INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE PASSES NO ACABAMENTO SUPERFICIAL DO AÇO ABNT VP 100 DURANTE A RETIFICAÇÃO PLANA

Rafael de Lima Costa, rafael.costa@ufu.br
João Paulo de Jesus Vieira, joao.vieira2@ufu.br
Douglas da Silva Carvalho, douglas.scarvalho@ufu.br
Jamille Késsia Araújo Martins, jamille.martins@ufu.br
Bruno Souza Abrão, brunoabrao53@gmail.com
Rosemar Batista da Silva, rosemar.silva@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, Brasil.

Resumo. *A retificação é um processo de usinagem por abrasão utilizado para proporcionar combinação entre bom acabamento e tolerâncias dimensionais mais estreitas que aqueles obtidos em processos convencionais com ferramenta de geometria definida, como também para reduzir as irregularidades superficiais. Entretanto, uma de suas principais características é a elevada energia específica despendida que se converte em calor, podendo comprometer a integridade funcional da peça, ou seja uma desvantagem do processo. Uma forma de minimizar esse problema é o ajuste adequado dos parâmetros de corte, principalmente dos parâmetros de penetração de trabalho e da velocidade da peça, pois estes influenciam diretamente a espessura equivalente de corte, impactando o acabamento superficial. Neste contexto, este trabalho avaliou a influência da penetração de trabalho (ae) na rugosidade superficial durante a retificação plana tangencial do aço ABNT VP 100 utilizando rebolo de óxido de alumínio branco. Foram realizados ensaios duas estratégias de usinagem: a primeira foi testada dois passes com penetração de trabalho (ae) iguais a 25 µm e a segunda com a retificação com um único passe com ae = 50 µm. Os demais parâmetros foram mantidos constantes. As medições de rugosidade foram realizadas com rugosímetro portátil, considerando os parâmetros Ra (rugosidade média) e Rt (altura total do perfil). Os resultados indicaram que a condição em que foram utilizados dois passes de com ae= 25 µm resultou em menor valor de rugosidade Ra, demonstrando que múltiplas passagens com menor penetração de trabalho favorecem um melhor acabamento superficial. Quanto ao parâmetro Rt, os valores apresentaram pouca variação para as condições testadas, indicando que a profundidade total das irregularidades não foi significativamente afetada. Além disso, os valores de Ra obtidos nas diferentes condições de retificação encontraram-se bem abaixo do limite superior aceitável para o processo de retificação de semi-acabamento. Este trabalho, portanto, mostrou que o conhecimento de várias estratégias de retificação pode melhorar o acabamento sem a necessidade de trocar o rebolo ou realizar dressagem com maior grau de recobrimento.*

Palavras chave*: retificação, aço VP 100, penetração de trabalho, número de passes, rugosidade.*

1. INTRODUÇÃO

A retificação é um dos principais processos de usinagem por abrasão, destacando-se pela sua capacidade de proporcionar elevados níveis de precisão dimensional (qualidade de trabalho IT03 - IT06) e acabamento superficial às peças, principalmente com rugosidade Ra no intervalo de 0,2 µm - 1,6 µm, especialmente em materiais de difícil usinabilidade. Isso é possível devido à utilização de baixos valores de penetração de trabalho (em escala de micrometros) aliado a elevados valores de velocidade de corte, que resultam em baixos valores de espessura de corte equivalente (normalmente inferiores a 1 µm). Dentre os parâmetros que influenciam significativamente a qualidade superficial da peça retificada, destaca-se a penetração de trabalho, que está diretamente relacionada à quantidade de material removido durante a passagem do rebolo. Este parâmetro afeta diretamente a geração de calor, o esforço mecânico e a rugosidade da superfície da peça (Couto; Machado; Silva, 2012).

A rugosidade superficial é um parâmetro funcional relevante, pois influencia o desempenho da peça em relação à resistência ao desgaste, à fadiga, ao atrito e à vedação. O controle rigoroso dessa variável torna-se essencial na fabricação de moldes, matrizes, ferramentas de precisão e ferramentas de corte em que defeitos superficiais podem comprometer a funcionalidade e a durabilidade dos componentes (Silva; Bastos, 2016).

Com o aumento das exigências por produtividade, a indústria tem recorrido a maiores valores de parâmetros de corte na retificação. Entretanto, o aumento da penetração de trabalho resulta em maior esforço mecânico pois são mais grãos abrasivos do rebolo em contato com a peça, o que eleva a geração de calor na região de corte. Essa energia é, em grande

parte, dissipada na forma de calor, o que pode elevar significativamente a temperatura na zona de contato entre o rebolo e a peça. Segundo Aguiar et al. (2001), um aumento na penetração de trabalho de 10 µm para 30 µm pode elevar a temperatura superficial de cerca de 100 °C para mais de 250 °C, dependendo das condições de corte e do fluido de corte empregado, sendo que grande parte dessa energia térmica é transferida para a peça, o que pode ocasionar danos térmicos. Esses danos térmicos, que geralmente podem ser observados nas peças submetidas à retificação, são normalmente a alteração da dureza superficial abaixo da superfície retificada, trincas, tensão residual de tração e queima da peça (Malkin; Guo, 2008). Dessa forma, elevar os valores dos parâmetros de corte por um lado pode aumentar a produtividade, mas por outro pode afetar negativamente a integridade da superfície usinada (Barini *et al*., 2021).

O aço ABNT VP 100 é um material pré-endurecido, desenvolvido especialmente para aplicações em moldes para injeção de plásticos. Esse aço apresenta alta resistência mecânica e boa usinabilidade, o que o torna uma opção atrativa para a indústria de ferramentarias. Entretanto, seu comportamento sob diferentes condições de retificação ainda é pouco explorado, em especial no que se refere à influência da penetração de trabalho sobre a rugosidade superficial (Oliveira et al., 2019). Neste contexto e, visando contribuir para a geração de dados para os usuários de retificação de aços para moldes e matrizes, este trabalho visou avaliar a influência da penetração de trabalho nos parâmetros de rugosidade R_a e R_t durante a retificação plana tangencial do aço VP 100 com rebolo de óxido de alumínio branco.

2. METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentados a metodologia adotada para desenvolvimento deste trabalho, bem como os detalhes dos equipamentos, condições de corte, peças e rebolo utilizado para a realização deste trabalho.

Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial, fabricante MELLO, conforme indicado na Figura 1a, modelo P-36, semiautomática, com rotação constante em 2400 rpm, potência nominal do motor que aciona o eixo-árvore de 2,25 kW e resolução de 5 µm no eixo vertical (Z), onde se realiza o movimento do rebolo. As amostras foram fixadas em uma morsa de precisão, conforme apresentado na Figura 1b.

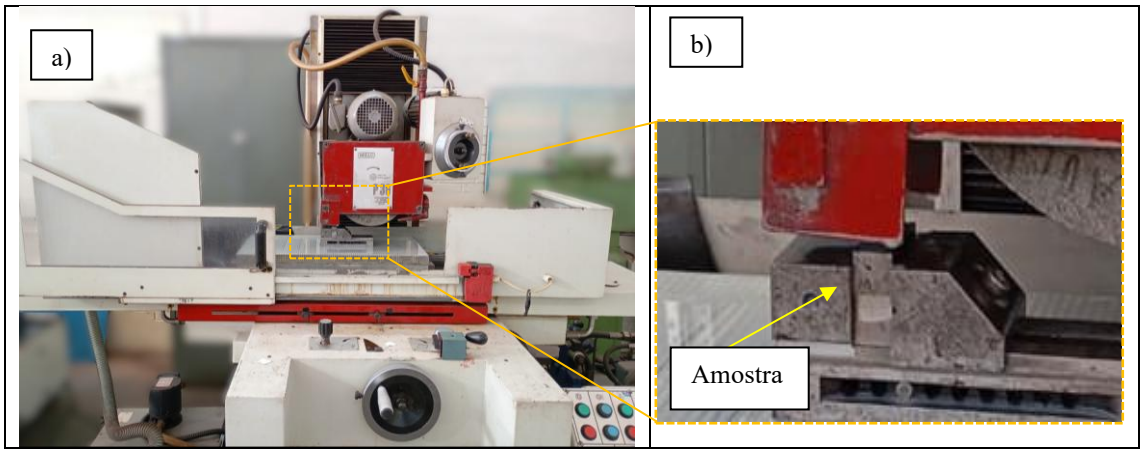


Figura 1 – Equipamento utilizado nos ensaios de retificação. a) Vista geral do equipamento; b) Detalhe da amostra montada na morsa

Foi utilizado um rebolo de óxido de alumínio branco (especificação AA46K8V) com dimensões de 245 mm (diâmetro externo), 25,4 mm (largura) e 76 mm (diâmetro interno). A peça usinada é um aço ABNT VP 100, material comumente utilizado na produção de moldes e matrizes para extrusão de termoplásticos, com geometria retangular com 18 mm (altura), 17,4 mm (largura) e 49,7 mm (comprimento). A fim de garantir que a superfície de corte estivesse com a mesma agressividade dos grãos em todos os ensaios, o rebolo foi submetido à operação de dressagem. Para a dressagem do rebolo, utilizou-se um dressador de diamante do tipo ponta única com grau de recobrimento do rebolo (Ud) de 3 e velocidade de dressagem (Vd) de 247,2 mm/min. O ciclo de dressagem foi composto por três passes de penetração de dressagem (ad) de 30 µm. Na Figura 2 é apresentado o posicionamento do dressador no rebolo abrasivo. Na Figura 2 é apresentado o dressador fixado ao suporte e posicionado sobre a superfície do rebolo.

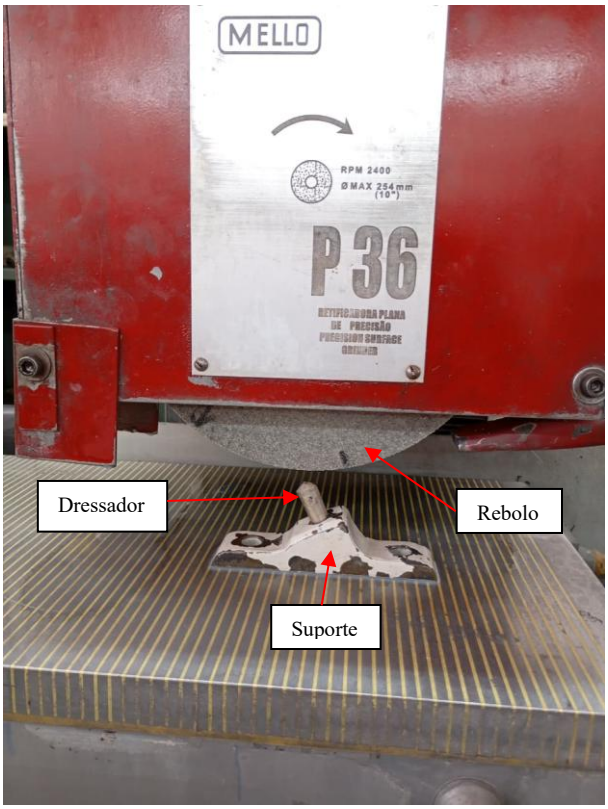


Figura 2 – Posicionamento do dressador no rebolo abrasivo.

O fluido de corte utilizado foi o óleo semissintético de base vegetal VASCO 7000, do fabricante Blaser Swisslube, preparado na proporção de 1 parte de óleo para 19 partes de água que foi aplicado por método convencional (abundância) com bocal tipo sapata à uma vazão de 8,30 L/min.

Os parâmetros de corte empregados foram: dois valores de penetração de trabalho (ae) 25 µm e 50 µm e velocidades de corte (Vs) 30,78 m/s e velocidade da peça (Vw) 7,5 m/min. Para a condição ae = 25 µm foram realizados dois passes, enquanto para ae = 50 µm realizou-se apenas um único passe. Desta forma, o critério de parada do ensaio foi om esmo volume de material removido. Na Tabela 1 são apresentadas todas as informações referentes às variáveis de entrada selecionadas para a realização dos ensaios de retificação.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada dos ensaios de retificação plana tangencial.

Parâmetro de entrada	**Condição adotada**
Velocidade de corte (V_s) [m/s]	30,78
Velocidade da peça (V_w) [m/min]	7,5
Penetração de trabalho (a_e) [µm]	25 e 50
Rebolo abrasivo	Al_2O_3 convencional
Material da peça	Aço ABNT VP 100
Condição de lubri-refrigeração	Convencional

As variáveis de saída analisadas nos ensaios foram os valores de rugosidade da peça por meio dos parâmetros Ra e Rt. As medições foram realizadas com um rugosímetro portátil modelo SJ-201P, da Mitutoyo, com resolução de 0,01 µm e com um *cut-off* (comprimento de amostragem) de 0,8 mm e comprimento de avaliação igual a 4,0 mm, conforme mostrado na 3. Para cada condição testada foram feitas duas medições de rugosidade perpendiculares às marcas de avanço do rebolo.



Figura 3 – Disposição da montagem do rugosímetro no suporte para a medição de rugosidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na 4 são mostrados os resultados dos valores de rugosidade Ra e Rt acompanhados por pela média aritmética e desvio padrão das medições realizadas.

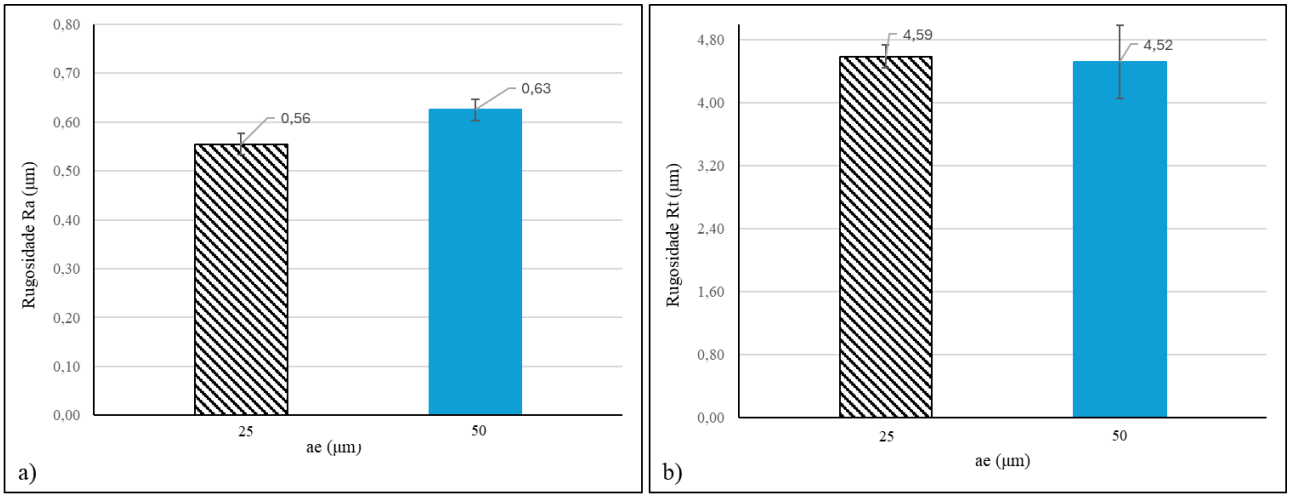


Figura 4 – Efeito da penetração de trabalho na rugosidade média Ra e Rt do aço ABNT VP 100.

Da Figura 4a observa-se que a rugosidade média (Ra) foi ligeiramente menor na condição com dois passes de 25 µm, indicando que várias passagens com menor penetração de trabalho promovem uma superfície mais lisa em comparação com a passagem do rebolo com apenas um passe de 50 µm. Esta redução pode ser atribuída à menor geração de calor proporcionada pelo menor valor de ae, pois são menos partículas abrasivas em contato com a peça.

Ao observar as superfícies das peças retificadas (Figuras 5a e 5b) para as duas diferentes estratégias de retificação, verifica-se que que a realização de dois passes com penetração de trabalho igual a 25 µm resultou em uma superfície com melhor qualidade superficial (Figura 5a) em comparação ao único passe de 50 µm (Figura 5b), imagem que confirma a ocorrência de queima de retífica, mesmo com o valor de rugosidade Ra para esta condição situando-se abaixo de 0,7 µm

Por sua vez, os valores de rugosidade (Rt) (Figura 4b) permaneceram praticamente constantes em torno de 4,5 µm independente da condição testada, o que indica que a profundidade total das irregularidades não foi significativamente influenciada pela estratégia de corte adotada, ou seja, não foi sensível à variação de ae na faixa testada.

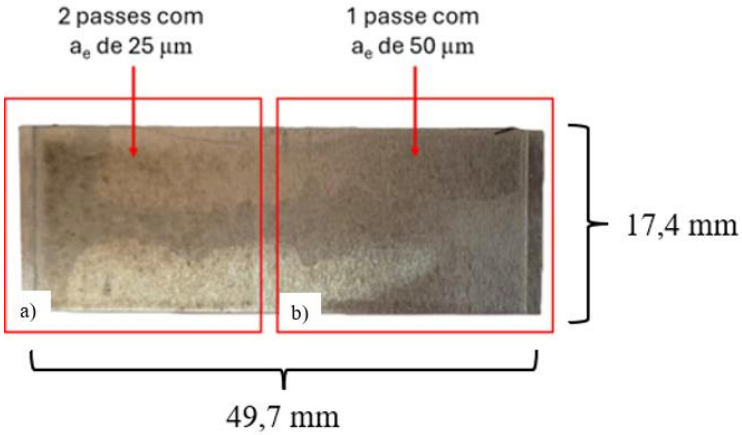


Figura 5 – Imagem da amostra após retificação.

Segundo Diniz e Marinelli (2008), os valores de rugosidade Ra para superfícies retificadas em condições de semi-acabamento podem alcançar até 1,6 µm. No entanto, neste estudo, todos os valores medidos permaneceram abaixo de 0,65 µm, o que é aproximadamente 60 % menor em relação ao valor de referência máximo, indicando bom acabamento superficial. Apesar desses baixos níveis de rugosidade, uma avaliação mais abrangente da integridade superficial exige a análise de parâmetros que regem a integridade da superfície adicionais, como análise das superfícies por microscopia eletrônica de varredura (MEV), medição de dureza abaixo da superfície usinada, análise microestrutural e tensões residuais. Tais análises complementares são essenciais para uma compreensão mais completa da retificabilidade do aço ABNT VP 100 nas condições operacionais estudadas.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na retificação plana tangencial do aço ABNT VP 100 sob diferentes estratégias de retificação, foi possível concluir que:

- A estratégia com dois passes com penetração de trabalho igual a 25 µm proporcionou menor rugosidade média (Ra) em relação ao passe único de penetração de trabalho igual a 50 µm, evidenciando que múltiplas passagens do rebolo com menor penetração de trabalho favorecem um melhor acabamento superficial.
- Os valores de Rt (altura total do perfil de rugosidade) não sofreram influência da estratégica de diferentes penetrações de trabalho. Ela foi insensível à variação do número de passes.
- Não foram observadas queima de retífica na superfície que foi usinada com 2 passes de ae = 25 *µm*, diferentemente da superfície em que foi usinada com um único passe com o valor de penetração de trabalho igual a 50 µm, na qual foi encontrada queima de retífica moderada, embora o valor de Ra permanecesse inferior a 0,7 µm.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, P. R. et al. Análise da influência da profundidade de corte e da velocidade de corte na geração de calor na retificação cilíndrica externa. *Revista Ciência & Engenharia*, Uberlândia, v. 10, n. 1, p. 31–36, 2001.

Barini, B.S., Lins, R.S., Marques, V.A.S., Guimarães, C., Marques, A. E Fernandes, L.A., 2021, "Análise dos parâmetros de corte sobre a rugosidade ra na retificação cilíndrica externa de passagem axial", Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 6, p. 64133-64140.

Couto, A. A.; Machado, Á. R.; Silva, M. B. Influência da condição de lubri-refrigeração na retificação de aço ABNT 4340 com rebolo CBN. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 507–514, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1517-70762012000200030.

Diniz, A. E.; Marinelli, E. Usinagem dos materiais. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2008.

Malkin, S., Guo. C., 2008, "Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives", 2ª ed., New York: Industrial Press, 372p.

Oliveira, D. F. et al. Avaliação da retificação do aço VP 100 utilizando diferentes parâmetros de corte e rebolos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (10º. COBEF), 2019, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABCM, 2019.

Silva, J. F.; Bastos, T. Caracterização da rugosidade superficial como critério de qualidade na usinagem de precisão. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 16, n. 4, p. 1392–1412, 2016. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i4.2284.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, bem como aos Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) e Laboratório de Usinagem Convencional (LUC) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pela disponibilização dos equipamentos utilizados nos ensaios.

Além disso, agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU pelo pela bolsa de estudos, e às agências de fomento FAPEMIG e CNPq. Os autores agradecem também à Blaser® Swisslube e Saint-Gobain® Abrasivos por fornecer o fluido de corte e o rebolo, respectivamente. Rosemar Batista da Silva agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa processo n: 312274/2022-0.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.