

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BRENA CARVALHO DE SÁ

**ESTUDO APLICADO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA E A QUALIDADE
FINAL DAS LENTES OFTÁLMICAS FABRICADAS COM O USO DE
FERRAMENTAS DIAMANTADAS**

APARECIDA DE GOIÂNIA

2025

Processo:

23070.059429/2023-80

Documento:

5454716

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome completo da autora: BRENA CARVALHO DE SÁ

Título do trabalho: **ESTUDO APLICADO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA E A QUALIDADE FINAL DAS LENTES OFTÁLMICAS FABRICADAS COM O USO DE FERRAMENTAS DIAMANTADAS****2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹**

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, Professora do Magistério Superior, em 23/06/2025, às 14:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).Documento assinado eletronicamente por Brena Carvalho De Sá, Discente, em 23/06/2025, às 19:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5454716 e o código CRC FEB1EE03.

BRENA CARVALHO DE SÁ

**ESTUDO APLICADO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA E A QUALIDADE
FINAL DAS LENTES OPTÁLMICAS FABRICADAS COM O USO DE
FERRAMENTAS DIAMANTADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCCII, bem como para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção, do Curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Goiás, *Campus* Aparecida de Goiânia.

Orientador (a): Profa. Dra. Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi.

Coorientador (a): Prof. Me. Matheus Carrara Martins.

APARECIDA DE GOIÂNIA

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Sá, Brena Carvalho de

Estudo aplicado sobre a eficiência produtiva e a qualidade final
das lentes oftálmicas fabricadas com o uso de ferramentas
diamantadas [manuscrito] / Brena Carvalho de Sá. - 2025.

XLVI, 46 f.

Orientador: Profa. Dra. Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi; co
orientador Matheus Carrara Martins.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Engenharia
de Produção, Aparecida de Goiânia, 2025.

Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de
figuras, lista de tabelas.

1. Eficiência produtiva. 2. Ferramentas diamantadas. 3. Lentes
oftálmicas. I. Troysi, Fernanda Christina Teotônio Dias, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezessete dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e cinco iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "**ESTUDO APLICADO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA E A QUALIDADE FINAL DAS LENTES OFTÁLMICAS FABRICADAS COM O USO DE FERRAMENTAS DIAMANTADAS**", de autoria de **BRENA CARVALHO DE SÁ**, do curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciência e Tecnologia da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Profª. Dra. Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi FCT/UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. Me. Matheus Carrara Martins (UFU), Prof. Dr. Roberto da Piedade Francisco (UFG/FCT) e Prof. Me. Bruno Garkauskas Neto (UFMG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 7,9, tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi, Professora do Magistério Superior**, em 27/06/2025, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Garkauskas Neto, Usuário Externo**, em 28/06/2025, às 12:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Brena Carvalho De Sá, Discente**, em 28/06/2025, às 19:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

https://sei.ufg.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=5929568&infra_sistema=100000100&infra_unidade_atual=110000082&infra_hash=c981f00efd6... 1/2



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Da Piedade Francisco, Professor do Magistério Superior**, em 30/06/2025, às 15:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5466213 e o código CRC ADADB01A.

RESUMO

A fabricação de lentes oftálmicas requer elevada precisão e tecnologias de ponta, como a superfície digital, para assegurar qualidade e desempenho. Este estudo quantitativo abordou como o desgaste e a reafiação de ferramentas diamantadas influenciam a usinagem de lentes em uma indústria de Goiânia, que opera sob demanda, condição em que os materiais variam conforme os pedidos dos clientes, não sendo possível controlar ou segmentar os materiais processados. A pesquisa integrou a revisão dos métodos de superfície e o monitoramento operacional de dois geradores de alta velocidade. A coleta sistemática de dados operacionais, aliada ao Diagrama de Ishikawa e às práticas da metodologia Six Sigma, permitiu estabelecer limites de controle que orientam intervenções preventivas. Os resultados indicam que o desgaste progressivo reduz a produtividade e compromete o acabamento óptico, mas que critérios estatísticos viabilizam trocas ou reafiações no momento adequado, aumentando a eficiência, reduzindo retrabalhos e minimizando perdas.

Palavras-chave: Eficiência produtiva, Ferramentas diamantadas, Lentes oftálmicas.

ABSTRACT

The manufacture of ophthalmic lenses requires high accuracy and state-of-the-art technologies such as digital surface to ensure quality and performance. This quantitative study addressed how the wear and tear and reafiation of diamond tools influence lens machining in a Goiânia industry, which operates on demand, a condition in which materials vary according to customer orders, and it is not possible to control or segment processed materials. The research integrated the review of the surfing methods and the operational monitoring of two high-speed generators. The systematic collection of operational data, coupled with the Ishikawa diagram and the practices of the Six Sigma methodology, has allowed to establish control limits that guide preventive interventions. The results indicate that progressive wear reduces productivity and compromises the optical finish, but that statistical criteria enable exchanges or reafrações at the proper moment, increasing efficiency, reducing rework and minimizing losses.

Keywords: Productive efficiency, Diamond tools, Ophthalmic lenses.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de lentes | 16 |
| Figura 2 - Processo de torneamento | 20 |
| Figura 3 - Processo de fresamento..... | 20 |
| Figura 4 - Ferramenta diamantada de ponta única | 22 |
| Figura 5 - Representação gráfica da DNP | 23 |
| Figura 6 - Lente usinada com ferramenta diamantada em bom estado | 24 |
| Figura 7 - Lente usinada com ferramenta desgastada..... | 24 |
| Figura 8 - Fluxo metodológico da pesquisa | 27 |
| Figura 9 - Gerador de corte HSC Módulo XTS..... | 29 |
| Figura 10 - Diagrama de causa e efeito | 31 |
| Figura 11 - Produção média por estágio de reafiação (Gerador 01)..... | 33 |
| Figura 12 - Produção média por estágio de reafiação (Gerador 02)..... | 34 |

LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Índice de refração e características dos materiais de lentes oftálmicas..... | 19 |
| Quadro 2 - Aplicação do ciclo DMAIC no processo produtivo de lentes oftálmicas | 32 |
| Tabela 1 - Informações operacionais dos geradores de corte | 29 |
| Tabela 2 - Desempenho das ferramentas por utilização (Gerador 01) | 41 |
| Tabela 3 - Desempenho das ferramentas por utilização (Gerador 02) | 42 |
| Tabela 4 - Produção média por reafiação (Gerador 01)..... | 44 |
| Tabela 5 - Produção média por reafiação (Gerador 02)..... | 44 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-----------|---|
| ABEPRO | Associação Brasileira de Engenharia de Produção |
| Abióptica | Associação Brasileira das Indústrias Ópticas |
| Ago. | Agosto |
| CEP | Controle Estatístico de Processo |
| CPU | Custo por unidade produzida |
| CR | <i>Columbia Resin</i> |
| DMAIC | Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar |
| DNP | Distância Naso-Pupilar |
| Fev. | Fevereiro |
| HSC | <i>High-Speed Cutting</i> |
| Jan. | Janeiro |
| Jul. | Julho |
| Jun. | Junho |
| LIC | Limite Inferior de Controle |
| LSC | Limite Superior de Controle |
| Mar | Março |
| Nº | Número |
| Nov. | Novembro |
| OS | Ordem de serviço |
| Out | Outubro |
| PB | Paraíba |
| Qtde. | Quantidade |
| Rpm | Rotações por minuto |
| UV | Ultravioleta |

LISTA DE SÍMBOLOS

°C Grau Celsius

- Negativo

% Porcentagem

+ Positivo

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| LISTA DE FIGURAS | 8 |
| LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E QUADROS | 9 |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | 10 |
| LISTA DE SÍMBOLOS | 11 |
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LENTES..... | 15 |
| 3.1.1 Triagem e preparação dos pedidos..... | 16 |
| 3.1.2 Processamento e usinagem das lentes | 17 |
| 3.1.3 Tratamento final e distribuição | 17 |
| 3.1.4 Materiais utilizados na fabricação de lentes | 18 |
| 3.2 PROCESSO DE USINAGEM NA FABRICAÇÃO DE LENTES | 20 |
| 3.2.1 Operações de usinagem | 21 |
| 3.2.2 Tipos de Usinagem: convencional e não convencional | 21 |
| 3.3 FERRAMENTAS DIAMANTADAS..... | 22 |
| 3.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE | 24 |
| 3.4.1 Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito) | 25 |
| 3.4.2 Metodologia Six Sigma | 25 |
| 4 METODOLOGIA | 26 |
| 4.1 TIPO E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.1 Abordagem metodológica..... | 27 |
| 4.1.2 Natureza da pesquisa | 28 |
| 4.1.3 Objetivos da pesquisa | 28 |
| 4.2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS | 28 |
| 4.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA | 30 |
| 4.4 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS | 30 |
| 4.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS | 30 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 35 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS: LIMITAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO | 36 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |
| APÊNDICE A - Desempenho de ferramentas diamantadas por estágio de reafiação | 41 |

1 INTRODUÇÃO

Conforme Garcia (2025), a tecnologia aplicada aos processos de fabricação de lentes para óculos é essencial para a indústria óptica, pois impacta diretamente a qualidade, o desempenho funcional e o conforto visual proporcionado ao usuário. A Abióptica (2024) ressalta que a invenção dos óculos marcou um avanço significativo na história da saúde visual, ao permitir que pessoas com deficiência de refração realizassem atividades cotidianas, como estudar e trabalhar, com maior autonomia. A entidade ainda enfatiza que os óculos de grau exercem papel crucial na correção de erros refrativos, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade de vida e a integração do indivíduo ao ambiente social.

Com os avanços tecnológicos, a digitalização, entendida como a integração de tecnologias digitais aos processos produtivos, comerciais e de atendimento, tem assumido papel central na transformação do setor óptico (Cazin, 2024). Para Medeiros (2025), essa tendência tem revolucionado a forma como o mercado produz, comercializa e se relaciona com os consumidores, tornando as operações mais ágeis, personalizadas e eficientes. Ao mesmo tempo, o aumento da demanda por produtos customizados e das exigências dos clientes tem impulsionado a modernização da indústria, exigindo processos cada vez mais integrados e adaptáveis a diferentes perfis de consumo.

Neste contexto de constante inovação e busca por excelência, a eficiência das etapas produtivas torna-se ainda mais relevante, especialmente no que diz respeito à precisão óptica, durabilidade e qualidade superficial das lentes, como destaca a Allentown Optical (2025).

De acordo com a Contour Fine Tooling BV (2025), o processo de fabricação de lentes oftálmicas envolve o uso de ferramentas diamantadas, responsáveis por moldar as lentes conforme a geometria prescrita e a potência óptica necessária. Esse procedimento é realizado por meio de uma máquina denominada gerador de curvas, cuja função é usinar a superfície interna da lente, definindo simultaneamente seu formato e espessura final. A Martinato Máquinas de Precisão LTDA (2019) complementa que o uso de diamantes de alta precisão nessa etapa é essencial para assegurar a qualidade do corte e do produto final.

O corte com ferramentas diamantadas representa, portanto, uma etapa estratégica no processo produtivo, impactando diretamente a qualidade superficial, a performance óptica e a produtividade da fábrica. Fatores como a quantidade de lentes produzidas e a frequência

de reafiações das ferramentas estão diretamente relacionados à sua condição operacional (Ng, 2025). Ferramentas desgastadas ou fora dos parâmetros ideais de reafiação podem comprometer o acabamento das lentes, aumentar o retrabalho e reduzir a eficiência do processo. Conforme destaca a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2024), a eficácia dos processos produtivos é fundamental para garantir a competitividade e a excelência dos produtos. Tal realidade dialoga com áreas da Engenharia de Produção, como a Engenharia de Operações e Processos, voltada à eficiência operacional, e a Engenharia da Qualidade, centrada na conformidade com os requisitos dos clientes e do mercado.

A relevância do tema se evidencia na rotina de empresas especializadas na fabricação de lentes, como uma situada em Goiânia, capital do estado de Goiás, onde se observa, na prática, o impacto direto do desempenho das ferramentas diamantadas sobre os resultados produtivos. Assim, este estudo busca contribuir com o aprimoramento dos processos industriais e com o atendimento às crescentes exigências do mercado óptico, promovendo avanços em qualidade, produtividade e competitividade.

A escolha do tema se justifica pela importância estratégica do estudo da eficiência produtiva e da qualidade final das lentes oftálmicas fabricadas com o uso de ferramentas diamantadas, um segmento que demanda elevada precisão, acabamento refinado e padronização. Avaliar os efeitos do desgaste e das condições de corte dessas ferramentas sobre a qualidade do produto final possibilita a otimização do desempenho operacional, a redução de retrabalhos e a minimização de desperdícios. Além disso, o estudo viabiliza a aplicação prática dos conceitos da Engenharia de Produção ao setor óptico, promovendo padronização, inovação e melhoria contínua dos processos industriais.

Dessa forma, a problemática que se busca responder é: quais são os impactos da melhoria das condições de corte com ferramentas diamantadas na fabricação de lentes oftálmicas em relação à eficiência produtiva e à qualidade final do produto?

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram estruturados em um objetivo geral e em objetivos específicos, apresentados a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os impactos das condições de corte com ferramentas diamantadas na fabricação de lentes oftálmicas, com foco na eficiência produtiva e na qualidade final do produto, considerando o desempenho prático observado em uma empresa localizada em Goiânia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com base no objetivo geral, os objetivos específicos deste estudo são:

- Identificar os indicadores de desempenho produtivo afetados pela condição das ferramentas diamantadas, com base no rendimento de cada ferramenta nos geradores de corte;
- Utilizar o Diagrama de Ishikawa para identificar e categorizar as possíveis causas do desgaste acelerado ou da baixa produtividade das ferramentas diamantadas, considerando fatores como meio ambiente, máquina, material, medida, mão de obra e método;
- Aplicar o Controle Estatístico de Processo (CEP) para monitorar a produtividade das ferramentas diamantadas em diferentes estágios de reafiação, visando estabelecer limites de controle e detectar variações fora do padrão esperado;
- Sugerir melhorias nos parâmetros de usinagem com base nos resultados obtidos, visando maior eficiência e conformidade com os padrões de qualidade óptica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Apresenta-se, a seguir, a revisão da literatura, abordando o processo de fabricação de lentes oftálmicas em consonância com os objetivos deste estudo.

3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LENTES

As lentes oftálmicas são dispositivos ópticos projetados para alterar o trajeto dos raios luminosos, seja convergindo-os ou divergindo-os de maneira controlada. De acordo com o tipo e a curvatura, essa modificação pode concentrar ou dispersar a luz. Para garantir tal funcionalidade, as lentes devem ser produzidas com materiais altamente transparentes e homogêneos, além de apresentarem duas superfícies polidas (Dias, 2017).

Benjamin (2024) esclarece que o bloco oftálmico, insumo básico para a fabricação de lentes, pode ser encontrado em duas formas: bruto (sem diopia, ou seja, “sem grau”) ou semiacabado (com diopia, ou seja, “com grau”). No processo produtivo, esses blocos passam por diversas etapas, como o corte, os cálculos de espessura e curvatura, e o polimento, com o objetivo de garantir a transparência e a qualidade final do produto. Esse conjunto de operações, denominado surfacagem, consiste no desbaste controlado de uma das superfícies da lente para atingir a diopia prescrita na receita oftalmológica e assegurar o encaixe preciso na armação (Hollmann, 2025).

Conforme destacado por Sun (2023), o avanço da surfacagem digital transformou significativamente o mercado óptico brasileiro, proporcionando maior precisão na fabricação das lentes e contribuindo para a redução de erros, retrabalhos e perdas de material.

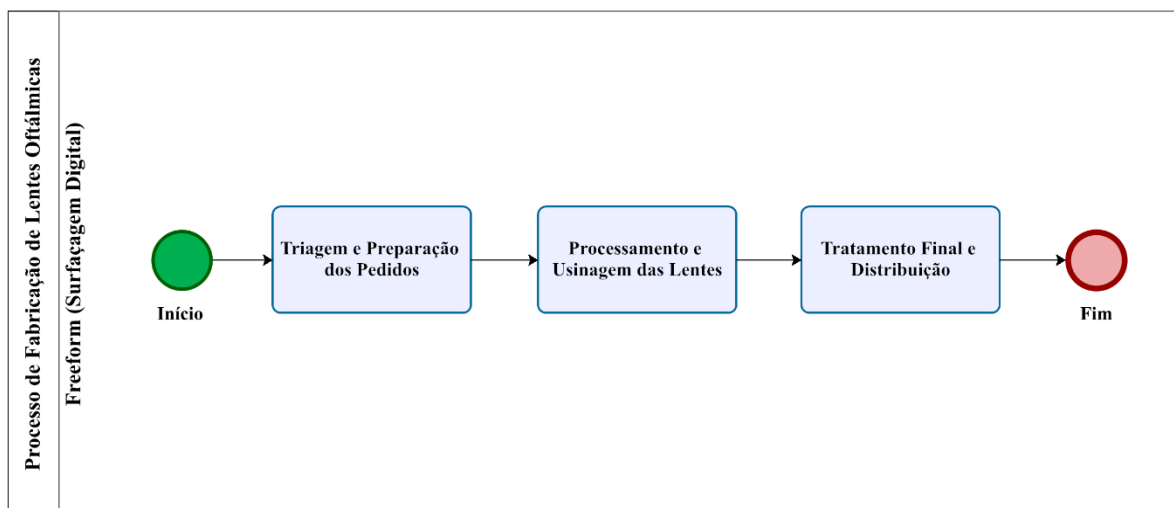
A diopia, conforme Machado (2019), é a unidade de medida utilizada para expressar o poder de refração das lentes, ou seja, sua capacidade de alterar o caminho da luz. Essa medida é indicada nos resultados dos exames de refração em frações de diopia (como 0,00; 0,25; 0,50; 0,75), podendo ser precedida por sinais (+) ou (-), dependendo da necessidade de correção visual do usuário.

Na surfacagem tradicional, lentes semiacabadas são usinadas com base em moldes predefinidos para alcançar a diopia desejada. Já na surfacagem digital, são utilizadas máquinas avançadas que dispensam o uso de moldes, gerando a curvatura diretamente com base em parâmetros digitais (Galdino, 2018).

No método *freeform* (ou forma livre), utiliza-se o mesmo tipo de equipamento da surfacagem digital, porém o processo é distinto. O bloco utilizado nesse método não possui adição prévia de diopia. Um software realiza os cálculos personalizados com base nas características do usuário, permitindo a usinagem da parte interna da lente conforme suas necessidades específicas (Sun, 2023).

A Figura 1 apresenta um fluxograma representativo do processo de fabricação de lentes, abrangendo desde a entrada dos blocos no setor de produção (*freeform*) até a etapa final de expedição.

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de lentes



Fonte: Elaborado pela Autora.

O processo, conforme ilustrado na Figura 1, é descrito a seguir, sendo organizado em atividades correspondentes às suas principais etapas:

3.1.1 Triagem e preparação dos pedidos

Conforme descrito por Fonseca (2021), o processo de triagem e preparação dos pedidos envolve as seguintes etapas:

- A triagem do bloco inicia-se assim que a ótica registra, em seu sistema de gestão e mediante ordem de serviço (OS), uma nova solicitação de lentes surfaçadas;
- O setor de estoque seleciona o bloco oftálmico que atende às especificações da OS e o aloca nas caixas apropriadas, conforme o cronograma de entrega (data e horário);
- Em seguida, as caixas são encaminhadas ao departamento *freeform*, onde os blocos, com espessura e diâmetro padrão, são transformados em lentes personalizadas conforme as necessidades de cada cliente.

3.1.2 Processamento e usinagem das lentes

- As ordens de serviço nas caixas são lidas (“bipadas”) por um scanner de código de barras, gerando automaticamente uma nova ficha de OS com os dados necessários para o processamento. Posteriormente, os blocos oftálmicos são inspecionados quanto à conformidade com os pedidos, organizados por prioridade de entrega e têm sua face não usinada protegida com fita adesiva para evitar danos durante a usinagem (Cunha, 2024);
- Os blocos são fixados em suportes metálicos chamados "porta-blocos", produzidos a partir de uma liga denominada *alloy*, que permanece sólida em temperatura ambiente e liquefaz a partir de 60 °C. Esse procedimento, conhecido como blocagem, garante a ancoragem estável do bloco durante o desbaste. Após o uso, o *alloy* é recuperado por imersão em meio aquecido e reutilizado (Cunha, 2024);
- Em seguida, os blocos são transferidos para caixas específicas, permitindo o manuseio pelos braços mecânicos dos geradores de curva. Nessa etapa, ocorre o desbaste da lente, que confere a curvatura, o diâmetro e a espessura definidos no cálculo prévio. O tempo de corte varia conforme o material da lente (Fonseca, 2021).

3.1.3 Tratamento final e distribuição

Como detalhado pela Zeiss (2022), o tratamento final e a distribuição das lentes seguem as etapas abaixo:

- Após o desbaste, as lentes exibem aspecto opaco. São então submetidas ao polimento para obter superfícies homogêneas e plenamente transparentes, sem alterar suas propriedades ópticas. Logo após, realiza-se a gravação a laser da marca do fabricante, garantindo autenticidade, rastreabilidade e facilitando eventuais ajustes;
- Na sequência, realiza-se a desblocagem, removendo o suporte metálico e efetuando a limpeza da lente. Sob demanda, é feita a coloração. A equipe de conferência verifica o atendimento às especificações da OS e, se necessário, aplica tratamentos adicionais como revestimentos antirrisco (*coating*) ou antirreflexo. Por fim, emitem-se os certificados de garantia, e as lentes seguem para montagem nas armações ou para o setor de expedição, conforme previsto.

3.1.4 Materiais utilizados na fabricação de lentes

Como pontua Jardim (2022), as lentes de óculos podem ser confeccionadas a partir de diversos materiais, cada um com características e benefícios específicos. Entre os principais fatores que variam conforme o material, destacam-se o custo, a espessura, a resistência mecânica e as propriedades ópticas, incluindo a proteção contra radiações.

O índice de refração de uma lente, que representa sua capacidade de desviar a luz, influencia diretamente sua espessura e peso. Quanto maior o índice, mais fina e leve será a lente (Walcher, 2012).

A escolha do material da lente exerce influência direta tanto no conforto e na estética dos óculos quanto nas condições de usinagem com ferramentas diamantadas. Cada tipo de material apresenta propriedades ópticas e mecânicas específicas como dureza, elasticidade e resistência térmica, que impactam nos esforços de corte, no acabamento superficial e na durabilidade das ferramentas utilizadas no processo (Zhang, 2024; Brehm, 1976 *apud* Granada, 2006).

Materiais de elevada dureza ou com maior resistência térmica, por exemplo, tendem a desgastar mais rapidamente a ferramenta diamantada. Por outro lado, materiais de menor dureza, embora mais fáceis de usinar, podem gerar cavacos que comprometem a qualidade final da superfície (Zhang, 2024). Por isso, conhecer as características de cada material é essencial para garantir eficiência no processo produtivo e desempenho das lentes (Lenscope, 2019).

A seguir, o Quadro 1 apresenta os principais materiais utilizados na fabricação de lentes oftálmicas, com destaque para seus respectivos índices de refração e características relevantes para o processo de usinagem e aplicação óptica (Lenscope, 2019).

Quadro 1 - Índice de refração e características dos materiais de lentes oftálmicas

| Nº | Material | Índice de Refração | Principais Características |
|-----------|------------------|---------------------------|---|
| 01 | Acrílico (CR-39) | 1.49 ou 1.50 | Polímero tradicional, leve e com boa qualidade óptica. Econômico, boa visão, fácil de encontrar. Espesso em graus altos, menor proteção UV (ultravioleta). |
| 02 | Trivex | 1.53 | Leve, resistente a impactos. Alta resistência, nitidez, proteção UV. Mais espessa que o policarbonato. |
| 03 | Policarbonato | 1.58 a 1.59 | Termoplástico moldado por compressão, muito resistente a impactos, 30% mais leve que o CR-39, mais fino que Trivex, boa resistência mecânica. Qualidade óptica inferior ao Trivex ou CR-39. |
| 04 | Resina | 1.60 ou 1.67 | Resinas com qualidade superior e leveza. Mais finas que CR-39 e policarbonato, boa estética. Custo intermediário, menor desempenho em graus muito altos. |
| | | 1.74 ou 1.76 | Resinas de alto índice oferecem máxima redução de espessura, com lentes extremamente finas, excelente estética para graus elevados, porém com alto custo e maior fragilidade. |

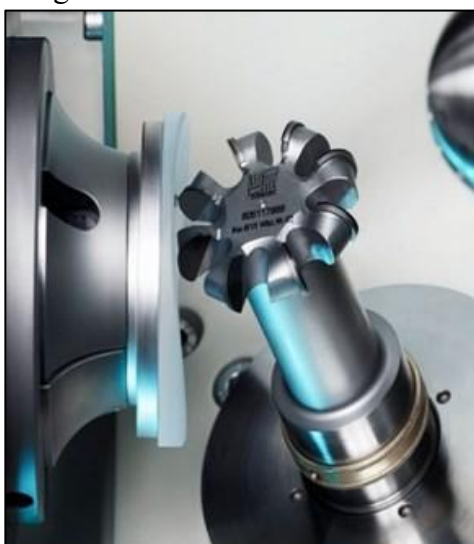
Fonte: Lenscope, 2019.

3.2 PROCESSO DE USINAGEM NA FABRICAÇÃO DE LENTES

Os processos de fabricação podem ser classificados em diversas categorias, sendo as principais: os processos de conformação mecânica, nos quais não há remoção de material por cavaco, e os processos de usinagem propriamente ditos, caracterizados pela retirada controlada de material na forma de cavacos (Melo, 2014). Conforme Machado *et al.* (2009) os processos de usinagem são essenciais para a produção de peças com geometrias e dimensões precisas, sendo particularmente importantes na fabricação de lentes oftálmicas, que exigem um elevado grau de exatidão e acabamento superficial refinado. Os autores também destacam que os cavacos, fragmentos irregulares gerados pela ação da ferramenta sobre o material, devem ser removidos para alcançar as formas, dimensões e níveis de acabamento necessários.

Segundo Cunha (2024), os processos de torneamento e fresamento são amplamente empregados na fabricação de lentes oftálmicas, pois possibilitam a obtenção de superfícies com alta qualidade óptica, atendendo aos rigorosos padrões exigidos pelo setor. Ambos os métodos são essenciais para garantir a precisão geométrica e o acabamento refinado necessários na indústria óptica. As Figuras 2 e 3 a seguir ilustram, respectivamente, os processos de fresamento e torneamento aplicados à fabricação de lentes oftálmicas.

Figura 2 - Processo de fresamento



Fonte: Schneider, 2024.

Figura 3 - Processo de torneamento



Fonte: Schneider, 2024.

3.2.1 Operações de usinagem

As operações de usinagem podem ser classificadas em dois tipos: geração e formação. No processo de geração, a geometria da peça resulta do movimento relativo entre a ferramenta e a peça, ou seja, a forma é definida pela trajetória do corte. Já no processo de formação, a forma da peça é determinada diretamente pela geometria da ferramenta (Groover, 2014).

No contexto da produção de lentes, predomina o princípio da geração geométrica. Isso significa que a ferramenta segue trajetórias específicas para remover o material e formar a superfície desejada, garantindo a precisão necessária para as características ópticas. Segundo Ferraresi (1970), o torneamento utiliza ferramentas monocortantes para criar superfícies de revolução, com a peça girando em torno do próprio eixo. Já o fresamento é realizado com ferramentas multicortantes que giram ao mesmo tempo em que a peça ou a ferramenta se desloca, permitindo a criação de superfícies planas ou curvas complexas. Ambas as operações são amplamente aplicadas na fabricação de lentes devido à sua elevada capacidade de controle dimensional e acabamento.

3.2.2 Tipos de Usinagem: convencional e não convencional

A usinagem pode ser subdividida em convencional e não convencional. Na usinagem convencional, a remoção de material ocorre por cisalhamento, com contato direto entre a ferramenta de corte e a peça. Esse tipo de processo utiliza ferramentas com geometria definida (como no torneamento e fresamento) ou não definida (como na retificação) (Kalpakjian, 1995 *apud* Souza, 2004).

Por outro lado, a usinagem não convencional envolve o uso de fontes alternativas de energia, como: térmica, elétrica, química ou eletroquímica, permitindo a remoção de material sem contato físico direto com a peça. Essa abordagem é indicada para a produção de geometrias complexas ou usinagem de materiais frágeis, cuja integridade poderia ser comprometida por esforços mecânicos excessivos. Embora a taxa de remoção de material em processos não convencionais seja inferior, eles podem ser vantajosos na produção de lentes oftálmicas, principalmente quando são exigidos altos níveis de detalhamento geométrico e acabamento superficial (Kalpakjian, 1995 *apud* Souza, 2004).

3.3 FERRAMENTAS DIAMANTADAS

A usinagem de ultraprecisão é um requisito essencial na fabricação de lentes oftálmicas, exigindo processos capazes de alcançar dimensões submicrométricas e elevados padrões de acabamento superficial. Entre esses processos, o torneamento e o fresamento com ferramentas diamantadas se destacam por garantir a qualidade óptica necessária às lentes de alto desempenho (Zhang, 2024).

O diamante, seja natural ou sintético, apresenta propriedades excepcionais para aplicações em usinagem, como alta dureza, excelente condutividade térmica, baixo coeficiente de atrito e elevada resistência ao desgaste (Zhandg *et al.*, 2017). Essas características tornam-no ideal para o corte de substratos ópticos, proporcionando superfícies translúcidas, com mínima distorção e excelente qualidade geométrica (Brehm, 1976 *apud* Granado, 2006).

Diamantes naturais, embora mais puros, são mais frágeis e possuem custo elevado. Já os sintéticos apresentam ótimo desempenho de corte e são economicamente mais viáveis (Henriques *et al.*, 2017). O tipo mais utilizado na usinagem de lentes é o diamante monocristalino, aplicado em ferramentas de ponta única, como a ilustrada na Figura 4, que apresenta a geometria MCC R2/120°, responsável por gerar com precisão a curvatura das lentes durante o processo de usinagem (Schneider, 2021).

Figura 4 - Ferramenta diamantada de ponta única

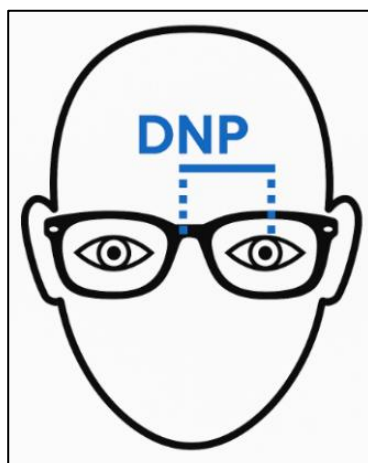


Fonte: Schneider, 2021.

Do ponto de vista técnico, com a ferramenta diamantada em condições ideais, o corte da lente inicia-se na borda e avança em direção ao centro, garantindo a medição precisa da Distância Naso-Pupilar (DNP), o espaço em milímetro, entre o centro de cada pupila e a linha média do nariz. Essa métrica é crucial para posicionar corretamente o grau na lente, pois determina o exato ponto de inserção da lente na armação, alinhando o centro óptico ao centro visual do usuário. Em tais condições, o corte produz lentes com superfície lisa, uniforme e translúcida, atendendo aos padrões ópticos do mercado (Lenscope, 2018).

A Figura 5 ilustra graficamente essa medida, destacando sua importância para o alinhamento adequado das lentes nos óculos, fator que influencia diretamente a performance visual e o conforto do usuário.

Figura 5 - Representação gráfica da DNP



Fonte: Adaptado de Lenscope, 2018.

Contudo, o desgaste progressivo da ferramenta diamantada compromete essa qualidade, gerando lentes com aspecto opaco, presença de ranhuras, deformações e irregularidades superficiais (Contour Fine Tooling BV, 2025). Esse cenário evidencia a perda de eficiência do corte e a necessidade de reafiação ou substituição da ferramenta.

As Figuras 6 e 7 demonstram como o desgaste da ferramenta diamantada afeta a qualidade das lentes oftálmicas.

Figura 6 - Lente usinada com ferramenta diamantada em bom estado



Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 7 - Lente usinada com ferramenta desgastada



Fonte: Elaborado pela Autora.

A Figura 6, observa-se uma lente usinada com ferramenta em bom estado, exibindo transparência, uniformidade e superfície lisa, atributos essenciais ao desempenho óptico. Em contraste, na Figura 7, coletada *in loco* na empresa em estudo, a lente produzida com ferramenta desgastada. Nela, observam-se aspecto fosco, ranhuras e falhas no acabamento, evidenciando a perda de qualidade superficial.

Essa comparação reforça a importância da manutenção preventiva e do monitoramento sistemático das ferramentas diamantadas, tanto para assegurar a qualidade óptica final quanto para garantir a padronização do processo produtivo. A partir desse controle, torna-se possível definir com maior precisão a quantidade ideal de lentes que cada ferramenta pode usinar sem comprometer a eficiência produtiva, conforme propõe o presente estudo (Zeiss, 2022).

3.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Machado (2012) destaca que as ferramentas da qualidade constituem um conjunto de técnicas aplicadas com o objetivo de definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas que comprometem o desempenho dos processos organizacionais. Dessa forma, a qualidade deixa de ser uma responsabilidade restrita a um setor específico e passa a ser concebida como uma filosofia de gestão integrada, devendo permear todas as áreas da organização de forma contínua e estratégica.

No contexto da fabricação de lentes oftálmicas, a aplicação dessas ferramentas revela-se essencial para identificar, com maior precisão, os fatores que influenciam tanto a qualidade final do produto quanto o desempenho das ferramentas diamantadas ao longo do tempo. Nesta seção, serão apresentadas duas abordagens fundamentais empregadas na análise dos dados desta pesquisa: o Diagrama de Ishikawa e a metodologia Six Sigma.

3.4.1 Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito)

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe, é uma ferramenta desenvolvida por Kaoru Ishikawa com o objetivo de identificar, organizar e representar graficamente as causas potenciais de um problema específico (Ramos, 2025).

Conforme destaca Bezerra (2014), a ferramenta estimula a análise crítica das origens dos problemas nos processos organizacionais, partindo de perguntas como: “Por que esse problema ocorre?” ou “Quais são as causas desse problema?”. Seu uso é amplamente difundido na administração, especialmente na gestão da qualidade, contribuindo para a identificação de não conformidades, a padronização de processos e a melhoria contínua dos resultados.

Bezerra (2014) também ressalta que a estrutura do diagrama classifica as causas em seis categorias, conhecidas como os “6Ms” da qualidade, facilitando a análise sistemática e a definição de ações corretivas eficazes: método (falhas em procedimentos), máquina (problemas em equipamentos), medida (precisão e critérios dos instrumentos de controle), meio ambiente (condições do local de trabalho), mão de obra (qualificação e desempenho dos operadores) e material (qualidade dos insumos utilizados).

3.4.2 Metodologia Six Sigma

A metodologia Six Sigma é uma abordagem estruturada de gestão da qualidade, dedicada a aprimorar processos por meio da redução da variabilidade, eliminação de defeitos e otimização da eficiência operacional, promovendo a melhoria contínua e a satisfação do cliente. Fundamentada na filosofia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), faz uso intensivo de ferramentas estatísticas para atingir uma taxa de defeitos inferior a 3,4 por milhão de oportunidades (Pyzdek; Keller, 2003).

Para monitorar a estabilidade e a consistência dos processos, emprega-se o desvio padrão (σ), que quantifica o grau de variação dos resultados em relação à sua média (\bar{x}), como indicador de dispersão em torno do valor central (Montgomery, 2013). Com base nesse parâmetro, definem-se os limites de controle, Limite Superior de Controle ($LSC = \bar{x} + 3\sigma$) e Limite Inferior de Controle ($LIC = \bar{x} - 3\sigma$), que representam a variabilidade natural do processo. Pontuações além desses limites sinalizam a necessidade de ações corretivas, assegurando a detecção precoce de variações indesejadas e sustentando a melhoria contínua do desempenho produtivo (Silva *et al.*, 2015).

4 METODOLOGIA

Conforme orienta Gil (2002), esta seção descreve os procedimentos adotados para a execução da pesquisa, incluindo a definição do tipo de estudo, a caracterização da população e da amostra, os métodos de coleta de dados e as técnicas aplicadas ao tratamento e à análise das informações obtidas.

A pesquisa foi conduzida em ambiente industrial, em uma empresa localizada em Goiânia, com o objetivo de avaliar o volume de produção em função do desgaste das ferramentas diamantadas durante o processo de corte de lentes oftálmicas. Considerando que a empresa opera em um modelo de produção sob demanda, os materiais das lentes variam conforme os pedidos dos clientes, sendo, portanto, definidos de forma aleatória, sem controle prévio sobre os tipos de materiais processados. O estudo concentrou-se na análise da eficiência produtiva ao longo do ciclo de vida das ferramentas, utilizando o quantitativo de peças produzidas como principal indicador de desempenho.

A Figura 8 apresenta o fluxo metodológico adotado em etapas sequenciais: inicialmente, define-se o tipo e a caracterização da pesquisa; em seguida, descrevem-se os procedimentos técnicos; depois, delimitam-se a população, a amostra e as técnicas de coleta e tratamento de dados; por fim, realiza-se a análise dos resultados, sempre guiada pelos objetivos do estudo e pela revisão da literatura.

Figura 8 - Fluxo metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pela Autora.

4.1 TIPO E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

4.1.1 Abordagem metodológica

A abordagem deste estudo é quantitativa, pois baseia-se no levantamento de dados numéricos referentes ao volume de lentes oftálmicas produzidas por cada ferramenta diamantada até seu descarte ou reafiação. Com esse quantitativo, foi possível avaliar indicadores de desempenho, como eficiência produtiva e durabilidade das ferramentas ao longo de seu ciclo de vida. Não foram consideradas variáveis de qualidade final do produto nem propriedades específicas dos materiais usinados.

4.1.2 Natureza da pesquisa

A pesquisa possui natureza aplicada, pois busca resolver um problema prático observado no contexto industrial, especificamente relacionado ao desempenho de ferramentas de corte utilizadas na produção de lentes oftálmicas. O objetivo é propor melhorias que resultem em ganhos de produtividade, redução de defeitos e ampliação da vida útil das ferramentas, contribuindo para a eficiência do processo.

4.1.3 Objetivos da pesquisa

Este estudo possui caráter descritivo e exploratório. Sua vertente descritiva manifesta-se na coleta e análise de dados numéricos referentes ao volume de lentes oftálmicas produzidas por cada ferramenta diamantada até seu descarte ou reafiação. O aspecto exploratório, por sua vez, busca identificar padrões de desempenho e desgaste ao longo do ciclo de vida dessas ferramentas.

O objetivo central deste estudo quantitativo é mensurar o número de lentes produzidas por ferramenta, avaliar sua eficiência produtiva e durabilidade, e determinar o ponto de substituição que maximize o rendimento e minimize os custos operacionais.

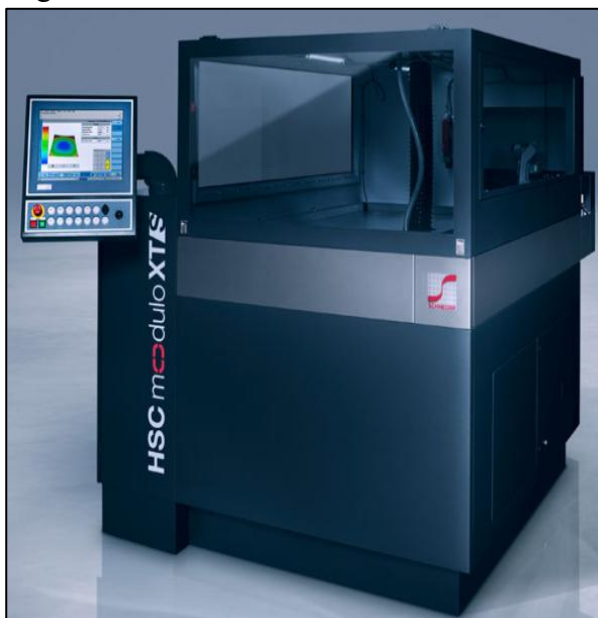
4.2 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica para fundamentar teoricamente os conceitos de usinagem de lentes, ferramentas diamantadas e ferramentas da qualidade, com destaque para a metodologia Six Sigma e o Diagrama de Ishikawa.

Na sequência, foi feito um levantamento de dados em ambiente fabril, com análise comparativa de dois geradores de corte do tipo HSC Módulo XTS: Gerador 01 (fabricado em 2019) e Gerador 02 (fabricado em 2022), ambos com capacidade de operação de até 36.000 rotações por minuto (rpm). Segundo a fabricante Schneider GmbH & Co. KG (2022), esses equipamentos de alta velocidade (*High-Speed Cutting*) oferecem elevada precisão óptica, robustez estrutural e automação inteligente, sendo equipados com motores de alto desempenho (XS-Tec e RS-Tec), estrutura reforçada e tecnologia *plug-and-play*. Ambos utilizam ferramentas diamantadas MCC R2/120°, com inserto sintético e raio de corte de 2 milímetros (mm).

A Figura 9 apresenta uma imagem ilustrativa do equipamento, cuja dinâmica de funcionamento pode ser visualizada por meio do vídeo institucional disponibilizado pela fabricante Schneider GmbH & Co. KG¹ (2022).

Figura 9 - Gerador de corte HSC Módulo XTS



Fonte: Schneider GmbH & Co. KG, 2022.

Durante a coleta de dados, foram monitoradas as seguintes variáveis:

- Quantidade de ferramentas utilizadas por gerador;
- Número de reafiações por ferramenta;
- Volume de lentes produzidas;
- Estágio do ciclo de vida das ferramentas (nova e reafiada).

A Tabela 1 sistematiza as informações operacionais obtidas.

Tabela 1 - Informações operacionais dos geradores de corte

| Gerador | Número de ferramentas | Lentes produzidas | Estágios do ciclo de vida |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Gerador 01 | 17 | 111195 | 8 |
| Gerador 02 | 23 | 119796 | 5 |
| Total | 40 | 230991 | - |

Fonte: Elaborado pela Autora.

¹ Schneider GmbH & Co. KG. **HSC modulo XTS - Generating - SCHNEIDER Optical Machines**. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TzSD115yT10&t=3s>. Acesso em: jun. 2025.

4.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população do estudo é composta por ferramentas diamantadas empregadas na usinagem de lentes oftálmicas. A amostra incluiu 17 ferramentas do Gerador 01 e 23 do Gerador 02, abrangendo o ciclo de vida útil das ferramentas, monitoradas entre abril e outubro de 2024 (Tabela 1). Os dados foram coletados nos dois geradores de corte disponíveis na empresa, selecionados por conveniência, uma vez que representavam os equipamentos operacionais ativos. Cabe destacar que, devido ao modelo de produção sob demanda adotado pela empresa, os tipos de lentes processadas variaram de acordo com os pedidos dos clientes, sendo, portanto, definidos de forma aleatória, o que reflete as condições reais do ambiente produtivo.

4.4 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta do processo produtivo e levantamento documental, incluindo a análise de relatórios de reafiações e registros de produção. Essas técnicas possibilitaram o acompanhamento das condições operacionais e permitiram identificar padrões de desgaste das ferramentas, desempenho ao longo do tempo e os impactos econômicos associados.

4.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

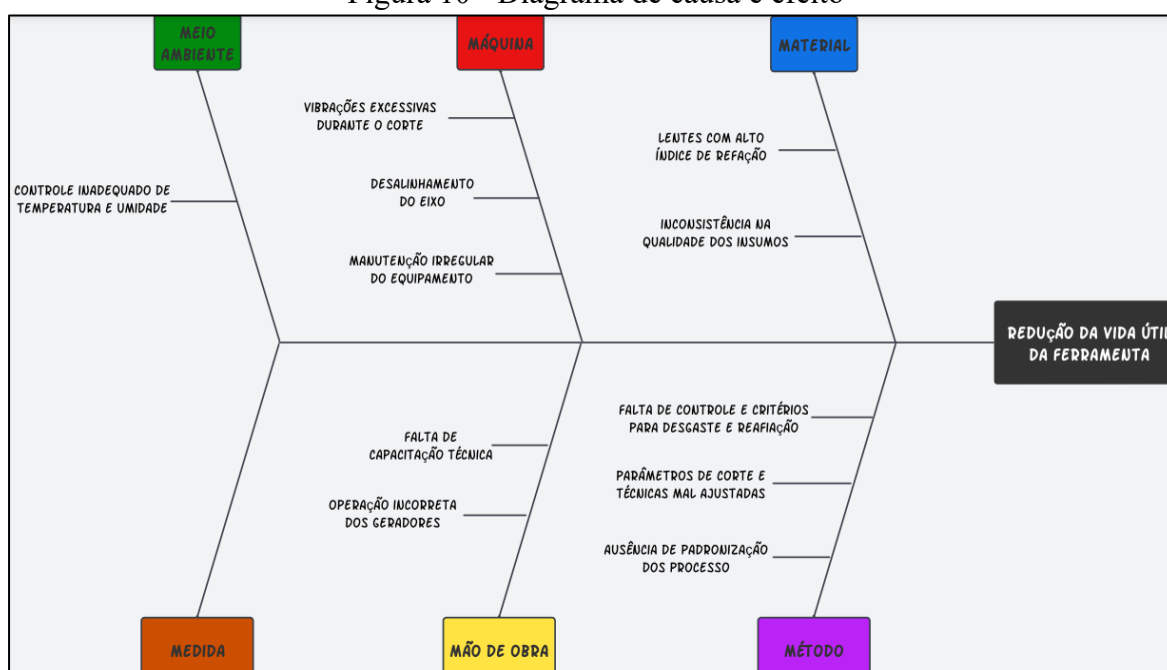
As informações coletadas foram consolidadas em planilhas eletrônicas no Microsoft Excel e organizadas por gerador e estágio de reafiação. Em seguida, empregou-se o próprio Excel para realizar cálculos estatísticos, incluindo a média de produção por estágio.

Para avaliar a variabilidade do processo, foi aplicado o cálculo do desvio padrão conforme os preceitos do Six Sigma. Com esses valores, foram definidos os Limites de Controle, permitindo o monitoramento da estabilidade do processo de corte.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compreender os fatores que impactam a eficiência produtiva e a qualidade das lentes oftálmicas, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa estruturado com base nos “6Ms” da qualidade (método, máquina, mão de obra, material, meio ambiente e medida), conforme apresentado na Figura 10. Esse diagrama possibilitou mapear e organizar as causas potenciais associadas à redução da vida útil das ferramentas, bem como os defeitos ópticos observados.

Figura 10 - Diagrama de causa e efeito



Fonte: Elaborado pela Autora.

Durante o processo de corte, as ferramentas diamantadas executam a usinagem da lente da borda para o centro, garantindo a correta definição da DNP e a conformidade óptica do produto. Quando operam em boas condições, essas ferramentas proporcionam lentes translúcidas, com superfícies lisas e acabamento uniforme. Entretanto, à medida que ocorre o desgaste, surgem defeitos como ranhuras, opacidade e deformações superficiais, comprometendo tanto a qualidade óptica quanto a eficiência produtiva.

O estudo revelou que o desgaste das ferramentas não está vinculado apenas ao seu ciclo natural de vida, mas também é influenciado por uma série de fatores operacionais e gerenciais. Entre os principais, destacam-se falhas na calibração dos equipamentos, parâmetros de corte inadequados, ausência de padronização nos ciclos de reafiação, falta de

controle sistemático do desgaste, técnicas de usinagem mal ajustadas, variabilidade na qualidade dos materiais processados e deficiência na capacitação da equipe. Esses fatores atuam de forma interligada, exigindo uma abordagem integrada e sistemática para sua mitigação.

Diante desse cenário, foi aplicada a metodologia Six Sigma, com base no ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), para estruturar a análise e propor melhorias no desempenho das ferramentas diamantadas. Esse modelo orientou desde a identificação dos problemas até a definição de critérios de controle e intervenções corretivas no processo. As etapas desse ciclo estão detalhadas no Quadro 2, que sintetiza as ações adotadas ao longo da pesquisa.

Quadro 2 - Aplicação do ciclo DMAIC no processo produtivo de lentes oftálmicas

| Nº | Etapa | Descrição | Estratégias Adotadas |
|-----------|---------------|---|---|
| 01 | Definir (D) | Identificação dos problemas de produtividade e qualidade. | Análise do processo e definição do problema. |
| 02 | Medir (M) | Coleta de dados sobre produção e reafiações. | Relatórios, planilhas e estatística descritiva. |
| 03 | Analisar (A) | Mapeamento das causas dos problemas. | Diagrama de Ishikawa, análise estatística e CEP. |
| 04 | Melhorar (I) | Propostas para otimizar parâmetros de corte e reafiação. | Ações corretivas e melhorias operacionais. |
| 05 | Controlar (C) | Monitoramento contínuo do processo e dos indicadores. | CEP, listas de verificação e acompanhamento de indicadores. |

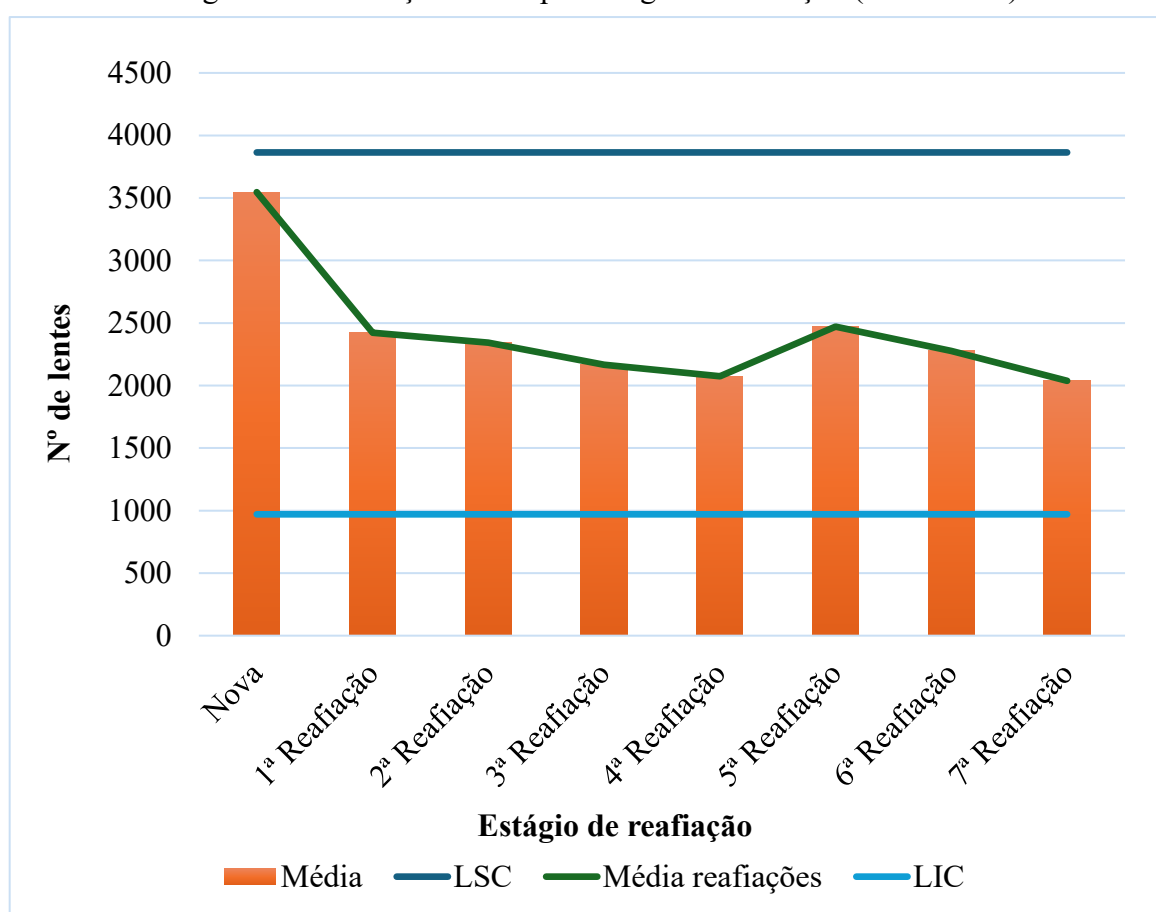
Fonte: Elaborado pela Autora.

A análise dos dados operacionais obtidos, apresentados nas Tabelas 2 a 5 (Apêndice A), evidenciou variações significativas na produtividade das ferramentas dos Geradores 01 e 02 ao longo dos diferentes ciclos de reafiação. Algumas ferramentas, como SC27924 e SC32285, apresentaram alta produtividade mesmo após múltiplas reafiações, demonstrando

boa durabilidade e eficiência. Por outro lado, ferramentas como SC11337 e SC23303, utilizadas em ambos os equipamentos, exibiram desempenhos distintos, sugerindo influência de variáveis específicas de cada gerador ou diferenças no desgaste e na reafiação.

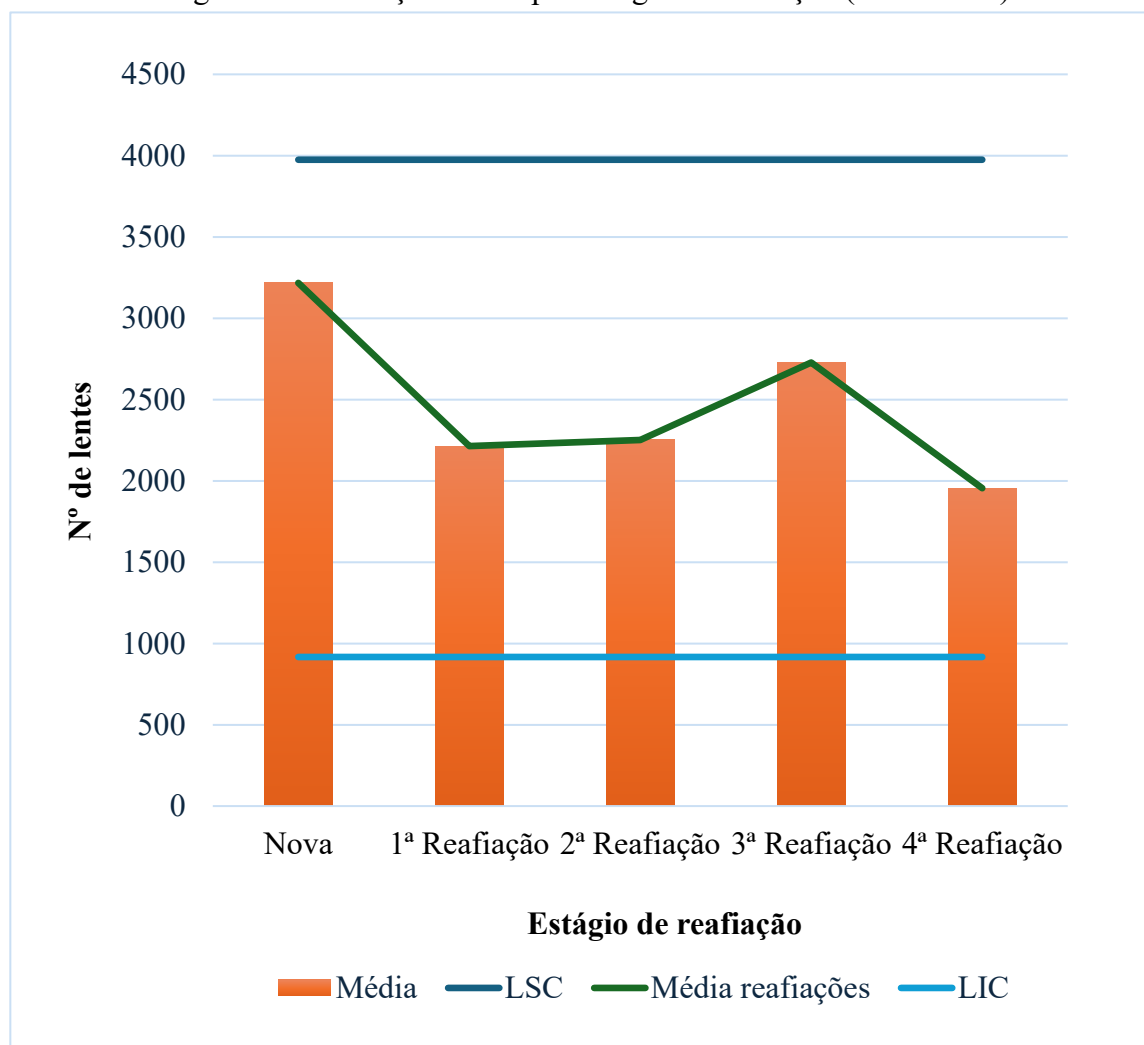
As médias de produção por estágio, consolidadas nas Tabelas 4 e 5 (Apêndice A), apresentam a produtividade média por ciclo de reafiação para os Geradores 01 e 02. Com base nesses dados, as Figuras 11 e 12 ilustram graficamente os comportamentos de produtividade.

Figura 11 - Produção média por estágio de reafiação (Gerador 01)



Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 12 - Produção média por estágio de reafiação (Gerador 02)



Fonte: Elaborado pela Autora.

A análise estatística revelou que o desvio padrão foi de 482 lentes para o Gerador 01 e de 501 lentes para o Gerador 02. Isso indica que aproximadamente 99,7% das produções estão situadas dentro do intervalo de $\pm 3\sigma$ em torno das respectivas médias (2428 lentes para o Gerador 01 e 2473 lentes para o Gerador 02), correspondendo aos intervalos de 970 a 3864 lentes e de 971 a 3975 lentes, respectivamente. Esses limites confirmam que o processo opera de forma estatisticamente estável, embora dentro de uma faixa de variabilidade que pode ser otimizada.

O comportamento das médias de produção demonstra claramente o impacto do desgaste progressivo. No Gerador 01, observou-se uma queda contínua da condição "nova" até a quarta reafiação, atingindo o ponto mais baixo na quinta reafiação. Em seguida, houve uma recuperação parcial na sexta reafiação, antes de uma nova queda na sétima, indicando

que, após determinado número de reafiações, a eficiência da ferramenta não se mantém mais estável. O Gerador 02 apresentou um comportamento semelhante, com desempenho máximo na condição inicial, queda acentuada até o estágio intermediário, breve recuperação e nova redução de produtividade nos ciclos finais.

Esses padrões reforçam a importância da definição de gatilhos estatísticos claros para a troca ou reafiação das ferramentas, permitindo ações preventivas antes que a qualidade óptica ou a eficiência produtiva sejam comprometidas. A definição dos limites de controle, obtida por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP) e da metodologia Six Sigma, fornece parâmetros objetivos que orientam a tomada de decisão, reduzindo subjetividade e melhorando a previsibilidade do processo.

A partir dessa abordagem, é possível estabelecer um modelo de monitoramento contínuo, capaz de indicar quando uma ferramenta deve ser recondicionada ou retirada de operação, reduzindo desperdícios, minimizando retrabalhos e otimizando custos operacionais. Além disso, recomenda-se aprofundar a investigação sobre os fatores que geram instabilidade no processo, como ajustes de máquina, qualidade dos lotes de matéria-prima e parâmetros de usinagem, de modo a promover a padronização dos processos e aumentar a vida útil das ferramentas diamantadas.

O uso consistente do Diagrama de Ishikawa aliado às práticas de controle estatístico fortalece a gestão da produção, contribuindo diretamente para a melhoria contínua, a estabilidade do processo e a garantia da qualidade óptica final das lentes fabricadas.

6 CONCLUSÃO

Este estudo quantitativo evidenciou que o desgaste progressivo e as sucessivas reafiações das ferramentas diamantadas impactam de forma significativa a produtividade, a estabilidade operacional e a qualidade superficial das lentes no processo de usinagem oftálmica. Foi constatado um declínio gradual no desempenho das ferramentas ao longo dos ciclos de reafiação, o que compromete tanto a eficiência produtiva quanto os padrões ópticos do produto.

Além disso, oscilações pontuais na produtividade, como o aumento observado na terceira reafiação, reforçam a ausência de critérios técnicos padronizados para determinar o momento ideal de troca ou reafiação das ferramentas. Essa ausência caracteriza uma gestão reativa, que amplia a variabilidade do processo e compromete sua previsibilidade.

A aplicação do CEP, fundamentado na metodologia Six Sigma, permitiu estabelecer limites de controle confiáveis que servem como referência para o monitoramento da produtividade em cada estágio de reafiação. Esse modelo favorece tomadas de decisão mais precisas, orientando a manutenção das ferramentas que operam dentro dos parâmetros estatísticos e a análise de desvios, como desgaste precoce, falhas na reafiação ou variações operacionais.

Diante dos resultados, recomenda-se a adoção definitiva desse protocolo de monitoramento no ambiente produtivo, associado à revisão periódica dos parâmetros de corte, dos ciclos de reafiação e à avaliação contínua das características dos materiais processados. Essa abordagem contribui diretamente para prolongar a vida útil das ferramentas diamantadas, elevar a eficiência operacional, reduzir retrabalhos e desperdícios, otimizar custos e assegurar a qualidade óptica das lentes produzidas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS: LIMITAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A principal limitação deste estudo foi a restrição quanto aos ajustes dos parâmetros de corte dos geradores (velocidade, avanço e profundidade), o que direcionou a pesquisa para soluções de natureza gerencial e operacional, como o monitoramento do desgaste das ferramentas, a gestão dos ciclos produtivos e o controle de custos. Dessa forma, não foi possível explorar alternativas técnicas mais robustas para otimização do processo.

Adicionalmente, por se tratar de uma operação sob demanda, em que os materiais das lentes variam conforme os pedidos dos clientes, não foi possível isolar os efeitos específicos de cada material sobre o desgaste das ferramentas. Também não foram analisadas variáveis diretamente relacionadas à qualidade óptica final das lentes, fator que pode impactar tanto o desgaste quanto a eficiência produtiva.

Apesar dessas limitações, os resultados oferecem contribuições relevantes para a Engenharia de Produção, demonstrando que o gerenciamento do ciclo de vida das ferramentas diamantadas é fundamental para garantir eficiência, previsibilidade e estabilidade no processo. Entre as contribuições práticas, destacam-se a possibilidade de segmentar a produção conforme o tipo de material, adequando os planos de reafiação à abrasividade dos insumos; o monitoramento do custo por unidade produzida (CPU), que auxilia na avaliação do impacto econômico de cada ciclo; e a definição de cronogramas de

reação baseados no desempenho real das ferramentas, proporcionando um melhor equilíbrio entre produtividade, custos e qualidade.

Esses resultados reforçam o potencial da abordagem proposta para gerar ganhos sustentáveis em competitividade, produtividade e qualidade no setor óptico. Ademais, a metodologia empregada pode ser adaptada para outros segmentos industriais que demandem processos de alta precisão, contribuindo para a melhoria contínua, padronização e aumento da competitividade no contexto industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIÓPTICA. A importância dos óculos para a sociedade. São Paulo: **Abióptica**, 2024. Disponível em: <https://www.abioptica.com.br/a-importancia-dos-oculos-para-a-sociedade/#:~:text=A%20inven%C3%A7%C3%A3o%20dos%20%C3%B3culos%20%C3%A9,devido%20aos%20problemas%20de%20vis%C3%A3o>. Acesso em: nov. 2024.

ALLENTOWN OPTICAL. **The science behind lens manufacturing**: a deep dive into optical precision, 2025. Disponível em: <https://www.allentownoptical.com/science-behind-lens-manufacturing>. Acesso em: jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A profissão da engenharia de produção. São Paulo: **ABEPRO**, 2024. Disponível em: <https://portal.abepro.org.br/abepro2025/profissao>. Acesso em: nov. 2024.

BENJAMIN, Keith. All About Lens Surfacing. **Laramyk**. Indianola, EUA, 17 jan. 2024. Disponível em: <https://www.laramyk.com/resources/education/surfacing/all-about-lens-surfacing>. Acesso em: jun. 2025.

BEZERRA, Filipe. **Diagrama de Ishikawa**: princípio da causa e efeito, 2014. Portal Administração. Disponível em: <https://www.portal-administracao.com/2014/08/diagrama-de-ishikawa-causa-e-efeito.html>. Acesso em: jun. 2025.

CAZIN, Natasha. Key themes and opportunities in the Global eyewear market. **Euromonitor**, 8 ago. 2024. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/article/key-themes-and-opportunities-in-the-global-eyewear-market?>. Acesso em: jun. 2025.

CONTOUR FINE TOOLING BV. **Diamond tools for ultra-precision machining and electro-mechanical engraving**, 2025. Disponível em: <https://www.contour-diamonds.com>. Acesso em: jun. 2025.

CUNHA, Celso Marcelo. **Óptica básica e avançada na fabricação de lentes oftálmicas**. 1. ed. Pará: RFB Editora, 2024.

DIAS, Alex. **Introdução ao cálculo de lentes oftálmicas**. 3. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2017.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, v.1, 1970.

FONSECA, Fernando. **Surfaçagem**. **Prime Optical**, 8 out. 2021. Disponível em: <https://www.primeoptical.com.br/post/surfacagem>. Acesso em: jun. 2025.

GALDINO, Vanessa Hellen Ramalho. **Análise da melhoria da confiabilidade do processo em um laboratório óptico por meio da metodologia FMEA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13428/1/VHRG05072018.pdf>. Acesso em: jan. 2024.

GARCIA, Saulo. **Lens manufacturing technology: a comprehensive guide for eyewear professionals**. **Optigrd**, 20 jan. 2025. Disponível em: <https://www.optigrd.io/blog/lens-manufacturing-technology>. Acesso em: jun. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

GRANADO, Renê Mendes. **Avaliação da integridade superficial do polimetilmetacrilato (PMMA) no torneamento com ferramenta de diamante**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: https://www.academia.edu/48834825/Avalia%C3%A7%C3%A3o_da_integridade_superficial_do_polimetilmetacrilato_PMMA_no_torneamento_com_ferramenta_de_diamante. Acesso em: nov. 2024.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. Tradução e revisão técnica: Anna Carla Araújo *et al.* 1. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014. 745 p. Título original: *Introduction to manufacturing processes*.

HENRIQUES, Bruno *et al.* **Copper–nickel-based diamond cutting tools: stone cutting evaluation**. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Londres, v. 92, n. 1-4, p. 1339-1348, 2017. DOI: [10.1007/s00170-017-0220-6](https://doi.org/10.1007/s00170-017-0220-6). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-0220-6#citeas>. Acesso em: nov. 2024.

HOLLMANN, Mark. **The art of generating: a technological challenge**. **Satisloh**, 2025. Disponível em: <https://www.satisloh.com/resources/articles/the-art-of-generating>. Acesso em: jun. 2025.

JARDIM, Fábio. **Material da lente: o que influencia essa escolha?**. **Penelopi**, Rio Grande do Sul, 17 out. 2022. Disponível em: <https://www.penelopi.com.br/blog/lentes/material-da-lente-o-que-influencia-essa-escolha>. Acesso em: jun. 2025.

LENSCOPE. DNP: por que essa medida é importante para fazer óculos?. **Lenscope**, São Paulo, SP, 16 ago. 2018. Disponível em: https://lenscope.com.br/blog/dnp-importancia/comment-page-1/?srslid=AfmBOooP2maks_3cmyXzIjflDJhhs6kNwZABBEa3tdJyWrveBVVjcbm5. Acesso em: jun. 2025.

LENSCOPE. Materiais de lentes de óculos: acrílico, policarbonato, resina e vidro (cristal). **Lenscope**, São Paulo, 24 jul. 2019. Disponível em: https://lenscope.com.br/blog/materiais-de-lentes-de-oculos-acrilico-policarbonato-resina-e-vidro-cristal/?srslid=AfmBOop5Tf172G5IDGvMdpk3cCQQM6CMkcReq_BvPT3RefvjB9D7NSSR. Acesso em: jun. 2025.

MACHADO, Álisson Rocha *et al.* **Teoria da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2009.

MACHADO, José Hamilton. **Óptica passo a passo: do atendimento ao laboratório**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Senac Rio, 2019.

MACHADO, Simone Silva. **Gestão da Qualidade**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 92 p.: il. Bibliografia.

MARTINATO MÁQUINAS DE PRECISÃO LTDA. **Freeform: o que é e como mudará a óptica**, Rio Grande do Sul, 23 ago. 2019. Disponível em: https://www.martinato.com.br/surfacagem/freeform-o-que-e-e-como-mudara-a-otica/?srslid=AfmBOookMn79E0WY2kD-BQEdVEiQX5NhG21weXoC0aMC5aSmJs_ABOQ2. Acesso em: jun. 2025.

MEDEIROS, Pedro. Mercado óptico em 2025: tendências e como se destacar. **ssOtica**, [Minas Gerais], 12 fev 2025. Disponível em: <https://ssotica.com.br/blog/tendencias-do-mercado-optico-para-2025-o-que-esperar-e-como-se-preparar>. Acesso em: jun. 2025.

MELO, José Felipe Nobre de. **Monitoramento da evolução do desgaste de uma ferramenta de corte através de vibrações**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás, Universidade em Natal, Rio Grande do Norte, 2012.

MYVISION.ORG. Len index: what does lens index mean and which is the best for you?. **Myvision**, Aliso Viejo, CA, 8 abr. 2022. Disponível em: <https://myvision.org/contacts/lens-index>. Acesso em: jun. 2025.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. 7. ed. Wiley, 2013.

NG, Bryan. Diamond turned optics: precision manufacturing for advanced optical systems. **Wavelength-oe**, 6 jun. 2025. Disponível em: <https://wavelength-oe.com/diamond-turned-optics>. Acesso em: jun. 2025.

PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. **The six sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2003.

RAMOS, Dave. Diagrama de Ishikawa: o que é e como usar na análise de causa raiz. **8quali**, Sant Catarina, 27 maio 2025. Disponível em: <https://8quali.com.br/diagrama-de-ishikawa/#:~:text=O%20Diagrama%20de%20Ishikawa%20%C3%A9%20uma%20ferramenta%20que%20permite%20encontrar,de%20forma%20simples%20e%20intuitiva>. Acesso em: jun. 2025.

SCHNEIDER GmbH & Co. KG. Tooling catalog cphthalmics. **Schneider-om**, set. 2021. Disponível em: https://www.schneider-om.com/fileadmin/media/schneider-om/consumables-tools/SCHNEIDER_Catalogue_3-2021_Consumables_and_Tools.pdf#page=20. Acesso em: jun. 2025.

SILVA, F. R. *et al.* **Aplicação da metodologia Six Sigma no setor industrial: um estudo de caso**. Revista de Engenharia de Produção, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 50–61, 2015.

SOUZA, André João de. **Aplicação de multisensores no prognóstico da vida da ferramenta de corte em torneamento**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30369118.pdf>. Acesso em: nov. 2024.

SUN, Christina. Lentes freeform: o que são e vantagens. **Lentesarmatti**, Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.lentesarmatti.com.br/tecnologia>. Acesso em: jun. 2025.

WALCHER, Marcelo. Fórmulas e cálculos. **Óptica prática**, 2012. Disponível em: <https://opticapratica.webnode.page/formulas-e-calculos/>. Acesso em: jun. 2025.

ZEISS VISION CARE. Como são fabricadas as lentes oftálmicas?. **Zeiss**, 28 mar. 2022. Disponível em: <https://www.zeiss.com.br/vision-care/saude-e-tratamento-dos-olhos/compreendendo-a-visao/como-sao-fabricadas-as-lentes-oftalmicas.html#accordionItem-159285440>. Acesso em: jun. 2025.

ZHANG, Shane. Usinagem de ultraprecisão: tipos e técnicas. **MachineMfg**, 4 maio 2024. Disponível em: https://www.machinemfg.com/pt_br/ultra-precision-machining-types-and-techniques. Acesso em: nov. 2024.

ZHANDG, Shaojian *et al.* **Diamond tool wear in ultra-precision machining**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Reino Unido, v. 88, n. 1-4, p. 613-641, 2017. DOI: [10.1007/s00170-016-8751-9](https://doi.org/10.1007/s00170-016-8751-9). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10397/104551>. Acesso em: nov. 2024.

APÊNDICE A - Desempenho de ferramentas diamantadas por estágio de reafiação

Este apêndice apresenta as tabelas de desempenho das ferramentas diamantadas em cada estágio de reafiação, permitindo a análise detalhada da produtividade ao longo do ciclo de vida das ferramentas.

As Tabelas 2 e 3, a seguir, apresentam a produção de lentes por estágio de reafiação nos Geradores 01 e 02, permitindo comparar o desempenho dos equipamentos.

Tabela 2 - Desempenho das ferramentas por utilização (Gerador 01)

| Nº | Ferramentas | Data de uso | Estágio | Número lentes produzidas |
|----|-------------|-------------|--------------|--------------------------|
| 1 | SC11337 | 11/06/2024 | 1ª Reafiação | 2207 |
| | | 13/06/2024 | 2ª Reafiação | 2358 |
| | | 16/07/2024 | 3ª Reafiação | 1522 |
| 2 | SC23303 | 10/04/2024 | 1ª Reafiação | 3631 |
| 3 | SC27924 | 17/05/2024 | 1ª Reafiação | 2625 |
| | | 18/06/2024 | 2ª Reafiação | 2981 |
| | | 02/07/2024 | 3ª Reafiação | 2758 |
| | | 12/07/2024 | 4ª Reafiação | 1922 |
| | | 30/07/2024 | 5ª Reafiação | 2169 |
| | | 13/08/2024 | 6ª Reafiação | 2500 |
| | | 22/08/2024 | 7ª Reafiação | 1882 |
| 4 | SC32285 | 07/06/2024 | 1ª Reafiação | 1990 |
| | | 20/06/2024 | 2ª Reafiação | 2408 |
| | | 24/06/2024 | 3ª Reafiação | 2036 |
| | | 08/07/2024 | 4ª Reafiação | 2368 |
| | | 25/07/2024 | 5ª Reafiação | 3333 |
| 5 | SC38081 | 12/04/2024 | 1ª Reafiação | 2708 |
| | | 02/05/2024 | 2ª Reafiação | 2533 |
| 6 | SC38082 | 03/04/2024 | 1ª Reafiação | 2293 |
| | | 22/04/2024 | 2ª Reafiação | 2132 |
| | | 09/05/2024 | 3ª Reafiação | 2187 |
| | | 03/06/2024 | 4ª Reafiação | 2138 |
| | | 08/08/2024 | 5ª Reafiação | 1810 |
| | | 20/08/2024 | 6ª Reafiação | 1683 |
| 7 | SC38215 | 17/04/2024 | 1ª Reafiação | 2218 |
| | | 22/05/2024 | 2ª Reafiação | 2435 |
| | | 26/06/2024 | 3ª Reafiação | 2169 |

| | | | | |
|----|---------|------------|--------------|------|
| 8 | SC38484 | 01/08/2024 | 1ª Reafiação | 1850 |
| 9 | SC44037 | 09/04/2024 | 1ª Reafiação | 2396 |
| | | 24/04/2024 | 2ª Reafiação | 1971 |
| | | 14/05/2024 | 3ª Reafiação | 2211 |
| | | 10/07/2024 | 4ª Reafiação | 1867 |
| | | 06/08/2024 | 5ª Reafiação | 2573 |
| | | 16/08/2024 | 6ª Reafiação | 2650 |
| | | 11/09/2024 | 7ª Reafiação | 2194 |
| 10 | SC44038 | 06/05/2024 | 1ª Reafiação | 2238 |
| 11 | SC44078 | 26/04/2024 | 1ª Reafiação | 1722 |
| 12 | SC48226 | 04/10/2024 | 1ª Reafiação | 1998 |
| 13 | SC48227 | 04/09/2024 | Nova | 4000 |
| | | 19/09/2024 | 1ª Reafiação | 2100 |
| 14 | SC48338 | 25/09/2024 | 1ª Reafiação | 2631 |
| | | 14/10/2024 | 2ª Reafiação | 2138 |
| 15 | SC48339 | 19/07/2024 | Nova | 3093 |
| 16 | SC48359 | 28/08/2024 | 1ª Reafiação | 3452 |
| | | 30/09/2024 | 2ª Reafiação | 2130 |
| | | 18/10/2024 | 3ª Reafiação | 2277 |
| 17 | SC48360 | 09/10/2024 | 1ª Reafiação | 2708 |

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 3 - Desempenho das ferramentas por utilização (Gerador 02)

| Nº | Ferramentas | Data de uso | Estágio | Número lentes produzidas |
|----|-------------|-------------|--------------|--------------------------|
| 1 | SC11337 | 24/04/2024 | 1ª Reafiação | 2068 |
| | | 20/05/2024 | 2ª Reafiação | 2315 |
| | | 03/07/2024 | 3ª Reafiação | 2259 |
| 2 | SC23303 | 22/04/2024 | 1ª Reafiação | 1764 |
| | | 02/05/2024 | 2ª Reafiação | 2138 |
| 3 | SC27920 | 10/04/2024 | 1ª Reafiação | 2043 |
| | | 29/04/2024 | 2ª Reafiação | 2263 |
| 4 | SC27924 | 06/06/2024 | 1ª Reafiação | 2594 |
| 5 | SC32285 | 08/04/2024 | Nova | 2703 |
| | | 18/04/2024 | 1ª Reafiação | 2054 |
| 6 | SC32286 | 12/04/2024 | 1ª Reafiação | 2011 |
| | | 06/05/2024 | 2ª Reafiação | 1767 |
| 7 | SC38081 | 16/05/2024 | 1ª Reafiação | 2836 |
| | | 18/06/2024 | 2ª Reafiação | 2443 |

| | | | | |
|-----------|---------|------------|--------------|------|
| 8 | SC38082 | 05/07/2024 | 1ª Reafiação | 2159 |
| | | 22/07/2024 | 2ª Reafiação | 1915 |
| 9 | SC38215 | 08/05/2024 | 1ª Reafiação | 2258 |
| | | 07/06/2024 | 2ª Reafiação | 1480 |
| | | 09/07/2024 | 3ª Reafiação | 1976 |
| 10 | SC38484 | 13/05/2024 | Nova | 3154 |
| | | 03/06/2024 | 1ª Reafiação | 1834 |
| | | 15/08/2024 | 2ª Reafiação | 2238 |
| 11 | SC44037 | 31/05/2024 | 1ª Reafiação | 2007 |
| | | 26/06/2024 | 2ª Reafiação | 2110 |
| 12 | SC44038 | 16/04/2024 | 1ª Reafiação | 1864 |
| 13 | SC44078 | 03/04/2024 | 1ª Reafiação | 2197 |
| | | 11/06/2024 | 2ª Reafiação | 2490 |
| 14 | SC48226 | 22/08/2024 | Nova | 3204 |
| | | 23/10/2024 | 1ª Reafiação | 2121 |
| 15 | SC48227 | 08/10/2024 | 1ª Reafiação | 2612 |
| | | 20/10/2024 | 2ª Reafiação | 2128 |
| 16 | SC48337 | 19/07/2024 | Nova | 3176 |
| | | 05/08/2024 | 1ª Reafiação | 1593 |
| 17 | SC48338 | 24/06/2024 | Nova | 3630 |
| | | 11/07/2024 | 1ª Reafiação | 1814 |
| | | 25/07/2024 | 2ª Reafiação | 3325 |
| | | 07/08/2024 | 3ª Reafiação | 2284 |
| | | 26/08/2024 | 4ª Reafiação | 1504 |
| 18 | SC48339 | 01/08/2024 | 1ª Reafiação | 2220 |
| | | 13/08/2024 | 2ª Reafiação | 2148 |
| | | 30/08/2024 | 3ª Reafiação | 4390 |
| | | 03/10/2024 | 4ª Reafiação | 2406 |
| 19 | SC48358 | 13/09/2024 | 1ª Reafiação | 2919 |
| 20 | SC48359 | 14/06/2024 | Nova | 2848 |
| | | 15/07/2024 | 1ª Reafiação | 2025 |
| | | 30/07/2024 | 2ª Reafiação | 2773 |
| 21 | SC48360 | 04/09/2024 | 1ª Reafiação | 2238 |
| 22 | SC48401 | 27/09/2024 | Nova | 3807 |
| | | 16/10/2024 | 1ª Reafiação | 2171 |
| 23 | SC50517 | 14/10/2024 | 1ª Reafiação | 3520 |

Fonte: Elaborada pela Autora.

As Tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente para os Geradores 01 e 02, a produção média por estágio de reafiação, possibilitando a comparação do rendimento médio das ferramentas em cada equipamento.

Tabela 4 - Produção média por reafiação (Gerador 01)

| Nº | Estágio | Total de lentes | Número de ferramentas | Média por estágio |
|-------|--------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | Nova | 7093 | 2 | 3547 |
| 2 | 1ª Reafiação | 38767 | 16 | 2423 |
| 3 | 2ª Reafiação | 21086 | 9 | 2343 |
| 4 | 3ª Reafiação | 15160 | 7 | 2166 |
| 5 | 4ª Reafiação | 8295 | 4 | 2074 |
| 6 | 5ª Reafiação | 9885 | 4 | 2471 |
| 7 | 6ª Reafiação | 6833 | 3 | 2278 |
| 8 | 7ª Reafiação | 4076 | 2 | 2038 |
| Total | | 111195 | (\bar{x}) | 2417 |
| | | | (σ) | 482 |
| | | | LSC | 3864 |
| | | | LIC | 970 |

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 5 - Produção média por reafiação (Gerador 02)

| Nº | Estágio | Total de lentes | Número de ferramentas | Média por estágio |
|-------|--------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | Nova | 3217 | 7 | 3217 |
| 2 | 1ª Reafiação | 2214 | 23 | 2214 |
| 3 | 2ª Reafiação | 2252 | 14 | 2252 |
| 4 | 3ª Reafiação | 2727 | 4 | 2727 |
| 5 | 4ª Reafiação | 1955 | 2 | 1955 |
| Total | | 119796 | (\bar{x}) | 2473 |
| | | | (σ) | 501 |
| | | | LSC | 3975 |
| | | | LIC | 971 |

Fonte: Elaborada pela Autora.