

INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE SOBRE A RUGOSIDADE FINAL DE PEÇAS CONFECCIONADAS EM AÇO SAE 4140 UTILIZANDO INSERTO COM RECOBRIMENTO DE TiCN

CUTTING FLUID INFLUENCE ON FINISH ROUGHNESS OF PARTS MADE IN SAE 4140 STEEL USING COATED TiCN TOOLS

DOI [10.5281/zenodo.14531601](https://doi.org/10.5281/zenodo.14531601)

Hélio dos Santos França Junior¹, Julio Cesar de Lima Monteiro²
UNIRJ/FESM

RESUMO

Um dos parâmetros aplicados para avaliar a qualidade de peças usinadas é o acabamento superficial. Inúmeros estudos têm sido realizados para avaliar os fatores que influenciam na rugosidade final de peças confeccionadas por meio do processo de usinagem. No presente trabalho, foi analisada a influência do uso de fluido de corte sobre o acabamento superficial de peças produzidas em aço SAE 4140,

utilizando ferramentas de carboneto metálico revestidas com TiCN. Os resultados foram tratados estatisticamente e foram realizadas análises de variância (ANOVA) e t-Student para validação dos resultados. Os resultados comprovaram a influência do uso do fluido de corte sobre a rugosidade final da peça, apresentando coerência com Diniz, & Micaroni (2002) entre outros. quando se aborda o tema.

Palavras-chave: Fluidos de corte; Acabamento superficial, Análise de Variância.

ABSTRACT

One of the parameters applied to evaluate the quality of machined parts is surface finish. Numerous studies have been carried out to evaluate the factors that influence the finish roughness of parts made in machining process. In the present work, the cutting fluid influence on the surface finish of parts produced in SAE 4140 steel using metal carbide coated TiCN tools was

analyzed. The results were treated statistically and analyzes of variance (ANOVA) and t-Student were performed to validate the results. The results confirmed the influence of the use of cutting fluid on the final roughness of the part, showing consistency with Diniz, & Micaroni (2002) among others. when addressing the topic.

¹Professor Mestre em Engenharia Metalúrgica e Materiais – UFF. Prof. e Coordenador dos Cursos de Engenharia do Centro Universitário do Rio de Janeiro – UNIRJ. Professor da Fundação Técnico Educacional Souza Marques – Faculdade de Engenharia Mecânica – Laboratório de Tecnologia Mecânica. E-mail: helio.junior@uniesp.edu.br

²Graduando da Fundação Técnico Educacional Souza Marques – Faculdade de Engenharia Mecânica. E-mail: julio.lima.monteiro@hotmail.com

Keywords: Cutting fluids; Finish roughness; Variance Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos processos de fabricação mais relevantes na produção industrial. O crescimento econômico da manufatura no mundo tem relação direta com o desenvolvimento e aperfeiçoamento de diversas tecnologias associadas às variadas operações de usinagem.

Pode-se definir a usinagem como sendo um processo no qual uma ferramenta remove material da superfície de um corpo de menor resistência, através de movimento relativo e aplicação de força formando cavaco. A sua importância no contexto industrial está associada à possibilidade de se obter peças com tolerâncias dimensionais restritas, além de excelentes acabamentos superficiais, somente alcançáveis através deste processo (Groover, 2014, p. 348).

Segundo Diniz e Oliveira (2004), a maior parte da energia mecânica usada para formar o cavaco transforma-se em calor, ocasionando uma elevação da temperatura na região de corte. Dessa forma, o uso de fluidos de corte é recomendado com a finalidade de reduzir a temperatura na região de corte, bem como reduzir o atrito na interface ferramenta-peça. Sob estas condições, observa-se a redução da taxa de desgaste do ferramental, promovendo uma maior vida da ferramenta.

As vantagens promovidas pelo uso dos fluidos de corte têm sido questionadas. Diversos efeitos negativos são observados, uma vez que quando inapropriadamente manuseados podem levar à contaminação do solo e dos recursos hídricos, comprometendo seriamente o meio ambiente. Por outro lado, efeitos nocivos à saúde dos operadores de máquinas são notados. Diante disso, comprometimentos do sistema respiratório, bem como problemas de pele têm sido foco de reclamações constantes por parte de usuários. (Diniz e Oliveira, 2004).

Dessa forma, torna-se fundamental o desenvolvimento de ferramentas de corte mais eficientes. A resistência à abrasão e à aderência ganham relevância, uma vez que são mecanismos de desgaste fortemente afetados pela elevação da temperatura na região de corte.

Nesse sentido, Diniz, Marcondes e Coppini (2014, p. 190) afirmam que para a total supressão do uso de fluidos de corte é fundamental que se tenham materiais de ferramentas e condições de usinagem adequadas. Assim, a utilização de ferramentas de carbonetos metálicos com recobrimentos de TiC, TiN, TiCN passam a ser alternativas viáveis neste sentido.

Boothroyd; e Knight, (1989, p. 181) afirmam que a rugosidade superficial obtida através do processo de usinagem, corresponde à soma de efeitos ocasionados pela geometria da ferramenta e dos parâmetros de corte ajustados em cada operação, assim como pelas próprias irregularidades decorrentes do processo de corte.

Machado *et al.* (2015, p. 315) mencionam que para a caracterização da rugosidade em peças usinadas, o parâmetro R_a (desvio aritmético médio) é amplamente empregado, face à considerável disponibilidade de instrumentos de medida. Outro aspecto relevante para utilização desse padrão, dá-se devido à sua estabilidade, entretanto a escolha do parâmetro a ser utilizado dependerá muito da aplicação da peça.

O acabamento superficial depende do tipo de cavaco formado, do raio de ponta da ferramenta e outras condições de usinagem, tais como taxa de avanço, velocidade de corte e profundidade de corte. Cavacos descontínuos causam danos à superfície da peça quando se quebram, ocasionando problemas de vibração. Cavacos contínuos tendem a formar aresta postíca de corte (APC), que promovem deterioração da ferramenta quando seus fragmentos se desprendem da superfície de saída. Dessa forma, cavacos que se formam continuamente no sistema peça-ferramenta garantem condições de corte ideais em regime estacionário, com menos flutuações na força de corte, assegurando, dessa forma, uma melhor qualidade na superfície da peça usinada (El-Hofy, 2019).

Araújo, Mouro e Campos (2020, p. 191) afirmam que, com base no raio de ponta da ferramenta (r_ϵ) e do avanço (f) ajustado para a operação de corte, é possível se estabelecer uma previsão para o desvio aritmético médio (R_a) em superfícies usinadas, obtidas através de operações de torneamento, conforme indicado na Equação 1.

$$R_{a_teórico} = \frac{f^2}{18\sqrt{3} \cdot r_\epsilon} \quad (1)$$

Gharaibeh; Al-Rousan; Ajlouni (2018) estudaram o efeito do uso de óleos vegetais sobre a rugosidade final de peças de alumínio confeccionadas através de operações de torneamento e fresamento, tendo sido constatado que com a variação das velocidades de corte, foram observadas diferenças estatísticas significativas nos desvios médios aritméticos (R_a) mensurados.

Diniz e Micaroni (2002) mostraram que o uso de fluidos de corte prolonga a vida da

ferramenta em comparação com a usinagem a seco, embora essa diferença sofra uma redução à medida que se aumenta o ajuste do avanço por volta.

2. OBJETIVOS

Comparar o efeito sobre a rugosidade de superfícies usinadas com e sem o uso de fluidos de corte, utilizando ferramentas de carboneto metálico com recobrimento.

3. METODOLOGIA

3.1. Material

Neste estudo experimental, foi utilizado o aço SAE 4140. Este material caracteriza-se por possuir uma boa combinação de resistência mecânica e resistência à fratura, além de elevada resistência à fadiga. A sua composição química pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do aço SAE 4140 (%)

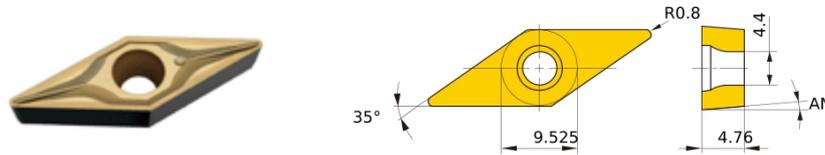
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Cu	Sn
0,419	0,83	0,264	0,017	0,007	0,996	0,016	0,176	0,005	0,003	0,014	0,001

Fonte: GERDAU (2023)

3.2. Material da ferramenta

Os experimentos foram realizados utilizando insertos código ISO VBMT 160408 - FP MC6025, fabricado pela Mitsubishi Materials. A classe MC6025 combina dois tipos de revestimentos que podem fornecer um desempenho de usinagem capaz de satisfazer plenamente os requisitos da produção moderna. A camada superior ultra lisa possui um fino revestimento de TiCN produzido por deposição química de vapor (CVD). Adicionalmente, apresenta uma camada de Al₂O₃ muito mais uniforme, que proporciona importante resistência ao desgaste e à fratura, assegurando vida prolongada à ferramenta, propícia ao ajuste de altas velocidades de corte, necessárias aos inserto da classe P20. A geometria do inserto é apresentada na *Figura 2*.

Figura 2: Geometria do inserto padrão ISO VBMT160408-FP



Fonte: (MITSUBISHI MATERIALS, 2023)

3.3. Equipamentos utilizados

Foi utilizado o torno CNC da marca ROMI, modelo CENTUR 30D, cujos dados técnicos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Especificação técnica torno CNC ROMI modelo CENTUR 30D

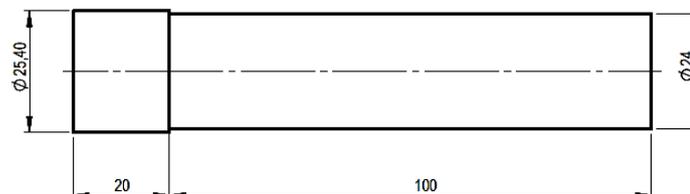
Especificação técnica	
Altura de pontas	240 mm
Distância entre pontas	1000 mm
Diâmetro adm. sobre o carro transversal	200 mm
Curso transversal do carro (eixo X)	220 mm
Nariz do eixo-árvore	A2-5" / A2-6" ASA
Diâmetro do furo do eixo-árvore	53 / 65 mm
Avanço rápido longitudinal (eixo Z)	10 mm
Motor principal ca (regime S6 - 40%)	12,5 / 9 CV/kW

Fonte: autoria própria

3.4. Procedimento experimental

Foram pré-usinados seis corpos de prova a partir de uma barra circular de $\varnothing 1''$, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Geometria dos corpos de prova utilizados para usinagem



Fonte: autoria própria

O experimento consistiu em avaliar a influência do uso de fluido de corte sobre o acabamento superficial de peças usinadas em torno CNC. Dessa forma, os corpos de prova foram separados em dois grupos de 03 (três) elementos. No Grupo I, foram identificados os

corpos de prova cuja usinagem foi realizada a seco enquanto que, no grupo II, constam os demais submetidos à usinagem com o uso de fluido de corte. A Tabela 3 apresenta a identificação dos corpos de prova.

Tabela 3: Identificação dos corpos de prova

Grupo	Identificação do CP	Condição de usinagem
I	CP 1	sem fluido de corte
I	CP 2	sem fluido de corte
I	CP 3	sem fluido de corte
II	CP 4	com fluido de corte
II	CP 5	com fluido de corte
II	CP 6	com fluido de corte

Fonte: autoria própria

A operação de torneamento foi realizada com o uso de contra-ponta rotativa, de forma a mitigar a influência de vibrações e oscilações autoinduzidas de grande amplitude que influenciam no acabamento superficial da peça.

Os corpos de prova foram usinados, com o percurso de avanço pré-definido, em três passes. Para cada corpo de prova, foi utilizado um inserto novo, garantindo que as condições de corte fossem as mesmas. Os parâmetro de corte ajustados foram baseados nas recomendações do fabricante da ferramenta, conforme os indicados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetro de corte utilizados na usinagem dos corpos de prova

Parâmetro	Valores
Velocidade de corte (v_c)	300 m/min
Avanço por volta (f)	0,2 mm/volta
Profundidade de corte (p)	0,5 mm

Fonte: autoria própria

A rugosidade das peças usinadas foi medida utilizando-se um rugosímetro digital, marca INSIZE, modelo ISR-C003. Utilizou-se o parâmetro R_a (em μm) com comprimento de amostragem (cut-off) $\lambda = 0,8$ mm. As medições foram realizadas na metade do percurso de avanço para que eventuais oscilações ocorridas durante o processo de usinagem, que eventualmente pudessem influenciar nas medidas da rugosidade da peça, fossem desconsideradas. Foram tomadas 03 (três) medidas em cada corpo de prova, intercaladas a cada 120° com relação à sua seção transversal, perfazendo um total de 09 (nove) levantamentos por grupo avaliado.

A Figura 4 apresenta o dispositivo montado para a medição das rugosidades dos corpos de prova

Figura 4: Dispositivo para medição das rugosidades dos corpos de prova



Fonte: autoria própria

3.5. Análise dos dados

Foram realizadas análises variância (ANOVA) para avaliar a integridade dos dados dentro de cada grupo e, posteriormente, uma análise t-Student para verificar a ocorrência de diferenças estatísticas significativas nos resultados encontrados entre os grupos avaliados, quais sejam: usinagem com e sem o uso de fluidos de corte.

4. RESULTADOS

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com as medidas do desvio aritmético médio (R_a) da rugosidade realizadas nos corpos de prova usinados sem fluido de corte, com as respectivas médias, variâncias e desvio padrão.

Tabela 6: Medidas de rugosidade realizadas em corpos de prova usinados sem fluido de corte

CP	Medida 1 (μm)	Medida 2 (μm)	Medida 3 (μm)	\bar{x}	σ^2	σ
CP1	0,92	0,92	0,81	0,883333333	0,0040	0,0635
CP2	1	0,97	0,801	0,923666667	0,0115	0,1073
CP3	0,96	1,05	1,13	1,046666667	0,0072	0,0850

Fonte: autoria própria

A partir desses dados, foi realizada uma análise de variância, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7: *Teste ANOVA das medidas de rugosidade referentes aos CP's usados sem fluido de corte*

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,043434	2	0,021717	2,860356	0,13415	5,143253
Dentro dos grupos	0,045554	6	0,007592			
Total	0,088988	8				

Fonte: autoria própria

Admitido um nível de significância de 5% e a partir das informações apresentadas na Tabela 7, foi possível constatar que, como o fator F calculado mostrou-se menor que o $F_{\text{crítico}}$, pode-se afirmar que a hipótese nula é aceita. Dessa forma, a análise de variância mostrou que não houve diferenças estatísticas significativas entre os valores mensurados no grupo I.

A Tabela 8 apresenta os dados coletados referentes às medidas da rugosidade média (R_a) medidos nos corpos de provas do grupo II, com suas médias, variâncias e desvio padrão.

Tabela 8: *Medidas de rugosidade (R_a) realizadas em corpos de prova usados com fluido de corte*

CP	Medida 1 (μm)	Medida 2 (μm)	Medida 3 (μm)	\bar{x}	σ^2	σ
CP1	0,9	0,85	0,82	0,856666667	0,0016	0,0404
CP2	0,86	0,86	0,87	0,863333333	0,0000	0,0058
CP3	0,83	0,83	0,95	0,87	0,0048	0,0693

Fonte: autoria própria

A análise de variância realizada a partir das informações indicadas na Tabela 8 é apresentada na Tabela 9. Pode-se observar que a hipótese nula é confirmada, indicando que também não há diferenças estatísticas significativas nas medidas realizadas no grupo II.

Tabela 9: *Teste ANOVA das medidas de rugosidade referentes aos CP's usados com fluido de corte*

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,000266667	2	0,000133333	0,06185567	0,940610059	5,14325285
Dentro dos grupos	0,012933333	6	0,002155556			
Total	0,0132	8				

Fonte: autoria própria

A Tabela 10 apresenta a grande média e a variância total calculada a partir dos dados levantados nos grupos analisados.

Tabela 10: *Compilação dos dados estatísticos entre os grupos*

Grupo	\bar{x}	σ^2_{total}
Grupo I	0,9512	0,0111
Grupo II	0,8633	0,0017

Fonte: autoria própria

A partir das informações foi realizado um teste F, visando a comparar as variâncias calculadas para cada um dos grupos analisados. Admitindo 5% do nível de significância, a análise é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11: *Comparação das variâncias dos grupos analisados através de teste F*

Teste F	
Ho:	Variâncias comuns
H1:	Variâncias independentes
F _{calc} :	6,741481481
F _{tab} :	3,44
Teste F:	Ho rejeitada

Fonte: autoria própria

Com as informações apresentadas na Tabela 11, foi possível observar que a hipótese nula foi rejeitada, mostrando que as variâncias entre grupos não são comuns. Na sequência, foi realizada uma análise t-Student, visando a comparar os resultados observados entre os grupos de análise. Admitindo um nível de significância de 5% e variâncias diferentes, essa análise apresentou os resultados, conforme indicado na Tabela 12.

Tabela 12: *comparação das médias dos grupo analisados através do teste t-Student*

Teste "t-Student"	
Ho:	Médias comuns
H ₁ :	Médias independentes
t _{calc} :	2,332927363
grau _{lib} :	10
t _{tab} :	2,228
Teste "t":	Ho rejeitada

Fonte: autoria própria

As informações apresentadas na Tabela 12 mostram que a hipótese nula foi rejeitada, o que confirma que são constatadas diferenças estatísticas significativas nas médias das medidas

de rugosidade dos corpos de prova usinados com e sem fluido de corte.

5. DISCUSSÃO

As medidas de rugosidade mostraram que acabamentos superficiais observados nos corpos de prova submetidos ao processo de usinagem, apresentaram excelentes resultados para os parâmetros de corte ajustados. Tal fato deu-se pelo excelente desempenho do equipamento utilizado, assim como dos sistemas de fixação peça-ferramenta.

Por outro lado, o desempenho da ferramenta selecionada também mereceu destaque. Pôde-se constatar que o revestimento de TiCN permitiu trabalhar com elevada velocidade de corte, inibindo a ocorrência do fenômeno de aderência do cavaco sobre a superfície de saída da ferramenta. Da mesma forma, a geometria da ferramenta e do quebra cavaco contribuíram para um desempenho satisfatório. A formação de cavacos em hélice curtos comprovaram a eficiência da ferramenta, o que também contribuiu para os resultados alcançados. A Figura 5 apresenta a forma do cavaco gerado.

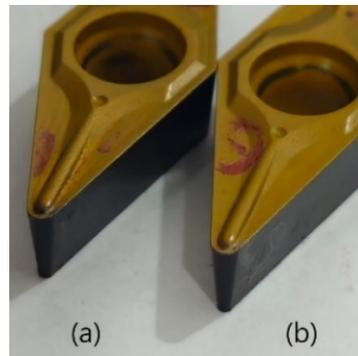
Figura 5: Cavaco formado no processo de corte



Fonte autoria própria:

O nível de desgaste observado nos insertos foi mínimo, conforme indicado na Figura 6, embora seja mais acentuado no inserto utilizado na usinagem a seco. Deve-se destacar que este resultado deu-se em função do curto percurso de avanço. É de se esperar que com o prolongado uso da ferramenta, desgastes mais severos sejam observados nas operações de usinagem sem fluido de corte.

Figura 6: Desgaste nas ferramentas de corte utilizadas nos experimentos (a) sem fluido de corte (b) com fluido de corte



Fonte: autoria própria

Os resultados mostraram que a média dos valores de R_a medidos nos corpos de prova usinados a seco foram 10,2% superiores àquelas observadas na usinagem com fluido de corte. Mesmo pequena, tal diferença é estatisticamente significativa, conforme indicado na análise t-Student realizada. Nota-se visualmente pequena variação na rugosidade das peças, conforme indicado nas Figuras 7.

Figura 7: Rugosidade observada nas peças após usinagem



Fonte: autoria própria

Cabe destacar que, face ao reduzido percurso de avanço utilizado nos experimentos, o resultado mostrou-se coerente, conforme apresentado por Lima e Teixeira (2004), quando investigaram o efeito do uso de fluido de corte no acabamento superficial de peças usinadas por processos convencionais.

Os resultados também se mostraram coerentes com a literatura. Diniz; Marcondes e Coppini (2014, p. 190) confirmam que o uso de fluidos de corte implica melhores acabamentos superficiais, porém fazem a ressalva de que a otimização das condições de usinagem pode

tornar o processo de corte mais adequado ao corte a seco.

Diniz e Micaroni (2002) mostraram que, no torneamento do aço SAE 1045, a rugosidade das peças usinadas com o uso de fluidos de corte foi ligeiramente pior quando comparada com a usinagem a seco. Tal fato se justifica pelo aumento da temperatura próximo à zona de corte, que conduz a redução da resistência mecânica e da dureza na superfície das peças usinadas, facilitando a formação do cavaco, além da redução da força de corte, cuja consequência está associada ao melhor acabamento superficial.

Este fenômeno não se confirmou nos experimentos realizados. A hipótese para esta aparente incoerência, reside no fato de que o aço SAE 4140 apresenta maior dureza e resistência mecânica, quando comparado ao aço SAE 1045, estando menos sujeito às variações em suas propriedades mecânicas em decorrência da elevação da temperatura.

6. CONCLUSÃO

A análise da rugosidade realizada em corpos de prova confeccionados em aço SAE 4140, submetidos à operação de torneamento cilíndrico, com e sem fluido de corte, possibilitou as seguintes conclusões:

- O uso de fluido de corte exerce influência sobre a rugosidade final das peças usinadas, conforme comprovado com os resultados alcançados;
- O uso de fluido de corte possibilitou a obtenção de melhores acabamentos superficiais em corpos de prova usinados com fluido de corte, submetidos ao processo de usinagem sob as mesmas condições de operação, para ferramental novo;
- A variação das médias das medidas de rugosidade realizadas em peças produzidas com e sem fluido de corte foi de aproximadamente 10%, percentual que pode aumentar com a elevação do nível de desgaste das ferramentas de corte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. C.; MOURO, A. L.; CAMPOS, F. DE O. *Usinagem para engenharia: um curso de mecânica de corte*. 1ª edição. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2020.

BOOTHROYD, G. .; KNIGHT, W. A. . *Fundamentals of machining and machine tools*. 2.ed. ed. New York: Marcel Dekker, 1989.

DINIZ, A. E.; DE OLIVEIRA, A. J. Optimizing the use of dry cutting in rough turning steel operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 44, n. 10, p. 1061–1067, ago. 2004.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. 9ª edição ed. São Paulo: Artliber Editora, 2014.

DINIZ, A. E.; MICARONI, R. Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, p. 899–904, mar. 2002.

EL-HOFY, H. *Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes*. 3.ed. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2019

GERDAU. *Aços especiais para construção mecânica*. Catálogo, 2023.

GHARAIBEH, N.; AL-ROUSAN, A. A.; AJLOUNI, M. Olive Mill Wastewater as Cutting Fluids: Effect on Surface Roughness of Aluminum. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, p. 161–166, out. 2018.

GROOVER, M. P. *Introdução aos processos de fabricação*. 1.ed ed. RiodeJaneiro: LTC, 2014.

LIMA, F.; TEIXEIRA, A. B. Efeitos do fluido de corte no acabamento superficial de peças usinadas por processos convencionais. *Revista Tecnológica*, v. 25, n. n.2, p. 24–31, dez. 2004.

MACHADO, Á. R. *et al. Teoria da usinagem dos materiais*. 3ª edição ed. São Paulo: Blücher, 2015.

MITSUBISHI MATERIALS. **Catálogo geral C010Z: torneamento, fresamento e furação**. Catálogo, 2023.

Data de recebimento: 01/09 /2024.

Aceito para publicação: 30/10/ 2024.