

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEMEC
ENGEHARIA MECÂNICA**

NATHALIA GOMES BERNARDO DE PAIVA

**ESTUDO DE CASO DE RETROFIT DE LASER DE MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE
UMA EXTRUSORA EM UMA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2024

NATHALIA GOMES BERNARDO DE PAIVA

**ESTUDO DE CASO DE RETROFIT DE LASER DE MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE
UMA EXTRUSORA EM UMA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientadora: Prof. Dr Lais Amaral Alves

RIO DE JANEIRO

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P149 Paiva, Nathalia Gomes Bernardo de

Estudo de caso de Retrofit de laser de medição de espessura de uma extrusora em uma indústria de pneumáticos / Nathalia Gomes Bernardo de Paiva. — 2024.

62f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2024.

Bibliografia : f. 58-62

Orientadora: Lais Amaral Alves

1. Engenharia mecânica. 2. Laser. 3. Máquinas. 4. Controle de processo - Automação. I. Alves, Lais Amaral. (Orient.). II. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Dedico este trabalho
à minha mãe Joseana e
ao meu esposo Douglas
por todo apoio recebido

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me concedeu força, sabedoria e discernimento ao longo dessa jornada. Sem a Sua presença constante, nada disso seria possível.

Ao meu amado marido, Douglas Dias, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional, paciência e incentivo em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis. Seu amor e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse alcançar mais essa conquista.

À minha mãe, Joseana, agradeço por ser o meu exemplo de perseverança e dedicação. Sua fé em mim foi essencial para que eu nunca desistisse dos meus sonhos. À minha irmã, Fernanda, meu muito obrigado por todas as palavras de encorajamento e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava.

Agradeço também ao CEFET/Maracanã, que proporcionou o ambiente e os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, e à minha professora orientadora, Laís Alves, cuja orientação, paciência e valiosos ensinamentos foram fundamentais para a realização deste TCC. Sua dedicação e compromisso com o meu crescimento acadêmico foram inspiradores.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

PAIVA, Nathalia Gomes Bernardo de. **ESTUDO DE CASO DE RETROFIT DE LASER DE MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE UMA EXTRUSORA EM UMA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS**. 2024. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

Este trabalho apresenta o estudo de caso de um processo de *retrofit* de um sistema de medição de espessura por laser em uma máquina extrusora de uma indústria de pneumáticos, em que o sensor a laser preexistente se encontrava obsoleto. O objetivo principal foi substituir o equipamento antigo por uma solução tecnológica moderna, garantindo a atualização e manutenção do equipamento. A metodologia adotada envolveu a descrição do equipamento, definição e cronograma do projeto, levantamento dos riscos associados à troca do laser de medição de espessura, definição de um método de calibração e verificação da qualidade da medida e, por fim, a realização de um ensaio de capacidade para cálculo dos índices de capacidade do laser novo versus o laser antigo. Os resultados da análise comparativa dos índices de capacidade demonstraram que o *retrofit* não trouxe ganhos significativos em termos da redução da variação da medida. Contudo, a substituição do laser gerou ganhos em termos de tratamento da obsolescência das peças do sistema de medição de espessura antigo e diminuiu os riscos de parada de produção por indisponibilidade de peças de reposição. Concluiu-se que o *retrofit* é uma solução viável e economicamente vantajosa para a modernização de máquinas industriais obsoletas e que o ensaio de capacidade do laser de medição de espessura pode ser refeito, desde que sejam tratados outros fatores causadores de variação no processo de extrusão.

Palavras-chave: Retrofit. Obsolescência. Laser.

ABSTRACT

PAIVA, Nathalia Gomes Bernardo de. **CASE STUDY OF THE RETROFIT OF A THICKNESS MEASUREMENT LASER IN AN EXTRUDER IN A TIRE INDUSTRY.**2024. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

This paper presents the study case about the process of retrofitting a thickness measurement system by laser in an extruder machine used in a tire manufacturing plant, where the pre-existing laser sensor had become obsolete. The main objective was to replace the old equipment with a modern technological solution, ensuring the equipment's upgrade and maintenance. The methodology adopted involved the description of the equipment, definition and project timeline, identification of risks associated with the replacement of the thickness measurement laser, establishment of a calibration method, quality verification of the measurements, and finally, the execution of a capability study to calculate the capability index of the new versus the old laser. The results of the comparative analysis of capability index demonstrated that the retrofit did not result in significant gains in terms of measurement variation reduction. The laser replacement improved the management of obsolete parts in the old measurement system and reduced the risks of production stoppages due to the unavailability of replacement parts. It was concluded that retrofitting is a viable and economically advantageous solution for modernizing obsolete industrial machinery and that the capability study of the thickness measurement laser can be redone, provided that other factors causing variation in the extrusion process are addressed.

Keywords: Retrofitting. Obsolescence. Laser.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.....	19
Figura 2 - – Esquematização do processo de calibração direta.....	25
Figura 3 - Esquematização do processo de calibração indireta.....	25
Figura 4 - Visão geral dos subconjuntos uma extrusora à quente.....	30
Figura 5 - a) Detalhe da alimentação da extrusora com produtos semiacabados e b) Circuito de subprodutos de reincorporação.....	31
Figura 6 - Subpartes do plastificador.....	32
Figura 7 - Regiões do conjunto cilindro/parafuso.....	32
Figura 8 - Detalhe dos produtos sendo misturados no parafuso do plastificador.....	33
Figura 9 - Esquema do subconjunto de extrusão.....	34
Figura 10 - Foto do subconjunto de extrusão com a abóboda aberta.....	34
Figura 11 - Sistemas de comunicação do laser antigo Vs novo.....	37
Figura 12 - Posicionamento do gabarito para calibração do laser de medição.....	42
Figura 13 - Gabarito do tipo calço com espessuras de 10, 20 e 40 mm.....	43
Figura 14 - Fluxograma do processo de verificação da qualidade da medida do laser.....	45
Figura 15 - Exemplo de amostra padrão (50 cm de comprimento) alinhada na mesa de corte.....	46
Figura 16 - Desenho do produto perfilado (extrudado), com medidas em milímetros.....	47
Figura 17 - Seção do produto extrudado com laser antigo.....	49
Figura 18 - Seção do produto extrudado com laser novo.....	50
Figura 19 - Zonas críticas para performance do produto,.....	51
Figura 20 - Dispersão do início e fim da tiragem.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas do processo de calibração	24
Quadro 2 - Cronograma do projeto	39
Quadro 3 - Análise de risco do projeto	41
Quadro 4 - Relatório de resultados dos índices de capacidade do ensaio com laser novo	53
Quadro 5 - Relatório de resultados dos índices de capacidade do ensaio com laser antigo	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Histograma de frequências dos resultados do ensaio com novo.....	52
Gráfico 2 - Gráfico de dispersão dos resultados do ensaio com o laser novo.....	52
Gráfico 3 - Histograma de frequências dos resultados com o laser antigo	54
Gráfico 4 - Gráfico de dispersão com os resultados com o laser antigo	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos de referência para análise do índice Cp	27
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVO	14
1.4 METODOLOGIA	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 RETROFIT	16
2.1.1 <i>Retrofit</i> na Indústria.....	17
2.1.1.1 Indústria 4.0	18
2.2 OBSOLESCÊNCIA	20
2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO A LASER	22
2.4 ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO	23
2.5 CALIBRAÇÃO.....	23
2.5.1 Calibração de Instrumentos de Medição.....	24
2.6 ÍNDICES DE CAPABILIDADE	25
2.6.1 Índice Cp e Cpk	26
2.6.2 Índice Cpm e Cpmk	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO	29
3.1.1 Extrusora a Quente.....	29
3.1.2 Laser.....	35
3.2 DEFINIÇÃO DO PROJETO	36
3.3 CRONOGRAMA DO PROJETO	38
3.4 ANÁLISE DE RISCO DO PROJETO	39
3.5 CALIBRAÇÃO DO LASER.....	42
3.6 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA MEDIDA	43
3.7 ENSAIO DE CAPABILIDADE DO LASER	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS PERFIS EXTRUDADOS	49
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÍNDICES DE CAPABILIDADE.....	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tema, justificativa para a realização do trabalho, seu objetivo, metodologia e organização do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O *retrofit* na Indústria é um processo que visa aprimorar a precisão, a velocidade, a manutenção e a usabilidade de uma máquina antiga, a fim de melhorar seu desempenho. Isso é realizado principalmente por meio da atualização dos sistemas de acionamento e controle da máquina (SALMAN et al, 2020).

Este processo pode abranger desde a incorporação de novas tecnologias em máquinas existentes até a renovação de sistemas de controle e automação. O *retrofit* permite que as indústrias se beneficiem das inovações mais recentes, aumentando a competitividade e a eficiência operacional, ao mesmo tempo em que prolonga a vida útil dos ativos. Além disso, é uma alternativa significativa à compra de novos equipamentos, reduzindo o desperdício e promovendo práticas mais sustentáveis.

Empresas que aplicam os requisitos de Sistema de Gestão da Qualidade devem determinar o que precisa ser medido e monitorado, assim como os métodos para monitoramento, análise e avaliação para assegurar resultados válidos, visando sempre o cliente no centro (ISO 9001). Para que esses requisitos sejam garantidos a maioria dos equipamentos industriais possuem instrumentos de medição instalados para assegurar a conformidade dimensional do que está sendo produzido.

Estes equipamentos podem passar, eventualmente, pelo processo de *retrofit*, a fim de manter sua competitividade, levando em conta os fatores econômicos, sociais e ambientais. Segundo Souza (2020), a evolução tecnológica ressalta a necessidade urgente de melhorar os processos produtivos. Isso se torna ainda mais importante para satisfazer a demanda crescente em um mercado cada vez mais competitivo, onde as empresas precisam atualizar suas operações para alcançar maior eficiência e sustentabilidade (LIMA, 2024).

Neste estudo de caso, será abordado o processo de *retrofit* de um laser de medição para garantia da espessura de um produto extrudado.

1.2 JUSTIFICATIVA

No processo de *retrofit* realiza-se a modernização de componentes, ajustando o equipamento para incorporar novas tecnologias de controle e acionamento, o que aumenta sua eficiência e confiabilidade. Esse procedimento também pode envolver a revitalização de máquinas ou de suas partes que operam em condições desfavoráveis, restaurando o desempenho original que pode ter sido deteriorado pelo ambiente ou pelo desgaste causado pelo uso prolongado. (RIBEIRO et al., 2007).

O termo "*retrofit*" teve sua origem na aviação, onde foi aplicado para a atualização de aeronaves, à medida que novos equipamentos passaram a ser disponibilizados no mercado. Com o tempo, esse conceito se espalhou para diversas indústrias e setores. Durante os anos 90, no contexto da construção civil, o *retrofit* ganhou destaque como uma estratégia para preservar a rica arquitetura histórica na Europa e nos Estados Unidos, assegurando a conservação do patrimônio arquitetônico das cidades (MORAES e QUELHAS, 2012).

O sistema atual é composto por um conjunto central de laser, cujo modelo está obsoleto e sem solução de migração direta por modelos mais modernos, visto que, toda a parte de troca de dados com estes equipamentos é antiga (via controladores lógicos programáveis, rack's eletrônicos, entre outros) não permitindo uma rápida modificação.

1.3 OBJETIVO

Como objetivo geral, este trabalho propõe-se a fazer um estudo de caso de *retrofit* do sistema de medição de espessura a laser de uma extrusora, numa indústria de pneumáticos.

Como objetivos específicos, este trabalho visa atualizar o laser de medição em uso por outro modelo comercial mais novo que não entre em obsolescência em um período menor ou igual a dez anos, realizar o estudo de capacidade do processo com o novo laser e, criar um método para verificação da qualidade da medida.

1.4 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em quatro etapas. A primeira etapa consistiu na definição do projeto, análise de riscos e plano de ação para mitigação dos riscos e elaboração de cronograma do projeto. A segunda etapa consistiu na elaboração de um método para verificação da qualidade da medida do laser. A etapa seguinte foi a realização do ensaio de capacidade, e por fim, na última etapa, avaliação dos resultados obtidos.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos, sendo o primeiro capítulo a introdução, onde o problema a ser estudado é contextualizado e justificado e, são definidos os objetivos gerais e específicos, bem como o resumo da metodologia que será seguida. O segundo capítulo é destinado ao referencial teórico e, nele são definidos os conceitos básicos relacionados ao tema. O terceiro capítulo destina-se à descrição e detalhamento da metodologia utilizada. No capítulo quatro são apresentados e discutidos os resultados das análises realizadas. O último capítulo é composto pelas considerações finais do estudo, ponderação com relação ao atingimento dos objetivos, suas limitações e direcionamento para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como finalidade abordar os princípios fundamentais necessários para o desenvolvimento e a implementação eficaz do *retrofit* em ambientes industriais. Como uma prática cada vez mais relevante para a modernização de equipamentos e processos, o *retrofit*, pode estar relacionado a otimização da eficiência energética, aprimoramento da segurança e à maximização do controle operacional. Esta revisão pretende oferecer uma análise ampla e integrada desses aspectos essenciais, fornecendo uma base sólida para a compreensão e a aplicação prática do *retrofit* no contexto industrial.

2.1 RETROFIT

O *retrofit* emergiu no final da década de 1990, nos Estados Unidos e na Europa, a partir de debates sobre a preservação da memória e do patrimônio histórico-arquitetônico, em resposta à escassez de espaços para novos empreendimentos em áreas urbanas já desenvolvidas. Nestes locais, essa prática se expandiu devido à necessidade de utilizá-los em um contexto em que o patrimônio construído é legalmente protegido (CBCS, 2013).

Ou seja, “retrofitar” um imóvel torna-se essencial quando se deseja preservar sua estrutura, especialmente em casos de edifícios considerados patrimônios históricos. Esse processo permite que áreas com potencial construtivo esgotado sejam reimaginadas e revitalizadas.

Originado do inglês, o termo *retrofit*, no contexto industrial, refere-se à ação de equipar um maquinário com novas peças ou componentes que não faziam parte do design original. No campo da construção civil e da arquitetura urbana, o conceito ganhou destaque nos últimos anos, sendo aplicado à revitalização de edifícios antigos. Nessa perspectiva, o *retrofit* vai além das reformas convencionais, abrangendo modernizações e atualizações necessárias, como a adaptação às novas normas de acessibilidade (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2023).

De acordo com a NBR 15575 (2013), o *retrofit* é definido como a remodelação ou atualização de um edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas

tecnologias e conceitos, normalmente visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética.

2.1.1 *Retrofit* na Indústria

No processo de *retrofit*, ou *retrofitting*, essencialmente, de acordo com Ribeiro et al. (2007), realiza-se a atualização de componentes, como a adaptação do equipamento às novas tecnologias de controle e acionamento de seus dispositivos, aumentando sua confiabilidade, podendo incluir também a restauração de máquinas, ou partes delas, que operam em condições adversas, resultando na recuperação das condições originais da máquina, que podem ter sido comprometidas pelo ambiente e pelo desgaste ao longo do tempo.

Com relação as vantagens da realização de um *retrofit*, ele pode proporcionar um aumento significativo na produtividade, ao modernizar equipamentos antigos e otimizar sua eficiência. Além disso, essa prática reduz os períodos de inatividade, minimizando o tempo em que as máquinas ficam fora de operação. A segurança dos operadores também é aprimorada com o *retrofit*, já que a atualização dos equipamentos os torna mais seguros e confiáveis. Esse processo ainda garante que os dispositivos atendam às normas e exigências atuais, assegurando conformidade regulatória. Outro ponto importante, é que o *retrofit* pode ser usado para substituir peças e acessórios obsoletos, facilitando a manutenção a longo prazo garantindo que haja acesso rápido e prolongado a peças de reposição (NASCIMENTO, 2020).

Por fim, Ribeiro et al. (2007), afirma que, o *retrofit* permite a substituição de plataformas proprietárias de *software* e *hardware* por soluções de arquitetura aberta, facilitando assim a intervenção, intercambialidade e integração do equipamento com a rede de comunicação da planta industrial, tornando o sistema mais flexível e adaptável às futuras necessidades.

GRAMS e CETNAROWSKI (2014), propõem uma ordem lógica para a realização *retrofit*, começando com a avaliação do equipamento, onde se define o objetivo do projeto e se realiza uma análise inicial da máquina, incluindo sua desmontagem e levantamento de dados dos componentes. Esse processo pode incluir consultas com operadores e mantenedores para identificar a melhor abordagem. Com base no projeto original, é desenvolvido um novo projeto que

incorpora as modificações necessárias. Após a aprovação do orçamento, procede-se à compra dos materiais especificados, etapa crucial para manter o cronograma, pois qualquer atraso na compra ou entrega pode impactar a data de finalização. Com os materiais em mãos, inicia-se a implementação do projeto. Durante o desenvolvimento, são realizados testes parciais para assegurar o funcionamento correto da máquina. Após a finalização do programa e a produção das primeiras peças, são feitos ajustes finais, e a máquina é monitorada por um período adicional, conforme a complexidade do sistema, para garantir a eficácia das melhorias implementadas.

2.1.1.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é uma realidade presente no chão de fábrica das manufaturas mais avançadas do mundo. Ela consiste em um conjunto de tecnologias que agem principalmente rompendo a fronteira entre o mundo físico e o virtual, aumentando a sinergia no trabalho entre máquinas e seres humanos, reduzindo desperdícios de recursos, dando agilidade às linhas de produção e, atendendo ao consumidor final de maneira personalizada.

A maneira como tudo isso ocorre é através das chamadas tecnologias habilitadoras que segundo a Boston Consulting Group (BCG) consistem em nove tipos: Internet das coisas (IoT – *Internet of Things*), Big Data, Computação em nuvem, Segurança cibernética, Robótica autônoma, Manufatura aditiva, Integração de sistemas, Simulação e Realidade aumentada (Figura 1).

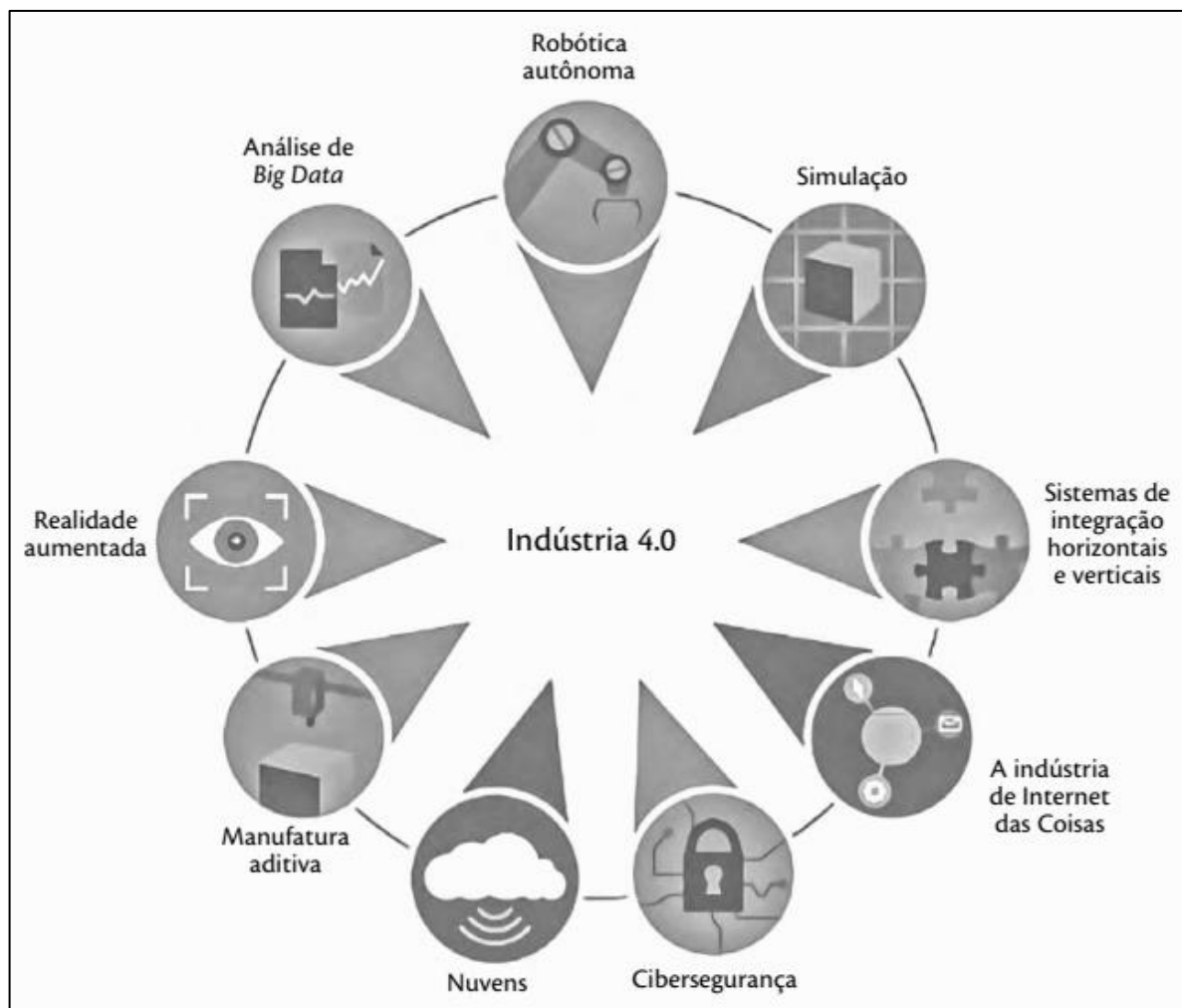


Figura 1 - Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0
Fonte: BCG (2019)

Oliveira et al. (2022), discute em seu trabalho que para pequenas e médias empresas, o *retrofit* serve como alternativa de menor custo quando comparado a compra de novos equipamentos, para que elas consigam inserir-se na Indústria 4.0. A partir das tecnologias habilitadoras, uma máquina “retrofitada”, conectada, pode se favorecer de outros benefícios como o uso de softwares de simulação de linhas de produção e a criação de gêmeos digitais, que auxiliam as empresas a otimizar processos e a fundamentar suas decisões.

Além disso, com a chegada da tecnologia 5G, o uso da IoT (Internet das Coisas) se torna ainda mais eficaz, oferecendo maior capacidade de resposta, velocidade aprimorada, segurança de dados reforçada e uma conexão mais integrada. Esses avanços contribuem para a redução de tempo e a economia de recursos.

No contexto econômico, o fator custo é uma das principais barreiras para as empresas inseridas na Quarta Revolução Industrial, dessa forma, o *retrofit* torna-se uma solução que reduz o risco dos investimentos e é capaz de integrá-las na indústria 4.0 (GARCIA et al., 2020).

Embora equipamentos mais recentes já venham com sistemas ciber-físicos integrados ou preparados para a Internet das Coisas (IoT), muitas empresas ainda utilizam "sistemas legados", antigos, que oferecem pouca ou nenhuma conectividade. Nesse contexto, as soluções adotadas frequentemente envolvem o retrofit desses equipamentos, modernizando-os de acordo com os princípios da Indústria 4.0 (ZAMBETTI et al., 2020).

Panda et al. (2020), diz que, as pequenas e médias empresas impulsionadas pela necessidade de modernizar rapidamente os processos produtivos com os conceitos da Indústria 4.0, onde os custos de implementação são relativamente mais impactantes, tendem a adotar apenas algumas das funcionalidades possíveis em seus equipamentos e processos. Essas empresas buscam no mercado soluções prontas de *retrofit*, utilizando plataformas com conceitos Plug and Play (Conecte e Use), que geralmente permitem a adição de sensores que enviam dados para uma plataforma de armazenamento em nuvem. Essas soluções incluem aplicações que monitoram, analisam e apresentam dados preditivos do processo monitorado. Embora sejam atraentes por serem mais rápidas e de menor custo, essas soluções acabam sendo limitadas em termos de recursos e flexibilidade dos resultados obtidos.

2.2 OBSOLESCÊNCIA

A inovação tecnológica pode encurtar a vida útil econômica de produtos duráveis. Isso ocorre porque, quando uma tecnologia superior é introduzida, a anterior tende a perder valor e utilidade, mesmo que seu desempenho físico continue o mesmo. No entanto, a compra de novos produtos por consumidores que já possuem os antigos é influenciada por diversos fatores, como a disponibilidade de recursos financeiros, os padrões de consumo, as estratégias de marketing e a política de preços aplicada tanto às tecnologias novas quanto às antigas (LEE; LEE, 1998).

Em seu trabalho, Figueiredo (2015), afirma que, o surgimento de novas tecnologias impulsiona o aparecimento de empresas e mercados completamente

novos, enquanto a obsolescência de outras leva ao desaparecimento de cadeias produtivas inteiras, como ocorreu com a máquina de escrever, a fotografia digital e o telégrafo.

De acordo com Nascimento (2018), o crescimento da tecnologia na vida cotidiana das pessoas gerou um conceito de obsolescência tecnológica associado à novidade e à presença de novas funcionalidades. Isso faz com que se associe a obsolescência à proximidade com a fronteira tecnológica global. Um exemplo evidente disso são os lançamentos anuais das principais fabricantes de smartphones, que geram uma percepção de obsolescência nos modelos anteriores a cada lançamento, mesmo que as mudanças entre eles não sejam tecnologicamente significativas.

Entretanto, é importante esclarecer que a obsolescência tecnológica é um fenômeno econômico (LEE; LEE, 1998). Ela está mais ligada à viabilidade comercial de um componente do que ao surgimento de novas tecnologias. Embora as tendências de mercado e a revolução técnica em andamento na indústria eletrônica possam criar desafios para a gestão da obsolescência tecnológica (MEYER; PRETORIUS; PRETORIUS, 2004), o surgimento de inovações por si só não é suficiente para tornar obsoletas as tecnologias anteriores, pois as novas tecnologias nem sempre são economicamente viáveis (LONGO, 2007).

Solomon et al. (2000) afirma que, um componente se torna obsoleto quando a tecnologia envolvida em sua produção se torna muito cara ou desvantajosa para o fornecedor. Assim, um componente está obsoleto quando não está mais disponível no estoque do usuário ou, não é mais produzido pelo fabricante, ou não pode mais ser encontrado no mercado paralelo. Trata-se, portanto, de uma questão de competitividade, de sobrevivência no ambiente capitalista e, não de uma relação com a distância da fronteira tecnológica internacional, como sugerem o senso comum e as percepções.

Nascimento (2018) conclui que, um sistema é considerado obsoleto quando a substituição de componentes falhos se torna inviável devido à falta de peças disponíveis no mercado, mesmo que o sistema ainda esteja funcional e operacional sob o ponto de vista técnico. E, é constatado também que, a obsolescência tecnológica é um efeito colateral da inovação tecnológica, pois à medida que novas tecnologias surgem, as anteriores tendem a se tornar economicamente inviáveis – obsoletas, impactando diretamente toda a cadeia produtiva.

O *retrofit* transcende uma reforma convencional, diferenciando-se em diversos aspectos, sendo o principal deles o emprego de tecnologia para a substituição de componentes específicos ou de produtos que se tornaram inadequados ou obsoletos ao longo do tempo.

2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO A LASER

O termo laser é um acrônimo em inglês para "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", que em português significa "Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação". Esse termo descreve o processo pelo qual o raio laser é emitido.

Há vários métodos para estimar distâncias utilizando processos ópticos. Alguns, como o método de triangulação, têm suas raízes em técnicas usadas por navegantes e cartógrafos há séculos. Outros foram desenvolvidos com a chegada do Radar e do Laser, incluindo métodos que exploram as propriedades únicas da luz laser, como os métodos interferométricos (LUXON; PARKER, 1985).

Donadello et al. (2019) afirma que, as técnicas que medem espessuras, deslocamentos e vibrações utilizando o comportamento geométrico de um feixe de luz (normalmente um laser) que incide sobre a superfície analisada compartilham características comuns aos métodos nucleares convencionais: são métodos não invasivos e não destrutivos, com alta reprodutibilidade e confiabilidade – Os métodos nucleares utilizam fontes radioativas como amerício, césio, cobalto e irídio, e são baseados na medição da atenuação da intensidade da radiação conforme ela penetra no material a ser analisado, largamente utilizados no controle de qualidade de espessura de filmes na manufatura de plásticos e papel, porém exigem condições extremamente restritivas e exigentes de operação, no que tange à legislação de proteção radiológica (Kumar et al, 2017).

Henrique, Dib e Barbosa (2020), comparam em seu trabalho que, fontes de luz laser geram feixes com uma geometria altamente controlada e mantêm suas propriedades ao longo do tempo, resultando em baixos níveis de ruído. Ao contrário das fontes nucleares, a radiação laser utilizada nesses ensaios não apresenta riscos à saúde, nem mesmo para os operadores mais próximos, exigindo, no máximo, algumas precauções simples de proteção ocular. Essa característica torna os

equipamentos a laser muito mais fáceis de implementar e operar, além de serem significativamente mais econômicos.

2.4 ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

De acordo com o Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (em inglês, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - GUM*), um documento que padroniza globalmente o tratamento de dados medidos para expressar a incerteza de medição e, que é divulgado no Brasil pelo INMETRO (INMETRO e JCGM, 2008), o objetivo de uma medição é determinar o valor de uma grandeza específica (o mensurando). Entretanto, o resultado de uma medição é uma estimativa do valor dessa grandeza, que só é considerada completa quando acompanhada da incerteza associada a essa estimativa.

Segundo Vuolo (1996) e Introgum (2009), a incerteza pode ser descrita como uma indicação de quanto a estimativa do mensurando se desvia do valor verdadeiro. Na teoria dos erros, o valor verdadeiro é desconhecido. Portanto, a incerteza de medição é um parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos ao mensurando, levando em conta os erros sistemáticos e aleatórios em termos probabilísticos.

2.5 CALIBRAÇÃO

É definido no livro Instrumentação e controle: guia básico (ELETROBRÁS et al., 2008), que a calibração de um instrumento é um processo que envolve um conjunto de operações para estabelecer, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados pelo instrumento de medição e os valores correspondentes das grandezas definidas por padrões de referência. Embora o termo "aferição" seja ocasionalmente usado como sinônimo de calibração, sua utilização está se tornando obsoleta, pois não possui um equivalente direto em inglês ou francês, ao contrário de "calibração" (calibration ou étalonnage).

O resultado da calibração fornece não apenas os valores do mensurando para as indicações do instrumento, mas também permite a determinação das correções que devem ser aplicadas para garantir a precisão das medições. Além disso, a

calibração pode revelar outras propriedades metrológicas importantes, como o efeito das grandezas de influência, que são variáveis que podem impactar a precisão do instrumento e a exatidão das medições. Dessa forma, a calibração é fundamental para assegurar que os instrumentos de medição estejam operando com precisão e em conformidade com os padrões estabelecidos. A bibliografia sugere a ordem para a realização do processo de calibração descritas no Quadro 1.

Etapas do processo de calibração	
Aferição	É o levantamento da resposta do sistema de medição mediante comparação dos padrões;
Calibração	Operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações de um instrumento de medição correspondentes com as suas incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação do instrumento de medição.
Documentação	É o levantamento de uma tabela de dados ou de um gráfico que relacione a congruência das medidas do sistema com as referências padrões. A documentação é que garante ao usuário a calibração do sistema e define as responsabilidades pelos erros apresentados.

Quadro 1 - Etapas do processo de calibração
Fonte: Eletrobrás et al. (2008)

2.5.1 Calibração de Instrumentos de Medição

De acordo com Silva Neto (2012), há dois tipos principais de calibração: a direta e a indireta. Em resumo, a distinção entre esses dois tipos está no uso, ou não, de um sistema auxiliar para verificar a medição do padrão.

Na calibração direta, segundo CÂNDIDO DANTAS (2021), o valor do padrão é previamente conhecido e constante. Assim, ele é utilizado como referência direta no sistema de medição a ser calibrado, e o resultado obtido é comparado com o valor do padrão, conforme esquematizado na Figura 2. Exemplos típicos desse procedimento incluem a calibração de paquímetros e balanças.

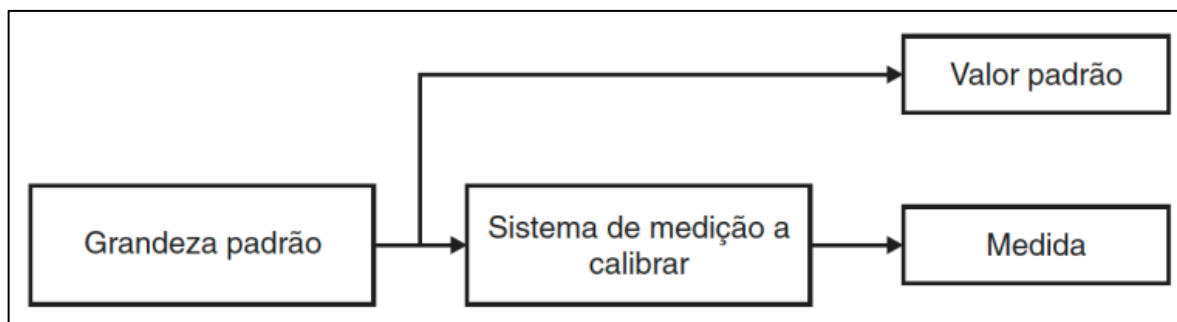


Figura 2 - – Esquematização do processo de calibração direta
 Fonte: Adaptado de CÂNDIDO DANTAS (2021)

Já na calibração indireta, o gerador de grandeza, ilustrado na figura 3, atua simultaneamente em dois sistemas de medição: o sistema a ser calibrado e o sistema que fornece o valor de referência. Ambos os sistemas geram resultados, que são comparados entre si, levando em consideração as incertezas envolvidas no processo. Exemplos comuns incluem a calibração de pirômetros com o uso de um corpo negro, assim como a calibração de manômetros (SILVA NETO, 2021).

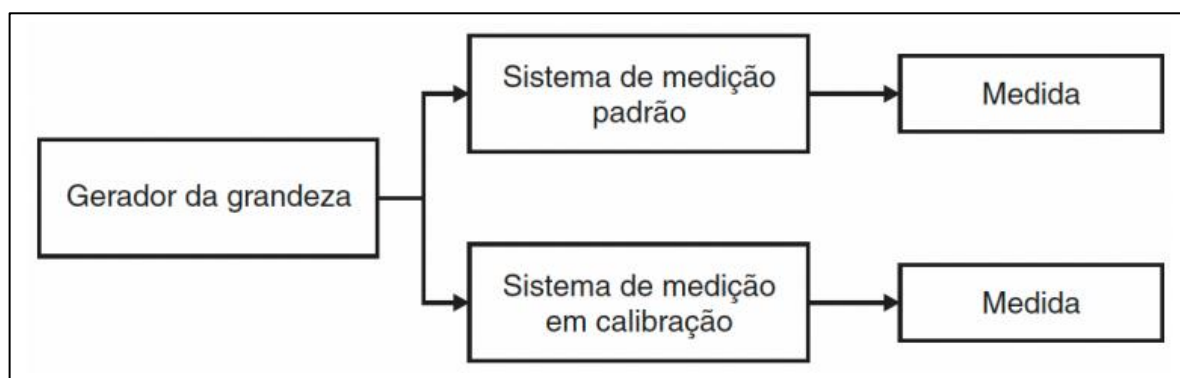


Figura 3 - Esquematização do processo de calibração indireta
 Fonte: Adaptado de CÂNDIDO DANTAS (2021)

2.6 ÍNDICES DE CAPABILIDADE

Na indústria, em especial, destacam-se os estudos estatísticos voltados para avaliar o quão bem um processo atende às tolerâncias especificadas, que são cruciais nos programas de garantia de qualidade. Esses estudos, frequentemente chamados de análise de capacidade, são reconhecidos como ferramentas fundamentais para a tomada de decisões, e seus resultados podem levar a ações significativas na gestão de processos (DELERYD, 1996).

Com o objetivo de reduzir custos, as indústrias estão cada vez mais investindo em processos que ofereçam um alto nível de confiabilidade. Segundo Martins e Laugeni (2005, p. 528), “um processo é considerado capaz quando, além de estar sob controle, atende às especificações do cliente”. Contudo, nem todos os processos sob controle são necessariamente capazes. Um processo pode apresentar amostras dentro dos limites estabelecidos, mas, se o conjunto dessas amostras não satisfaz as especificações definidas pelo cliente – como diâmetro, peso ou outras dimensões –, o processo é classificado como incapaz.

Conforme Montgomery (1997) e Deleryd (1999) descrevem, existem quatro índices de capacidade para dados que seguem a distribuição normal. Por se tratar de índices, são números adimensionais que permitem uma quantificação do desempenho de processos, sendo eles: C_p , C_{pk} , C_{pm} e C_{pmk} .

2.6.1 Índice C_p e C_{pk}

Focando nos índices de interesse C_p e C_{pk} , o índice C_p , conhecido como índice de capacidade potencial do processo, parte do pressuposto de que o processo está centralizado no valor nominal da especificação. Quando a característica de qualidade em análise possui uma distribuição bilateral, o índice C_p é definido na equação abaixo:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Onde: LSE representa o limite superior de especificação; LIE corresponde ao limite inferior de especificação; e σ é o desvio-padrão do processo.

Esse índice compara a variabilidade permitida para o processo (definida no projeto) com a variabilidade natural do processo. Portanto, quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo de atender às especificações, desde que a média esteja centralizada no valor nominal. Segundo uma regra prática de Montgomery (1997), para analisar este índice, podem ser definidos três intervalos de referência, conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 1 - Intervalos de referência para análise do índice Cp

Cp	Itens não-conformes (PPM)	Interpretação
Cp < 1	Acima de 2700	Processo incapaz
1 ≤ Cp ≤ 1,33	64 a 2700	Processo aceitável ou relativamente capaz
Cp ≥ 1,33	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Fonte: Adaptado de Montgomery (1997)

No entanto, o índice Cp não leva em consideração a posição da média do processo, baseando-se exclusivamente na relação entre a amplitude do intervalo de especificação e a variabilidade natural do processo para seu cálculo. Como resultado, para um valor específico de Cp, o percentual de itens fora das especificações pode variar, dependendo apenas da posição da média do processo. Portanto, o índice Cp fornece apenas uma indicação de quão potencialmente capaz o processo é de produzir dentro do intervalo especificado no projeto.

Focando agora no Cpk, como na prática o processo nem sempre está perfeitamente centrado no valor nominal da especificação, o uso do índice Cp pode levar a conclusões incorretas. E, a fim de corrigir essa limitação, Kane (1986) propôs o índice de desempenho Cpk, que leva em conta a distância da média do processo em relação aos limites de especificação. Esse índice é definido pela equação abaixo.

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

Onde: LSE é o limite superior de especificação; LIE é o limite inferior de especificação; μ é a média do processo e σ é o desvio-padrão do processo. Nesse caso, se a média do processo for a mesma da especificação o Cp será igual o Cpk. As interpretações do índice Cpk podem seguir a mesma regra aplicada ao índice Cp, pois a análise da capacidade do processo é realizada utilizando ambos os índices em conjunto.

2.6.2 Índice Cpm e Cpmk

Esses dois índices surgem como alternativas aos anteriores. Sua diferença se dá no fato de que, além de considerarem a variação do processo, eles consideram também a distância da média do processo do valor nominal da especificação, ficando com a equação abaixo, para Cpm.

$$Cpm = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Onde: LSE é o limite superior de especificação; LIE é o limite inferior de especificação; μ é a média do processo; σ é o desvio-padrão do processo e, T é o valor nominal da especificação.

Analisando a fórmula, quanto maior for o denominador da fração menor será o valor do índice Cpm, logo, um aumento na variabilidade, aumenta o σ , um distanciamento maior do processo em relação ao valor nominal também poderá provocar um aumento no denominador do índice, indicando um processo incapaz

De acordo com Gonzalez e Werner (2009), uma vantagem do Cpm sobre o Cp é que ele consegue fornecer um bom parâmetro acerca da capacidade do processo, seja para os processos que se apresentam próximos ao valor nominal quanto para os que se apresentam mais distantes dele.

Por fim, refinando um pouco mais a análise, tem-se o índice Cpmk que, assim como o Cpk, considera a menor distância entre a média do processo em relação aos limites de especificação em seu numerador, segundo a equação abaixo.

$$Cpmk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LIE}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right)$$

Em que: LSE é o limite superior de especificação; LIE é o limite inferior de especificação; μ é a média do processo; σ é o desvio-padrão do processo e, T é o valor nominal da especificação.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia do trabalho, a etapa inicial consistiu na definição do projeto e realização de análise de risco, onde foi avaliada a severidade para cada risco e plano de ação a ser seguido. Além disso, definiu-se o cronograma para a realização das subetapas do projeto. A segunda etapa está focada na avaliação técnica do ponto de vista de qualidade da medida do laser, bem como na elaboração de método de verificação da qualidade da medida. Na etapa seguinte, foi realizado ensaio para avaliação da capacidade do laser.

3.1 VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO

Essa parte do trabalho tem como objetivo descrever o equipamento no qual o laser de medição de espessura será modernizado, assim como detalhar as características do laser, e oferecer uma visão geral da máquina de extrusão.

3.1.1 Extrusora a Quente

A extrusora abordada neste trabalho é definida como extrusora à quente, devido a presença de um subconjunto denominado plastificador, cuja principal função é misturar os materiais constituintes do produto extrudado. Os principais subconjuntos que formam uma extrusora à quente podem ser vistos na Figura 4.

1. Alimentação;
2. Plastificador;
3. Extrusão;
4. Transporte;
5. Complexagem;
6. Enrolagem.

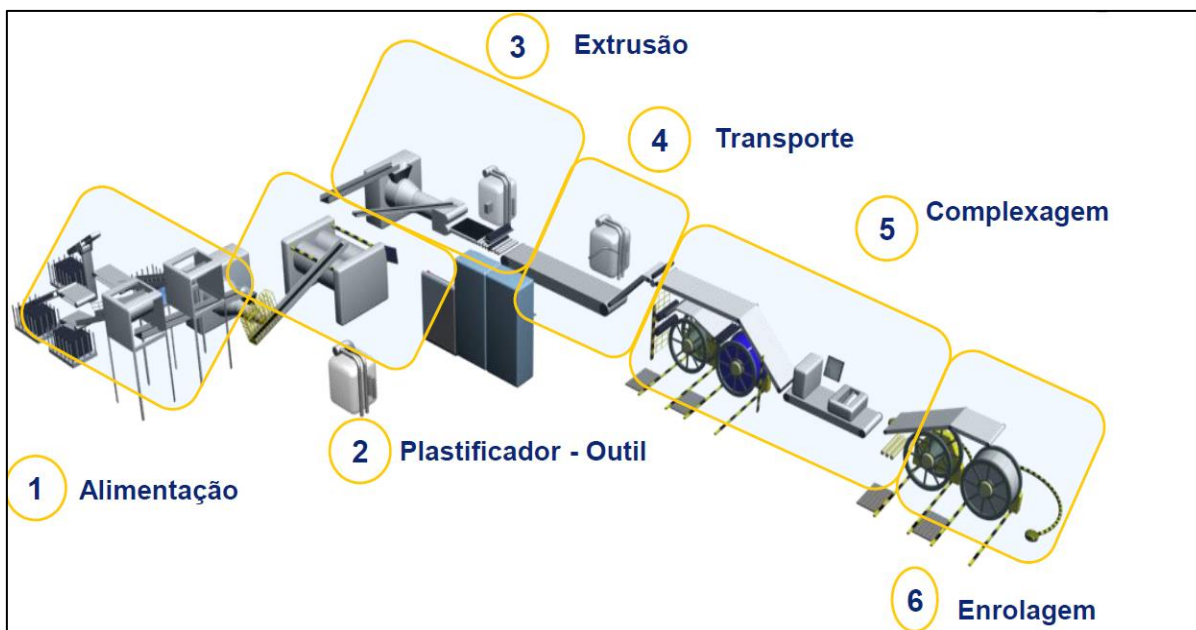


Figura 4 - Visão geral dos subconjuntos uma extrusora à quente
Fonte: Manual da máquina

O material trabalhado pela extrusora pode ser caracterizado como um tipo de elastômero. A primeira parte da extrusora é a alimentação e, nela os produtos semiacabados são dispostos em pallets que alimentam o circuito, conjuntamente nessa etapa também são adicionados produtos com as mesmas características oriundos de reincorporação do processo.

Na Figura 5, na parte da esquerda é possível ver como é feita a alimentação dos produtos semiacabados na extrusora. Nos pallets o produto fica provisionado como uma manta contínua empilhada no formato de camadas em zigue zague.

No lado direito da mesma figura, fica o outro circuito de alimentação de subprodutos de reincorporação da própria cadeia produtiva. Por ele, são adicionados esses restos de outras produções respeitando as proporções definidas pela equipe técnica. Esses restos são cortados em uma cortadeira para que sejam divididos em pedaços menores a fim de facilitar o trabalho no plastificador.

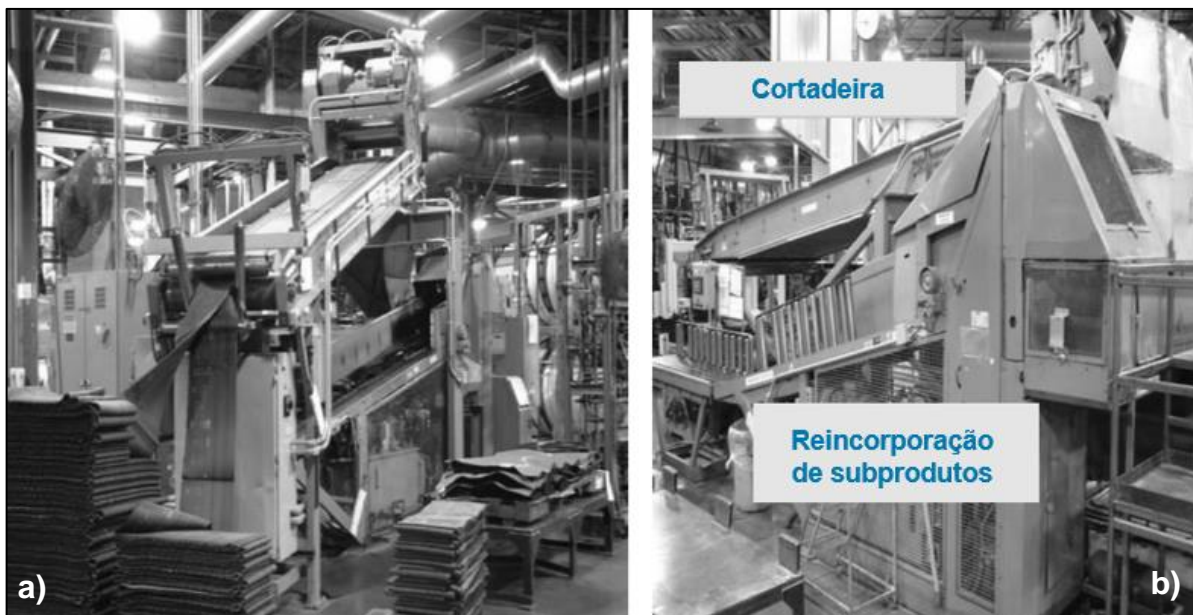


Figura 5 - a) Detalhe da alimentação da extrusora com produtos semiacabados e b) Circuito de subprodutos de reincorporação.

Fonte: Elaborada pela autora (2024)

A segunda parte da extrusora é composta pelo plastificador e, a sua principal função é homogeneizar os constituintes antes do produto ser extrudado. O plastificador ou misturador é composto por um redutor, cilindro liso e parafuso (Figura 6). O conjunto parafuso e cilindro são aquecidos via circulação de água a temperaturas que variam no intervalo de 60°C a 90°C e fica dividido em duas regiões: zona de alimentação e zona de trabalho (Figura 7). A zona de alimentação é por onde o entram as cargas a serem trabalhadas no parafuso, a mistura formada avança por esse circuito devido através do movimento de rotação do parafuso e do atrito com o cilindro.

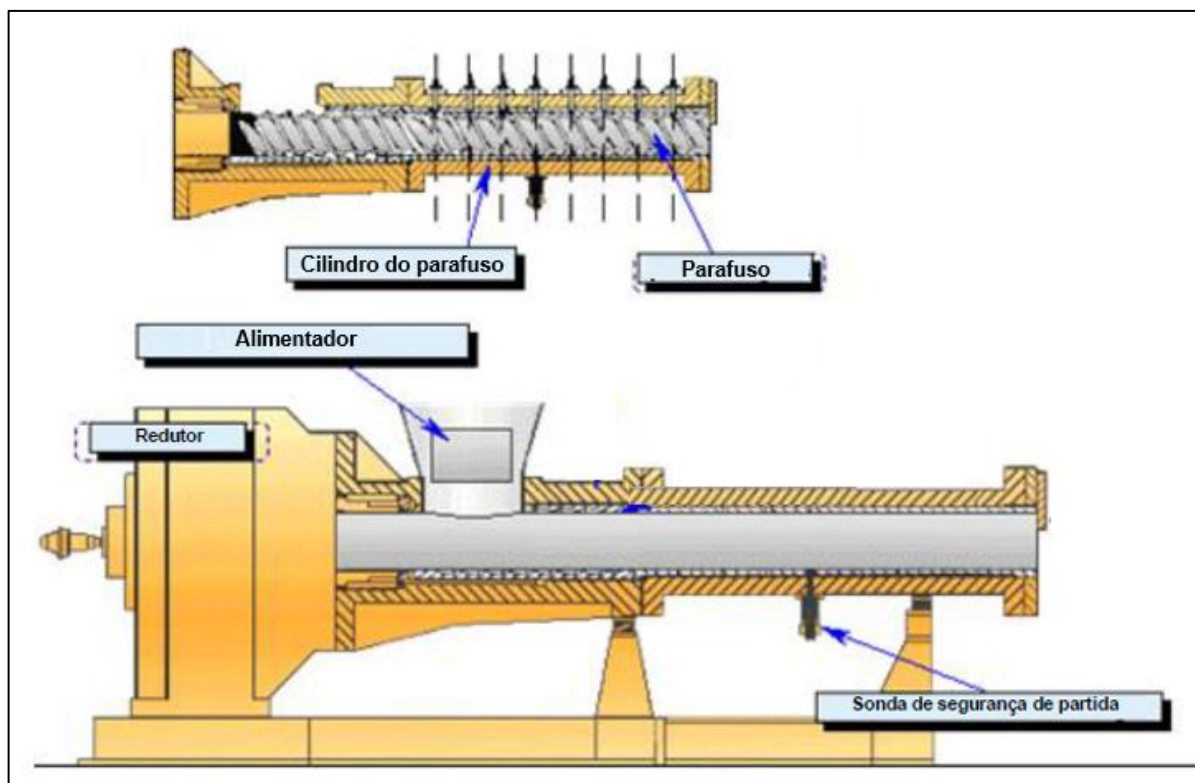


Figura 6 - Subpartes do plastificador
 Fonte: Manual da máquina

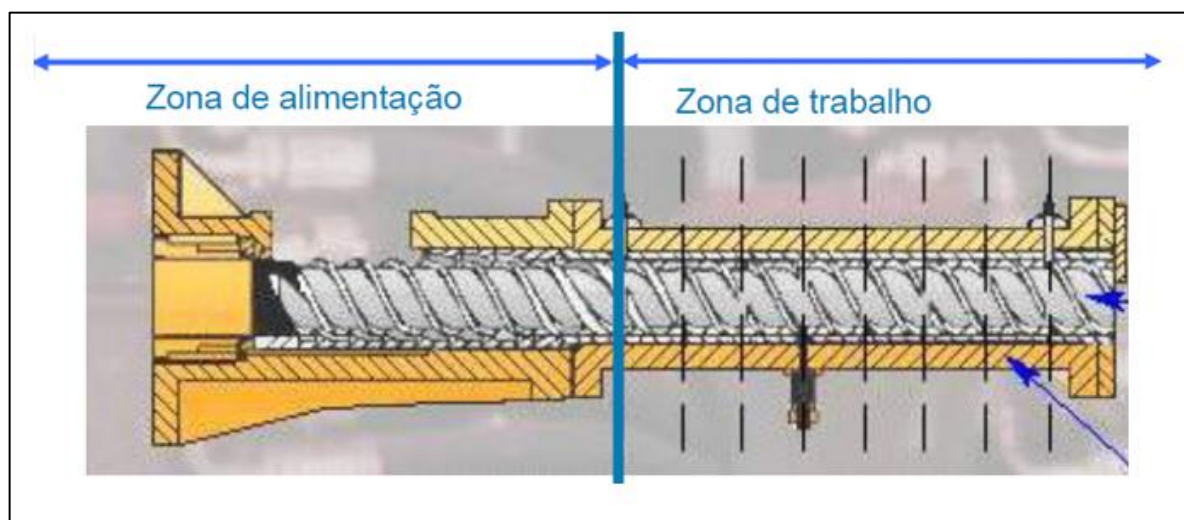


Figura 7 - Regiões do conjunto cilindro/parafuso
 Fonte: Manual da máquina

Todos os materiais avançam da alimentação para a região de impulsão do parafuso e são misturados homogeneamente no plastificador enquanto passam pelos filetes do parafuso, a passagem ao fino de um parafuso de extrusora pode chegar a um vão de 1,25 mm a 2,5 mm (Figura 8).

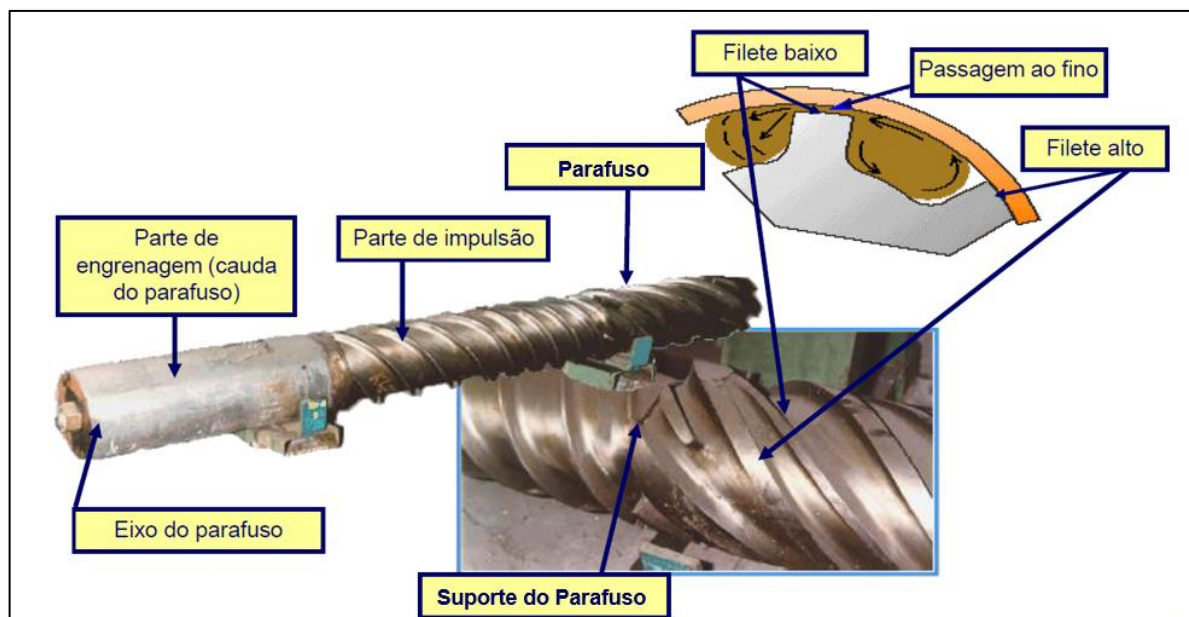


Figura 8 - Detalhe dos produtos sendo misturados no parafuso do plastificador
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

A terceira parte é composta pela extrusão, nessa parte a mistura trabalhada no parafuso é transferida para a abóbada, que é responsável por controlar o volume da câmara de pressão, ela é aquecida por água a temperaturas entre 60°C e 80°C. O formato da abóbada é perfilado, pois isso melhora o escoamento da mistura para a matriz da extrusora. A pressão na abóbada aumenta a temperatura de extrusão.

O suporte da matriz é aquecido por resistência elétrica a temperaturas de 90°C a 95°C e permite a troca de matrizes com perfis diferentes de produto de forma rápida, uma vez que as matrizes são armazenadas em temperatura ambiente e precisam ser rapidamente aquecidas a cada troca. A matriz da extrusora é feita de aço e tem formato perfilado, portanto quando a mistura passa da abóbada pela matriz adquire o formato do perfil do produto extrudado.

A Figura 9 representa de forma esquematizada o subconjunto responsável pela extrusão e a Figura 10 mostra de forma mais realista este subconjunto com a abóbada aberta, em ambas é possível identificar seus componentes: abóbada, sonda de pressão, suporte da matriz e matriz da extrusora.

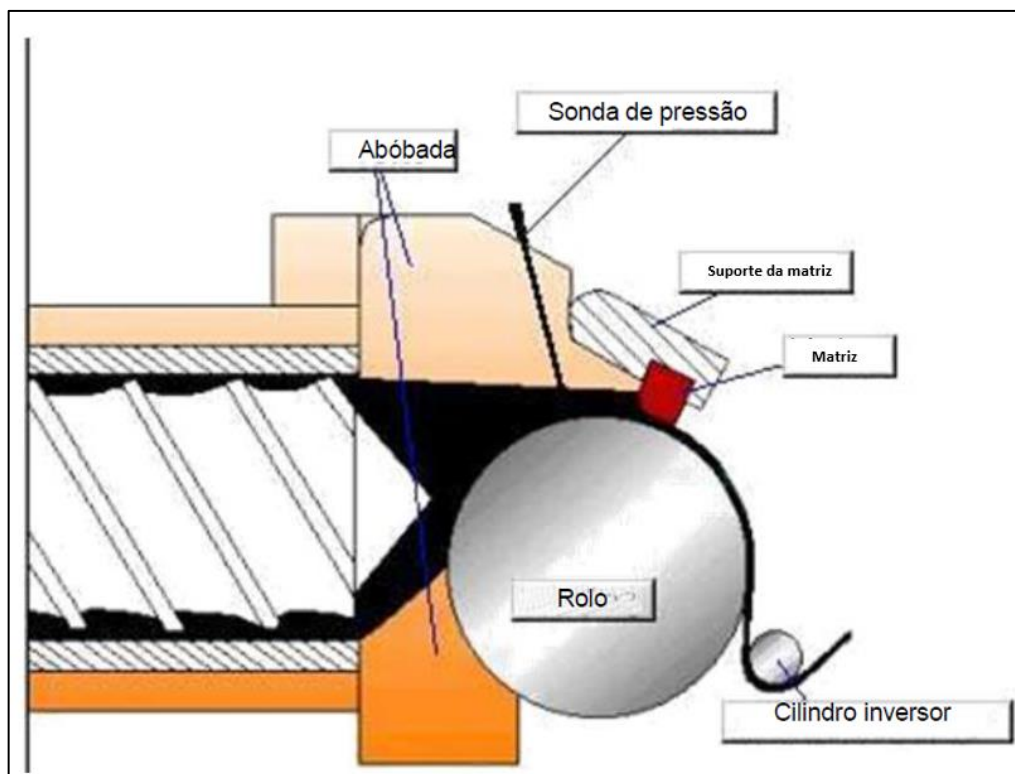


Figura 9 - Esquema do subconjunto de extrusão
Fonte: Manual da máquina

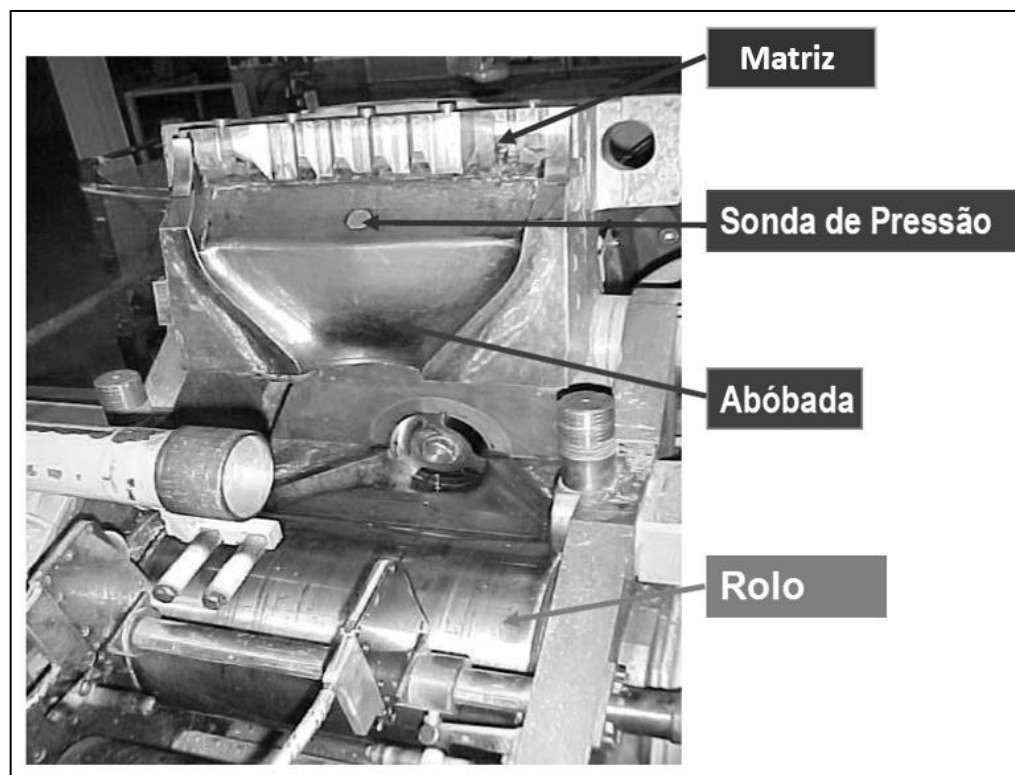


Figura 10 - Foto do subconjunto de extrusão com a abóboda aberta
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

O laser de medida de espessura é posicionado na saída do produto da matriz e mede a espessura do produto sobre o rolo. O rolo, através do atrito, força o produto a passar pela matriz e garante que a mistura entre o parafuso e a abóbada continue sendo trabalhada e não fique acumulada nesse ponto.

O quarto subconjunto, denominado transporte, é composto por um grupo de esteiras transportadoras que tem a função de deslocar o produto extrudado. Além disso, formam um circuito de resfriamento, uma vez que o produto extrudado sai da extrusora a uma temperatura de aproximadamente 85°C. O sincronismo e velocidade das esteiras transportadoras são fundamentais para a garantia do perfil do produto desejado.

O resfriamento pode acontecer de forma natural no caso de um circuito longo de esteiras ou de forma forçada. Algumas extrusoras têm ao longo do subconjunto de transporte sistemas de resfriamento compostos por ventiladores, esteiras transportadoras resfriadas ou mesmo circuitos com água para diminuir a temperatura do produto antes do processo de enrolagem.

Quando existe um produto co-extrudado, ou seja, dois produtos diferentes extrudados ao mesmo tempo, para se chegar ao produto final é necessário que haja um processo de união denominado complexagem.

Por fim, na sexta etapa, o produto final medido e cortado à medida que é enrolado em bobinas no subconjunto de enrolagem e, logo após e levado para o armazém, onde permanece por um período de no mínimo oito horas até seguir na cadeia de produção, dessa forma é garantido o completo resfriamento e retração final.

Algumas variáveis podem impactar o processo de extrusão provocando variações nas características finais do produto extrudado, como por exemplo a espessura. De acordo com Kiminami (2021), as principais variáveis que impactam na extrusão são: o tipo de extrusão, a razão de extrusão, o fator de transformação, a temperatura de operação, a velocidade do processo e as condições de atrito.

3.1.2 Laser

O modelo de laser utilizado para substituir o antigo, foi determinado a partir do catálogo de produtos já homologados na empresa, ou seja, ele já foi implementado em outras filiais.

O sensor laser tem como principais aplicações medir distâncias, espessuras ou nível, operando num intervalo de temperatura ambiente de zero grau Celsius até 50 °C. O sensor também conta com um protetor de temperatura possibilitando que ele trabalhe medindo materiais com temperatura variando de zero grau Celsius até 1600 °C.

O laser emite um feixe de luz que marca o objeto, mostrando para onde seu sensor está apontado para capturar uma distância, por exemplo e, devido a sua alta resolução e sensibilidade do sensor é possível realizar a aquisição de dados de objetos que estão em movimento ou em vibração. O laser é capaz de realizar uma sequência de medições de cerca de 16.000 vezes por segundo e possui uma de erro, normalmente, inferior a 0,2%.

Outra importante característica do laser, diz respeito a calibração que vem de fábrica para suprimir os efeitos da não-linearidade, comum a geometria envolvida no tipo de medição que esse equipamento realiza

3.2 DEFINIÇÃO DO PROJETO

Segundo a metodologia descrita na sétima edição PMBOK (2021), a definição do escopo é o procedimento de elaborar uma descrição minuciosa do projeto e do produto. O principal benefício desse processo é que ele estabelece claramente os limites do produto, serviço ou resultado, além dos critérios de aceitação.

O escopo deste projeto consistiu na elaboração de um documento contendo as especificações dos objetivos, descrição do cenário atual, origem da necessidade e critérios de aceitação.

O objetivo do projeto consistiu na realização do *retrofit* do laser de medição de espessura do sistema de controle e regulação de uma extrusora. Esse sistema é responsável por iniciar a máquina e mantê-la funcionando.

No processo de *retrofit* tratado neste estudo de caso, em específico, o foco foi na eliminação da obsolescência do sistema de medição de espessura por laser. O produto final do processo de extrusão é um material perfilado constituído de um elastômero, o qual é enrolado em bobinas e destinado para provisionamento de outros equipamentos da linha de montagem.

No cenário atual o operador dá entrada na máquina extrusora com os parâmetros de zero do laser, posicionamento do eixo x e espessura do produto que são enviados para o laser e balança por meio de carta do PLC, e este troca dados com um processador modular que é responsável pela regulação do parafuso da extrusora. O erro de leitura é lançado por meio de entrada analógica diretamente no processador modular que faz as devidas correções no sistema de regulação.

Tendo em vista este cenário, a proposta do projeto consiste em mudar esta configuração da comunicação, concentrando a instrumentação e controle em um único PLC, ou seja, substituindo o PLC original e controlador modular por um sistema do tipo Controllogix, Figura 11.

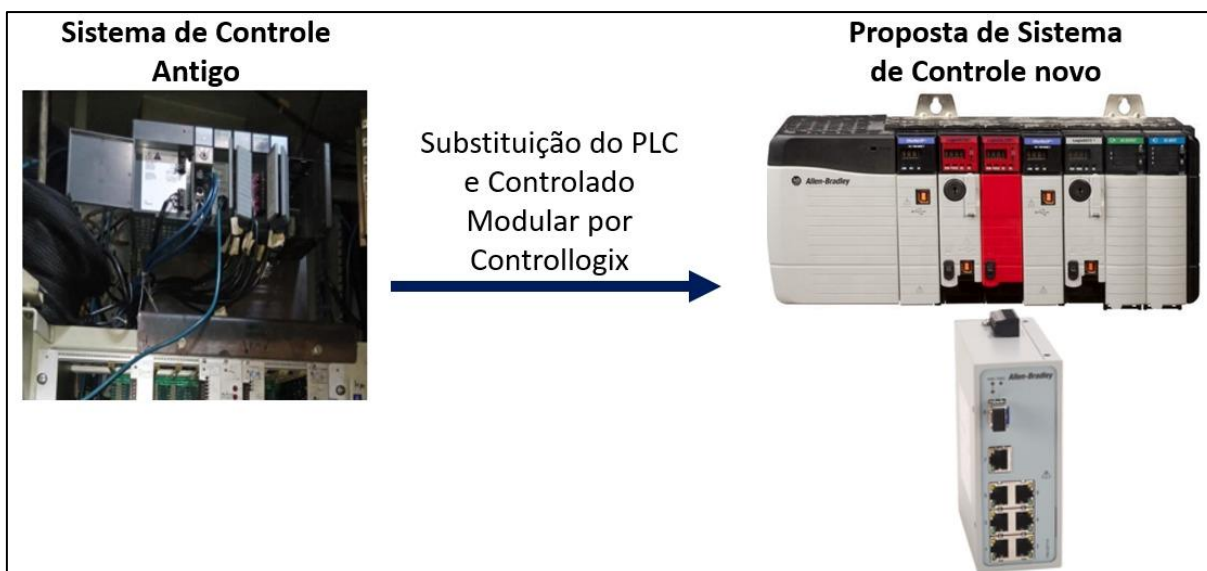


Figura 11 - Sistemas de comunicação do laser antigo Vs novo
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A medida de espessura, via laser, do produto regula pressão no parafuso da extrusora, aumentando ou diminuindo o fluxo de goma que passa pela matriz, conforme a necessidade, visando atingir os parâmetros de espessura e peso determinados para cada modelo de produto perfilado. Após o produto ter sido fabricado e, respeitando um período mínimo de 8 horas (tempo de resfriamento necessário para o produto atingir suas características finais e ter passado os efeitos de retração), para a liberação do produto, é retirada uma amostra de 50 cm de comprimento e pesada na balança. É feito o lançamento do peso pelo operador e, o sistema acusa peso conforme ou não conforme.

A origem da necessidade foi definida a partir da obsolescência do modelo de laser utilizado, assim com o a carta que estabelece comunicação com o PLC, tornando

a aquisição de peças de reposição extremamente difícil e aumentando as chances de parada de máquina pela falta ou atraso na chegada dessas peças.

Os critérios de aceitação esperados para o projeto consistem em:

- A verificação da qualidade de medição (VQM) deverá ser realizada pelo setor com auxílio de um gabarito (caso o modelo atual não seja mais útil para tal atividade devido evolução do sistema). O mesmo deverá ser calibrado pela Metrologia;
- Uma inspeção sistemática de qualidade deverá ser realizada pelo setor de calibração utilizando um gabarito calibrado pela Metrologia;
- O modelo deverá garantir a realização do zero da posição do laser no eixo x;

3.3 CRONOGRAMA DO PROJETO

A elaboração do cronograma do projeto levou em consideração a disponibilidade de máquina para instalações dos equipamentos eletrônicos, tempo para testes e chegada dos equipamentos nas instalações. Além disso, as etapas que envolveram parada da extrusora passaram por avaliações *go/no-go* (aprovado/não aprovado) devido a necessidade de fabricação de estoque mínimo de forma a não impactar a fabricação com as paradas programadas do projeto, ou seja, em caso, por outros fatores, esse estoque mínimo não estivesse disponível, a parada para instalação do novo sistema deveria ser reprogramada e o cronograma revisto.

No Quadro 2 está o cronograma com visão macro do projeto, optou-se pelo Fornecedor 3 que oferecia prazo de entrega menor e isso possibilitou iniciar o teste de bancada do laser antecipadamente. Após a etapa de realização do teste de bancada do laser foi realizado a instalação do Controllogix e substituição do laser de espessura, seguido da instalação da balança de peso contínuo, ajustes e acompanhamentos e, por fim, a passagem do marco de qualificação dos equipamentos com aval da equipe técnica.

Atividade / Semana do Ano	nov/22				dez/22					jan/23				fev/23			
	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8
Pedido de Compra																	
Fornecedor 1																	
Fornecedor 2																	
Fornecedor 3																	
Tática de Compras																	
Pedido de Compra de outros materiais																	
Teste de Bancada do Laser																	
Instalação Controllogix																	
Substituição do laser de espessura e drive																	
Acompanhamentos e ajustes																	
Marco de Qualificação																	

Atividade / Semana do Ano	mar/23				abr/23					mai/23				jun/23				
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Pedido de Compra																		
Fornecedor 1																		
Fornecedor 2																		
Fornecedor 3																		
Tática de Compras																		
Pedido de Compra de outros materiais																		
Teste de Bancada do Laser																		
Instalação Controllogix																		
Substituição do laser de espessura e drive																		
Acompanhamentos e ajustes																		
Marco de Qualificação																		

Quadro 2 - Cronograma do projeto
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.4 ANÁLISE DE RISCO DO PROJETO

De acordo com o PMBOK (2021) em sua sétima edição, o gerenciamento de riscos tem como objetivo principal potencializar as chances de sucesso do projeto, aumentando a probabilidade e/ou o impacto dos riscos favoráveis, enquanto se busca reduzir a probabilidade e/ou o impacto dos riscos desfavoráveis.

Durante o projeto de *retrofit* do laser de espessura foi realizada uma Análise de Riscos, a qual envolveu uma equipe multidisciplinar para levantamento dos riscos e classificação da criticidade, assim como definição de ações para minimizar os riscos.

A escala de criticidade classifica os riscos em baixo, médio e alto, sendo riscos considerados com baixa criticidade até 5 pontos, média criticidade entre 5 e 20 pontos e acima de 20 pontos os riscos de alta criticidade. Esses valores são compostos pelo produto da severidade com a probabilidade de ocorrência do risco.

O plano de ação tem como objetivo reduzir a criticidade dos riscos, porém dois riscos foram considerados com alta criticidade mesmo com as ações de mitigação (Quadro 3):

- **Indisponibilidade da máquina extrusora:** máquina não estar disponível devido ao não atingimento de volume necessário estoque mínimo, este necessário para não gerar paradas de produção por falta de produto devido ao tempo de máquina parada para instalação do laser. Muitos fatores podem acabar influenciando na geração do estoque, como por exemplo: falta de efetivo, crise de abastecimento da matéria-prima, performance da máquina afetada por panes, entre outros. Devido ao impacto que esse risco oferece, foi elaborado plano de flexibilidade de produção do mix de produção em outras extrusoras como medida de contingência para construção do estoque mínimo. Porém, condicionado a tomadas de decisão do tipo *go/no-go* de forma a não gerar uma crise de abastecimento de outras máquinas, ou seja, sem o estoque mínimo seria adiada a instalação do laser.
- **Perda de produção:** possíveis atrasos com ajustes no controle de espessura do laser além do previsto. Para mitigar esse risco foi necessário prever o ajuste de kanban de produção estimando a perda de capacidade durante o retorno da produção após os testes terem sido concluídos. Pois, a produção após uma parada de máquina precisa retornar de forma gradual até que a estabilidade de performance seja retomada.

Risco	Causa	Efeito	Severidade	Probabilidade de ocorrência	Criticidade	Plano de Ação a ser aplicado para reduzir os riscos identificados?	Gravidade residual com aplicação das ações	Probabilidade residual de ocorrência com a aplicação do plano de ação	Criticidade residual com aplicação do plano de ação
Indisponibilidade da extrusora	Máquina crítica com alta demanda de produção, risco de não conseguir atingir volume de produção para formação de estoque mínimo	Atraso do projeto	5	5	25	Elaborar plano com flexibilidade de produção do mix de produtos da extrusora em outras máquinas como medida de contingência para produção do estoque mínimo. Prever Go/no-go.	5	4	20
Perda de produção	Demora nos ajustes do laser de espessura além do previsto	Demora no retorno da produção e retomada a performance de produção comprometida	5	5	25	Prever ajuste do kanban de produção tendo em vista retorno de produção com performance menor.	5	4	20
Máquina: Falta de informações sobre a máquina	Equipamento antigo e equipe com pouca expertise	Não alcançar o resultado esperado	5	4	20	Realizar reuniões assertivas com equipe de engenharia de manutenção, setor de calibração e equipe de projetos e garantir efetivo de cada setor no retorno de produção	5	2	10
Máquina: Performance do laser de controle de espessura	Integração de equipamentos novos com antigos	Atraso no projeto	5	4	20	Dividir as instalações por equipamento em períodos diferentes conforme cronograma e identificar o comportamento de cada item atualizado	5	2	10
Máquina: cronograma do projeto ser penalizado por problemas existentes na máquina durante a instalação do laser	Máquinas com panes que podem afetar a regulação do laser	Atraso na passagem do Marco de Qualificação	4	4	16	Criar um registro de performance atual da extrusora com taxas de panes e registro dos parâmetros atuais	4	2	8
Serviço: Indisponibilidade de empresa com conhecimento de automação de máquinas antigas	Falta de expertise entre o sistema antigo e Controllogix	Atraso no projeto	5	4	20	Enfatizar com o setor de compras a necessidade de uma empresa que atenda a 100% das necessidades do projeto de acordo com os critérios definidos para instalação do laser	5	1	5
Não ter apoio da equipe de manutenção	Indisponibilidade da equipe de manutenção devido a necessidade de tratamento de outras panes	Aumento de das horas de trabalho da equipe de projetos	4	4	16	Realizar reuniões periódicas com o setor de Manutenção durante o estudo para instalação do laser. Prever acompanhamento do setor de manutenção durante o retorno de produção	4	2	8

Legenda:

Até 5 pontos Risco baixo

Entre 5 e 20 Risco Médio

Acima de 20 Risco Alto

Quadro 3 - Análise de risco do projeto
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Outros riscos relacionados à máquina foram levantados como: a falta de conhecimento sobre os equipamentos da extrusora devido à máquina ser antiga e equipe com pouca expertise, baixa performance do laser devido dificuldade de integração dos equipamentos novos com antigos e a máquina apresentar panes por motivos fora do projeto, causando atraso no cronograma. Para riscos ligados ao serviço foi abordada a dificuldade de encontrar uma empresa terceirizada com expertise em equipamentos antigos e, para o risco ligado a indisponibilidade de mão-

de-obra foi citada a possibilidade da necessidade de tratamento de outras panes acontecendo simultaneamente na fábrica. Os riscos citados acima tiveram criticidade minimizada com as ações geradas e foram reclassificados com criticidade baixa e média, conforme mostra a Quadro 3.

3.5 CALIBRAÇÃO DO LASER

De acordo com o fabricante do laser, o sensor do laser pode ser calibrado a partir de uma referência, como por exemplo, quando se deseja medir a espessura de um objeto. O objeto de referência deve estar posicionado, conforme mostra a Figura 12 e, sua espessura deve ter sido posta à prova com o comando de “Valor nominal” antes do início da calibração.

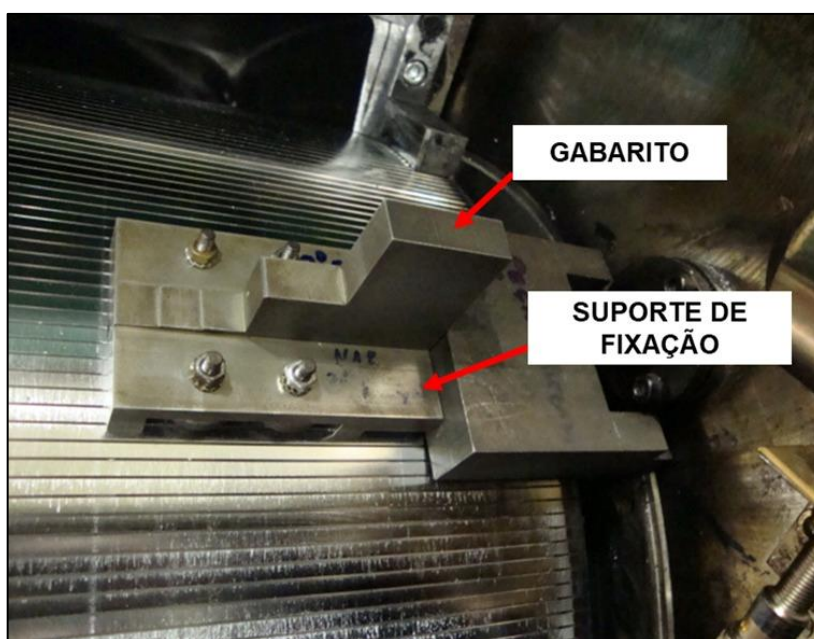


Figura 12 - Posicionamento do gabarito para calibração do laser de medição
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Neste caso, o laser é montado para medir a espessura de um produto perfilado, em milímetros. O produto repousa sobre o cilindro da extrusora e, utilizando uma peça de calibração (gabarito) de espessura conhecida é iniciado o procedimento de calibração. Em primeiro lugar, é fornecido o Valor Nominal pelo comando:

- Comando: \$N20.0>
- Resposta: N20.0>

A peça de calibração é posicionada e emite-se o comando de calibração:

- Comando: \$C>
- Resposta: C1>

A resposta indica que o procedimento de calibração foi bem-sucedido. Em seguida, o sensor do laser medirá a espessura real do produto em milímetros e a exibirá no painel da extrusora.

Para reiniciar a calibração deve ser colocado o seguinte comando:

- Comando: \$R>
- Resposta: R>

Esse comando restabelece as compensações calculadas através de uma calibração simulando às condições de calibração padrão do fabricante do sensor do laser.

3.6 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA MEDIDA

Para a garantia da qualidade das medidas oriundas do laser de regulação da espessura da extrusora foi elaborado um método de verificação com utilização de gabarito do tipo calço calibrado pelo setor de metrologia (Figura 13).

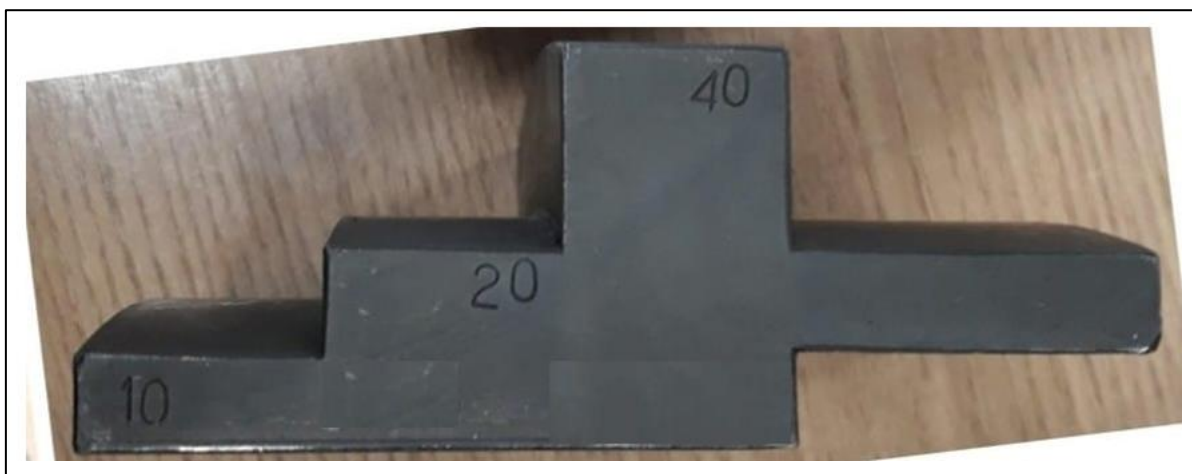


Figura 13 - Gabarito do tipo calço com espessuras de 10, 20 e 40 mm
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Para isso, as informações de quem deveria fazer a verificação, frequência, etapa, tolerância e meio de verificação precisaram ser definidas para elaboração do documento contendo o método. Desta forma, foi estabelecido:

- **Verificador:** técnico de qualidade;

- **Frequência:** 1 vez por semana;
- **Etapa:** durante ronda para verificação dos pontos chave do processo (rotina do técnico de qualidade);
- **Tolerância da medida:** $\pm 0,5$ mm;
- **Meio de verificação:** gabarito (calço) calibrado pelo setor de metrologia

O modo operatório definido consiste em apoiar o gabarito entre o laser e esteira da saída da extrusora, fazer o lançamento do *setup* de teste da máquina, avançar a sonda sobre o gabarito na espessura de 20 mm, verificar o valor medido no painel da extrusora e, uma vez tendo feito isso, registrar o valor no sistema.

Caso o valor medido esteja fora da tolerância (medida não conforme) o verificador deve reposicionar a peça no foco do feixe do laser e realizar a correção no rack da sonda de espessura e assim, repetir o processo de verificação e registrar a nova leitura da espessura após a correção no sistema. O modo operatório de verificação da qualidade da medida do laser está descrito na Figura 14.

Para garantir a rastreabilidade os valores medidos durante a verificação devem ficar retidos no sistema por no mínimo 2 anos.

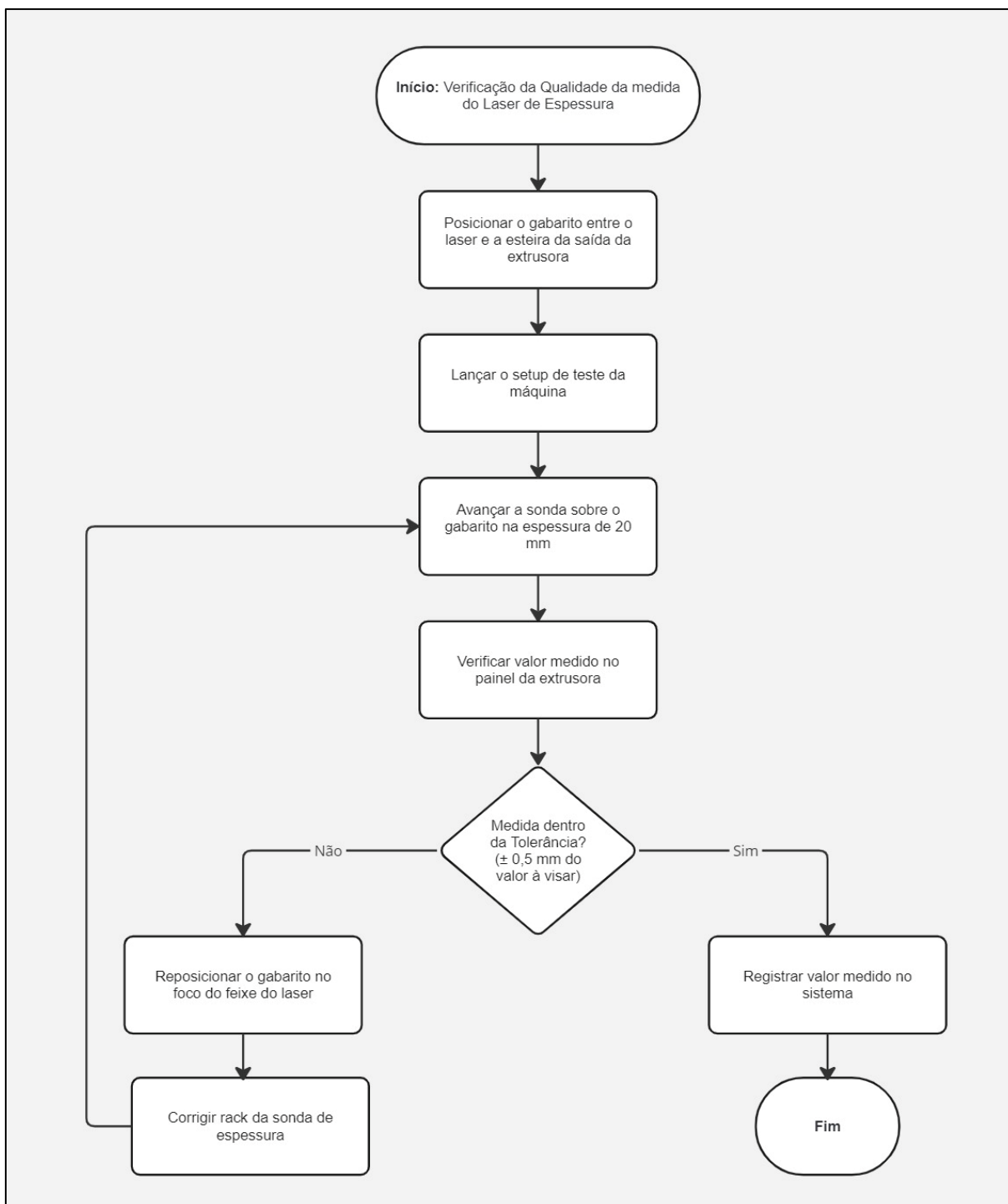


Figura 14 - Fluxograma do processo de verificação da qualidade da medida do laser
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

3.7 ENSAIO DE CAPABILIDADE DO LASER

Para o cálculo dos índices de capacidade da medida do laser, foi necessário assegurar a instalação do laser e sistema de programação, calibração do laser e aplicação do método de verificação da qualidade da medida.

Conforme explicado nas seções anteriores, os sistemas de medida de espessura por laser, pesagem em contínuo do produto extrudado e regulador de pressão da extrusora são parâmetros de regulação da extrusora. A cada bobina produzida o operador faz a retirada de uma amostra de 50 cm de comprimento de produto (Figura 15) e verifica se o peso está conforme os limites estabelecidos e, a cada 15 dias o técnico de qualidade da extrusora faz o controle do perfil do produto para assegurar que a matriz da extrusora está conforme e o produto segue com as especificações dimensionais esperadas.

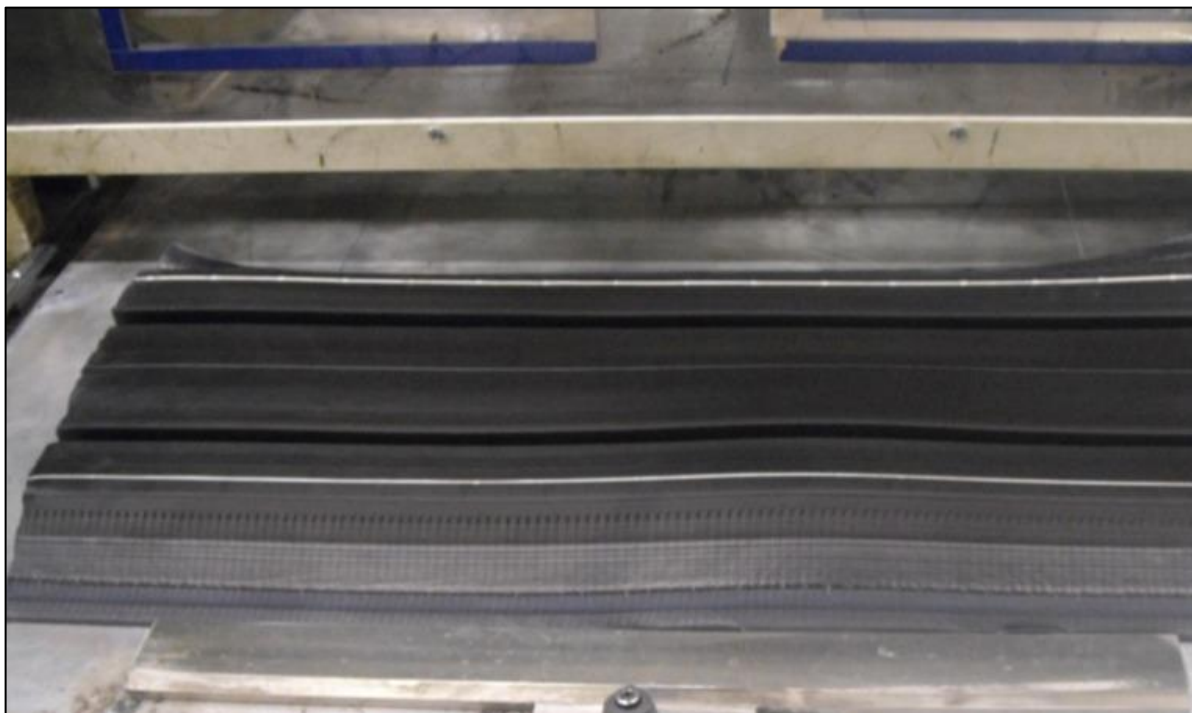


Figura 15 - Exemplo de amostra padrão (50 cm de comprimento) alinhada na mesa de corte
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Para a realização do ensaio foi selecionado o produto perfilado com maior espessura máxima (23,6 mm) e menor espessura máxima (10,9 mm) e, assim, avaliar a capacidade do laser de medir essas espessuras nesse intervalo, conforme desenho na Figura 16.

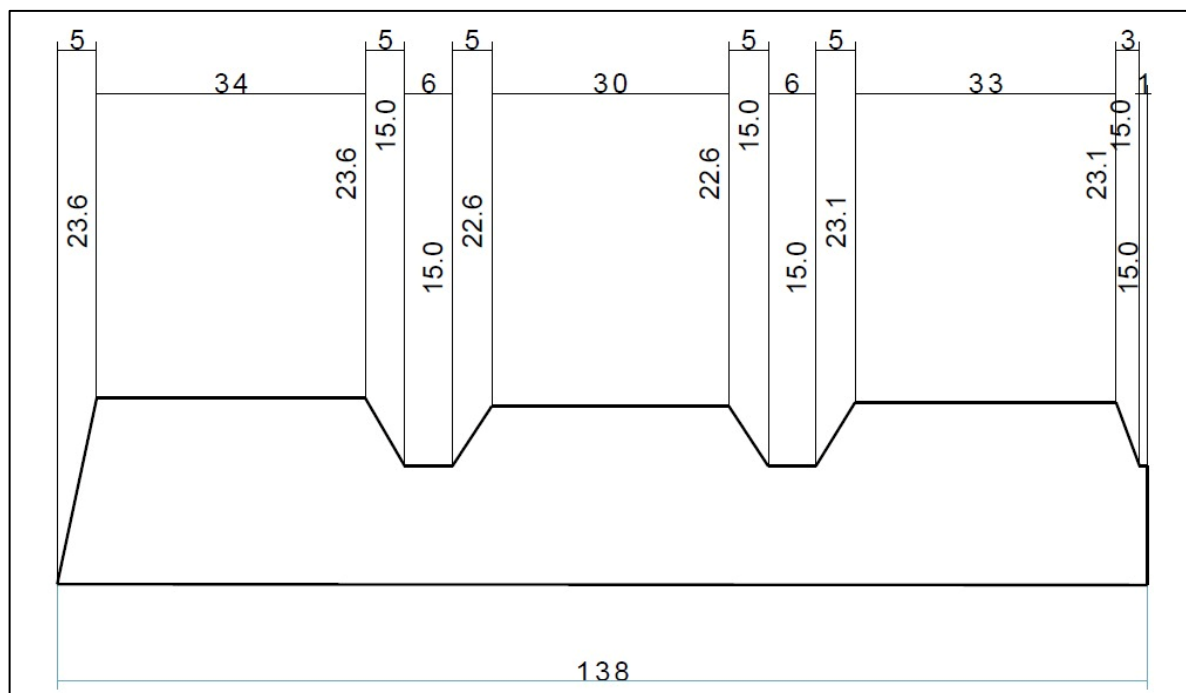


Figura 16 - Desenho do produto perfilado (extrudado), com medidas em milímetros
Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Após o lançamento do setup da máquina com os parâmetros definidos para a produção dos modelos escolhidos e estabilização do peso, foram fabricadas as bobinas destinadas ao ensaio. Após aguardar o período mínimo de 8h para que o produto extrudado atinja suas características finais e passe pelos efeitos de retração especificados pelo fabricante, foram retiradas as amostras que consistiram em: partir com auxílio de guilhotina automática o produto extrudado em faixas com 50 cm de comprimento (medidos com auxílio de escala aferida pelo setor de Metrologia) e pesá-las. Durante o intervalo mínimo de 8 horas de espera para a retirada das amostras, as bobinas foram armazenadas no estoque e permaneceram bloqueadas desde a sua fabricação para não correrem o risco de serem utilizadas na linha de produção. Somente após a verificação da conformidade do peso e do perfil do produto extrudado avaliado pelo técnico de qualidade, é que as bobinas fabricadas para o ensaio foram desbloqueadas no sistema e reintroduzidas dando sequência a cadeia de produção.

Ou seja, foi observado que durante o período mínimo de espera para que o produto atinja suas características finais e passe pelo processo natural de retração, é possível que o produto em estoque esteja fora da especificação, de peso e seção do perfil, até que seja feito o controle de qualidade. Provocando uma possível perda de produção de no mínimo 8 horas.

Para efeitos de comparação o mesmo procedimento foi realizado com os mesmos modelos de produtos extrudados anteriormente ao ensaio ainda com o laser de espessura antigo.

Ao todo, foram retiradas 111 amostras de produto extrudado para o ensaio de capacidade do laser novo e 82 amostras do mesmo modelo de produto extrudado, do laser antigo. No que diz respeito as amostras colhidas, optou-se por pesá-las uma vez que a única variável relacionada no processo era a espessura e, que a mesma, está diretamente correlacionada com o peso da amostra. Já que a densidade e a largura do produto não variam ao longo do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção é dedicada a exposição dos resultados obtidos a partir do ensaio de capacidade realizado com intuito de comparar a qualidade da medida captada pelo laser de medição de espessura novo em relação ao antigo laser da extrusora.

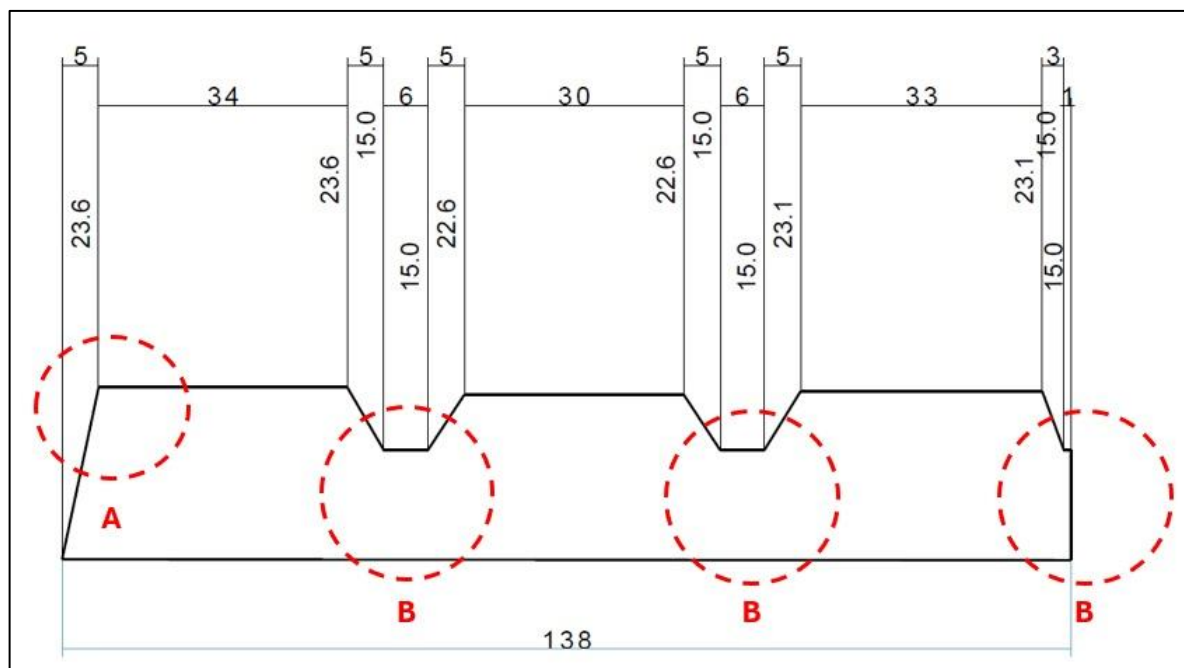
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS PERFIS EXTRUDADOS

As bobinas fabricadas durante qualquer tipo teste envolvendo modificações no processo, como foi o caso do *retrofit* do laser de medição, precisam ser controladas e para isso, amostras são retiradas. O perfil dessas amostras deve ser avaliado para liberação das bobinas de produto.

As amostras, assim como para o teste de capacidade do processo, têm 50 cm de comprimento e, são cortadas com auxílio de uma guilhotina automática para serem pesadas. Em seguida a amostra passa por um controle que mede toda a topografia do produto e assim, tem-se uma imagem com a espessura ponto a ponto da seção da amostra, como é exemplificado nas Figuras 17 e 18.



Figura 17 - Seção do produto extrudado com laser antigo
 Fonte: Elaborada pela autora (2024)



**Figura 19 - Zonas críticas para performance do produto,
Fonte: Elaborada pela autora (2024)**

Pela análise realizada nos controles de seção do produto das figuras 17 e 18, não há risco associado com a mudança do laser, pois ambos os produtos estão conformes, uma vez que não há variação de espessura superior a um milímetro, nas regiões consideradas críticas, destacadas na Figura 19.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÍNDICES DE CAPABILIDADE

Uma vez tendo garantido a instalação do laser de medição de espessura, sua calibração e aplicação do método de verificação da medida, o ensaio para obtenção de dados para cálculo do índice de capacidade foi realizado nas configurações mais críticas para a medida (maior e menor espessuras de produto extrudado).

A partir dos dados obtidos com a pesagem das amostras provenientes das bobinas de produto, foi possível calcular o índice C_p e C_{pk} para a configuração com o novo laser e elaborar o histograma de frequências e gráfico de dispersão das medidas (Gráfico 1 e 2):

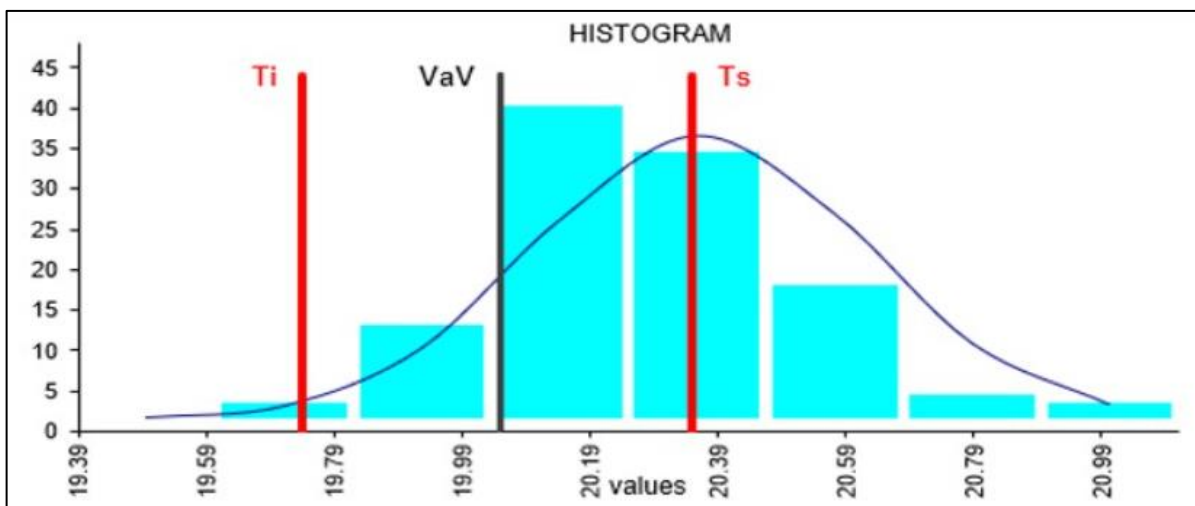


Gráfico 1 - Histograma de frequências dos resultados do ensaio com novo
Fonte: elaborado pela autora (2024)

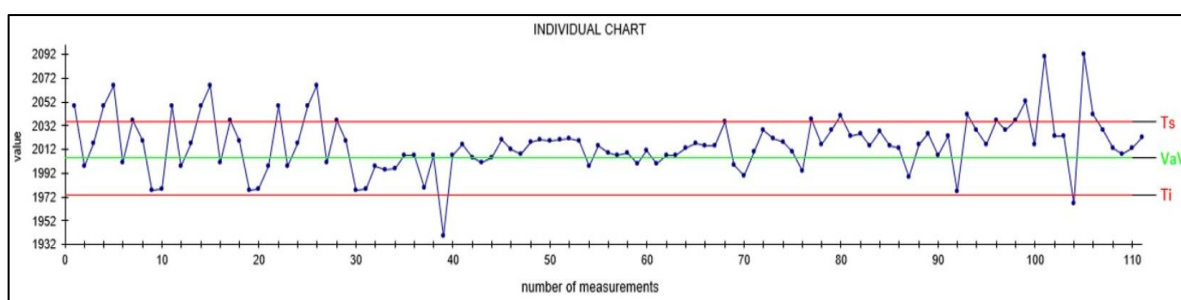


Gráfico 2 - Gráfico de dispersão dos resultados do ensaio com o laser novo
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Mesmo tendo aguardado o período de estabilização de peso do produto, é possível observar que as amostras do início e final da tiragem de produção apresentaram bastante dispersão e no meio da tiragem essa dispersão diminuiu (Figura 20). Essa dispersão pode ter origem da variação de outros parâmetros do equipamento, não relacionados com a medida realizada pelo laser. Alguns exemplos de variáveis que podem influenciar esse processo são: temperatura de extrusão, pressão, alimentação da máquina, nível de tensão do material enrolado na bobina, entre outros.

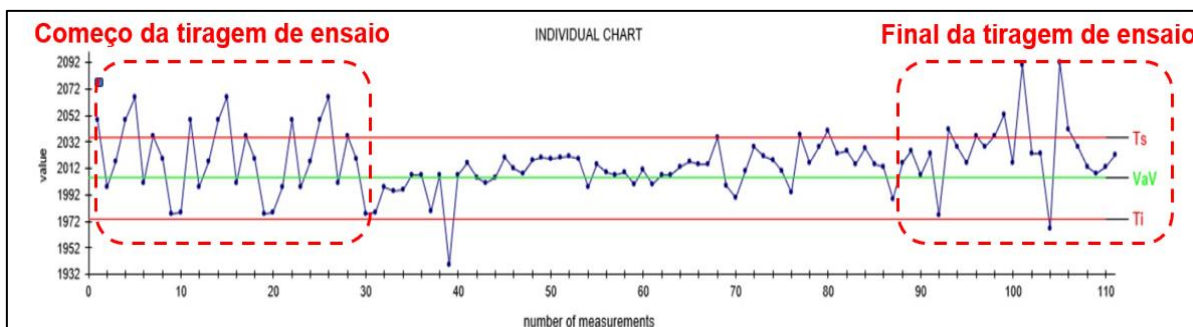


Figura 20 - Dispersão do início e fim da tiragem
 Fonte: elaborado pela autora (2024)

O C_p obtido com o ensaio do laser novo foi de 0,44 e o C_{pk} foi de 0,27. Abaixo no Quadro 4 são mostrados os dados do ensaio.

Relatório de Índices de Capabilidade - Ensaio com Laser Novo	
Tolerância do Limite Superior:	2035
Valor alvo:	2005
Tolerância do limite inferior:	1974
Intervalo de tolerância:	61
Média:	2015,96
Desvio padrão:	23,336
Mediana:	2016
Estudo	
C_p:	0,44
C_{pk}:	0,27
índice central:	35,95
% fora do padrão (ppm):	243398,13

Quadro 4 - Relatório de resultados dos índices de capabilidade do ensaio com laser novo
 Fonte: elaborado pela autora (2024)

A fim de traçar um comparativo entre os índices de capabilidade antes e depois do *retrofit* do laser medidor de espessura, o mesmo ensaio foi realizado na configuração de máquina com o laser antigo, antes que o novo laser fosse instalado. Abaixo consta o histograma de frequências das medidas realizadas na máquina enquanto o laser antigo estava em funcionamento (Gráfico 3) e o seu gráfico de dispersão (Gráfico 4):

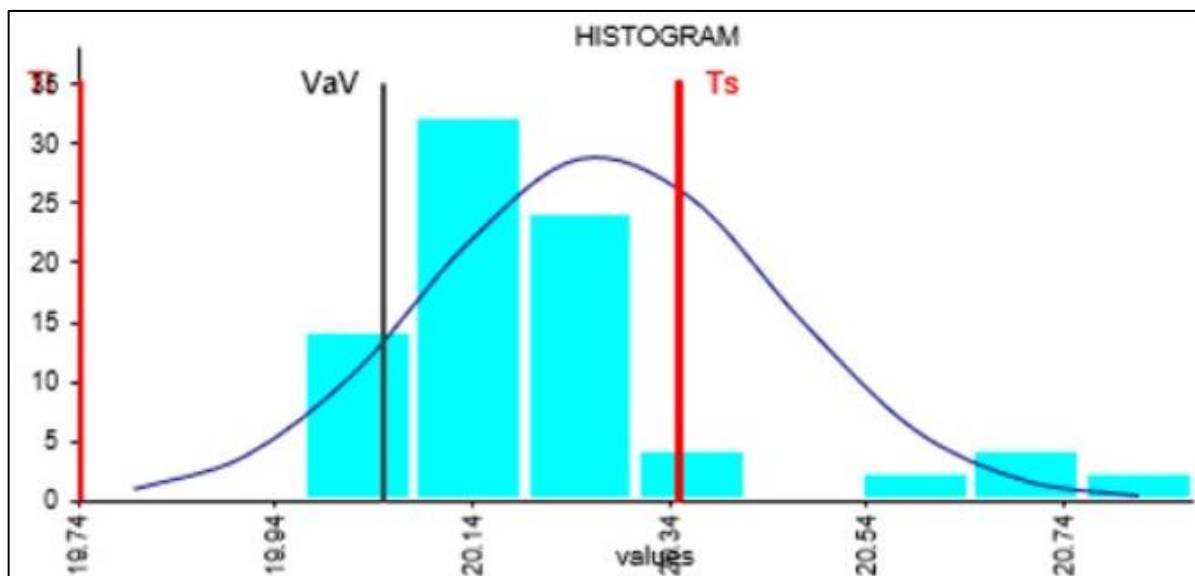


Gráfico 3 - Histograma de frequências dos resultados com o laser antigo
 Fonte: elaborado pela autora (2024)

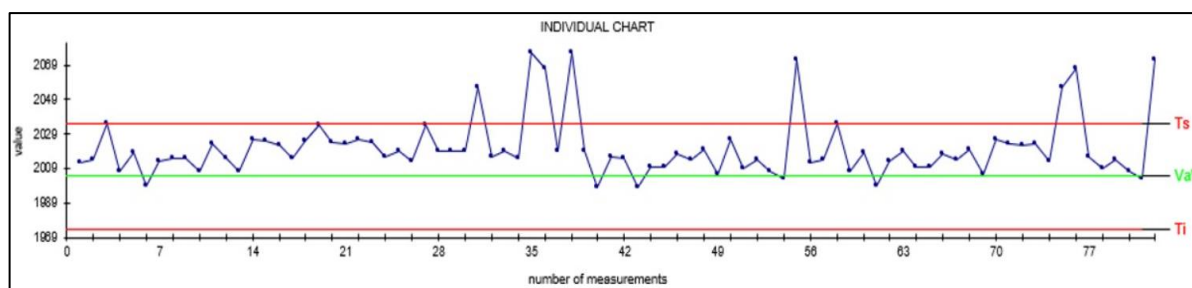


Gráfico 4 - Gráfico de dispersão com os resultados com o laser antigo
 Fonte: elaborado pela autora (2024)

O resultado do índice Cp com o laser medidor de espessura antigo foi de 0,67 e, para o Cpk, 0,26 (Quadro 5).

Relatório de Índices de Capabilidade - Ensaio com Laser Antigo	
Tolerância do Limite Superior:	2035
Valor alvo:	2005
Tolerância do limite inferior:	1974
Intervalo de tolerância:	61
Média:	2020,8
Desvio padrão:	17,573
Mediana:	2016
Estudo	
Cp:	0,67
Cpk:	0,26
índice central:	51,82
% fora do padrão (ppm):	219747,3

Quadro 5 - Relatório de resultados dos índices de capabilidade do ensaio com laser antigo
Fonte: elaborado pela autora (2024)

Segundo Montgomery (1997), para ambas as configurações de laser de espessura (antiga e nova) os valores de Cp estão indicando um processo incapaz, uma vez que ambos são menores do que um. Considerando que o processo não está centrado no valor nominal (identificado pela linha preta com valor de Vav nos Gráficos 1 e 3), o valor obtido para Cpk nas duas configurações do laser de espessura não apresentou degradação, apesar de os valores estarem igualmente baixos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Máquinas industriais passam a todo o momento por atualizações, fazendo com que as empresas precisem modernizar seus equipamentos para se manterem competitivas no mercado. Sendo assim, o *retrofit* de equipamentos se mostra uma solução viável para as organizações que buscam tratar a obsolescência de máquinas ou parte delas.

O sistema atual de medição de espessura de uma extrusora de uma fábrica de pneumáticos é constituído por um conjunto central de laser, cujo modelo está ultrapassado e não possui uma solução de migração direta para versões mais modernas, uma vez que toda a comunicação de dados com esses equipamentos é antiga (utilizando controladores lógicos programáveis, racks eletrônicos, entre outros), o que inviabiliza uma rápida adaptação.

Dessa forma, o *retrofit* deste equipamento foi definido como um objetivo desse projeto à fim de descrever o cenário atual, identificar a origem da necessidade, definir os critérios de ceitação, elaborar um cronograma para o projeto e identificar os riscos associados com a atualização do laser.

Além disso, este processo de *retrofit* contemplou a elaboração do método de calibração e verificação da qualidade da medida, de forma a assegurar às competências o modo operatório para a correta utilização do laser e, que a medida fosse feita conforme as especificações do fabricante.

Por fim, o ensaio de capacidade serviu para avaliar os impactos na conformidade do produto extrudado com a atualização do laser de medição de espessura, através do comparativo dos índices de capacidade C_p e C_{pk} entre o laser antigo e o laser novo. Outro modo de verificação utilizado para avaliação da interferência da atualização do laser no produto final da extrusão foi a avaliação da seção do produto antes e depois da instalação do novo laser.

Concluindo, os resultados obtidos nos índices de capacidade C_p e C_{pk} são um forte indicativo de que o processo como um todo tem oportunidades de melhoria de forma a obter resultados de índices de capacidade característicos de processos aceitáveis, ou seja, acima de um.

Apesar dos resultados analisados dos índices de capacidade para a configuração com o laser de medida de espessura antigo e novo indicarem valores baixos que, segundo a literatura, indicam falhas no processo, a troca do laser de

medida de espessura pode ser considerada bem-sucedida do ponto de vista da extinção da obsolescência do processo e seus riscos, citados ao longo do texto, como uma parada de produção por inexistência de peças de reposição disponíveis para manutenção, por exemplo. Uma vez que um dos objetivos com a troca do laser era tratar a obsolescência do sistema de medição de espessura e realizar o *retrofit* do equipamento.

Ao final do projeto, além da troca do laser por um modelo mais novo, o processo trouxe oportunidades de aquisição de novas técnicas e conhecimento para a equipe. Além disso, pela análise das amostras durante o controle de seção do perfil do produto não foi identificada nenhuma não-conformidade, indicando que a condição de operação de ambas as configurações de laser, antiga e nova, não tiveram impacto sobre o produto extrudado, mostrando-se dentro das tolerâncias de fabricação (variação inferior a um milímetro nas regiões críticas). Isso significou um ganho em modernização no processo que estava com risco de parada de fabricação por falta de peças de reposição em caso de pane longa.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, o ensaio de capacidade pode ser realizado novamente, porém, após a realização de um trabalho prévio visando a melhoria de performance da máquina, com foco em minimizar efeitos de dispersão causados pelos outros fatores que afetam a extrusão, como por exemplo: temperatura de extrusão, alimentação descontínua, velocidade das esteiras de transporte de produto, entre outros, para que não venham a penalizar os resultados das medidas realizadas pelo laser.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Desempenho de Edifícios Habitacionais**. Rio de Janeiro, p.9. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

BOSTON CONSULTING GROUP [BCG]. **Embracing industry 4.0 and rediscovering growth**, 2019. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth>. Acesso em: 27 jun. 2024.

CÂNDIDO DANTAS, HEITOR. **PROPOSTA DE PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO PARA PIRÔMETROS**. Orientador: Igor Lopes de Andrade. 2021. 99 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal, Rio Grande do Norte, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/34852>. Acesso em: 15 jun 2024.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). **Retrofit: Requalificação de edifícios e espaços construídos**. São Paulo, 2013. Disponível em: www.cbcs.org.br. Acesso em: 27 jun. 2024.

DELERYD, M. **Process capability studies in theory and practice**. Licentiate thesis, Lulea University of Technology, Lulea. Sweeden. 1996

DELERYD, M. The effect of Skewness on estimates of some process capability indices. **International Journal of Applied Quality Management**, v. 2, n. 2, p. 153-186, 1999.

DONADELLO, Simone; MOTTA, Maurizio; DEMIR, Ali Gökhan; PREVITALI, Barbara. Monitoring of laser metal deposition height by means of coaxial laser triangulation. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 112, p. 136-144, 23 set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2018.09.012>. Acesso em: 3 jul. 2024.

ELETROBRÁS *et al.* **Instrumentação e controle: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2008. 218 p. ISBN 978-85-87257-36-9.

FIGUEIREDO, Paulo N. **Gestão da Inovação Conceitos, Métricas e Experiências de Empresas No Brasil**, 2. ed. São Paulo: LTC, 2015.

GARCIA, J., CANO, R. E., CONTRERAS, J. D., **Digital retrofit: A first step toward the adoption of Industry 4.0 to the manufacturing systems of small and medium-sized enterprises**. Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 234, p. 1156-1169, 2020.

GONÇALEZ, Patricia Ueda; WERNER, Liane. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121-132, 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2009000100012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/cJGRz7YBW6kBZgSFdnzmYTS/>. Acesso em: 8 set. 2024.

GRAMS, CASSIANO ANDRÉ; CETNAROWSKI, ENRIQUE. **RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS: estudo de caso**. 2014. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Mecatrônica Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2014.

HENRIQUE, Marlene Correa; DIB, Luiz Felipe Gonçalves; BARBOSA, Eduardo Acedo. Medidor de espessura a laser de baixo custo para o controle de qualidade em tempo real da fabricação de placas e folhas. **Research, Society and Development**, ano 2020, v. 9, n. 9, 13 ago. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7079>. Acesso em: 6 jul. 2024.

INMETRO e JCGM. **Primeira Edição Brasileira da Primeira Edição do BIPM de 2008 do “Guia para Expressão da Incerteza de Medição” - GUM**, 2008.

INTROGUM. **Primeira Edição Brasileira da Primeira Edição do BIPM de 2009 do “Uma introdução ao ‘Guia para Expressão da Incerteza de Medição’ e documentos correlatos” - INTROGUM**, 2009.

KANE, V. E. Process capability indices. **Journal of Quality Technology**, v. 18, n. 1, p. 41-52, 1986.

KIMINAMI, C. S.; DE CASTRO, W. B.; DE OLIVEIRA, M. F.. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. Editora Blucher, 2021

KUMAR, Manoj; UDHAYAKUMAR, J.; NUWAD, J.; SHUKLA, Rakesh; PILLAI, C.G.S.; DASH, Ashutosh; VENKATESH, Meera. Development of a ^{147}Pm source for beta-backscatter thickness gauge applications. **Applied Radiation and Isotopes**, ano 2011, v. 69, p. 580-587, 1 dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2010.11.026>. Acesso em: 9 jul. 2024.

LEE, In Ho; LEE, Jonghwa. **A Theory of Economic Obsolescence**. *The Journal of Industrial Economics*, v. 46, n. 3, p. 383-401, 27 mar. 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/1467-6451.00077>.

LONGO, Waldimir Pirró e. **Conceitos básicos sobre ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro: FINEP., 2007.

Luxon, J.T.; Parker, D.E. **Industrial Lasers and their applications**. NOVA JERSEY: Prentice-Hall Inc, 1985.

MARTINS, Petronio G.; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. 2^a ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MEYER, A.; PRETORIUS, L.; PRETORIUS, J.H.C. A model to manage electronic component obsolescence for complex or long life systems. **2004 IEEE International Engineering Management Conference (IEEE Cat. No.04CH37574)**, Singapura, ano 2004, v. 3, p. 1303-1309, 2004. DOI 10.1109/IEMC.2004.1408905. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1408905/similar#similar>. Acesso em: 1 jul. 2024.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

MORAES, V. T. F.; QUELHAS, O. L. G. O Desenvolvimento da Metodologia e os Processos de um “Retrofit” Arquitetônico. **Sistemas de Gestão**, v. 7, n. 3, p. 448–461, 2012. DOI: 10.7177/sg.2012.V7.N3.A13. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/V7N3A13>. Acesso em: 24 jun. 2024.

NASCIMENTO, Cássia Santana; SOARES, David Junio da Cunha; ROSA, Mariana Larry Ferreira Wertezine. **RETROFIT DE PRENSA HIDRÁULICA PARA APLICAÇÃO DIDÁTICA**. 2020. 102 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, Contagem, 2020. Disponível em: <http://bib.pucminas.br:8080/pergamumweb/vinculos/000075/0000753d.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

NASCIMENTO, Flávio Henrique do. **A OBSOLESCÊNCIA TECNOLÓGICA NO CICLO DE VIDA DOS SISTEMAS E MATERIAIS DE EMPREGO MILITAR**. 2018. 171 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Militares) - Instituto Meira Mattos da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2018.

OLIVEIRA, André Bigliatto; CAVALCANTI, Giovanna Alves Pinto Vieira; CONTATTO, João Vithor Daleffe; CAMAROZANO, Letícia Souza; BELO, | Renato de Oliveira. **RETROFIT DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS EM PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS: Um caminho para a indústria 4.0**. Inova FEI, 2022. Disponível em: <https://fei.edu.br/inovafei/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

PANDA, S K., WISNIEWSKI, L., EHRLICH, M., MAJUMDER, M., JASPERNEITE, J., **Plug Play Retrofitting Approach for Data Integration to the Cloud**. IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - Proceedings (WFCS), 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Entenda o que é “retrofit”, ação que está revitalizando o Centro de São Paulo**. São Paulo, 7 nov. 2023. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/se/w/noticias/135666>. Acesso em: 30 jun. 2024.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Padrão de gerenciamento de projetos e Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 7. ed. Newtown Square, Pennsylvania, 2021. 368 p. ISBN 9781628256642.

RIBEIRO, Alexandre da S.; ALMEIDA, Antonio Gabriel S.; SOUZA, Milton B. de; LIMA IIº, Eduardo J. **METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE RETROFFITING DE CONTROLADORES DE EQUIPAMENTOS DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS**. 8º

CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA, Cusco, 25 out. 2007.

SALMAN HASSAN AL-MAEENI, Sara et al. **Smart retrofitting of machine tools in the context of industry 4.0**. ScienceDirect, ed. 88, p. 369-374, 2020.

Silva Neto, J. C. **Metrologia e Controle Dimensional**. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier Editora Ltda, 2012.

SOLOMON, Rajeev; SANDBORN, Peter A.; PECHT, Michael G. **Electronic Part Life Cycle Concepts and Obsolescence Forecasting**. IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS AND PACKAGING TECHNOLOGIES, Solomon, R., Sandborn, P., and Pecht, M. Electronic part life cycle concepts and obsolescence forecast-ing. IEEE T. Compon. Pack. Technol. 2000, 23(4), 707-717., v. 23, n. 4, p. 707-717, 2000.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros**. 2 ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1996.

ZAMBETTI, M. KHAN, M. A., PINTO, R., WUEST, T., **Enabling servitization by retrofitting legacy equipment for Industry 4.0 applications: benefits and barriers for OEMs**. Procedia Manufacturing, v. 48, p. 1047-1053, 2020.