

## PROPOSTA DE ESTUDO: INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS DO PROCESSO DE FRESAMENTO NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL E FORMAÇÃO DE BIOFILME EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Lucas Morato Orlandini, [d201910922@uftm.edu.br](mailto:d201910922@uftm.edu.br)<sup>1</sup>  
Emiliane Andrade Araújo Naves, [emiliane.naves@uftm.edu.br](mailto:emiliane.naves@uftm.edu.br)<sup>2</sup>  
Vitor Tomaz Guimarães Naves, [vitor.naves@uftm.edu.br](mailto:vitor.naves@uftm.edu.br)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Frei Paulino, nº 30 - Bairro Abadia - Uberaba - MG

<sup>2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Frei Paulino, nº 30 - Bairro Abadia - Uberaba - MG

<sup>3</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Frei Paulino, nº 30 - Bairro Abadia - Uberaba - MG

**Resumo.** *Este trabalho propõe revisão bibliográfica em conjunto com trabalhos práticos futuros investigar influência da variação de parâmetros do processo de fresamento na rugosidade superficial e formação de biofilme em aços inoxidáveis. A formação de biofilme em superfícies metálicas é um fenômeno de grande relevância em diversas aplicações, especialmente na indústria de alimentos, onde a presença indesejada de biofilmes pode resultar em contaminação e deterioração dos produtos. A rugosidade superficial é um fator que pode afetar significativamente a adesão e o crescimento de biofilmes em superfícies metálicas. Portanto, este estudo propõe investigar como variações na rugosidade superficial, resultantes de diferentes condições de fresamento e métodos de lubrificação-refrigeração, podem influenciar a formação de biofilme em ligas de aço inoxidável. Os resultados esperados deste estudo contribuirão para um melhor entendimento dos fatores que influenciam a formação de biofilme em ligas de aço inoxidável, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle e prevenção de contaminação em aplicações industriais.*

**Palavras chave:** aço inoxidável, usinabilidade, biofilme, AISI 304.

**Abstract.** *This work proposes a literature review along with future practical studies to investigate the influence of milling process parameter variations on surface roughness and biofilm formation in stainless steels. The formation of biofilm on metallic surfaces is a phenomenon of great relevance in various applications, especially in the food industry, where the unwanted presence of biofilms can result in contamination and deterioration of products. Surface roughness is a factor that can significantly affect the adhesion and growth of biofilms on metallic surfaces. Therefore, this study proposes to investigate how variations in surface roughness, resulting from different milling conditions and lubrication-cooling methods, can influence biofilm formation in stainless steel alloys. The expected results of this study will contribute to a better understanding of the factors that influence biofilm formation in stainless steel alloys, providing important information for the development of control and prevention strategies for contamination in industrial applications.*

**Keywords:** Stainless steel, machinability, biofilm, AISI 304.

### 1. INTRODUÇÃO

O aço inoxidável, uma liga metálica crucial em diversas indústrias, foi descoberto por acidente por Harry Brearley, em Sheffield, enquanto pesquisava para a indústria armamentista no início do século 20. Sua resistência à corrosão foi notada quando uma de suas misturas não reagiu ao ácido nítrico devido ao alto teor de cromo. À época, sua aplicação foi imediatamente direcionada para a fabricação de talheres, que na época eram feitos em carbono e corroíam com muita facilidade devido aos ácidos presentes nos próprios alimentos. Seu uso tornou-se intenso na década de 50. Atualmente, o inox é usado em larga escala na indústria alimentícia, hospitalar e laboratorial. Mas também está presente nos segmentos automotivos, navais e diversos outros (TERRA, 2020).

Os aços inoxidáveis são valorizados por sua resistência à corrosão, vital em diversas indústrias. A qualidade do acabamento da superfície é crucial para a formação da camada passiva protetora, resultado da interação do cromo presente no aço com o ambiente. Esta camada, formada instantaneamente, depende da uniformidade da superfície. Portanto, os processos de acabamento são essenciais para garantir não apenas propriedades superficiais adequadas, mas também a uniformidade da camada passiva, exigindo cuidado na escolha de insumos e equipamentos em todas as etapas da produção (ABINOX, 2024).

Além de contornar as dificuldades para a usinagem de ligas de alto desempenho, a indústria vem buscando métodos para reduzir o consumo de fluidos de corte em usinagem devido a questões ecológicas e econômicas, a fabricação sustentável é uma tendência nos processos industriais pelos benefícios relacionados a aspectos ambientais, saúde de operadores e questões financeiras. A busca pelo atendimento à chamada Usinagem Ecológica, em muitos casos, envolve a redução (ou eliminação) do uso de fluido de corte e consequentemente a redução da geração de resíduos de descargas, um dos métodos que são considerados ambientalmente amigáveis é a usinagem a seco e mínima quantidade de lubrificação (TELES; POLICENA; DE SOUZA, 2022).

Os aços inoxidáveis (SS) surgiram para enfrentar o desafio da corrosão, uma preocupação significativa na indústria alimentícia e em várias outras áreas industriais. Reconhecido como um metal de alta qualidade na produção de laticínios, o aço inoxidável é categorizado conforme sua composição química, oferecendo soluções para diferentes tipos de corrosão. Stahl foi o pioneiro ao inventar os aços inoxidáveis em 1912, revolucionando a resistência à corrosão e o desempenho mecânico comparado aos aços convencionais (DEWANGAN, et al, 2015).

Os diferentes aços inoxidáveis são amplamente empregados na engenharia para a fabricação de equipamentos. Embora sejam resistentes à corrosão, esses materiais podem apresentar manchas e corrosão em condições específicas. A indústria de alimentos e laticínios está especialmente atenta à confiabilidade dos equipamentos e à pureza dos produtos. Por isso, os aços inoxidáveis são escolhas práticas e econômicas frequentes para equipamentos de processo, porém é crucial selecionar o tipo mais apropriado de acordo com as demandas específicas de cada aplicação. Nas áreas de processamento alimentar e laticínios, a corrosão torna-se um fator crítico que não só afeta diretamente os equipamentos, mas também a sua durabilidade geral (DEWANGAN, et al, 2015).

O aço inoxidável é uma liga metálica altamente resistente à corrosão, composta principalmente por cromo e níquel, além de outros elementos em menor quantidade. Essa resistência permite sua utilização protegendo equipamentos e evitando a contaminação de alimentos processados, especialmente os ácidos. Além disso, o aço inoxidável é polido, tornando sua superfície lisa e sem poros, dificultando a deposição de alimentos e o crescimento microbiano (CALLISTER, 2019).

A importância da qualidade dos alimentos no aspecto microbiológico tornou-se crucial, pois a contaminação pode acarretar sérios danos à saúde, podendo até mesmo resultar em enfermidades graves e, em casos extremos, levar à morte. Isso gera uma grande preocupação, visto que a contaminação microbiológica pode ocorrer em qualquer etapa da cadeia produtiva (BRIDIER et al., 2015).

O estudo visa investigar os efeitos de diferentes sistemas de lubrificação em materiais metálicos, analisando a diversidade de acabamentos e qualidade superficial e avaliando teoricamente a sustentabilidade desses métodos. O foco é esclarecer como a topografia de superfícies usinadas impacta na adesão e formação de biofilmes no aço inoxidável ABNT 304 austenítico após fresamento frontal. A pesquisa busca identificar a superfície mais viável para uso industrial, otimizar parâmetros de corte no processo de usinagem e manter controle aplicável em indústrias alimentícias. Além disso, objetiva-se propor modificações na superfície para reduzir a adesão bacteriana.

### **1.1. Aço Inoxidável**

Normalmente são classificados como aços inoxidáveis, aços que possuem teores de cromo superiores a 12 %, dessa forma o cromo é responsável pelo aumento da resistência a corrosão e à oxidação dos aços inoxidáveis. Além disso, a resistência à corrosão também pode ser melhorada pela adição de níquel e molibdênio (SILVA, 2006; CALLISTER, 2016).

Além disso, sua alta estabilidade mecânica e física em diversas temperaturas de processamento de alimentos, fácil limpeza e maior resistência à corrosão fazem dos aços inoxidáveis 304 e 316 os materiais de fabricação de equipamentos preferidos e utilizados na indústria de laticínios. O 304 é o aço inoxidável 'Clássico' que geralmente contém entre 17,5% e 20,0% de cromo e entre 8% e 11% de níquel. Alega-se que possui características de resistência à corrosão em muitos ambientes de corrosão atmosférica; no entanto, também pode ser suscetível à corrosão por pites e frestas em ambientes quentes que contêm cloreto. O aço inoxidável 316 tem quase as mesmas características do aço inoxidável 304, mas apresenta maior resistência à corrosão por alimentos, detergentes e desinfetantes, devido às propriedades anticorrosivas conferidas pelo molibdênio. O aço inoxidável 316 contém entre 16% e 18,5% de cromo, entre 10% e 14% de níquel e entre 2% e 3% de molibdênio. É um material preferido para fabricação quando são previstos altos níveis de resistência à corrosão por pites e frestas em ambientes contendo cloreto (GUPTA, et al, 2018).

Para formação do filme passivo, um importante características do aço inoxidável, o ferro, níquel, cromo e alumínio reagem com água e/ou oxigênio (MCCAFFERTY, 2010). A passividade é uma propriedade fundamental para o uso durável de metais e ligas, pois fornece autoproteção de longo prazo e com espessura nanométrica contra a corrosão, graças à formação na superfície de um filme de óxido autocurativo (LYNCH, et al, 2020).

### **1.2. Usinabilidade**

A usinabilidade pode ser definida como a facilidade ou dificuldade de um material ser usinado sob um conjunto específico de condições de corte. Portanto, é importante que o processo de usinagem de ligas especiais seja planejado de forma eficiente, buscando o equilíbrio entre fatores econômicos e ambientais (Grzesik, 2008).

No campo da usinagem, a redução de custos é uma prioridade constante, abrangendo ferramentas, processos secundários e subprodutos. A durabilidade das ferramentas é essencial, com estudos focados em maximizar sua vida útil. A análise da usinabilidade, que avalia a facilidade de usinar um material, é crucial, já que suas propriedades afetam a vida útil da ferramenta, o acabamento superficial, os esforços de corte, a temperatura durante o processo, a eficiência e as características do material removido (MACIEL, et al, 2023).

As características de usinabilidade dos aços inoxidáveis são distintas, pois dependem das classes e tipos de materiais que se pretende usinar, de maneira que podem variar entre muito alta e muito baixa. (SANTOS, et al, 2007) O principal dilema de usar este aço é complicado de usinar e muito desafiador devido à baixa condutividade térmica e tendência ao endurecimento por trabalho. Exceto isso, o desenvolvimento de altas forças de corte, geração de temperatura elevada na região de corte e desgaste excessivo da ferramenta são os problemas comuns enfrentados durante a usinagem do aço AISI 304. Isto pode levar ao aumento do custo das peças usinadas e diminuir a integridade da superfície. Uma das maneiras, para tentar solucionar este problema, é fornecendo vários fluidos de corte na área de corte durante a usinagem do aço inoxidável 304 (MIA, et al, 2018 apud KUMAR et al, 2022).

Além disso foi estudada a força de corte, rugosidade superficial, potência de corte e força de corte específica durante o processo de torneamento do aço inoxidável austenítico 304. A ANOVA e o RSM foram empregados para determinar a influência dos parâmetros de corte e para modelar as respostas obtidas. Notou-se que esse tipo de aço era caracterizado por sua baixa usinabilidade, atribuída à formação de micro cavaco soldado na superfície usinada e à geração de uma aresta postiça na ponta da ferramenta (BERKANI et al, 2015).

### 1.3. Fluido de corte

Uma das maneiras, para tentar solucionar as dificuldades da usinagem deste material, é fornecendo vários fluidos de corte na área de corte durante a usinagem do aço inoxidável 304. (MIA, et al, 2018). As pesquisas atuais sobre processos de usinagem têm contribuído para o desenvolvimento econômico e o aumento da produtividade em diversos setores da indústria. Ligas metálicas de alto desempenho, com alta resistência a altas temperaturas e elevada resistência à corrosão, são sempre necessárias em aplicações críticas (Nomani, 2014).

A usinagem de alto desempenho, com minimização de seus efeitos no meio ambiente, pode ser caracterizada pelo círculo da usinagem sustentável que consiste em técnicas de lubrificação com um impacto negativo relativamente baixo no meio ambiente como corte a seco, métodos que usam mínimas quantidades de lubrificantes, resfriamento criogênico, resfriamento com fluidos de alta pressão, ou aplicação de óleos biodegradáveis. A adoção do desenvolvimento sustentável no sistema produtivo oferece às indústrias uma forma de melhorar o desempenho ambiental. No entanto, a influência das condições de usinagem como velocidade de corte, avanço, características das ferramentas de corte e propriedades dos materiais da peça, ainda não foram totalmente esclarecidas (Krolczyk et al. 2019).

Investigando o desempenho da usinagem do aço inoxidável 304 em diferentes condições, incluindo ambiente seco, fluido em jorro e MQL. Os estudos revelaram que a usinagem com MQL resultou em alta integridade superficial e melhor desempenho. Além disso, é possível melhorar o desempenho da usinagem e a qualidade da superfície otimizando os parâmetros do processo, como velocidade, avanço e profundidade de corte. Portanto, a otimização desses parâmetros é fundamental para reduzir a rugosidade da superfície e o desgaste da ferramenta (KUMAR, 2022).

Na usinagem do aço inoxidável 316, as velocidades de avanço e profundidade de corte maiores resultam em superfícies mais rugosas, enquanto velocidades de corte elevadas geram superfícies com rugosidades menores. Em relação à usinabilidade específica dessa liga, o uso de lubrificação mínima (MQL) mostra melhorias significativas na rugosidade, com redução média de 40% com MQL em comparação com a usinagem a seco (ABBAS et al., 2021).

O método de aplicação de fluido de corte abundante ajuda a controlar as altas temperaturas no processo de usinagem, porém os testes realizados mostraram que quando se deseja um processo com redução nos custos da usinagem e também um método sustentável, sem perder na qualidade superficial, a usinagem a seco para o aço inoxidável AISI 304 se mostrou uma excelente alternativa, se aproximando muito das rugosidades colhidas quando se utilizou o método abundante aumentando apenas em 5% a rugosidade média (BACHMANN; OLIVEIRA, 2018).

Um estudo de fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205 indica que a presença de fluido de corte aumenta a vida útil da ferramenta, sendo mais eficiente com a mínima vazão. A estratégia otimizada para custo de produção envolve trabalhar com a mínima vazão, proporcionando 17 minutos de vida útil da ferramenta o que reduz a rugosidade. Apesar da menor rugosidade ser a altas velocidades de corte, a vida útil da ferramenta é 50% menor em comparação as menores. Na condição de mínima e máxima vazão, os valores de vida útil da ferramenta e rugosidade são semelhantes, favorecendo a estratégia de mínima vazão devido a considerações ambientais, saúde e custos operacionais (OLIVEIRA, 2019).

Outra técnica que auxilia na melhor aplicação de fluidos de corte é a aplicação de fluidos em alta pressão. Tal proposta, propõe baixas vazões e altas pressões aplicadas em regiões como na superfície de saída e no flanco da ferramenta de corte, auxiliando na quebra do cavaco e na dissipação de calor (RIBEIRO, et al, 2022).

A aplicação de líquido de refrigeração de alta pressão durante o corte pode prolongar a vida útil das ferramentas de corte, mas não é amplamente utilizada devido à natureza descontínua da formação do cavaco. O método convencional de aplicação de fluidos atende às necessidades de lubrificação, refrigeração e limpeza da zona de corte, mas a aplicação de fluido de corte em alta pressão oferece uma refrigeração mais uniforme, resultando em uma vida útil da ferramenta significativamente maior. Isso é especialmente importante para a indústria metalúrgica, que busca reduzir custos (NAVES, et al, 2021).

#### 1.4. Biofilme

O aço inoxidável é usado há mais de seis décadas em laticínios, por atender aos requisitos básicos da legislação e as necessidades do processo de produção. É um material com excelente coeficiente de expansão, boa condutividade térmica, resistente as corrosões alcalinas e ácidas provenientes da higienização e adequado do ponto de vista sensorial (MARCHAND et al., 2012).

Apesar da superfície de aço inoxidável ser visivelmente lisa a olho nu ela contém inúmeras fendas que podem proteger os micro-organismos das forças de cisalhamento na produção de alimentos e nos procedimentos de limpeza e sanitização. Ou seja, a rugosidade da superfície é de grande importância na fixação bacteriana, de forma que os biofilmes estabelecidos dentro das fendas são difíceis de serem removidos (FLINT et al., 2011).

Para que a adesão bacteriana ocorra é necessário que haja a interação multifacetada de três componentes: a bactéria, a superfície e o microambiente em que eles se encontram (DAROUICHE, 2001).

A adesão bacteriana ao aço inoxidável na indústria alimentícia é um desafio emergente, envolvendo atração inicial das bactérias ao substrato, multiplicação celular e formação de biofilme. Esses biofilmes, estruturas funcionais de múltiplas espécies bacterianas, podem abrigar microrganismos patogênicos e deteriorar alimentos, comprometendo sua segurança e vida útil. Propriedades da superfície celular, como hidrofobicidade e interações eletrostáticas, influenciam a adesão, facilitando a comunicação química entre as células e a produção de enzimas que degradam substâncias antimicrobianas (DULA, et al, 2021).

O objetivo deste trabalho é uma proposta de estudo da influência da variação de parâmetros do processo de fresamento na rugosidade superficial e formação de biofilme em aços inoxidáveis, dessa forma ser possível realizar o trabalho prático futuramente

## 2. METODOLOGIA

No primeiro semestre, foi estabelecida uma metodologia de pesquisa para abordar a complexidade do tema, dada a importância da pesquisa teórica, que é crucial antes da etapa prática de um trabalho acadêmico, fornecendo base para compreender o problema, estabelecer objetivos, escolher métodos adequados, antecipar obstáculos e interpretar resultados

Durante os seis meses, o plano incluiu uma investigação aprofundada dos temas cruciais para entender como influenciam a rugosidade da superfície, sendo esta a característica principal que afeta a adesão do biofilme. Os temas abordados foram o tema de forma abrangente, o material aço inoxidável, fluidos refrigerantes, parâmetros de usinagem, metodologias de medição e análise, além de ferramentas estatísticas.

Os principais temas estudados, que serão usados para etapa prática são a velocidade de corte ( $V_c$ ) refere-se à velocidade da ferramenta em relação à peça de trabalho, enquanto o avanço ( $f$ ) indica a distância percorrida pela ferramenta a cada revolução e a profundidade de corte ( $A_p$ ) representa o quanto a ferramenta penetra na peça, lubrificação com quantidade mínima de óleo (MQL) e a rugosidade superficial que é a textura da superfície da peça após o processo de usinagem (FERRARESI, 2018).

Durante a investigação teórica, conduziu-se uma análise preliminar das superfícies de diversos corpos de prova que apresentavam diferentes camadas de material depositado. Essa etapa teve como propósito não apenas revisar as técnicas previamente adquiridas na disciplina de metrologia, mas também avaliar os resultados obtidos de maneira aprofundada, considerando-os como um ponto de partida para o desenvolvimento do estudo. Essa análise preliminar permitiu uma compreensão inicial das características das superfícies estudadas, oferecendo insights valiosos que orientarão as fases subsequentes da pesquisa.

Para a etapa prática futura da pesquisa, serão realizados testes no processo de fresamento, utilizando corpos de prova de aço inoxidável austenítico 304 cilíndricos com diâmetro de 100 mm e comprimento de 20 mm, dividindo cada face em duas áreas de teste, resultando em 8 testes para cada método de lubrificrefrigeração.

Os testes empregarão quatro métodos de lubrificrefrigeração, sendo eles fluido de alta pressão, fluido a jorro, a seco e MQL. Além disso, será variada rotação de 600 rpm e 800 rpm, com avanços por dente de 0,2 mm e 0,25 mm, mantendo a profundidade de corte constante em 0,5 mm.

A medição das rugosidades serão feitas com o rugosímetro, realizando cinco medidas de forma aleatória na superfície em cada teste e feita média dessas medidas.

Os ângulos de contato das diferentes superfícies serão determinados e medidos por meio da gota séssil com auxílio do equipamento goniômetro (Três líquidos com polaridades diferentes foram usados (água destilada, formamida (PA) e  $\alpha$ -bromonaphthaleno (PA) para o cálculo da energia da superfície.

Para avaliar a adesão de biofilmes, serão aplicados três tipos diferentes de bactérias nas superfícies. Os testes de adesão bacteriana serão conduzidos após o fresamento, e a quantidade de biofilme formado será quantificada utilizando métodos microbiológicos.

## 2. RESULTADOS

Para o enriquecimento desse trabalho é proposto a utilização de metodologias estatísticas como a ANOVA, como exemplo da assertividade da metodologia tem-se a pesquisa conduzida por Nascimento et al. (2019), onde a ANOVA, que é Análise de Variância, é uma técnica estatística utilizada para comparar as médias de três ou mais grupos, foi empregada para analisar a rugosidade Ra, visando comparar as médias de rugosidade em diferentes condições de usinagem. A escolha da ANOVA reflete a necessidade de identificar diferenças estatisticamente significativas entre os parâmetros de usinagem. Essas técnicas são amplamente discutidas na literatura acadêmica e técnica, destacando suas aplicações e benefícios na otimização de processos de usinagem e análise estatística de dados experimentais.

Naves et al, ressaltam que a metodologia de superfície de resposta (RSM - Response Surface Methodology) é uma abordagem comum em estudos de experimentação (DOE - Design of Experiments), conhecida por sua eficácia na otimização de processos. Eles sugerem que a utilização combinada da RSM com a análise de variância (ANOVA) poderia oferecer uma estratégia robusta para melhorar a precisão e eficácia da pesquisa em questão. Ao incorporar essas metodologias estatísticas, é possível obter insights mais profundos e realizar análises mais precisas, o que pode ser fundamental para orientar futuros trabalhos na área. Essas metodologias serão investigadas para determinar sua viabilidade e utilidade no contexto específico deste trabalho.

O método para este trabalho será inspirado no utilizado por Silva et al. (2021) em sua pesquisa, que foi a partir de dois tubos de aço inoxidável e dois cotovelos, limpos e esterilizados, foram preenchidos com leite cru refrigerado e incubados a 37°C por 3 horas para permitir a adesão natural de contaminantes. A incubação estática foi escolhida para garantir a homogeneidade na formação de bioincrustações e evitar o efeito dinâmico da água. Após a incubação, os cupons foram enxaguados com água peptonada estéril para remover células do biofilme, e as amostras foram contadas em placas de ágar após incubação a 37°C por 36 horas.

## 3. CONCLUSÃO

A preparação conceitual sobre o tema da usinagem de superfícies de aço inoxidável para aplicação em equipamentos da indústria de alimentos é um passo essencial e enriquecedor. Ao unir duas áreas distintas, porém complementares, estamos diante de uma oportunidade de explorar novos horizontes e contribuir significativamente para ambas.

À medida que continuamos a investigar a relação entre a rugosidade superficial, obtida através de diferentes condições de usinagem, e a formação de biofilme, é evidente que há um vasto campo de descobertas a serem exploradas. Com a aplicação de métodos avançados de análise e experimentação, podemos esperar obter insights mais profundos sobre como a rugosidade da superfície influencia a adesão e crescimento do biofilme.

Esses avanços não só nos permitirão melhorar a higiene e segurança dos produtos alimentícios, mas também têm o potencial de beneficiar uma ampla gama de setores industriais onde a manutenção da integridade das superfícies é crucial. Assim, ao explorar os resultados futuros desta pesquisa, estaremos não apenas enriquecendo nosso conhecimento sobre os processos de formação de biofilme, mas também contribuindo para a evolução de práticas mais eficientes e seguras em diversas áreas da indústria.

Nos próximos passos, serão aplicados conhecimentos teóricos na realização de usinagem por fresamento em superfícies metálicas de aço inoxidável 304, variando parâmetros de corte para analisar seu efeito na rugosidade. Utilizando técnicas de medição, serão avaliadas as diferentes rugosidades e explorada a topografia das amostras por meio de imagens. Além disso, será mensurada a formação de biofilme nas superfícies usinadas.

## 4. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para este trabalho especialmente à orientadora Professora Doutora Emiliane Andrade Araújo Naves pela orientação e apoio fornecidos ao longo deste trabalho, e ao Professor Doutor Vitor Tomaz Guimarães Naves pela valiosa colaboração.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo qual sou grato. Além disso, agradeço aos meus colegas e amigos por suas discussões construtivas e incentivo.

Quero expressar minha profunda gratidão à minha família pelo seu amor incondicional, apoio emocional e encorajamento ao longo desta jornada.

## 5. REFERÊNCIAS

- Teles, D. B.; Policena, M. R.; De Souza, A. J.. Técnicas sustentáveis de lubrificação aplicada no torneamento de aços inoxidáveis duplex: Uma breve revisão. *Materiais metálicos*, 2022.
- Abbas, Adel T. et al. Effect of different cooling strategies on surface quality and power consumption in finishing end milling of stainless steel 316. *Materials*, v. 14, n. 4, p. 903, 2021.
- Acabamento dos Aços Inox e Sua Influência na Resistência à Corrosão. ABINOX, 2024. Disponível em: <<https://abinox.org.br/acabamento-dos-acos-inox-e-sua-influencia-na-resistencia-a-corrosao/>>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- Aço inoxidável: história e importância para a sociedade. TERRA, 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/aco-inoxidavel-historia-e-importancia-para-a-sociedade,03da2f4558651e31b7b4248c0b05d4b6a8baiyi0.html>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- Bachmann, A.E; Oliveira, W. L. Análise comparativa no torneamento do aço inox aisi 304 utilizando diferentes métodos de aplicação de fluido. 3º Congresso Internacional de Pesquisa, Ensino E Extensão. 2018.
- Berkanl, S et al. Statistical analysis of AISI304 austenitic stainless steel machining using Ti (C, N)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN CVD coated carbide tool. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, v. 6, n. 4, p. 539-552, 2015.
- Bridier, A. et al. Biofilm-associated persistence of food-borne pathogens. *Food microbiology*, v. 45, p. 167-178, 2015.
- Callister, R. *Ciência e Engenharia de Materiais*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- Callister, W D J. *Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Abordagem Integrada*: Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521636991.
- Darouiche, R. Device-associated infections: a macroproblem that starts with a microadherence. *Clinical Infectious Disease*. 2001. 33: 1567-1572.
- Dewangan, A. K.; Patel, A. D.; Bhadania, A. G. Stainless steel for dairy and food industry: a review. *J. Mater. Sci. Eng*, v. 4, n. 5, p. 1-4, 2015.
- Dula, S.; Ajayeoba, T. A.; Ijabadeniyi, O. A.. Bacterial biofilm formation on stainless steel in the food processing environment and its health implications. *Folia Microbiologica*, v. 66, p. 293-302, 2021.
- Ferraresi, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. Editora blucher, 2018.
- Flint, S.; Palmer, J.; Bremer, P.; Seale, B.; Brooks, J.; Lindsay, D.; Burgess, S. Biofilm formation. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 445–450.
- Grzesik, W. (2008). Machining of hard materials. In: *Machining: Fundamentals and Recent Advances* (pp. 97– 126). [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-213-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-213-5_4).
- Gupta, S; Anand, S. Induction of pitting corrosion on stainless steel (grades 304 and 316) used in dairy industry by biofilms of common sporeformers. *International Journal of Dairy Technology*, v. 71, n. 2, p. 519-531, 2018.
- Krolczyk, G. M.; Nieslony, P.; Maruda, R. W.; Wojciechowski, S. Dry cutting effect in turning of a duplex stainless steel as a key factor in clean production. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 3343–3354, 2017.
- Kumar, A. et al. A review on machining performance of AISI 304 steel. *Materials Today: Proceedings*, v. 56, p. 2945-2951, 2022.
- Lynch, B et al. Passivation-induced Cr and Mo enrichments of 316L stainless steel surfaces and effects of controlled pre-oxidation. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 167, n. 14, p. 141509, 2020.
- Maciel, A.C.C. et al. Análise da usinabilidade de uma liga Al-8% Cu pela avaliação conjunta de três critérios. *Peer Review*, v. 5, n. 13, p. 355-374, 2023.
- Marchand, S.; Block, J.; Jonghe, V.; Coorevits, A.; Heyndrickx, M.; Herman, L. Biofilm formation in milk production and processing environments; influence on milk quality and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 11, n. 2, p. 133–147, 2012.
- Mccafferty, E. *Introduction to corrosion science*. Springer Science & Business Media, 2010.
- Mia, M. et al. An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions. *Journal of Cleaner Production*, v. 187, p. 1069-1081, 2018.
- Nascimento, C.F. et al. Análise da rugosidade Ra no torneamento do aço inoxidável super duplex UNS S32750 utilizando planejamento de experimentos. In: *Proceedings ABCM 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação-COBEF*, São Carlos, Brasil. 2019.
- Naves, F.L. et al. Multivariate normal boundary intersection based on rotated factor scores: a multiobjective optimization method for methyl orange treatment. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 413-439, 2017.
- Naves, V. T. G.; Da Silva, M. B.. Proposta de trabalho: Estudo da influência da aplicação de fluido de corte à alta pressão durante o fresamento do aço ABNT 1045 Work Proposal: Study of the influence of high pressure cutting fluid application during milling of ABNT 1045 steel. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 97523-97529, 2021.
- Nomani, J. (2014). Built-up Edge Mechanisms in the Machining of Duplex Stainless Steels. Ph.D. Thesis, Deakin University, School of Engineering. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30074699>.
- Oliveira, C. H. et al. Influência da quantidade de fluido de corte no fresamento de topo do aço inoxidável duplex UNS S32205. In: *10o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Anais...* São Carlos-SP: ABCM, 2019
- Ribeiro, F. S. F. et al. Dispositivo de lubrificação sob cavaco com aplicação de ferramenta de corte texturizada. 2022.

Santos, S.C. ; Sales, W. F. . Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais. São Paulo: Artliber, v. 246, 2007.

Silva, A. L. V. Da C. Aços e ligas especiais. 2ª edição, São Paulo: Blucher, 2006.

Silva, L. D. et al. Pulsed flow in clean-in-place sanitization to improve hygiene and energy savings in dairy industry. *Journal of Food Process Engineering*, v. 44, n. 1, p. e13590, 2021.

Teles, D. B.; Policena, M. R.; De Souza, A. J.. Técnicas sustentáveis de lubrificação aplicada no torneamento de aços inoxidáveis duplex: Uma breve revisão. *Materiais metálicos*, 2022.

## **5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

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