



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DO PROCESSO DE RETÍFICA NA RUGOSIDADE DE ELEMENTOS PLANOS

Lucas Erivaldo Corrêa

Estudante – Faculdade SENAI JOINVILLE

Gilson Silva

Estudante – Faculdade SENAI JOINVILLE

Anderson de Carvalho Fernandes

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Bruna de Freitas Zappelino

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Kleber Aluizio Isidorio Vaiz

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Resumo: Este artigo tem como objetivo analisar a influência de determinados parâmetros envolvidos no processo de retífica plana na rugosidade média de amostras em formato prisma quadrangular. De modo a analisar o resultado destes elementos, foi desenvolvido uma experimentação, por meio do método de “Design de Experimentos”. E através de técnicas estatísticas, concluiu o quanto essas variáveis podem influenciar no processo de retífica plana, do tipo tangencial. O resultado deste experimento foi que utilizando um incremento de 0,03mm, sob influência de um avanço interpolado e, medindo-o no eixo horizontal e paralelo a base utilizada no procedimento de medição, obtém-se uma menor rugosidade média.

Palavras-chave: Rugosidade, retífica plana, parâmetros

Influence of Parameters from Grinding Process on Roughness of Plane Elements

Abstract: This article aims to analyze the influence of certain parameters involved in the flat grinding process on the average roughness of square prism samples. In order to analyze the result of these elements, an experiment was developed, using the “Design of Experiments” method. And through statistical techniques, he concluded how these variables can influence the flat grinding process, of the tangential type. The result of this experiment was that using an increment of 0.03mm, under the influence of an interpolated feed, and measuring it on the horizontal axis and parallel to the base used in the measurement procedure, a lower average roughness is obtained.

Keywords: Grinding, Roughness, Design of Experiments

1. Introdução

Partindo do princípio de que o processo de retífica visa realizar um melhor acabamento superficial de elementos planos ou cilíndricos. A intenção do estudo proposto é de cercar, estatisticamente, as principais variáveis envolvidas neste processo.

De forma a atender a expectativa do estudo, foram desenvolvidos dois protótipos, de formato prisma quadrangular e de dimensões semelhantes. Os produtos possuem uma maior superfície de contato, objetivando uma melhor interação com a retífica plana tangencial, pelo qual fora o maquinário escolhido para tal. Os parâmetros escolhidos para este teste foram o incremento (ou avanço no eixo Z), o tipo de avanço e o sentido da medição.

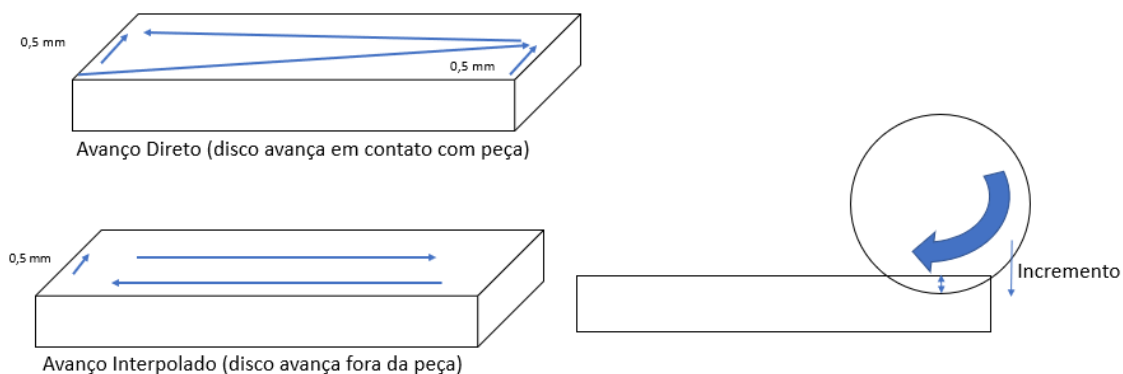
Para o desenvolvimento das hipóteses de experimentação, utilizou-se os elementos estatísticos contidos no DOE (ou Design de Experimento), que combinam condições entre os parâmetros estabelecidos de forma organizada e sequenciada. Possibilitando a extração de diversas condições possíveis de manuseio e operação.

2. Materiais e Métodos

A máquina utilizada para o trabalho é uma retificadora plana tangencial modelo P25 Automática, do fabricante MELLO, equipada com um comando numérico CNC da Fagor.

No que diz respeito às variáveis específicas selecionadas, utilizou-se a variação de incremento (dois valores proporcionando grandezas distintas de taxa de remoção de material, sendo elas 0,01 mm e 0,03 mm), o sentido de avanço (direto e interpolado), bem como o sentido da medição (horizontal e vertical ao sentido de retificação). O avanço latitudinal selecionado para o experimento foi 0,5 mm/s, sendo este constante durante toda a fase do teste (Figura 1).

Figura 1 - Esquemas de avanço e incremento

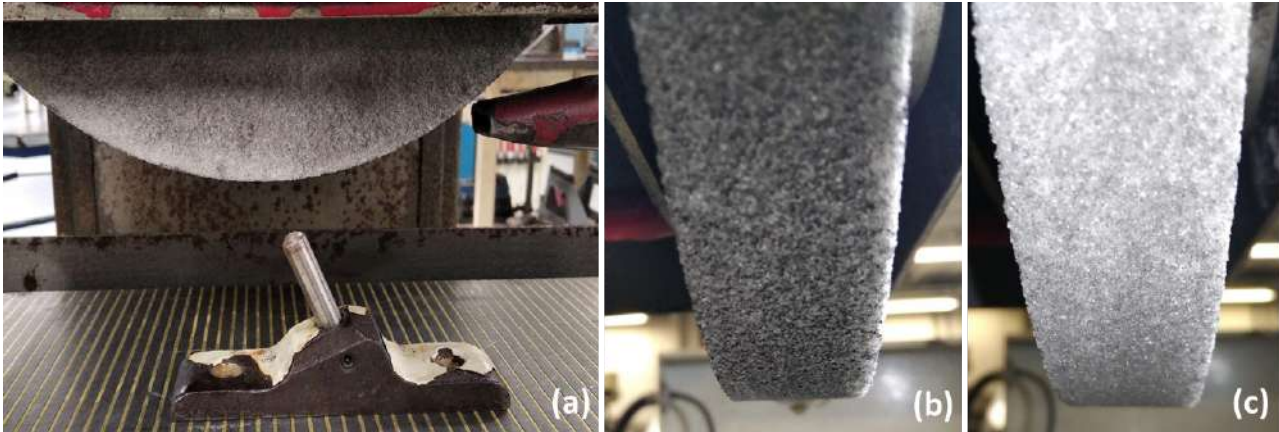


Fonte: Os autores (2021)

Por meio da manipulação do rebolo de corte na retífica, que pode ser movimentado no eixo Z positivamente ou negativamente, é possível transmitir incremento no processo. A quantidade de incremento no sentido negativo (medido em mm) influencia o quanto de remoção de material que a peça pode sofrer. O máximo que a retífica plana tangencial pode remover em uma superfície, sem avarias ou danos, é de 0,05 mm. Como ferramenta foi utilizado um rebolo de corte superabrasivo Norton formato reto 66253455221, com diâmetro externo de 254 mm, largura de 25,4 mm e espessura de 76,2mm, indicados para retificação de objetos de aço de alta dureza, de maneira rápida, com corte frio, e excelente manutenção do perfil.

De modo a manter a operação de retífica estável e ausente de variáveis indesejáveis, foi necessário realizar a operação de dressagem do rebolo. Para tanto, utilizou-se um dressador do tipo ponta única. Nesta operação, é necessário efetuar o atrito entre o rebolo e o dressador em alta rotação a 15° de inclinação em relação a mesa, de modo que ele retire uniformemente impurezas contidas na ferramenta rebolo, que possui superfície porosa e características abrasivas (Figura 2).

Figura 2 – (a) Dressador posicionado para a Dressagem, (b) e (c) Comparação entre um rebolo sem dressagem e o mesmo após o processo



Fonte: Os autores (2021)

Para a realização das combinações dos experimentos, foi necessário utilizar-se de um princípio estatístico, chamado DOE. Pelo qual combina as variáveis escolhidas para o estudo em diversas réplicas e condições.

As combinações das variáveis foram realizadas com o auxílio do software estatístico Minitab, o qual permitiu gerar automaticamente uma tabela de hipóteses que podem ser experimentadas. A quantidade de experimentos total foi de 32 (8 hipóteses com 4 réplicas), divididos entre avanço (direto ou interpolado), incremento (0,01mm e 0,03mm) e posição de medição (vertical ou horizontal).

Os corpos de prova para o experimento foram fabricados em aço VF800. Aço com características especialmente desenvolvidas para proporcionar boa resistência ao desgaste (geralmente associada a elevado nível de tenacidade). Este material também possui elevada temperabilidade, podendo ser temperado ao ar ou em óleo, reduzida susceptibilidade a trincas durante e após usinagem por eletroerosão, ou seja, possui características que facilitam a análise experimental de sua superfície.

De modo a extrair os resultados mais controlados possíveis, as amostras passaram previamente pelo processo de retífica. O que resultou em corpos de prova com alto grau de acabamento superficial (Figura 3).

Figura 3 - Amostra retificada



Fonte: Os autores (2021)

Para a análise da rugosidade (R_a) dos elementos, foi utilizado um rugosímetro portátil modelo Mitutoyo SJ-210, esse foi posicionado de uma forma que a medição fosse executada no sentido vertical e horizontal da peça, e ajustado para efetuar a medição com um comprimento de amostragem $\lambda_c = 0,8$ mm (Figura 4).

Figura 4 – (a) Aparelho rugosímetro (b) Rugosímetro realizando a coleta de dados



Fonte: Os autores (2021)

Para a execução do experimento, foi realizada a preparação das amostras, retificando-as em formato bruto em ambas as faces. Posteriormente foi feita a medição das mesmas em um dispositivo de altura, para garantir que estas apresentem o mesmo nível.

Para este processo, as amostras foram medidas em laboratório controlado e em uma base de granito, conforme Figura 5.

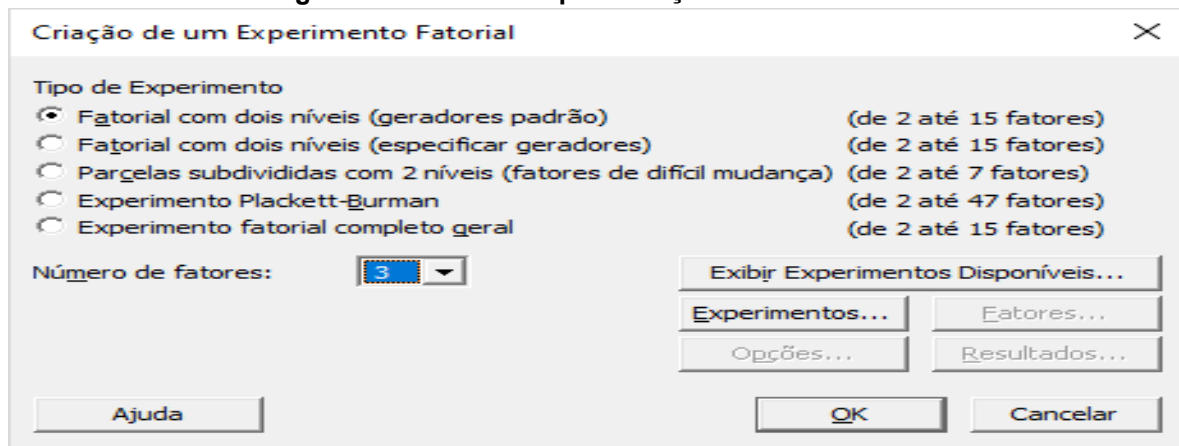
Figura 5 - Procedimento de medição de altura das amostras



Fonte: Os autores (2021)

Após a verificação de altura, o grupo prosseguiu com a criação estatística dos experimentos. Foi utilizado o software Minitab, que possui diversos recursos no campo de análise de dados e por isso demonstra grande usabilidade durante a criação de experimentos. O conteúdo responsável pela criação do DOE (Design de Experimentos) está localizado na aba “Estat”, DOE (Planejamento de Experimentos), fatorial e criação de um experimento fatorial (Figura 6).

Figura 6 - Menu inicial para criação do DOE Fatorial



Fonte: Os autores (2021)

Após o acesso do usuário à janela de criação do experimento, é possível direcioná-lo com os dados desejados. No caso do grupo, foi utilizado um experimento fatorial com dois níveis e sob influência de 3 fatores.

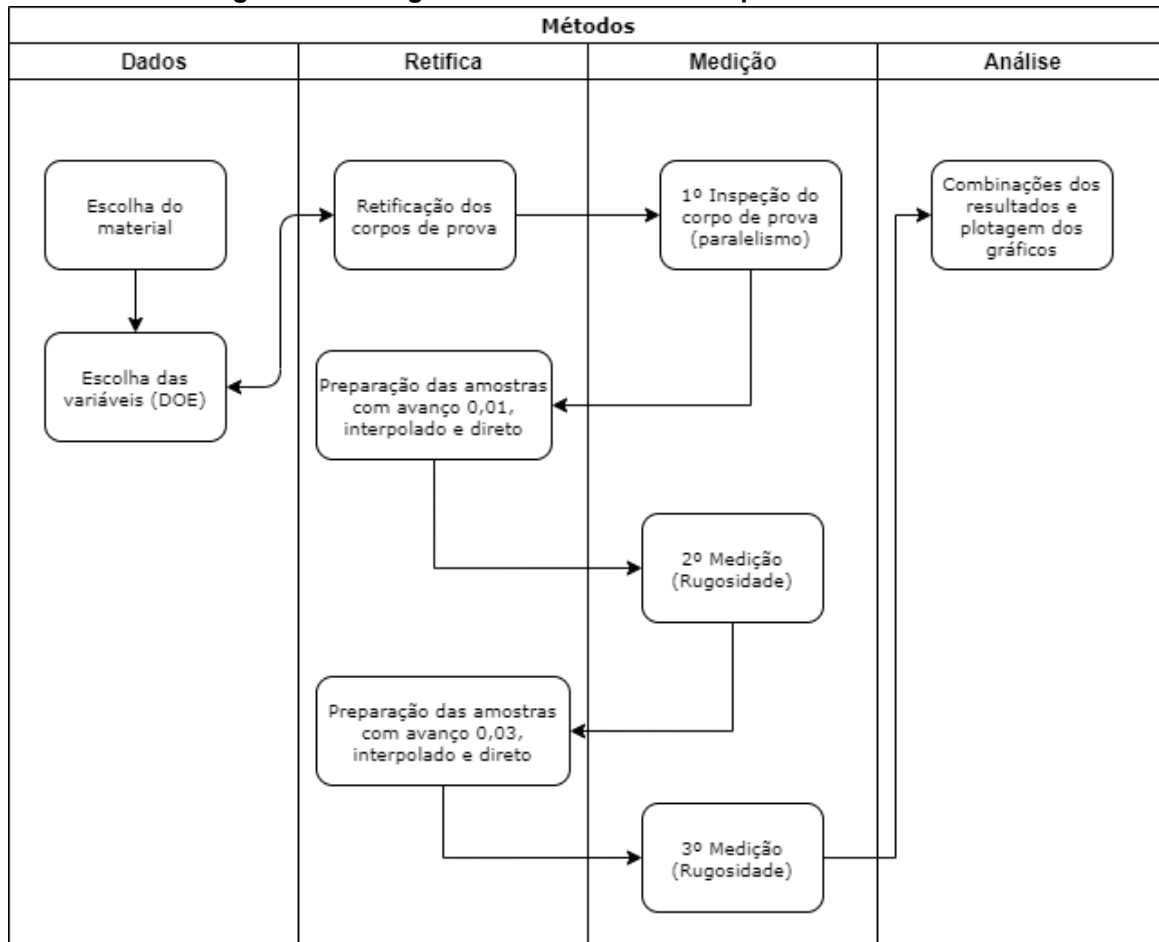
E após a seleção dos respectivos parâmetros do estudo, o grupo conseguiu cerca de 32 combinações distintas com os 3 fatores, e 2 níveis em 4 réplicas.

Com todas as informações estatísticas relevantes para a experimentação, prosseguiu-se para a execução prática em laboratório das amostras. Percebe-se que para manter a confiabilidade dos dados (ou seja, sem avarias), foi preciso interpolar as amostragens com as inspeções, de modo que em um primeiro momento foi retificado e coletado os dados para o menor avanço (0,01 mm) e posteriormente para a variável de maior valor (0,03 mm).

E finalmente, depois de retificar os corpos de prova, os dados foram organizados em uma planilha, copiou-os e gerou as estatísticas finais no programa Minitab.

Na Figura 7, é ilustrado o fluxograma que descreve todos os procedimentos desde a preparação até a organização final e resultado, está dividido entre 4 principais colunas: a coluna de escolha, estudo dos materiais e parâmetros para o Design de Experimentos, a de execução (retificação) dos corpos escolhidos, da consequente extração de dados resultantes e finaliza com a geração de resultados.

Figura 7 - Fluxograma contendo todos os passos do estudo



Fonte: Os autores (2021)

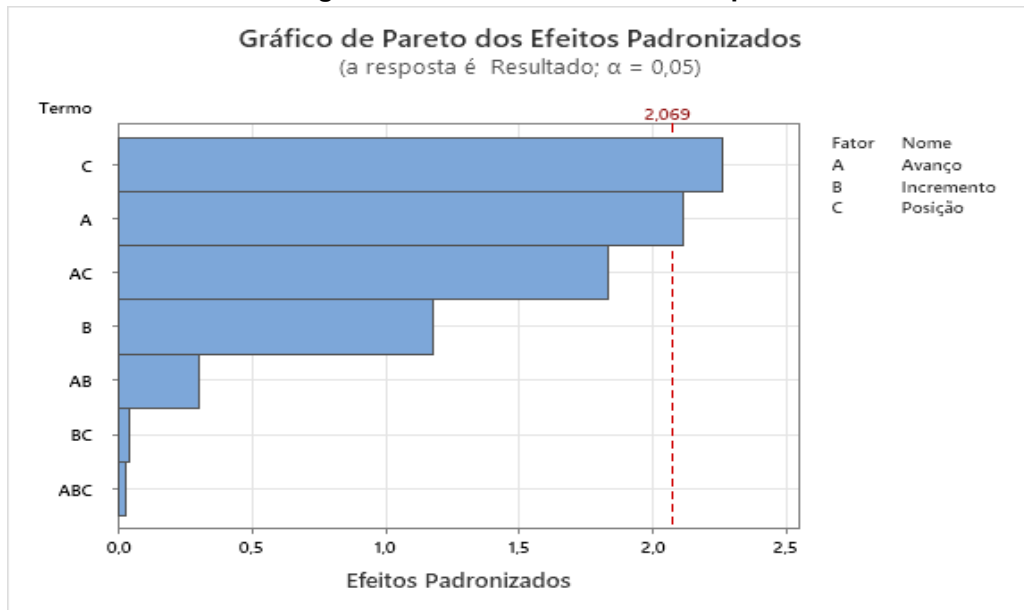
3. Resultados e Discussões

Neste capítulo são apresentados os dados resultantes das variáveis escolhidas para o desenvolvimento do Design de Experimento. Os gráficos a seguir dizem respeito às variáveis de incremento (0,01 mm e 0,03 mm), tipo de avanço (Direto e Interpolado) e sentido de medição (Vertical e Horizontal).

3.1. Gráfico de Pareto

O gráfico de Efeitos Principais (ou gráfico de Pareto) correlaciona as variáveis distintas do processo com os resultados obtidos através dele e conclui quais os principais influenciadores no resultado. A linha de referência para observar o maior parâmetro influenciador se chama Linha de Efeito Padronizado, que baseado nos resultados apresentados abaixo, conclui-se que o maior influenciador na rugosidade (Ra) das amostras é a Posição de Medição (Figura 8).

Figura 8 - Gráfico de Efeitos Principais

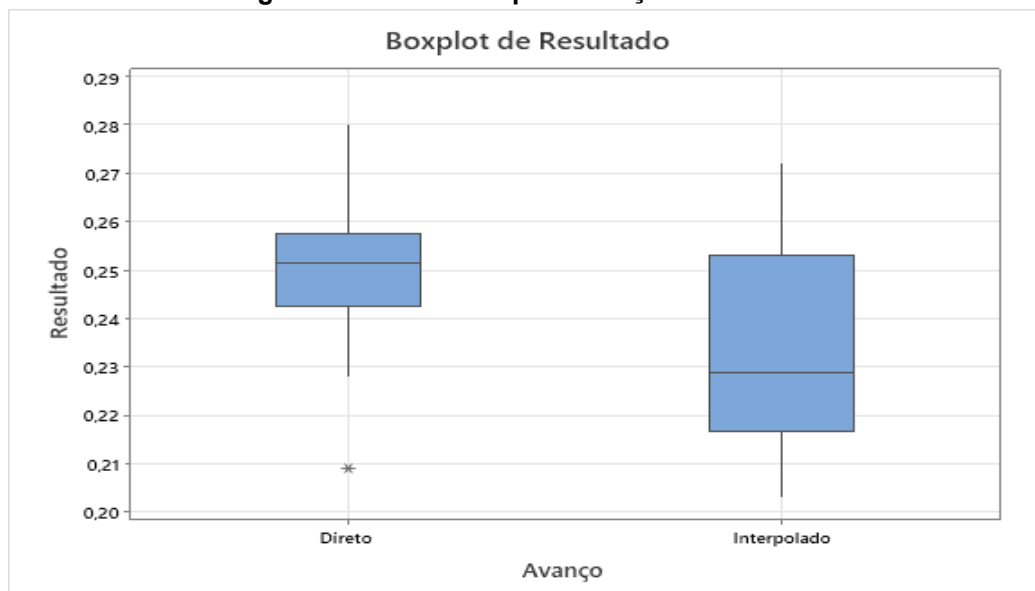


Fonte: Os autores (2021)

3.2 Gráfico Boxplot

O Boxplot ou box plot é um diagrama de caixa construído utilizando as referências de valores mínimos e máximos, primeiro e terceiro quartil, mediana e outliers da base de dados. Através da Figura 9, é possível concluir visualmente que para a variável “Avanço”, percebe-se uma maior concentração de dados em $0,25\mu\text{m}$ para o Avanço direto (o que pode resultar em uma precisão maior no processo), e um maior range de dados para o avanço interpolado (o que distancia os pontos resultantes, gerando maiores dispersões).

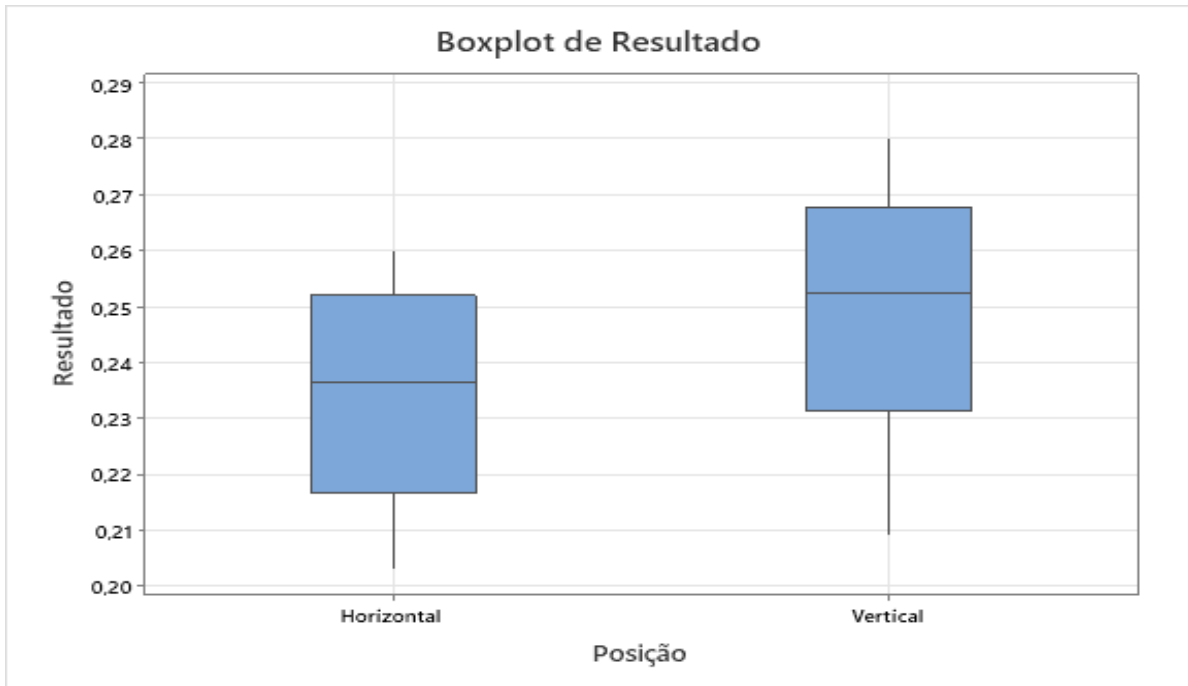
Figura 9 - Gráfico Boxplot Avanço x Resultado



Fonte: Os autores (2021)

Para a variável “Posição” é possível inferir que o sentido horizontal de medição pode gerar menores resultados de rugosidade, pois os valores centrais contidos na mediana em posição horizontal estão entre $0,23$ e $0,24\mu\text{m}$. Ao passo que no sentido de medição Vertical a mediana está entre $0,25$ e $0,26\mu\text{m}$ (Figura 10).

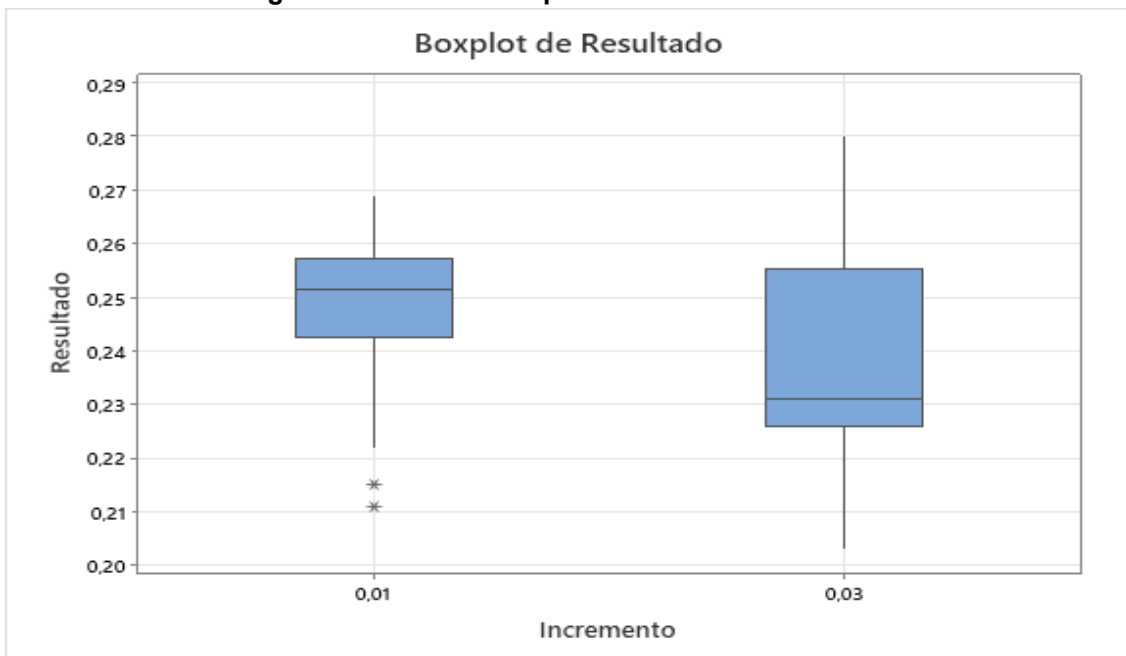
Figura 10 - Gráfico Bloxpot Posição x Resultado



Fonte: Os autores (2021)

E a respeito dos dados de incremento, apesar de o processo que utilizou 0,01 mm de avanço em Z ser mais preciso (ou seja, com maior concentração de dados) em relação a 0,03mm, ele não interferiu na rugosidade média dos elementos. Pois ambos estão contemplando o mesmo *range* de dados (Figura 11).

Figura 11 - Gráfico Bloxpot Incremento x Resultado



Fonte: Os autores (2021)

3.2 Análise da Variância P-valor

O valor p é uma probabilidade que mede a evidência H1 contra a hipótese nula H0. Um valor de p diferente do que o H0, fornece uma evidência mais forte de que a mesma é falsa.

A um nível de significância $\alpha = 0,05$ (ou 95% de confiança), pode-se constatar que o valor P para a junção entre o tipo de Avanço e a Posição de medição está mais próxima de H0 (0,08), dentre as demais variáveis analisadas. O que conclui a hipótese nula como verdadeira (Figura 12).

Figura 12 – Tabela Valor-P para os resultados

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	8	0,005227	0,000653	1,81	0,127
Blocos	1	0,000020	0,000020	0,05	0,818
Linear	3	0,003960	0,001320	3,65	0,027
Avanço	1	0,001610	0,001610	4,46	0,046
Incremento	1	0,000504	0,000504	1,40	0,250
Posição	1	0,001845	0,001845	5,11	0,034
Interações de 2 fatores	3	0,001248	0,000416	1,15	0,350
Avanço*Incremento	1	0,000034	0,000034	0,09	0,762
Avanço*Posição	1	0,001213	0,001213	3,36	0,080
Incremento*Posição	1	0,000001	0,000001	0,00	0,963
Interações de 3 fatores	1	0,000000	0,000000	0,00	0,978
Avanço*Incremento*Posição	1	0,000000	0,000000	0,00	0,978
Erro	23	0,008307	0,000361		
Falta de ajuste	7	0,002922	0,000417	1,24	0,338
Erro Puro	16	0,005385	0,000337		
Total	31	0,013534			

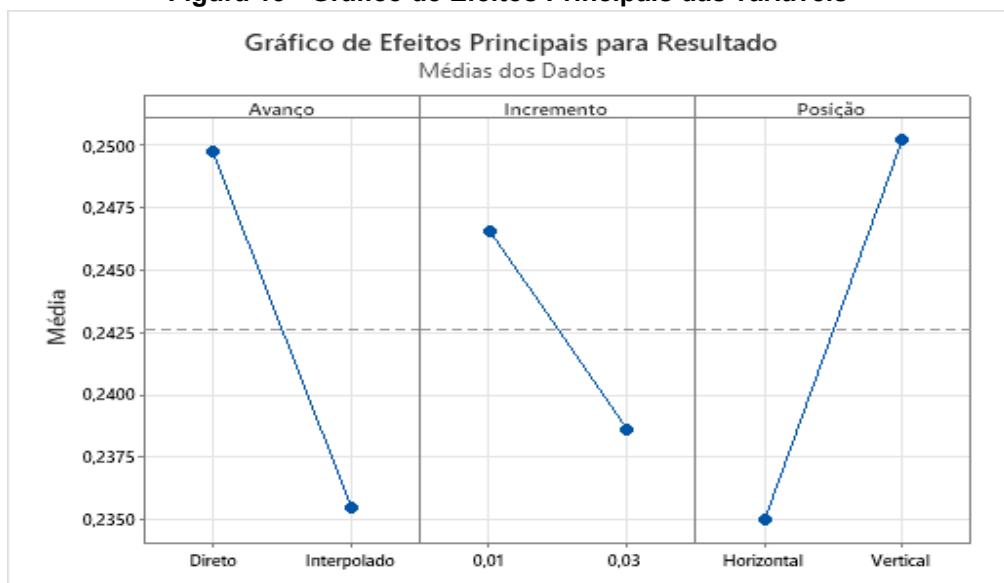
Fonte: Os autores (2021)

3.3 Gráfico de Efeitos Principais

Para este gráfico pode-se analisar o grau de interação entre as variáveis escolhidas para análise. Em tese, quanto mais os pontos forem distantes no eixo Y (média), maior é o nível de interação.

Através da Figura 13, é possível analisar que os parâmetros de maior influência no resultado da rugosidade média das amostras foram os Avanço e Posição.

Figura 13 - Gráfico de Efeitos Principais das variáveis



Fonte: Os autores (2021)

3.4 Gráfico de Valores Preditos

Através do gráfico de Cubo, é possível visualizar os resultados posicionados em suas arestas, representando os dados extremos em relação às variáveis. Desse modo, torna-se intuitivo a conclusão do experimento.

De acordo com os valores abaixo, é possível inferir que através de um incremento em Z de 0,03 mm, de avanço interpolado e com medição horizontal obtêm-se uma rugosidade menor (0,21650 μm).

Figura 18 - Gráfico Bloxpot Incremento x Resultado



Fonte: Os autores (2021)

4. Considerações Finais

Partindo do princípio de que o processo de retífica visa efetuar um acabamento superficial com alto padrão de qualidade, e proporcionar uma rugosidade média menor nos objetos que passam por ela. Concluiu-se que, baseado nos dados coletados, apesar da diferença entre os incrementos (avanço em Z) no experimento ser alto, pois uma variação de 0,02 mm é considerada alto no processo retífica, o que pode proporcionar uma pressão de corte alta entre as combinações, os principais influenciadores do Ra das amostras dizem respeito a parâmetros atributivos, ou seja, são características que não são numéricas. A exemplo do tipo de avanço, que fora definido como direto e interpolado e do o parâmetro posição da medição, sendo horizontal e vertical, que são fruto do trabalho operacional de um agente.

Deste modo, o estudo concluiu que se for efetuado um processo de retífica, independentemente do incremento, com um avanço interpolado e sob orientação de medição para o sentido horizontal é possível encontrar uma rugosidade média menor do que os demais parâmetros estudados neste artigo.

5. Agradecimentos

Em um primeiro momento, a equipe gostaria de agradecer a Faculdade de Tecnologia SENAI, por proporcionar a oportunidade de desenvolver um estudo que, apesar de poucas referências no meio acadêmico em geral (motivo pelo qual não foram encontrados artigos semelhantes a respeito deste tópico), o grupo recebeu grande incentivo para fazê-lo.

Em um segundo momento, é de suma importância agradecer e reconhecer o corpo docente da Graduação em Engenharia da Produção, em especial os professores Anderson de Carvalho Fernandes e Bruna Zappelino. Pois os mesmos através de uma soma de características técnicas e teóricas, encontraram oportunidades para ajudar o grupo a desenvolver um tema como este. De modo a buscar de todas as formas os melhores recursos disponíveis para tal, o grupo de professores demonstrou durante as etapas um enorme esforço e competência para juntos, lograr êxito na execução deste trabalho.

O grupo também gostaria de agradecer aos diversos colaboradores das indústrias localizadas na região de Joinville, pois adveio da expertise destes conglomerados a ideia inicial de se aprofundar no tema envolvendo máquinas retíficas, pelo qual são muito utilizadas na cadeia metalmeccânica produtiva em geral. Do mesmo modo, estas possuem um arsenal teórico e técnico enorme, no que diz respeito à utilização prática de ferramentas estatísticas.

Referências Bibliográficas

MOURA, G. C. de M. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>> Acesso em: 09 out. 1996.

CONTEAÇOS. **VF-800**. Disponível em: <<https://www.conteacos.com.br/vf800-at/>>. Acesso em: 27 abril. 2021

DIMAS FERRAMENTAS DIAMANTADAS. **Dressador ponta única**. Disponível em: <<https://www.dimasferramentas.com.br/dressador-ponta-unica>>.

RODRIGUEZ, L. R. **Entenda, de uma vez por todas, o que é boxplot e como analisar esse gráfico!** Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/boxplot>>.

MINITAB. **Interpretar todas as estatísticas para Teste para 1 variância**. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/1-variance/interpret-the-results/all-statistics/>>. Acesso em: 15 maio. 2021.

BIANCHI, E.; MONICI, R.; SILVA, E.; AGUIAR, P.; VALARELLI, I. **Análise comparativa da influência da pressão e vazão no processo de retificação tangencial plana**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Bianchi-Carlos/publication/267688626_ANALISE_COMPARATIVA_DA_INFLUENCIA_DA_PRESSAO_E_VAZAO_NO_PROCESSO_DE_RETIFICACAO_TANGENCIAL_PLANA/links/55b23afd08aed621ddfda631/ANALISE-COMPARATIVA-DA-INFLUENCIA-DA-PRESSAO-E-VAZAO-NO-PROCESSO-DE-RETIFICACAO-TANGENCIAL-PLANA.pdf>; Acesso em: 09 maio. 2021.