensidade máxima, exceto em peças muito delgadas.

O processo de dressagem é realizado com o auxílio de um dressador que possui um diamante em sua ponta para a afiação do rebolo. Após a fixação do dressador na mesa magnética, deve-se movimentar a mesa e o rebolo a fim de se obter um ângulo de contato de aproximadamente 4°. Procede-se então a afiação através da movimentação do carro, procurando manter a velocidade a mais uniforme possível.

4.2 Corpo de Prova

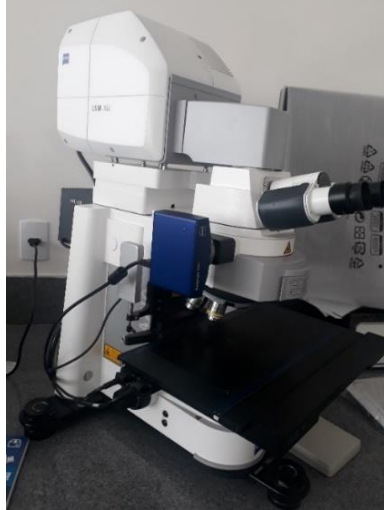
O material escolhido para a confecção do corpo de prova foi o aço SAE 1045, designado como um aço carbono, uma vez que esse elemento químico está presente com uma porcentagem superior a 0,3% (SINGH, 2017). Essa escolha foi feita devido à ampla utilização desse material na fabricação de eixos e peças para as indústrias automobilística, agrícola, entre outras (MAGNANI, 2013).

4.3 Microscópio confocal

As amostras foram submetidas à análise de rugosidade no microscópio confocal Carl Zeiss LSM 700 (Figura 14) e o software utilizado para a obtenção dos parâmetros

foi o Zen Black 2012. Os módulos de aquisição utilizados no software foram o Z-Stack e o Tile Scan.

Figura 14 – Microscópio Confocal LSM 700 Zeiss.

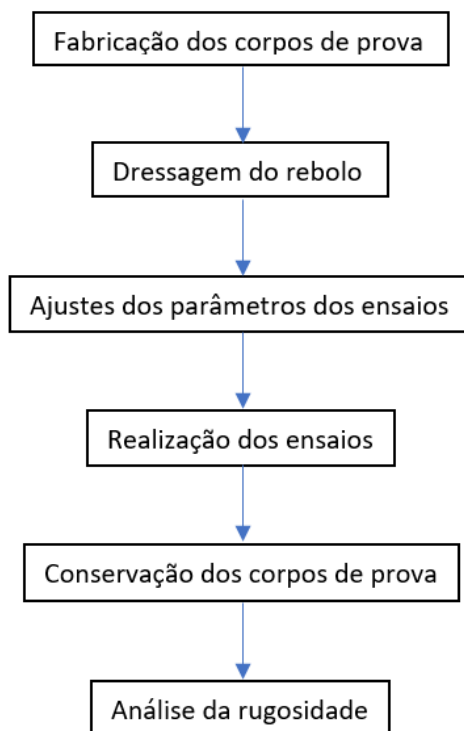


Fonte: A Autora (2019).

5 MÉTODOS

A realização de todos os experimentos seguiram um planejamento por etapas, as quais podem ser observadas no fluxograma da figura 15.

Figura 15 – Fluxograma das etapas de trabalho.



Fonte: A Autora (2019).

5.1 Fabricação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram obtidos a partir de uma chapa de aço de dimensões: 350 x 120 x 120mm. Primeiramente, a chapa foi recortada com uma serra de franho FM3700HM para a obtenção de peças menores nas dimensões de: 120 x 20 x 12mm. Posteriormente, a espessura das peças foram diminuídas para 8,2mm, faceando-as em um centro de usinagem CNC (Computer Numeric Control).

Após o faceamento, os corpos de prova sofreram uma nova operação de corte na serra, quando as novas dimensões foram obtidas: 25 x 20 x 8,2mm. Por fim, para a finalização dos corpos de prova e a obtenção de uma espessura de 8mm, os dois planos maiores (25 x 20mm) foram retificados.

5.2 Dressagem do rebolo

Uma dressagem foi realizada antes de cada procedimento ser iniciado, visando garantir que o rebolo tivesse as mesmas condições iniciais de trabalho em todos os processos. Para isso, o diamante presente no dressador foi deslocado vagaroso e continuamente pela largura do rebolo, com profundidade de corte de 0.2mm (Figura 16).

Figura 16 – Dressagem do rebolo.



Fonte: A Autora (2019).

5.3 Ajustes dos parâmetros dos ensaios

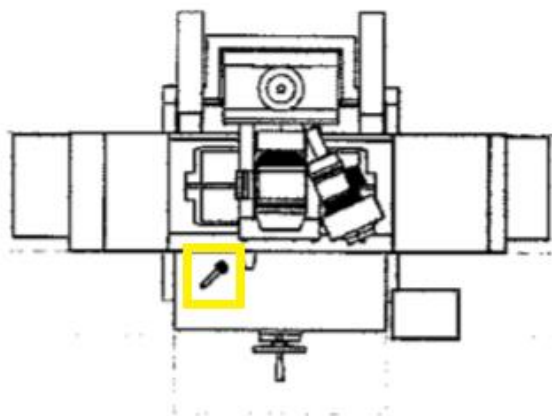
Inicialmente, a fim de garantir o mínimo de interferência de outros fatores externos, foi feito o posicionamento dos encostos de reversão da retífica. Os dogs de reversão foram distanciados de maneira a garantir a passagem do rebolo sobre toda peça e assegurar que as distâncias percorridas em ambos os sentidos fossem equivalentes.

Após esse procedimento os seguintes parâmetros analisados nesse trabalho foram ajustados: velocidade longitudinal da mesa, velocidade transversal do carro e avanço vertical do cabeçote.

5.3.1 Regulação da Velocidade Longitudinal da mesa

A velocidade longitudinal da mesa é regulada através de uma alavanca (Figura 17), a qual não apresenta nenhum retorno numérico da velocidade escolhida. Diante disso, para medição da velocidade utilizada nos experimentos, foi medido o comprimento de cada golpe e calculada a quantidade de golpes efetuados no intervalo de um minuto.

Figura 17 – Vista superior retífica.



Fonte: Manual Retífica Mello P-25.

A distância percorrida entre golpes é definida por encostos (ou dogs) de reversão limitadores de curso do movimento longitudinal da mesa. Esse distanciamento foi padronizado para todos os ensaios. O posicionamento inicial dos dogs também foi mensurado, a fim de que a mesa se deslocasse igualmente para cada lado a partir do centro da trajetória.

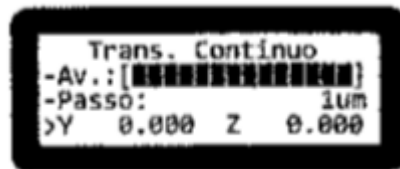
Portanto, a velocidade desejada em cada experimento foi regulada através da liberação da alavanca até que o número de golpes por minuto desejado fosse atingido. Nos experimentos as velocidades utilizadas foram: 10 m/min, 15 m/min e 20 m/min.

5.3.2 Regulação da Velocidade Transversal do carro

Na retífica, os experimentos foram realizados no modo denominado Movimento transversal contínuo, quando há a possibilidade da regulagem do incremento a ser

executado em cada reversão. E esse incremento é representado através de uma escala em que cada barra adicionada o aumenta (representada pela sigla Av na figura 18).

Figura 18 – Painel de regulação da velocidade transversal do carro.



Fonte: Manual Retífica Mello P-25.

Os valores utilizados nos experimentos foram 3, 6 e 9 barras apresentadas na escala visual. Para obter os valores numéricos desse parâmetro, utilizou-se o sistema de escala presente no volante transversal, o qual apresentou os seguintes valores respectivamente: 1,14 - 2,78 - 4 milímetros.

5.3.3 Regulação do Avanço vertical do cabeçote porta rebolo

O movimento vertical do cabeçote porta-rebolo pode ser realizado através do campo denominado Posição Z (Figura 18). Esse é o único parâmetro que pode ser diretamente controlado no painel da retífica, pois possui sua representação numérica apresentada no visor. Nesse estudo foram utilizadas as seguintes profundidades de corte: 0,01 – 0,02 e 0,03 mm.

5.4 Realização dos ensaios

Optou-se pela utilização de um plano experimental fatorial fracionado, no qual apenas um subconjunto selecionado dos ensaios no experimento fatorial completo é realizado.

O plano experimental baseou-se em uma faixa central de parâmetros, que são os valores medianos das nossas variáveis, tais como: 15m/min de velocidade longitudinal (Vl), 2,78mm de velocidade transversal do carro (Vt) e 0,02mm de avanço vertical do porta ferramenta (Av). Diante disso, foi executada a variação de apenas um parâmetro,

enquanto os outros dois fatores da faixa central permaneceram constantes. Na tabela 2 está representado o conjunto dos experimentos e os respectivos parâmetros utilizados em cada um deles.

Tabela 2: Plano experimental.

Experimento	Vl (m/min)	Vt (mm)	Av (mm)
1	15	2,78	0,01
2	15	2,78	0,02
3	15	2,78	0,03
4	15	1,14	0,02
5	15	4	0,02
6	10	2,78	0,02
7	20	2,78	0,02

Fonte: A Autora (2019).

5.5 Conservação dos corpos de prova

Após o processo de retificação, cada corpo de prova foi representado por uma letra, para fácil identificação nas etapas seguintes. Além disso, cada peça recebeu uma camada de óleo a fim de evitar processos oxidativos ou danos às superfícies já retificadas.

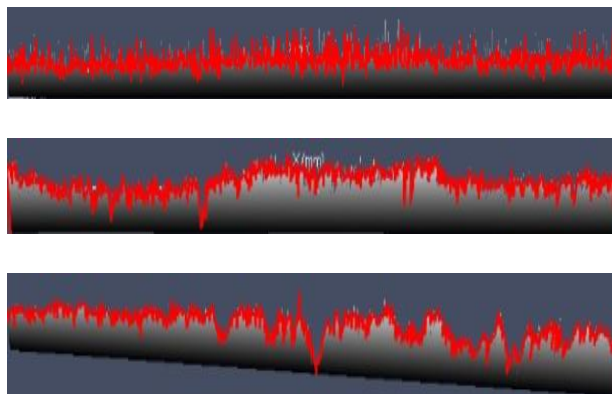
5.6 Ajuste confocal

Inicialmente foram realizadas leituras no microscópio com diferentes lentes de aproximação e resoluções de imagem com objetivo de definir qual seria a melhor configuração para a medição da rugosidades em todos os corpos de prova.

As primeiras medições foram executadas com uma resolução de escaneamento de 512 pixels por imagem, alterando-se apenas as lentes objetivas. Com a objetiva de 20x, o valor de Ra obtido foi de 2,074 μ m, valor esse que claramente não refletia o observado na superfície. Uma nova leitura foi realizada, entretanto utilizou-se um aumento de 50, o qual resultou um Ra de 0,762 μ m, mas ainda não era um bom resultado uma vez que ainda

havia presença de ruídos. Esse novo valor foi bem inferior, comparado ao primeiro, contudo ainda refletia um valor muito acima do esperado. Por fim, realizou-se a leitura com a lente objetiva de 100x, a qual retornou uma rugosidade média de $0,280\mu\text{m}$ (Figura 19).

Figura 19 – Perfis de rugosidade com lentes objetivas de 20, 50 e 100x.

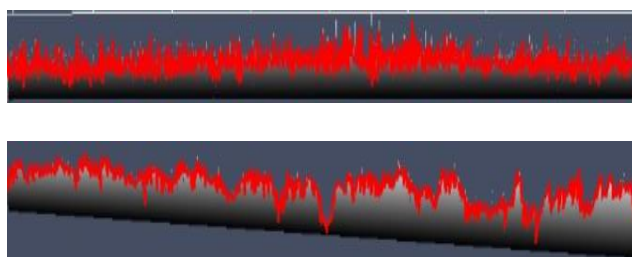


Fonte: A Autora (2019).

Portanto, o melhor resultado para essa resolução foi com a lente objetiva de 100 vezes de aproximação. Conforme observado na figura acima, essa lente permitiu a obtenção de um perfil de rugosidade mais fidedigno à realidade apresentada na superfície.

Posteriormente, realizou-se a mensuração de R_a com uma resolução de escaneamento de 2048 pixels por imagem. Com a lente objetiva de 20x, a rugosidade média obtida foi de $2,177\mu\text{m}$. Novamente, o valor de R_a obtido na lente com menor aproximação foi superior ao esperado. Contudo, ao realizar a leitura com a lente de 100x, o R_a obtido de $0,291\mu\text{m}$ (Figura 20).

Figura 20 – Perfis de rugosidade com lentes objetivas de 20 e 100x.



Fonte: A Autora (2019).

Foram captadas 10 imagens com a lente de aproximação de 100 e cada uma possuía uma resolução de 512 pixels e como não houve diferença significativa entre os

valores de R_a obtidos com a lente objetiva de 100x para ambas as resoluções de escaneamento, optou-se por realizar todas as leituras com a menor resolução, pois o tempo de aquisição era significativamente menor.

5.7 Seleção da magnificação

A espessura de um único plano focal é insuficiente para contemplar toda a amostra, portanto fez-se necessária a gravação de imagens em diferentes planos focais, a fim de que todo o perfil da amostra fosse mapeado. Essas variadas imagens são geradas através de um avanço gradual percorrendo a profundidade da peça.

Foram realizados alguns testes visando a obtenção de uma configuração que conseguisse captar toda a profundidade do perfil de rugosidade e a melhor opção encontrada foi a partir de 10 planos focais com intervalos de 1,12 μm .

5.8 Medição da rugosidade

Após a conclusão do processo de retificação das peças, a rugosidade das mesmas foi mensurada no microscópio confocal. Para garantir a confiabilidade do equipamento, 3 medições no mesmo local sob o corpo de prova foram executadas. Os valores de rugosidade média (R_a) obtidos apresentaram um desvio padrão de 0,003 μm .

Posteriormente, foram realizadas 3 medições em cada peça, a primeira na região central, as outras duas, efetuadas em um ponto acima e um ponto abaixo.

O valor de cut-off foi ajustado para 800 μm , valor determinado conforme norma ABNT NBR ISO 4288, e o parâmetro numérico para a obtenção da rugosidade superficial requisitado foi a rugosidade média (R_a).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões foram divididos em duas partes nessa seção, a fim de facilitar a sua leitura e a identificação do conteúdo.

6.1 Efeito dos parâmetros da retífica sobre a rugosidade

Todos os valores de Ra obtidos nos experimentos foram inferiores à $0,4\mu\text{m}$. Na literatura pode-se encontrar que o valor máximo de Ra em operações de retificação devem ser inferiores à $1,6\mu\text{m}$ (HALEVI, 2003). Portanto, os valores encontrados nesse trabalho encontram-se abaixo desse valor de referência (Tabela 3), evidenciando que os parâmetros adotados nos experimentos e a sua execução foram favoráveis para a obtenção de baixas rugosidades.

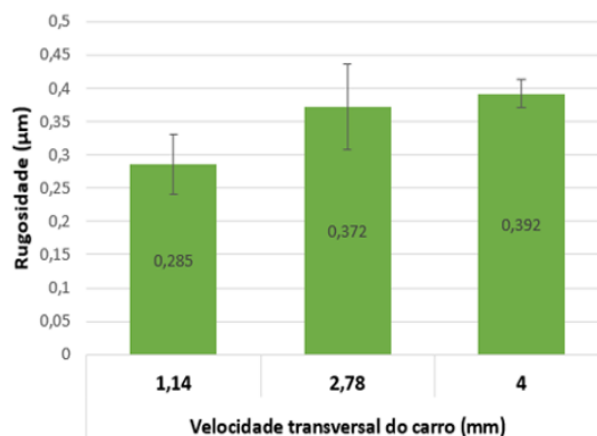
Tabela 3: Rugosidade média por experimento.

Experimento	Vl (m/min)	Vt (mm)	Av (mm)	Ra (μm)
1	15	2,78	0,01	0,332
2	15	2,78	0,02	0,372
3	15	2,78	0,03	0,352
4	15	1,14	0,02	0,285
5	15	4	0,02	0,392
6	10	2,78	0,02	0,390
7	20	2,78	0,02	0,355

Fonte: A Autora (2019).

No manual da presente retífica há uma seção dedicada à influência dos parâmetros sobre o resultado final das peças geradas. Em relação ao avanço transversal do carro, não há informações relacionadas à rugosidade, apenas informa-se que “este avanço será regulado grande no desbaste e pequeno no acabamento, grande para pequenas profundidade de corte e pequeno para grandes profundidades de corte”.

Figura 21 – Rugosidade versus a velocidade transversal da mesa.



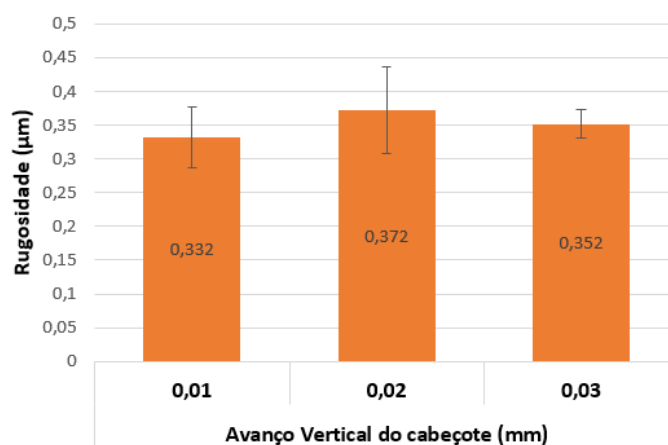
Fonte: A Autora (2019).

Os resultados obtidos de Ra foram menores nas situações em que a velocidade transversal do carro foi menor (Figura 21), garantindo assim um melhor acabamento, conforme indicado no manual.

Vale ressaltar que o menor e o maior valor de Ra foram encontrados na sequência de testes em que se variou apenas a velocidade transversal do carro. Enquanto que nas demais, a rugosidade observada manteve-se com valores muito semelhantes quando se variou apenas o avanço vertical ou a velocidade longitudinal da mesa. Diante disso, é possível aferir que no presente trabalho, o maior fator influenciador da rugosidade foi a velocidade transversal do carro.

Quanto ao avanço vertical do cabeçote porta-ferramenta, o guia da retífica informa que “para efeito de rugosidade superficial, quanto menor o avanço vertical, melhor o resultado”. O estudo de Bianchi e colaboradores (1997), reafirma esse posicionamento e o justifica devido a uma menor penetração do rebolo na peça, diminuindo assim o número de grãos atuantes na remoção de material³⁰. Progressivamente, com a elevação dos valores de penetração de trabalho, a taxa de remoção de material e a área de contato aumentam na mesma proporção do número de grãos na região de contato. Consequentemente, há uma elevação do atrito entre as superfícies e da temperatura de corte, fatores que afetarão de forma negativa a qualidade da superfície retificada (BIANCHI et al, 1997).

Figura 22 – Rugosidade versus o avanço vertical do cabeçote porta ferramenta.

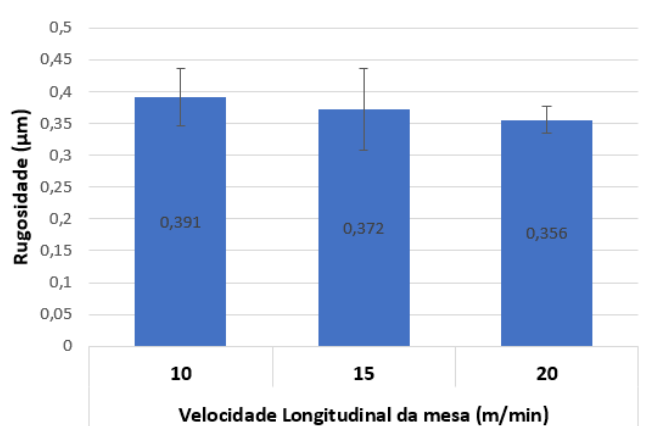


Fonte: A Autora (2019).

Nos experimentos em que apenas o avanço vertical foi variável, o menor resultado de Ra obtido foi alcançado no avanço vertical de 0,01mm (Figura 22). Sendo assim, corroborando com os dados encontrados na literatura, conforme nos trabalhos de Lima (2016), assim como no de Rodrigues e colaboradores (2016). Porém, quanto às demais mensurações, a rugosidade apresentou um comportamento bastante regular à medida que se elevou esse parâmetro, mantendo valores muito semelhantes em todas as velocidades de avanço testadas.

No que se refere à velocidade longitudinal da mesa, o manual informa que “quanto menor for essa velocidade melhores serão os resultados de acabamento, principalmente para a obtenção de superfícies com baixíssimas rugosidades superficiais”.

Figura 23 – Rugosidade versus a velocidade longitudinal da mesa.



Fonte: A Autora (2019).

Contudo, nos experimentos realizados, menores valores de rugosidade foram obtidos nas situações com maiores velocidades longitudinais da mesa (Figura 23). Um possível explicação para esse fato seria o menor tempo de contato entre o rebolo e a superfície da peça, pois, resultaria em menor tempo de contato entre o grãos do rebolo e a superfície gerada.

Além disso, os demais parâmetros que foram mantidos constantes, enquanto se variava apenas a velocidade longitudinal, não resultaram em uma combinação de parâmetros ideal para a obtenção de melhores valores de rugosidade nesses casos.

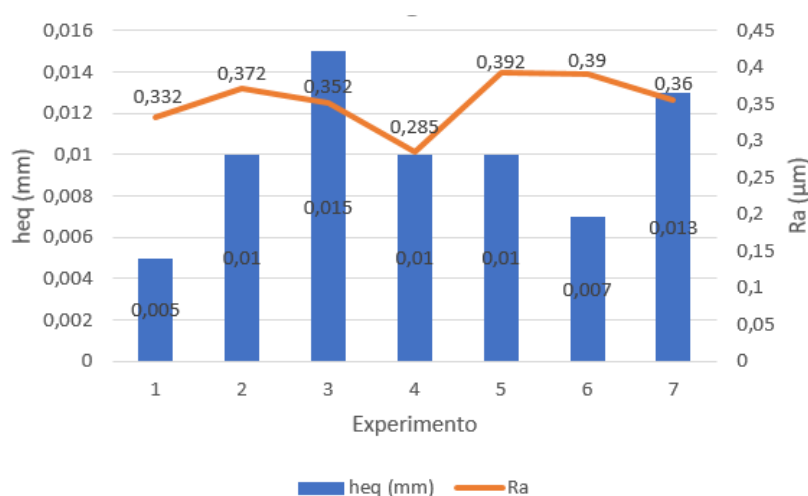
6.2 Modelização da rugosidade

Durante a pesquisa bibliográfica, notou-se uma carência de métodos que obtivessem o valor do parâmetro de rugosidade média teórico a partir das variáveis utilizadas no presente estudo. A maioria dos métodos matemáticos encontrados utiliza apenas um dos parâmetros de entrada citados (KHARE; AGARWAL, 2015), principalmente o avanço vertical do cabeçote porta ferramenta (OLIVEIRA et al).

Devido ao exposto, nessa pesquisa utilizou-se parâmetros com variáveis programáveis da retífica utilizadas nos experimentos, a fim de verificar se há alguma influência no Ra obtido.

Primeiramente, calculou-se a espessura de corte equivalente (heq), que faz uso da velocidade longitudinal da mesa (V_p) e do avanço vertical do cabeçote (ap). Como a velocidade do rebolo (V_s) foi a mesma em todos os experimentos, não interferindo assim na obtenção dos valores de Ra. Os resultados obtidos podem ser observados na figura 24:

Figura 24 – Rugosidade versus a espessura de corte equivalente.

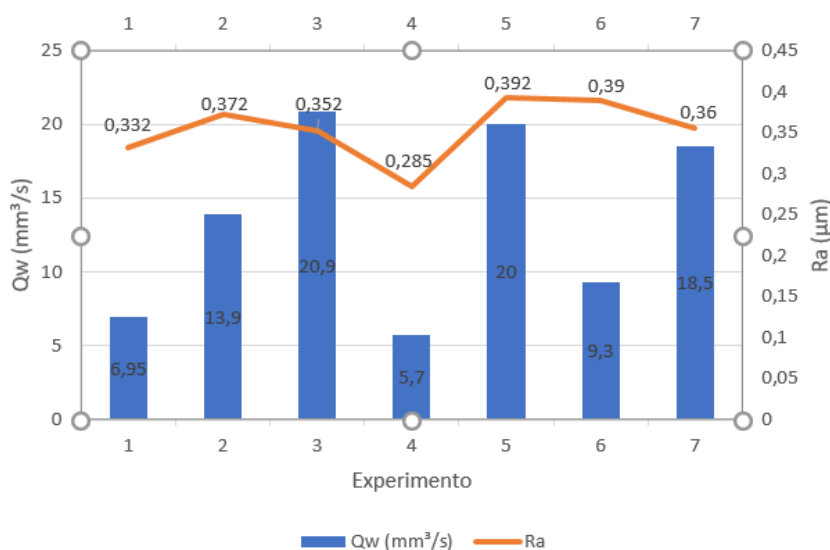


Fonte: A Autora (2019).

Nos trabalhos de Diniz (1999) e Rodrigues (2016), com seus respectivos colaboradores, pode-se encontrar que maiores espessuras de cortes resultam em piores acabamentos superficiais. Logo, matematicamente para valores iguais de heq resultaria em valores semelhantes de rugosidade média. Contudo esse comportamento não foi observado nos nossos experimentos. Isso pode ter ocorrido pela influência de outros fatores presentes no momento da retificação, inclusive o avanço transversal que não é utilizado nesse cálculo.

A taxa de remoção do material (Q_w) também foi calculada, já que na sua fórmula são utilizados todos os parâmetros de entrada selecionados nos experimentos, sendo: V_p a velocidade longitudinal da mesa, a_p o avanço vertical do cabeçote e b o avanço transversal do carro. Os resultados podem ser observados na figura 25:

Figura 25 – Rugosidade versus a taxa de remoção do material da peça.



Fonte: A Autora (2019).

Observou-se a tendência de que para maiores taxas de remoção do material, maior foi a rugosidade média apresentada (Figura 25). Esse fato pode ser explicado pelo maior volume de material removido da superfície da peça retificada, fato que poderá ocasionar maiores danos à peça. Contudo, mais uma vez não houve uma diferença significativa entre os valores de Ra.

Em um comparativo entre ambos os cálculos realizados, é possível concluir que a taxa de remoção do material mostrou-se mais condizente com as variações do parâmetro de rugosidade média. Esse fato pode ser um indicador de que o avanço transversal do carro tenha sido o parâmetro que mais influenciou na rugosidade das peças retificadas.

7 CONCLUSÃO

- O valor de Ra mais fiel que podia ser observado na superfície foi obtido com a lente de 100 vezes no microscópio confocal;
- O maior e o menor valor de Ra foram obtidos com a velocidade longitudinal da mesa de 15m/min e um avanço vertical de 0,02mm. Sendo a menor rugosidade para a menor velocidade transversal (1,14) enquanto a maior para a maior velocidade (4mm);
- Ao se variar apenas o avanço vertical do porta rebolo, o menor valor de Ra foi obtido para um menor avanço. Contudo, não houve uma regularidade nos valores de Ra obtidos quando se variou apenas o avanço vetical do cabeçote porta-ferramenta;
- No presente trabalho houve uma diminuição da rugosidade média a medida que houve o aumento da velocidade longitudinal da mesa;
- Todos os valores de Ra obtidos nos experimentos foram inferiores à 0,4 μ m e não houve diferença significativa entre os valores desse parâmetro entre os experimentos;
- Faz-se necessário mais estudos que forneçam um método de obtenção do parâmetro de rugosidade média teórico que contemple as variáveis programáveis na retífica utilizadas nesse estudo;
- Não se observou tendências de crescimento do parâmetro de rugosidade para maiores espessuras de corte equivalente;
- Houve uma tendência de haver maiores valores de rugosidade média para maiores valores de taxa de remoção de material, assim como um menor Ra para menores taxas;
- O parâmetro que mais influenciou a rugosidade média no presente trabalho foi o avanço transversal do carro.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, P. R.; DOTTO, F. R. L.; BIANCHI, E. C.; **Study of threshold to burning in surface grinding process.** Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering, vol. 27, n. 2, p. 150-156, 2005.

ALVES, M. C. S.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; **Influência da velocidade de avanço do rebolo nos danos de aços endurecidos retificados.** Revista Matéria, vol. 13, n. 4, p. 636 – 642, 2008.

ARAÚJO, R. L.; **Retificação de Ferro Fundido branco com foco na indústria de petróleo.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

BARROS, G. H. C.; **Brunimento flexível de colindros de blocos de compressores herméticos: Avaliação do efeito da granulometria e do número de golpes da ferramenta na rugosidade.** Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2018.

BIANCHI, E. C.; VALARELL, I. D.; FERNANDES, O. C.; MOGAMI, O.; SILVA JR, C. E. & AGUIAR, P. R.; **Análise do comportamento de rebolos convencionais na retificação de aços frágeis e dúcteis.** Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences. vol. 19, p. 410-425, 1997.

CHAND, M.; MEHTA, A.; SHARMA, R.; OJHA, V.N.; CHAUDHARY, K.P. **Roughness Measurement Using Optical Profiler with Self-Reference Laser and Stylus Instrument — A Comparative Study.** Indian Journal of Pure & Applied Physics, vol. 49, p. 335-339, 2011.

COLACO, G. A.; MEDEIROS, I. D. M.; **Análise da Influência dos parâmetros de usinagem sobre a rugosidade no torneamento cilíndrico externo em corte a seco e com abundância de fluido de corte.** XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Curitiba, Paraná, 2014.

COSTA, H. N.; **Tolerâncias de Acabamento Superficial – Rugosidade.**

Disponível em: <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/tolerancias-de-acabamento-superficial-rugosidade>. Acesso em: 15 jan. 2019.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; **Tecnologia da usinagem dos materiais.** Mm Editora, p. 237-238. São Paulo, 1999.

FILHO, P. A.; **Rugosidade Superficial.** 3º Seminário de metrologia. Universidade de Brasília, 2011.

GUEDES, D. E.; **Análise Metrológica de Acabamento de Superfícies Aplicada a Componentes Mecânicos.** Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Nova Lisboa. Setembro, 2014.

HALEVI, G.; **Process and Operation Planning.** 1ed. Springer Science and Business Media, 2003.

KHARE, S. K.; AGARWAL, S.; **Predictive modeling of surface roughness in grinding.** 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. 2015.

LIMA, M. L. S.; **Retificação plana tangencial dos ferros fundidos nodular, vermicular e cinzento em várias condições de corte.** Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

MACEDO, C. V.; **Análise da influência dos parâmetros de retificação cilíndrica na rugosidade média (Ra) da luva externa para Cardan.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MAGNANI, E. G.; **Retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045 temperado e revenido utilizando diferentes rebolos e condições operacionais.** Belo Horizonte, 2013.

MALKIN, S.; **Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives.** Chichester: Ellis Horwood, 1989.

MARCHIORI, M. M.; **Estudo de um sistema de medição a laser na análise da textura da superfície gerada por torneamento.** Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia. Porto Alegre, 2013.

NETO, W. S. M.; **Comparação do efeito do método de medição com contato e sem contato na rugosidade.** Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2017.

NUSSBAUN, G. C.; **Princípios da ação de corte da ferramenta abrasiva. Máquinas e Metais.** p. 55-62, 1987.

OLIVEIRA, C. J.; **Avaliação da influência de sistemas de filtragem aplicados a topografia de superfícies em usinagens.** 135 p. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

OLIVEIRA, J. A. C.; MESQUITA, N. G. M.; CARVALHO, H. M. B.; ANDRADE, S. M. V.; **Cálculo do desvio médio aritmético Ra em função do avanço.** Universidade Federal de Pernambuco.

PÁDOA, C. A. F.; **Avaliação Experimental da Influência da Rugosidade, Dureza e Pressão de Contato no Desempenho da Vedação Estática Metálica de Gases.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

PEREIRA, F. B.; **Monitoramento do acabamento superficial através de emissão acústica na retificação centerless de passagem.** 2013.

RODRIGUES, A. C.; **Efeito do parâmetros de retificação no acabamento superficial de cerâmicas aplicadas à biomateriais.** Universidade Estadual Paulista. Bauru, São Paulo, 2016.

RODRIGUES, A.C.; SOUZA, R.N.F.; GALISA, O.F.; FRANÇA, T.V.; BIANCHI, E.C.; FOSCHINI, C.R. **Efeito dos parâmetros de retificação no acabamento superficial de cerâmicas avançadas.** Revista Matéria, vol .21, n. 4, p. 1012– 1020, 2016.

ROWE, W. B.; **Principles of Modern Grinding Technology.** 1 ed. , p. 23, 2009.

SCHUHLLI, L. A.; **Monitoramento de operações de retificação usando fusão de sensores.** São Carlos, 2007.

SECCO, A. R.; VIEIRA, E.; GORDO, N.; **Apostila Telecurso 2000: Módulo de Metrologia Mecânica.** Fundação Roberto Marinho /FIESC/ SENAI, 1 ed. São Paulo: Posigraf, 2000.

SINGH, H; SINGH, A.; **An Enhancement of Properties of Material SAE 1045 Steel.** Imperial Journal of Interdisciplinary Research, vol. 3, 2017.

SOUZA, A. G. O. **Monitoramento da dressagem no processo de retificação.** 2009.

TELECURSO 2000: Módulo de Usinagem. Fundação Roberto Marinho / FIESC / SENAI – Editora ou FIESP. São Paulo, 2000.

UFPE. **Instituto de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais tem apoio da Finep.**

Disponível em: <http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4438-instituto-de-tecnologia-em-uniao-e-revestimento-de-materiais-tem-apoio-da-finep>. Acesso em: 15 jan. 2019.