



Implementação de um sistema de metrologia numa organização do setor médico

Jorge André da Silva Brás Pinto
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)

Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:
Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Júri:
Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu
Vogais:
Doutor Rui Manuel Ferreira Leal
Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão

Novembro de 2024

Implementação de um sistema de metrologia numa organização do setor médico

Jorge André da Silva Brás Pinto
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)

Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Vogais:

Doutor Rui Manuel Ferreira Leal, Instituto Politécnico de Leiria
Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

Novembro de 2024

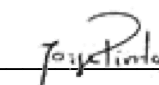
Agradecimentos

Sou profundamente grato aos meus pais pelos valores que me transmitiram e pelas oportunidades de educação que me permitiram alcançar os meus objetivos. Também sou grato aos meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado, apoiando-me em cada etapa do caminho. As instituições de ensino que frequentei, especialmente o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, desempenharam um papel fundamental no meu desenvolvimento académico e formativo. Não posso deixar de mencionar o meu orientador, o Professor Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão, cujo apoio e disponibilidade foram essenciais para atingir os objetivos delineados neste trabalho. Agradeço também a todos os professores que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento. Por fim, expresso minha gratidão à empresa Astrolabe-Medical, que possibilitou a divulgação deste desenvolvimento, bem como pelo apoio oferecido. Além disso, sou grato às empresas onde colaborei, pois elas contribuíram significativamente para os conhecimentos que adquiri.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor


Lisboa, 21 de Novembro de 2024

Resumo

O controlo de qualidade é uma prática fundamental na indústria contemporânea, onde a precisão e a fiabilidade dos artigos são cruciais para o sucesso operacional. A utilização de equipamentos avançados é essencial para aumentar a eficiência e a precisão dos processos de medição, permitindo uma redução significativa no tempo necessário para obter resultados. O foco reside na implementação de um sistema ótico de medição na empresa Astrolabe – Fabricação de Implantes Médicos, Lda., com o objetivo de aumentar a produção e otimizar os processos de controlo de qualidade.

A adoção de práticas rigorosas de controlo de qualidade é motivada pela necessidade de manter a competitividade no mercado, assegurando não apenas a eficiência, mas também a consistência dos artigos. Um sistema de medição eficaz permite a realização de medições rápidas e precisas, proporcionando dados instantâneos que podem ser analisados para ajustes imediatos nos processos produtivos.

A estrutura do documento é organizada em capítulos que abrangem a análise do estado da arte, a caracterização da empresa, os processos de inspeção e as melhorias implementadas, culminando com as conclusões e recomendações para investigações futuras.

Palavras-chave: [Controlo; Qualidade; Precisão; Eficiência; Produção]

Abstract

Quality control is a fundamental practice in contemporary industry, where the precision and reliability of items are crucial for operational success. The use of advanced equipment is essential for increasing the efficiency and accuracy of measurement processes, allowing for a significant reduction in the time required to obtain results. The focus is on implementing an optical measurement system at Astrolabe – Medical Implant Manufacturing, Lda., with the aim of increasing production and optimizing quality control processes.

The adoption of rigorous quality control practices is driven by the need to maintain competitiveness in the market, ensuring not only efficiency but also the consistency of products. An effective measurement system enables rapid and accurate measurements, providing instantaneous data that can be analyzed for immediate adjustments in production processes.

The document's structure is organized into chapters that cover the analysis of the state of the art, the characterization of the company, the inspection processes, and the improvements implemented, culminating in conclusions and recommendations for future investigations.

Keywords: [Control; Quality; Precision; Efficiency; Production]

Lista de Símbolos

\bar{R}	Amplitude média	\bar{R}
°	Ângulo	°
95%	Cálculo de incerteza com grau de confiança	95%
CV	Coeficiente de variação	CV
L	Comprimento (milímetros)	L
S	Desvio padrão	S
\emptyset	Diâmetro	\emptyset
k	Fator (Medida de confiabilidade)	k
$U(y)$	Incerteza combinada (Tipo B)	$U(y)$
u	Incerteza Tipo A	u
$u(y)$	Incerteza Tipo B	$u(y)$
LIC_R	Linha Inferior de Controlo	LIC_R
LSC_R	Linha Superior de Controlo	LSC_R
$\bar{\bar{R}}$	Média das médias da amplitude	$\bar{\bar{R}}$
\bar{X}	Média da variável X	\bar{X}
r	Medições em cada amostra	r
μ	Mícrons	μ
n	Número	n
$GR \& R$	Repetibilidade & Reprodutibilidade	$GR \& R$
h	Tempo horas	h
D_3	Tentativas	D_3
D_4	Tentativas	D_4
X_i	Valor individual	X_i
Vp	Variação da peça	Vp
VE	Variação equipamento	VE
VO	Variação de operador	VO

Lista de Acrónimos/Siglas

ANSI	<i>The American National Standards Institute</i>
BIPM	<i>Bureau international des poids et mesures</i>
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CA	Critério de Acreditação
CE	Comissão Europeia
CEN	Comité Europeu da Normalização
CENELEC	Comité Europeu para a Normalização Eletrotécnica
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CQ	Controlo de Qualidade
EA	<i>European co-operation for Accreditation</i>
EMM	Equipamento de Monitorização e Medição
EN	Norma Europeia
ETSI	Instituto Europeu de Normas para as Telecomunicações
IPAC	Instituto Português de Acreditação
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MED	Não Conformidade
MMC	Máquina de Medir por Coordenadas
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NP	Norma Portuguesa
OEN	Organismo Europeu da Normalização
SGQ	Sistemas de gestão da qualidade
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

Índice

Capítulo 1	- 1 -
1 Introdução.....	- 3 -
1.1 Enquadramento.....	- 3 -
1.2 Motivação.....	- 4 -
1.3 Objetivo.....	- 4 -
1.4 Estrutura do Documento.....	- 5 -
Capítulo 2	- 7 -
2 Estado da Arte.....	- 9 -
2.1 Generalidades e conceitos de base.....	- 9 -
2.1.1 Metrologia.....	- 9 -
2.1.2 Subsistema da Metrologia	- 10 -
2.1.2.1 Metrologia Científica	- 11 -
2.1.2.2 Metrologia Industrial.....	- 11 -
2.1.2.3 Metrologia Legal	- 12 -
2.2 Vocabulário Internacional	- 12 -
2.3 Organismo e regulamentação	- 13 -
2.4 Desenvolvimento de sistemas em Metrologia.....	- 15 -
2.4.1 Tecnologias aplicadas	- 15 -
2.4.1.1 MMC Ótica.....	- 15 -
2.4.1.2 Fotogrametria	- 17 -
2.4.1.3 Tomografia ótica	- 18 -
Capítulo 3	- 21 -
3 Caracterização da empresa	- 23 -
3.1 Apresentação da Empresa	- 23 -
3.1.1 Visão, missão, valores e objetivos.....	- 23 -
3.1.2 Cadeia de Valor da Empresa.....	- 25 -
3.2 Formulação da Estratégia	- 25 -
3.3 Descrição da inovação que a empresa introduziu no mercado.....	- 27 -
Capítulo 4	- 31 -

4	Procedimento	- 33 -
4.1	Controlo no Procedimento	- 33 -
4.2	Organização e gestão do Procedimento	- 35 -
4.2.1	Organização dos artigos	- 35 -
4.2.2	Organização dos Equipamentos de Monitorização	- 36 -
4.2.3	Registo dos valores	- 40 -
4.3	Diagnóstico	- 41 -
4.3.1	Proposta de Melhoria	- 42 -
Capítulo 5		- 45 -
5	Projeto de Melhoria	- 47 -
5.1	Planeamento	- 47 -
5.2	Recursos	- 48 -
5.3	Desenvolvimento	- 53 -
5.3.1	Método de Controlo S2	- 56 -
5.3.2	Programação	- 59 -
5.3.3	Organização dos Programas	- 64 -
5.3.4	Gestão do EMM Sistema Ótico	- 67 -
5.4	Implementação	- 68 -
5.4.1	Etapas da Implementação	- 69 -
5.4.2	Instrução de trabalho	- 70 -
5.4.3	Acessórios de apoio a medição	- 72 -
5.4.4	Execução dos ensaios	- 75 -
5.4.5	Estatística	- 76 -
5.4.6	Incerteza	- 80 -
5.4.6.1	Conceitos	- 80 -
5.4.6.2	Parafuso para Cálculos de Incerteza	- 81 -
5.4.6.3	Precisão	- 82 -
5.4.6.4	Exatidão	- 82 -
5.4.6.5	Repetibilidade	- 84 -
5.4.6.6	Incerteza Tipo A	- 86 -
5.4.6.7	Incerteza Tipo B	- 87 -
5.4.6.8	Linearidade	- 92 -
5.4.6.9	Medição por variáveis	- 92 -

5.4.6.10	Análise de Resultados	- 95 -
Capítulo 6	- 97 -
6	Conclusões & Desenvolvimentos futuros	- 99 -
6.1	Conclusões	- 99 -
6.2	Desenvolvimentos futuros	- 100 -
Referências bibliográficas	- 101 -
APÊNDICES	- 103 -
Apêndice 1	QVReport_Cabeça	- 103 -
Apêndice 2	QVReport_Corpo	- 105 -
Apêndice 3	Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de fabrico	- 108 -
Apêndice 4	Barra de Ferramentas do Software.....	- 110 -
ANEXOS	- 112 -
Anexo 1	Certificado do Sistema - 02/148/2022.....	- 112 -
Anexo 2	Certificado do Sistema – Ensaio verificação eixo ZZ	- 116 -

Índice de Tabelas

Tabela 4-1 – Tipos de família de equipamentos de controlo.	- 38 -
Tabela 5-1 – Equipamentos utilizados em S2	- 56 -
Tabela 5-2 – Programas de Controlo para a corpo do Parafuso 15.14.07.YYXXX..	- 65 -
Tabela 5-3 – Programas de Controlo para a cabeça do Parafuso 15.14.07.YYXXX. -	65 -
-	
Tabela 5-4 – Programas de Controlo para a corpo do Parafuso 15.04.07.YYXXX..	- 66 -
Tabela 5-5 – Programas de Controlo para a cabeça do Parafuso 15.04.07.YYXXX. -	67 -
-	
Tabela 5-6 – Equipamentos utilizados em S1.	- 74 -
Tabela 5-7 – Desvio Padrão.	- 76 -
Tabela 5-8 – Erro.	- 77 -
Tabela 5-9 – Amplitude.	- 78 -
Tabela 5-10 – Linha de Tempo.	- 79 -
Tabela 5-11 – Coeficiente de variação.	- 82 -
Tabela 5-12 – Cálculo da Exatidão segundo as expressões do fabricante.	- 84 -
Tabela 5-13 – Valores obtidos pelo Inspetor A.	- 85 -
Tabela 5-14 – Valores obtidos pelo Inspetor B.	- 85 -
Tabela 5-15 – Valores obtidos pelo Inspetor C.	- 86 -
Tabela 5-16 – Cálculo da incerteza Tipo B Linear.	- 88 -
Tabela 5-17 – t - Student	- 89 -
Tabela 5-18 – Valores obtidos para cálculo desvio padrão da média.	- 89 -
Tabela 5-19 – Cálculo da incerteza Tipo B Angular.	- 90 -
Tabela 5-20 – Quadro resumo	- 91 -
Tabela 5-21 – Média dos valores obtidos pelos Inspetores.	- 92 -
Tabela 5-22 – Fatores K_1	- 93 -
Tabela 5-23 – Fatores K_2	- 93 -
Tabela 5-24 – Fatores K_3	- 94 -

Índice de Figuras

Figura 2-1 - Ilustração da dimensão referente a uma polegada [1].	- 10 -
Figura 2-2 – MMC ótica [6].	- 16 -
Figura 2-3 – Régua traçada em vidro de cristal.	- 17 -
Figura 2-4 – Fotogrametria [7].	- 18 -
Figura 2-5 - Tomografia ótica [10].	- 19 -
Figura 3-1 – Stand da Astrolabe [11].	- 27 -
Figura 3-2 – Gamas de produtos [11].	- 28 -
Figura 3-3 – Organograma departamentos.	- 30 -
Figura 3-4 – Organograma departamentos interações.	- 30 -
Figura 4-1 – Esquema da receção e inspeção do produto semiacabado.	- 34 -
Figura 4-2 – Esquema da Ordem de Fabrico.	- 34 -
Figura 4-3 – Organização dos artigos [16].	- 35 -
Figura 4-4 – Esquema de medição do Artigo 15.14.07.19XXX [16].	- 36 -
Figura 4-5 – Grelha de registo de valores [16].	- 37 -
Figura 4-6 – Registo manual de Medições [17].	- 41 -
Figura 4-7- Fatores que influenciam no processo de medição [14].	- 42 -
Figura 5-1- Ciclo (Desenvolvimento da Mariz Excel, Programação, Ensaios e Validação).	- 47 -
Figura 5-2 - Quick Vision Pro [15].	- 48 -
Figura 5-3 – Especificações Quick Vision Pro [15].	- 49 -
Figura 5-4 - Ambiente de trabalho do software QVPAK.	- 50 -
Figura 5-5 - Editor do QVBasic.	- 51 -
Figura 5-6 - Editor do QVEasyEditor.	- 52 -
Figura 5-7 – Ambiente de trabalho software QVPAK com registos.	- 53 -
Figura 5-8 – Fluxograma de Sistema/Controlo.	- 55 -
Figura 5-9 – Dimensões.	- 57 -
Figura 5-10 – Etapas e repetição de matriz.	- 58 -
Figura 5-11 – Etapas e repetição de matriz completa.	- 59 -
Figura 5-12 – Suporte 1 Quick Vision Pro.	- 60 -
Figura 5-13 – Utilização de ferramenta.	- 61 -
Figura 5-14 – Alinhamento Padrão.	- 62 -
Figura 5-15 – Medição Cota $\varnothing A$ e Cota $\varnothing F$.	- 63 -
Figura 5-16 – Medição Cota G.	- 64 -

Figura 5-17 – Arranque do Sistema.	- 70 -
Figura 5-18 – Passos do Programa de controlo.	- 72 -
Figura 5-19 – Suporte – Medição da Cabeça dos Parafusos Cross – Método S1...-	73 -
Figura 5-20 – Suporte – Medição do Corpo dos Parafusos Cross – Método S1.....-	73 -
Figura 5-21 – Suporte 1 Quick Vision Pro – Método S2.	- 74 -
Figura 5-22 – Registo de Valores Método S1 na fase de ensaio.....-	75 -
Figura 5-23 – Registo de Valores Método S2 na fase de ensaio.....-	76 -
Figura 5-24 – Linha de Tempo S1.....-	78 -
Figura 5-25 – Linha de Tempo S2.....-	79 -

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo tem como objetivo contextualizar o desenvolvimento do estudo, destacando os principais conteúdos e razões que motivaram a escolha deste tema. Através de uma análise detalhada, serão apresentados os fundamentos e as motivações que deram origem à pesquisa, permitindo compreender o contexto e a relevância do tema em questão. Além disso, é apresentado o objetivo do trabalho, delineando as metas a serem alcançadas com esta investigação e proporcionando uma visão clara sobre a finalidade e as contribuições esperadas a partir dos resultados.

Adicionalmente, o capítulo faz uma referência à organização e estruturação do documento, explicando, de forma clara e objetiva, como os temas são abordados ao longo do trabalho. Esta explicação inclui uma visão geral da disposição dos capítulos, bem como a abordagem metodológica adotada. Pretende-se proporcionar ao leitor uma visão estruturada do desenvolvimento do estudo, facilitando a compreensão do fluxo e da lógica do trabalho, e assegurando que a narrativa e a análise sejam seguidas de forma coerente e articulada.

1 Introdução

A qualidade é essencial na indústria moderna para garantir resultados consistentes. Ferramentas informáticas são cruciais na gestão de equipamentos automáticos, melhorando a precisão e minimizando erros humanos. Procedimentos definidos e tecnologias avançadas aumentam a repetibilidade e eficiência dos processos. Sistemas automatizados, adaptados às necessidades do setor, integram software matemático e interfaces gráficas, assegurando operações eficientes. Além disso, a monitorização em tempo real e a formação contínua dos operadores garantem altos padrões de qualidade e promovem uma cultura de melhoria contínua e inovadora.

1.1 Enquadramento

O controlo de qualidade tornou-se uma prática indispensável na indústria moderna, onde a garantia da fiabilidade dos resultados dos produtos exige um rigor crescente. Para alcançar este nível de precisão, as ferramentas informáticas desempenham um papel crucial, especialmente na gestão de equipamentos semiautomáticos e automáticos utilizados na recolha de dados de produtos durante os processos produtivos.

A implementação de procedimentos bem definidos visa minimizar, na maior medida possível, o impacto do erro humano. A utilização de equipamentos avançados, associados a interfaces de software, permite obter resultados mais fiáveis e melhorar a repetibilidade dos processos, que é o grau de concordância entre resultados sucessivos. Em comparação com os processos manuais, esses sistemas oferecem uma maior consistência e precisão.

O objetivo destes sistemas é controlar e quantificar as medições de forma mais eficaz, prevenindo erros e proporcionando uma eficiência superior. A resposta rápida e o custo reduzido são aspetos adicionais que os tornam atraentes para a indústria. A arquitetura destes sistemas é adaptada às necessidades específicas do setor, integrando software baseado em modelos matemáticos e interfaces gráficas que garantem uma operação eficiente e uma resposta ágil.

Além disso, os custos periódicos de calibração e manutenção são ajustados conforme as exigências do mercado, assegurando que os equipamentos mantenham um desempenho ótimo ao longo do tempo. Este enfoque na tecnologia e na gestão eficiente dos processos contribui significativamente para a melhoria contínua da qualidade e da competitividade industrial.

A integração de sistemas de controlo de qualidade automatizados também permite uma monitorização em tempo real, proporcionando dados instantâneos que podem ser

analisados para ajustes imediatos nos processos produtivos. Esta capacidade de resposta rápida é essencial para a manutenção de altos padrões de qualidade e para a adaptação às variações nas condições de produção.

Além disso, a formação contínua dos operadores e técnicos responsáveis pela gestão destes sistemas é fundamental. A atualização constante das competências profissionais garante que a equipa esteja sempre preparada para lidar com as novas tecnologias e metodologias, promovendo uma cultura de melhoria contínua e inovação.

1.2 Motivação

Com o aumento da produtividade, e a necessidade contínua de manter a competitividade no mercado tem impulsionado a indústria a adotar práticas rigorosas de controlo de qualidade, não apenas para os produtos, mas também para a gestão organizacional. Essas práticas abrangem o controlo dos processos organizacionais, incluindo a gestão de informações e finanças, e visam assegurar a eficiência em todos os níveis da operação.

Quando bem executadas, essas práticas proporcionam benefícios significativos, tais como a consistência dos produtos, o aumento da produtividade e uma melhoria no desempenho financeiro da empresa.

Além de serem amplamente valorizadas no mercado, essas ações de controlo de qualidade são fundamentais para otimizar todos os aspetos dos processos produtivos e de gestão. Elas garantem que as operações sejam realizadas de forma eficiente, resultando em produtos e serviços de maior qualidade, maior satisfação do cliente e uma posição competitiva mais sólida no mercado.

A adoção de práticas de controlo de qualidade também promove uma cultura de melhoria contínua dentro da organização. Isso envolve a formação constante dos colaboradores, a atualização de tecnologias e a revisão periódica dos processos para identificar e corrigir possíveis falhas. Com isso, a empresa não só se adapta rapidamente às mudanças do mercado, mas também se antecipa às necessidades dos clientes, oferecendo soluções inovadoras e de alta qualidade.

1.3 Objetivo

O principal objetivo do presente estudo consiste em desenvolver e implementar etapas de controlo de artigos utilizando um sistema ótico de medição na empresa Astrolabe – Fabricação de Implantes Médicos, Lda. Este desenvolvimento visa proporcionar uma solução eficaz para acompanhar o aumento da produção, enquanto reduz a

probabilidade de erros associados ao fator humano. Pretende-se criar uma ferramenta de controlo de qualidade que seja não apenas eficaz na deteção e correção de falhas, mas também de fácil utilização.

Esta abordagem pretende melhorar a consistência e a exatidão dos processos produtivos da empresa, garantindo uma gestão mais eficiente da qualidade e minimizando as intervenções manuais que podem levar a erros. Ao integrar um sistema ótico de medição, espera-se aumentar a fiabilidade dos resultados, otimizar os processos de produção e assegurar que os produtos finais atendam aos mais altos padrões de qualidade.

Além disso, a implementação de um sistema automatizado de controlo de qualidade pode proporcionar benefícios adicionais, como a redução de custos operacionais e o aumento da produtividade. A capacidade de realizar medições precisas e consistentes de forma rápida e eficiente permite que a empresa responda mais prontamente ao mercado, mantendo-se competitiva e inovadora.

1.4 Estrutura do Documento

No primeiro capítulo, é realizado um enquadramento da estrutura do projeto, incluindo técnicas e abordagens para o desenvolvimento de mecanismos. São descritos o enquadramento do projeto, a motivação e o objeto de estudo que fundamentam a realização desta dissertação.

No segundo capítulo, é estruturado o estado da arte por meio de uma pesquisa aprofundada. Este levantamento da literatura permitiu apresentar e contextualizar a tecnologia atual existente, fornecendo uma base sólida para compreender as inovações e soluções disponíveis no mercado, que são relevantes para o desenvolvimento do estudo. Através desta análise, procura-se explorar as ferramentas mais modernas e eficazes no campo, contribuindo para uma melhor compreensão do cenário tecnológico em que o trabalho se insere.

No terceiro capítulo, é elaborada a caracterização da empresa, com base numa pesquisa detalhada que inclui folhetos anteriormente publicados, documentos relativos à política de qualidade, bem como informações recolhidas nas redes sociais e na página oficial da empresa. Este levantamento permite apresentar uma visão abrangente da organização, proporcionando uma compreensão clara dos seus valores, práticas e posição no mercado, elementos fundamentais para enquadrar o estudo no contexto específico da empresa e na sua realidade organizacional.

No quarto capítulo, são apresentados os processos de inspeção e receção de produtos semiacabados e a ordem de fabrico, com especial ênfase na etapa do controlo

dimensional durante a execução da ordem de fabrico. Esta etapa assume um papel crucial na garantia da conformidade dos produtos com os padrões de qualidade exigidos, assegurando que cada componente respeite as especificações dimensionais estabelecidas. O controlo dimensional é destacado como um dos principais mecanismos para evitar desvios no processo produtivo, reforçando a precisão e a consistência dos resultados finais.

No procedimento manual, os operadores realizam medições e verificações utilizando instrumentos convencionais, como paquímetros e micrómetros, assegurando que cada artigo respeite as especificações dimensionais estabelecidas.

Por outro lado, no procedimento automático, o controlo dimensional é efetuado por sistema automatizado que integram tecnologia de medição avançada, proporcionando uma análise em tempo real e de alta precisão. Este método reduz significativamente a possibilidade de erro humano e assegura uma monitorização contínua.

Em ambos os casos, o controlo dimensional é destacado como um dos principais mecanismos para evitar desvios no processo produtivo, garantindo que os produtos finais estejam em conformidade com as especificações previamente definidas.

No quinto capítulo, é apresentado o projeto de melhoria, cujo objetivo principal é a implementação e otimização de um sistema de medição ótica de alta precisão. Este sistema visa aprimorar os processos de controlo metrológico na empresa, com um foco especial no aumento da eficiência e na redução do tempo necessário para o controlo de artigos, enquanto assegura a exatidão e fiabilidade das medições. O projeto centra-se no desenvolvimento de um método de controlo eficaz, aliado à integração de novas tecnologias, com o intuito de elevar os padrões de qualidade existentes. A implementação desta solução tecnológica não procura apenas otimizar a eficiência operacional, mas também reduzir erros e desperdícios, garantindo que os artigos estejam em conformidade com os rigorosos critérios de qualidade exigidos. O capítulo detalha as várias fases do planeamento, os recursos necessários, o desenvolvimento técnico e os processos de implementação, sublinhando a importância de um controlo metrológico preciso e rigoroso nas operações da empresa.

No sexto e último capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros, com base nos resultados obtidos ao longo da dissertação. Este capítulo sintetiza as principais descobertas do estudo, destacando as implicações dos resultados e a sua relevância para a área de investigação. Além disso, oferece orientações e sugestões para futuras investigações, identificando áreas que podem beneficiar de exploração adicional e propondo melhorias ou novas abordagens para continuar a desenvolver e a refinar o conhecimento na área estudada.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo, apresenta-se o estado atual do conhecimento sobre a temática em estudo, com base na literatura disponível. Inicia-se com uma análise das generalidades e dos conceitos fundamentais referentes aos organismos reguladores e às regulamentações pertinentes. Destaca-se a importância da conformidade com as normas estabelecidas por organismos de acreditação, como o Instituto Português de Acreditação (IPAC), que garante que os processos e práticas respeitem os requisitos técnicos e normativos.

Além disso, explora-se o subsistema da metrologia, que abrange a ciência da medição e suas diversas aplicações. O capítulo inclui uma análise dos princípios metroológicos, das técnicas de medição utilizadas atualmente e dos desafios associados à precisão e à confiabilidade das medições. A Metrologia é crucial para assegurar a exatidão e a consistência nos processos de medição, e a conformidade com os padrões regulatórios é fundamental para garantir a validade dos resultados obtidos. Este capítulo proporciona uma base sólida para compreender como as normas e regulamentações influenciam as práticas metroológicas e contribuem para a qualidade e integridade dos processos de medição.

2 Estado da Arte

A Metrologia é a ciência da medição, abrangendo aspectos teóricos e práticos relacionados com a precisão, reprodução e conservação das unidades de medida. Essencial para a padronização e fiabilidade das medições, a Metrologia influencia diversos setores, desde o comércio à investigação científica. A sua aplicação garante a qualidade e consistência dos produtos e serviços, contribuindo para o desenvolvimento económico e tecnológico.

2.1 Generalidades e conceitos de base

2.1.1 Metrologia

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspetos, tanto teóricos como práticos, relacionados com a medição. Para além deste conceito, a Metrologia pode ser definida, de forma simples, como "o domínio do conhecimento relativo à medição" ou "a ciência e a arte de fazer medições". Esta ciência abrange vários domínios, incluindo as unidades de medida e suas unidades-padrão, com foco na sua criação, reprodução, conservação e transmissão. Adicionalmente, a Metrologia preocupa-se com a precisão e incerteza das medições, bem como com as características dos equipamentos de medição.

A medição é um dos métodos mais antigos utilizados nas trocas comerciais. Desde os primórdios da civilização, houve a necessidade de inventar unidades de medida para realizar trocas de forma justa entre as partes intervenientes. Os métodos utilizados eram simples e de fácil utilização, baseados em partes do corpo humano, consideradas referências universais, pois podiam ser verificadas por qualquer pessoa. Foi desta forma que surgiram algumas das medidas-padrão que se conhecem hoje, como a polegada, ilustrada na Figura 2-1.

A evolução da Metrologia tem sido crucial para o avanço científico e tecnológico, permitindo uma padronização e precisão cada vez maiores nas medições, fundamentais para a investigação e desenvolvimento em diversas áreas do conhecimento. Esta padronização das medições é essencial para a comparabilidade e replicabilidade dos resultados científicos, bem como para o desenvolvimento de novas tecnologias e processos industriais. Assim, a Metrologia não só facilita as atividades comerciais e científicas, mas também contribui para a melhoria da qualidade de vida, ao assegurar que os produtos e serviços atendam a padrões rigorosos de qualidade e segurança [1].



Figura 2-1 - Ilustração da dimensão referente a uma polegada [1].

Dada a sua importância para as transações comerciais e para o desenvolvimento de um país, os governantes manifestaram interesse pelos Pesos e Medidas, que por esse motivo, sempre estiveram sob jurisdição do Estado. À medida que o Estado se definia e consolidava, progressiva e extensivamente, os pesos e medidas eram estabelecidos como Padrões. Esses Padrões eram fundamentais para a determinação dos impostos sobre a produção e o comércio de mercadorias.

Com a consolidação dos Estados a nível nacional e internacional, surgiu a necessidade da uniformização dos Padrões. Assim, a mesma unidade tem o mesmo valor em qualquer ponto, tanto a nível nacional quanto internacional.

Durante a Revolução Francesa no século XVIII, testemunhou-se a padronização e o nascimento do Sistema Métrico Decimal, baseado precisamente na unidade de medida. Esse sistema fundamenta-se nos princípios da universalidade e simplicidade. A universalidade decorre do seu uso em atividades científicas e técnicas em todo o país, enquanto a simplicidade advém do fato de ser baseado em uma única unidade. Todas as outras unidades se relacionam com ela por meio de relações simples para múltiplos e exclusivamente decimais para submúltiplos. Esse sistema influenciou o desenvolvimento da Metrologia tanto a nível nacional quanto mundial [1].

2.1.2 Subsistema da Metrologia

A Metrologia é um serviço laboratorial e regulamentar, em que os domínios ou atribuições principais são:

- Metrologia Científica;
- Metrologia Industrial;
- Metrologia Legal;

Cada domínio tem objetivos e atuações diferentes. No entanto, estes encontram-se interligados no que respeita a Padrões, Processos de Ensaio e Condições Laboratoriais [1].

2.1.2.1 Metrologia Científica

A Metrologia Científica é da responsabilidade do Instituto Português da Qualidade (IPQ), o qual intervém através da Direção de Serviços de Metrologia, e tem como responsabilidade:

- A realização e manutenção dos padrões nacionais;
- Participação nas comparações-chave do *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM);
- Rastreabilidade dos padrões de referência;
- Calibração de padrões e instrumentos de medição;
- Organização de comparações Interlaboratorial;
- Participação no Sistema de acreditação nacional;

O laboratório central do IPQ é o responsável pela realização dos padrões nacionais das unidades de medida, pela rastreabilidade aos padrões de referência existentes no país, por realizar ensaios de controlo Metrológico e por apoiar tecnicamente a Metrologia Legal, na realização de comparações internacionais e nacionais. O Laboratório Central de Metrologia engloba vários domínios de atividade, para assim ser uma referência para laboratórios que estão inseridos na metrologia industrial e legal [1][2].

2.1.2.2 Metrologia Industrial

A metrologia industrial consiste em laboratórios acreditados ou certificados, que operam na área da Metrologia Industrial. Esses laboratórios têm como principais objetivos:

- Apoiar às atividades de controlo de processo e de produto, recorrendo para isso a cadeias hierarquizadas de padrões;
- Definir os Sistemas de Calibração e de Ensaios;

A Metrologia Industrial deve respeitar:

- Domínio da Metrologia aplicada: Comprimento, massa, tempo, etc.;
- Nível de atuação classes de incerteza: Incerteza Tipo A e Tipo B;
- Tipo de atividade a desenvolver: Aplicação de métodos de calibração a produtos, controlo de processo, ensaios, etc.;
- Manual de Procedimento: Elaboração de procedimentos, métodos de calibração, frequentemente baseada numa norma.

As diferenças entre certificação e acreditação residem tanto nos objetivos quanto nas normas que cada uma utiliza. A certificação, especificamente de sistemas de gestão, é uma atividade de avaliação da conformidade que visa demonstrar que a entidade tem um sistema de gestão credível e eficaz. A acreditação reconhece a competência da entidade para executar determinadas atividades cumprindo requisitos, técnicos e ainda de sistema de gestão de modo a garantir a fiabilidade dos resultados dessa atividade [1][3].

2.1.2.3 Metrologia Legal

O serviço de Metrologia do IPQ supervisiona as atividades regulamentares de Metrologia Legal e coordena as entidades que são responsáveis pelo controlo metrológico, de instrumentos de medição, com o objetivo de defesa do consumidor e de proporcionar à sociedade, a garantia do rigor das medições efetuadas, tendo como objetivos:

Elaboração de legislação;

Acompanhar as diretivas da união europeia;

- Coordenar o controlo metrológico dos instrumentos de medição regulamentos;
- Reconhecer a qualificação de organismo de verificação metrológica;
- Realizar ensaios de aprovação e verificações metrológicas;
- Formar técnicos de Metrologia na área de controlo metrológico legal;

Além destas funções, o serviço de metrologia do IPQ assume um papel central na promoção da confiança nas medições e na sua uniformização, contribuindo para o desenvolvimento económico, científico e tecnológico do país, ao assegurar que todos os instrumentos de medição utilizados no mercado cumprem rigorosamente as normas estabelecidas [1][2].

2.2 Vocabulário Internacional

Devido à necessidade de uniformização e normalização na área da Metrologia, houve a necessidade da criação do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), conhecido em inglês como *International Vocabulary of Metrology*. Este vocabulário é atualmente adotado por uma grande quantidade de países a nível mundial, devido à sua importância. O VIM fornece definições abrangentes dos conceitos fundamentais e gerais universalmente utilizados na metrologia, bem como dos termos técnicos associados. A sua implementação visa garantir uma compreensão consistente e uniforme dos

princípios metrológicos, facilitando a comunicação e a cooperação entre profissionais e instituições internacionais. Assim, o Vocabulário Internacional de Metrologia desempenha um papel essencial na promoção da precisão e integridade das medições a nível global [1][4].

2.3 Organismo e regulamentação

O IPQ é a entidade responsável a nível nacional, pela coordenação, gestão geral e desenvolvimento do Sistema Português da Qualidade, bem como de outros sistemas de qualificação no domínio regulamentar que lhe sejam conferidos por lei.

É da responsabilidade do IPQ a aprovação, disponibilização e gestão do programa de normalização. A normalização tem como objetivo estabelecer soluções, por consenso das partes interessadas, tornando-se uma ferramenta poderosa na autodisciplina dos agentes ativos dos mercados ao simplificar os assuntos.

Norma é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, linhas, diretrizes ou características para as atividades ou para os seus resultados, garantido um nível de ordem ótimo num dado contexto.

Estes tipos de documentos podem ser utilizados em processos de ordem diversa, tais como em legislações, na acreditação, na certificação, na Metrologia, nas informações técnicas.

A designação das normas é composta por um prefixo alfabético seguido de um código numérico. As Normas Portuguesas, exclusivamente nacionais, têm o prefixo NP seguido de um número. Quando a norma europeia é adotada designa-se por NP EN seguida de um código. A designação NP EN ISO, significa que se trata da adoção de uma Norma Europeia que, por sua vez, resultou da adoção de uma Norma Internacional ISO.

Os organismos Europeus da Normalização (OEN), são os responsáveis pelo desenvolvimento das Normas Europeias:

- CEN – Comité Europeu da Normalização: Ocupa-se de todos os sectores, com exceção da eletrotécnica e telecomunicações;
- CENELEC - Comité Europeu para a Normalização Eletrotécnica: Ocupa-se do sector da eletrotécnica;
- ETSI – Instituto Europeu de Normas para as Telecomunicações: Ocupa-se do setor das telecomunicações e de alguns aspetos relacionados com a radiodifusão;

As EN são de grande importância por contribuírem significativamente para a construção do mercado único europeu, através da harmonização e uniformização de regras.

São exemplos de organismos internacionais de normalização os:

- ANSI – *The American National Standards Institute*;
- NIST – *National Institute of Standards and Technology*;
- ISO – Organização Internacional de Normalização;

A implementação eficaz das normas desempenha um papel crucial na melhoria da qualidade e competitividade das organizações, permitindo-lhes cumprir os requisitos regulamentares, promover a inovação, reduzir custos e facilitar o acesso a mercados internacionais, contribuindo assim para o fortalecimento da economia nacional e global [1].

No contexto da acreditação o Instituto Português de Acreditação (IPAC) desempenha um papel essencial no sistema de acreditação em Portugal, sendo o organismo nacional designado para assegurar a conformidade com o Regulamento (CE) n.º 765/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de julho de 2008. Este regulamento estabelece os requisitos para a acreditação e a fiscalização do mercado no que se refere à comercialização de produtos, garantindo que todos os produtos no mercado da União Europeia cumpram os mais elevados padrões de saúde, segurança e proteção ambiental.

A designação do IPAC como organismo responsável por estas funções foi notificada pelo Governo Português à Comissão Europeia (CE) e à *European co-operation for Accreditation* (EA), em conformidade com as disposições do regulamento. Esta notificação reforça a responsabilidade do IPAC em avaliar e acreditar organismos de certificação, inspeção e laboratórios em Portugal, assegurando que operam de acordo com normas internacionais reconhecidas e que as suas práticas são competentes e imparciais.

Além disso, o IPAC garante a participação de Portugal no sistema de reconhecimento mútuo estabelecido pelo regulamento, facilitando a aceitação, em toda a União Europeia, dos produtos e serviços certificados ou acreditados em Portugal. Este sistema de reconhecimento é crucial para a integração de Portugal no mercado interno europeu, promovendo a confiança e a competitividade dos produtos nacionais.

No cumprimento das suas funções, o IPAC também monitoriza e supervisiona continuamente as atividades dos organismos acreditados, assegurando que mantêm a conformidade com os requisitos estabelecidos e que as avaliações de conformidade realizadas são rigorosas e fiáveis. Deste modo, o IPAC contribui significativamente para

a segurança, qualidade e sustentabilidade dos produtos e serviços no mercado português e europeu, alinhando-se com os objetivos estratégicos do Regulamento CE n.º 765/2008 [5].

2.4 Desenvolvimento de sistemas em Metrologia

A aplicação destes sistemas permite uma avaliação minuciosa das características geométricas dos produtos e processos, contribuindo significativamente para a precisão no fabrico e no desenvolvimento de novas tecnologias. A integração dos sistemas CNC (Controlo Numérico Computorizado) com outras metodologias metrológicas e de análise permite um avanço contínuo na qualidade e eficiência dos processos industriais e científicos [1].

2.4.1 Tecnologias aplicadas

Os sistemas de Medição por Coordenadas Óticas (MMC) representam uma tecnologia avançada no domínio da metrologia, empregando princípios óticos para realizar medições tridimensionais com elevada precisão e resolução. Estes sistemas utilizam técnicas avançadas de captura e análise de imagens para determinar as dimensões e a geometria dos objetos, proporcionando um método não invasivo e de alta exatidão para a avaliação de características geométricas complexas.

Na prática, os sistemas máquina de medição por coordenadas (MMC) óticos são amplamente utilizados em áreas como a fabricação de componentes de precisão, engenharia de processos e investigação científica. A sua capacidade de realizar medições detalhadas sem contacto físico com o objeto é particularmente vantajosa, minimizando o risco de alteração ou desgaste das superfícies analisadas. Tecnologias como a fotogrametria e a tomografia ótica são frequentemente empregadas nestes sistemas para garantir a conformidade com especificações rigorosas e para otimizar o controlo de qualidade.

2.4.1.1 MMC Ótica

Na Figura 2-2, ilustra-se a MMC ótica na sua arquitetura. Encontra-se atualmente em funcionamento com réguas traçadas em vidro de cristal e escalas incorporadas nas próprias objetivas, o que permite um grau de precisão muito elevado. Apresentam alta estabilidade dimensional, resistência a mudanças de temperatura e um coeficiente de expansão térmica muito baixo, o que garante medições precisas ao longo do tempo.



Figura 2-2 – MMC ótica [6].

Permite materializar um sistema de coordenadas cartesianas, com o seu movimento manual em CNC. O movimento em CNC sobre os eixos lineares permite uma exata posição sobre a coordenada, o motor acoplado em cada eixo capacita a MMC ótica a operar três coordenadas lineares ortogonais aumentando a eficiência no percurso volumétrico. O deslocamento de uma coordenada para outra é efetuado pelo percurso mais curto, a menos que tenha sido programado para a execução de outro percurso [1][6].

Na Figura 2-3, ilustra-se a régua traçada em vidro de cristal, que possui resistência a vibrações e durabilidade acrescidas. De facto, os seus sistemas são basicamente dois, sistemas optoelectrónicos e uma régua de vidro graduada, em que as divisões podem ser lidas por elementos fotossensíveis quando se desloca. O funcionamento é o mesmo dos encoders incrementais usados na determinação da posição. A codificação é lida pelos sensores e assim é determinada a posição em que se encontra. Este o sistema permite uma precisão de 1/1000 milímetros.

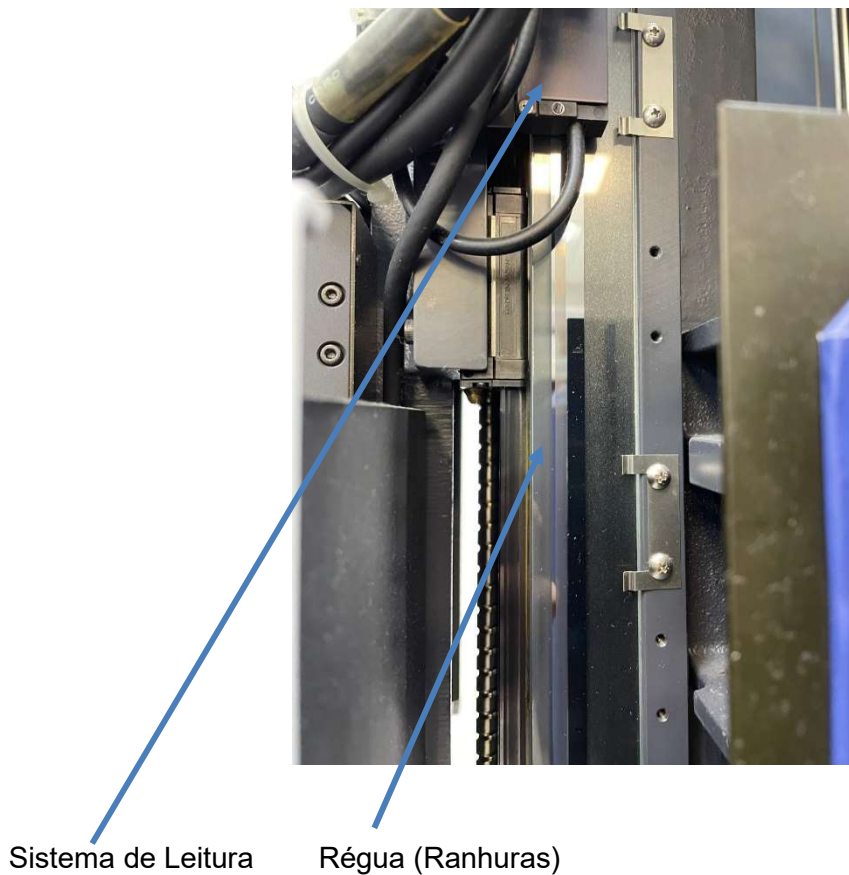


Figura 2-3 – Régua traçada em vidro de cristal.

As escalas incorporadas nas objetivas das MMC óticas permitem medições diretas com alta precisão, integrando-se no sistema ótico da MMC. Isso significa que as medições são realizadas no ponto de captura de imagem, garantindo que haja uma correlação direta entre a imagem obtida e a escala de medida. A principal vantagem desta tecnologia é a eliminação da necessidade de componentes adicionais para realizar as medições. Ao incorporar as escalas diretamente nas objetivas, evita-se o uso de elementos externos que poderiam introduzir erros ou complexidade adicional no sistema. Isso resulta no aumento da eficiência operacional e da precisão das medições. Além destes aspetos, simplificar o design e reduz o tempo e os custos associados à manutenção e calibração do sistema [8].

2.4.1.2 Fotogrametria

A fotogrametria, como ilustrado na Figura 2-4 é uma técnica essencial na metrologia moderna, utilizada para obter medições precisas de objetos tridimensionais a partir de fotografias. Esta técnica emprega câmaras digitais de alta resolução para capturar múltiplas imagens de um objeto a partir de diferentes ângulos. As imagens são processadas com algoritmos de reconstrução a três dimensões (3D), que calculam as

coordenadas espaciais dos pontos na superfície do objeto, criando modelos tridimensionais detalhados e precisos. Uma das principais vantagens da fotogrametria é a sua natureza não invasiva. Ao contrário de métodos tradicionais que requerem contato físico com o objeto, a fotogrametria captura dados sem tocar no objeto, minimizando o risco de danificá-lo. Além disso, a fotogrametria pode ser usada em ambientes desafiadores onde outros métodos de medição seriam impraticáveis. A fotogrametria também é altamente flexível, aplicável a uma vasta gama de tamanhos e formas de objetos, desde pequenas peças de precisão até grandes estruturas arquitetônicas. A capacidade de capturar e analisar dados rapidamente torna a fotogrametria uma ferramenta valiosa para o controle de qualidade em processos de fabricação, permitindo verificar a conformidade com especificações rigorosas de forma eficiente [9].



Figura 2-4 – Fotogrametria [7].

2.4.1.3 Tomografia ótica

A tomografia ótica, como ilustrado na Figura 2-5 é uma técnica avançada utilizada na metrologia para obter imagens tridimensionais detalhadas e precisas de objetos. Esta técnica baseia-se na utilização de princípios óticos, como a interferometria e a coerência ótica, para capturar dados volumétricos do interior de um objeto sem a necessidade de corte ou destruição do mesmo. A tomografia ótica funciona emitindo um feixe de luz coerente que penetra no objeto. À medida que a luz interage com diferentes camadas internas, uma parte é refletida de volta. A análise destas reflexões permite a construção de uma imagem tridimensional do objeto, revelando características internas com elevada resolução.

Uma das principais vantagens da tomografia ótica é a sua capacidade de realizar medições não invasivas e não destrutivas. Isto é especialmente valioso em aplicações onde a integridade do objeto deve ser preservada, como na inspeção de componentes eletrónicos, biomateriais e na investigação científica.

Adicionalmente, a tomografia ótica oferece alta precisão e resolução, sendo capaz de detetar variações microscópicas na estrutura interna dos objetos. Esta capacidade é crucial para o controlo de qualidade em processos de fabricação de alta precisão, onde a conformidade com especificações rigorosas é essencial. A tomografia ótica também é amplamente utilizada na medicina, particularmente em áreas como a oftalmologia e a dermatologia, onde permite a visualização detalhada de tecidos biológicos. A sua capacidade de fornecer imagens tridimensionais detalhadas, ajuda na deteção precoce de patologias e no planeamento de intervenções médicas [10] [24].



Figura 2-5 - Tomografia ótica [10].

Capítulo 3

Caracterização da empresa

Este capítulo tem como objetivo aprofundar a compreensão sobre a Astrolabe, começando pela apresentação detalhada da sua história e evolução ao longo do tempo. Seguir-se uma análise crítica da visão, missão, valores e objetivos da empresa, proporcionando uma visão clara dos princípios e metas que orientam as suas operações. Além disso, é explorada a inovação que a Astrolabe trouxe ao mercado, com uma ênfase especial na sua abordagem pioneira na criação de soluções para os desafios enfrentados na prática médica ortopédica. Este capítulo visa oferecer uma visão abrangente sobre como a empresa se posiciona no setor e como suas inovações têm impactado e transformado a prática médica.

3 Caracterização da empresa

A Astrolabe Medical destaca-se pela sua inovação e qualidade no setor médico, adaptando-se às necessidades dos clientes e reforçando a sua posição no mercado. A empresa foca na melhoria contínua e no crescimento sustentável, assegurando a excelência operacional.

3.1 Apresentação da Empresa

Fundada em Sintra, em 2013, a Astrolabe Medical tem-se destacado como um fabricante europeu especializado no desenvolvimento e fabrico de implantes e instrumentos médicos na área da ortopedia. A empresa obteve a certificação ISO 13485:2016 pelo *British Standards Institution* (BSI), o que assegura a fiabilidade e a excelência das suas gamas de produtos, conforme destacado no site oficial da Astrolabe. Este reconhecimento é fundamental para garantir a confiança e satisfação dos seus clientes, reforçando a competitividade da empresa no mercado médico.

A equipa técnica especializada da Astrolabe, aliada à certificação ISO e a uma abordagem de vendas flexível, contribui significativamente para o crescimento e a credibilidade da empresa, como também é referido no seu site. A combinação de uma equipa diversificada e altamente qualificada com processos certificados coloca a Astrolabe numa posição de destaque no setor, garantindo o cumprimento de elevados padrões de qualidade [11].

3.1.1 Visão, missão, valores e objetivos

A visão da empresa é ser amplamente reconhecida pela excelência no fabrico de implantes ortopédicos e instrumentos cirúrgicos, posicionando-se como uma referência de inovação, qualidade e confiança no setor. A empresa não ambiciona apenas distinguir-se no mercado, mas também contribuir de forma significativa para a constante melhoria da qualidade dos seus produtos.

A missão da Astrolabe, como fabricante de implantes ortopédicos e instrumentos cirúrgicos para a sua aplicação, assume o compromisso de desenvolver e fabricar todos os seus produtos atendendo a todas as exigências dos seus clientes e executando todas as suas atividades cumprindo com todos os requisitos de qualidade estabelecidos no seu sistema de gestão de qualidade.

Para concretizar essa missão e visão, a Astrolabe define uma série de objetivos estratégicos e valores fundamentais que orientam todas as suas decisões e ações diárias. Estes valores e objetivos refletem a dedicação da empresa em garantir a

satisfação dos seus clientes e colaboradores, bem como o seu compromisso com a melhoria contínua e o equilíbrio económico-financeiro.

Os objetivos da Astrolabe são ambiciosos e estão orientados para o crescimento sustentável e a excelência operacional, destacando-se pela capacidade de aumentar a produção e expandir a sua gama de produtos nos próximos anos. Esses objetivos incluem:

- Garantir o equilíbrio económico-financeiro da Astrolabe;
- Satisfazer de forma crescente as necessidades dos seus clientes;
- Cumprir com os requisitos estatutários e regulamentares nacionais, da comunidade europeia e dos países para os quais a Astrolabe vende os seus produtos;
- Garantir a melhoria contínua e a eficácia do Sistema de Gestão da Qualidade;
- Assegurar a formação profissional e completa satisfação dos colaboradores da Astrolabe;

Os valores que são a base da cultura da Astrolabe e que orientam todas as suas ações e decisões são:

- Acreditar, demonstrar confiança na organização, nos seus produtos e/ou serviços e em si mesmo;
- Executar com excelência, tendo a capacidade de realizar corretamente todas as atividades e ter orgulho em fazê-las sempre bem;
- Ter visão periférica, identificar a tarefa imediata e antevendo o quadro geral, além de ter sensibilidade para avaliar o efeito das suas ações em terceiros;
- Ser proactivo, antecipando os problemas e as soluções para os ultrapassar, bem como as oportunidades;
- Ser visionário, desenvolvendo a capacidade de ver mais além dos objetivos e ambições;
- Respeitar, aceitar as diferenças e reconhecendo as qualidades únicas de cada pessoa;
- Trabalhar em equipa, reconhecer que a unidade é sinónimo de força, resolvendo diretamente eventuais diferenças;
- Promover a satisfação dos funcionários, e encarar a qualificação, informação e motivação dos colaboradores como um requisito para o sucesso da empresa;
- Apostar na melhoria contínua e desafiar o estado atual permite desenvolver soluções inovadoras para as tarefas, orientadas para o futuro;

Para consolidar a sua posição no mercado e assegurar um crescimento sustentável, a empresa delineou os seguintes objetivos operacionais a curto-prazo:

- Mudar de instalações até ao final de 2024;
- Aumentar o número de colaboradores para 22 até ao final de 2024;
- Aumentar a produção em 40% até 2025;
- Criar 4 gamas de produtos até ao final de 2026;

A realização destes objetivos permitirá à empresa não apenas melhorar a sua capacidade produtiva e eficiência operacional, mas também fortalecer a sua posição competitiva no mercado e expandir a sua oferta de produtos. Cada um desses objetivos está alinhado com a visão de longo prazo da empresa e contribuirá significativamente para o crescimento sustentável e a inovação contínua [12].

3.1.2 Cadeia de Valor da Empresa

A cadeia de valor da Astrolabe começa com a aquisição de matéria-prima de alta qualidade, seguida pela aplicação do conhecimento e experiência da empresa no fabrico de implantes e instrumentos médicos. A empresa compromete-se com a criação de um ambiente de trabalho saudável e seguro para os colaboradores. Além disso, a Astrolabe foca-se em aumentar a satisfação do cliente, fornecendo produtos de alta qualidade e oferecendo atendimento ao cliente. Paralelamente, a empresa desenvolve internamente dispositivos para otimizar procedimentos operacionais, visando a melhoria contínua do desempenho operacional. A decisão estratégica de estabelecer novas instalações próprias destaca-se como um marco significativo, demonstrando a visão estratégica da Astrolabe e o seu compromisso com a excelência operacional. A manutenção e melhoria das condições dessas novas instalações refletem o cuidado da Astrolabe com um ambiente de trabalho seguro e eficiente, além de representar um investimento na melhoria das infraestruturas, seguindo as diretrizes do BSI.

3.2 Formulação da Estratégia

A formulação estratégica adotada pela Astrolabe combina a liderança pelos custos com um foco específico no nicho de mercado dos implantes médicos, resultando numa vantagem competitiva distintiva. Analisando individualmente as estratégias, verifica-se:

Liderança pelos Custos:

A Astrolabe, destaca-se pelo compromisso com a eficiência operacional e a redução de custos para os clientes. A estratégia da empresa está fundamentada em três pilares essenciais: inovação de produtos, otimização de processos internos e parcerias estratégicas com fornecedores. A procura incessante por inovação reflete-se na conceção de artigos médicos que cumprem com os mais elevados padrões de qualidade, mas também promovem uma considerável redução do tempo necessário em sala de operação. Esta abordagem não só contribui para a melhoria dos serviços médicos, como permite estar alinhado com a penetração de novos mercados, com menor poder de compra. Internamente, a Astrolabe adota uma postura de vanguarda ao implementar dispositivos de auxílio à produção e tecnologias inovadoras. A otimização dos processos internos aumenta a eficiência operacional, o que se traduz em custos mais baixos, permitindo à empresa oferecer preços mais competitivos no mercado. A colaboração estreita com fornecedores, desde o nível de produção até ao desenvolvimento e controlo técnico, representa um dos pontos-chave da estratégia da Astrolabe. Estas parcerias estratégicas não apenas garantem o acesso eficiente a recursos especializados, mas também possibilitam negociações favoráveis, contribuindo para a redução de custos e a manutenção de padrões elevados de qualidade. Ao investir continuamente em técnicas avançadas de desenvolvimento e controlo técnico, a Astrolabe assegura a consistência na qualidade dos seus produtos. Esta abordagem não só atende às exigências rigorosas dos médicos, mas também fortalece a posição da empresa no mercado ao garantir conformidade regulatória.

Foco no nicho de mercado:

A empresa concentra-se num nicho de mercado específico, adaptando os seus produtos às necessidades do cliente, através dos resultados obtidos em ensaios de controlo de qualidade, cadáver lab e em parcerias com fornecedores. Como ilustrado na Figura 3-1 a empresa recorre à participação em feiras da área da ortopedia, com o objetivo de aproximação ao cliente alvo existente, angariação de novos clientes, divulgação da sua gama de produtos, e estabelecimento de parcerias estratégicas que possam contribuir para o crescimento e inovação contínua da empresa. A Astrolabe comercializa os seus produtos através de distribuidores nos seus mercados à exceção de Portugal onde pode fazer venda direta ao consumidor final.

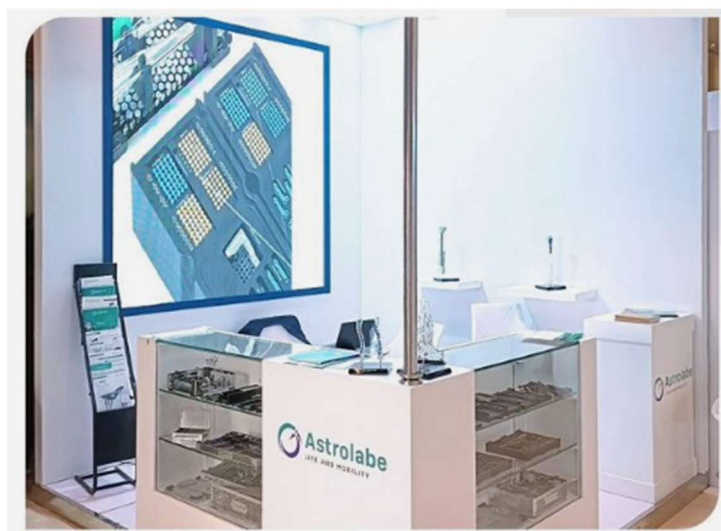


Figura 3-1 – Stand da Astrolabe [11].

3.3 Descrição da inovação que a empresa introduziu no mercado

A Astrolabe destaca-se pela sua abordagem proativa na criação de produtos inovadores, como os ilustrados na Figura 3-2, para a indústria médica ortopédica. Entre os produtos desenvolvidos, destacam-se as placas para correção de deformidades como Hallux Valgus e volar-e, os parafusos corticais, também conhecidos como parafusos cross, são dispositivos fundamentais na ortopedia, utilizados para a fixação de fraturas ósseas e a estabilização de implantes. O seu design, com roscas que se integram ao tecido ósseo, proporciona uma fixação sólida. Fabricados numa liga de titânio, esses parafusos são disponíveis em diversas dimensões, adaptando-se a diferentes tipos de fraturas.

Os Emergency Cortical Screws são uma variante projetada para situações de emergência, oferecendo estabilização rápida e eficaz. Entre as suas vantagens, destacam-se a excelente estabilidade mecânica, a promoção da cicatrização óssea e a redução do risco de complicações. Os parafusos canulados feitos de liga de titânio de alta qualidade, disponíveis em vários diâmetros e comprimentos, os parafusos corticais, as placas intramedulares que minimizam a irritação dos tecidos moles, as placas de compressão para diferentes partes do corpo, como tíbia, fíbula, clavícula e cortical, e os instrumentos cirúrgicos especializados, como reamers côncavos e convexos. Esses produtos são projetados para oferecer máxima resistência e proteção aos tecidos moles, garantindo uma recuperação mais rápida e eficiente para os pacientes.

As cores nos implantes ortopédicos anodizados facilitam a identificação rápida durante a cirurgia, permitindo aos cirurgiões localizar de forma eficiente o local de aplicação e diferenciar entre tipos e tamanhos de implantes ou parafusos. Isto reduz erros e agiliza o procedimento.

Além disso, a anodização cria uma camada de óxido protetora que resiste à corrosão causada pelos fluidos corporais, prolongando a durabilidade do implante e garantindo maior segurança a longo prazo. Assim, as cores cumprem funções práticas essenciais, tanto na aplicação cirúrgica como na conservação do dispositivo.

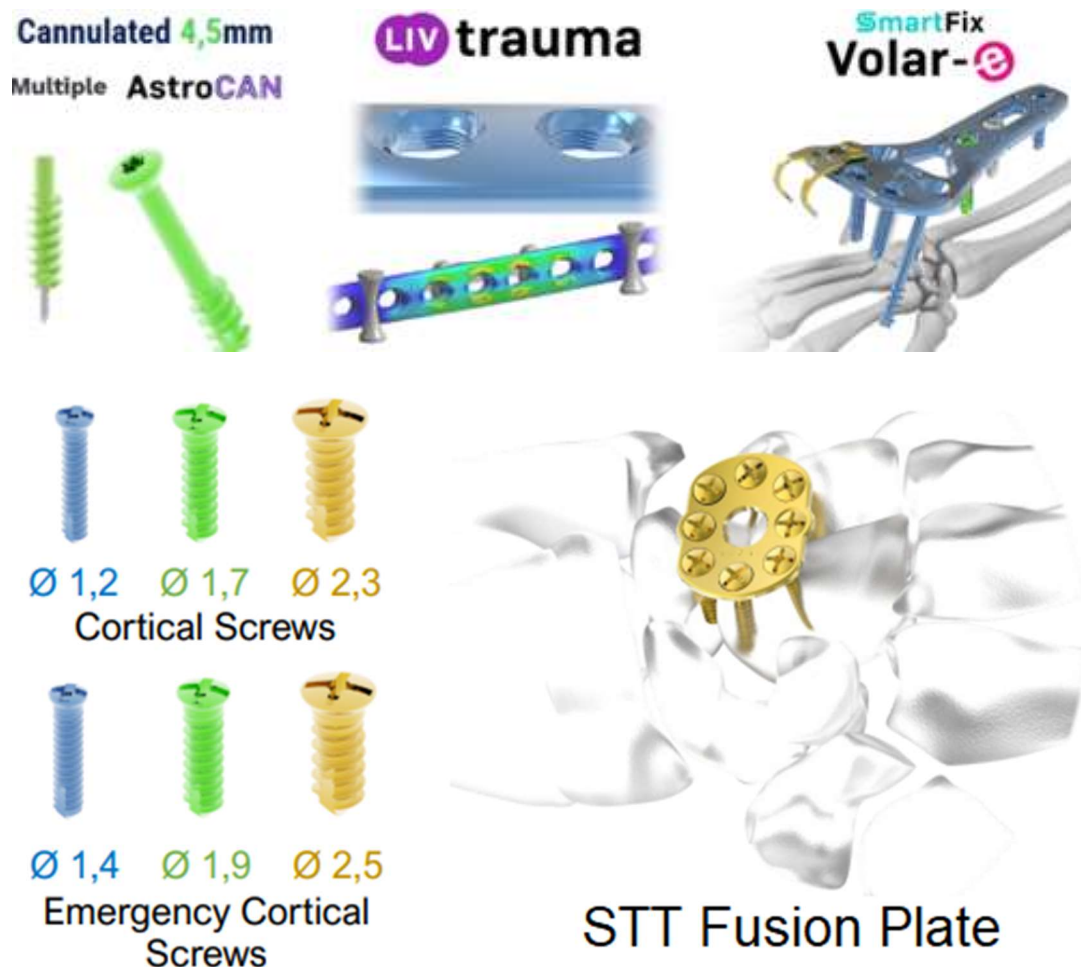


Figura 3-2 – Gamas de produtos [11].

A empresa não se limita à concepção de novos produtos, mas também à inovação por meio da melhoria de produtos já existentes, com o objetivo de aumentar a fiabilidade dos produtos e, primordialmente, reduzir o tempo em sala de operação e, por conseguinte, os custos associados. Esta estratégia inovadora reflete o compromisso da empresa em proporcionar soluções eficientes e economicamente viáveis para os desafios enfrentados na prática. A Astrolabe atua no mercado ortopédico, oferecendo

uma vasta gama de produtos, incluindo implantes ortopédicos, instrumentos cirúrgicos e soluções personalizadas para diferentes tipos de procedimentos médicos. A empresa investe continuamente em pesquisa e desenvolvimento para trazer ao mercado produtos que não só atendam, mas superem as expectativas dos profissionais de saúde. Um dos pilares fundamentais da Astrolabe é o seu laboratório de controlo de qualidade. Este laboratório é responsável pelo desenvolvimento de métodos de controlo rigorosos que garantem a fiabilidade dos produtos. Através de ensaios exaustivos (medição geométrica, dureza, momento, força) e processos de verificação, a Astrolabe assegura que todos os seus produtos atendem aos mais altos padrões de qualidade e segurança. Este foco no controlo de qualidade é essencial para aumentar a fiabilidade dos produtos e garantir a satisfação dos clientes.

A Astrolabe está sempre a procurar formas de melhorar e inovar, questionando o status quo e desenvolvendo soluções voltadas para o futuro, aplicando a melhoria contínua. A infraestrutura da empresa inclui unidades de produção com tecnologia de ponta, e um departamento de projeto que se dedica à pesquisa e desenvolvimento e aprimoramento de produtos, também responsável pela orientação do controlo crítico do produto, informação essencial para o departamento do laboratório de controlo. Faz também uso de distribuidores parceiros estrategicamente localizados para otimizar a logística e o atendimento aos clientes.

Na Figura 3-3, é apresentado o organograma que oferece uma visualização clara dos diversos departamentos que compõem a estrutura e operações da Astrolabe. Já a Figura 3-4 ilustra as interações entre o departamento de projeto, o laboratório de controlo de qualidade e as unidades de produção. A representação gráfica dessas relações internas não só facilita a compreensão das dinâmicas organizacionais, como também destaca a interdependência entre as várias áreas, essencial para garantir a eficiência e a inovação contínua da empresa.

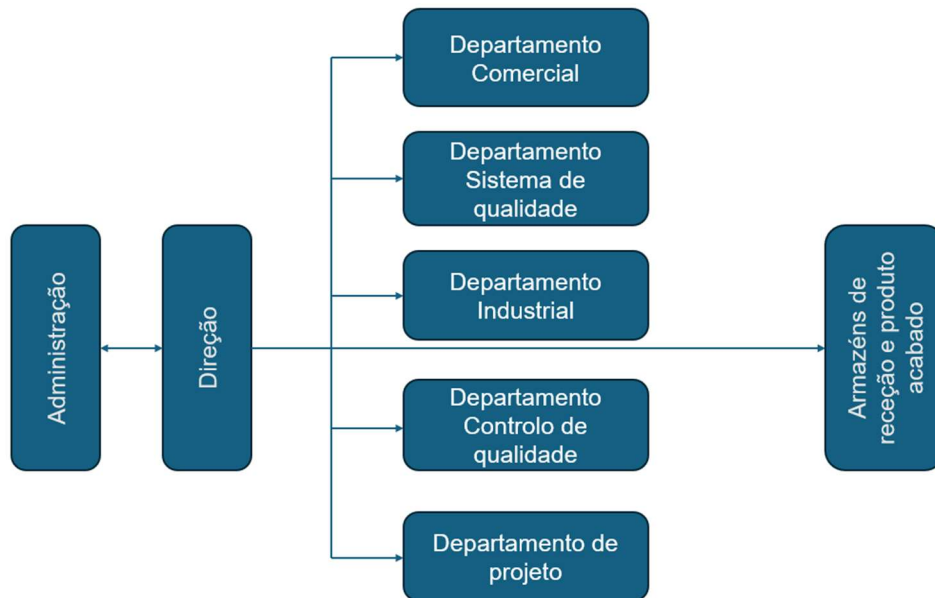


Figura 3-3 – Organograma departamentos.

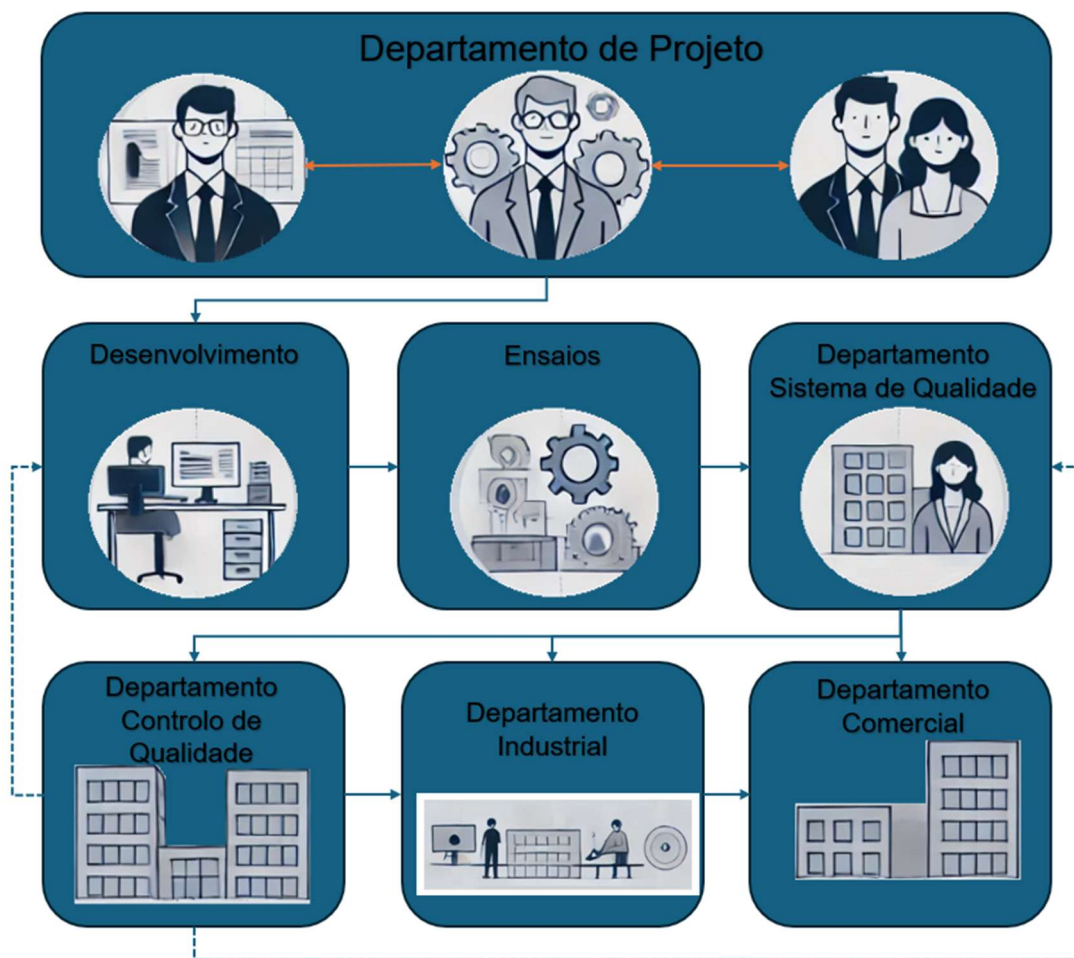


Figura 3-4 – Organograma departamentos interações.

Capítulo 4

Procedimentos

Neste capítulo, descreve-se de forma detalhada o procedimento adotado pela empresa para a produção e controlo de qualidade dos parafusos Cross. A descrição abrangerá as principais fases do processo, desde a inspeção inicial dos produtos semiacabados até os controlos metrológicos e as medidas para assegurar a conformidade com os padrões de qualidade. Este enfoque metodológico é crucial para entender o sistema de produção e as práticas de controlo de qualidade implementadas, que serão detalhadas de forma mais aprofundada nos subcapítulos seguintes.

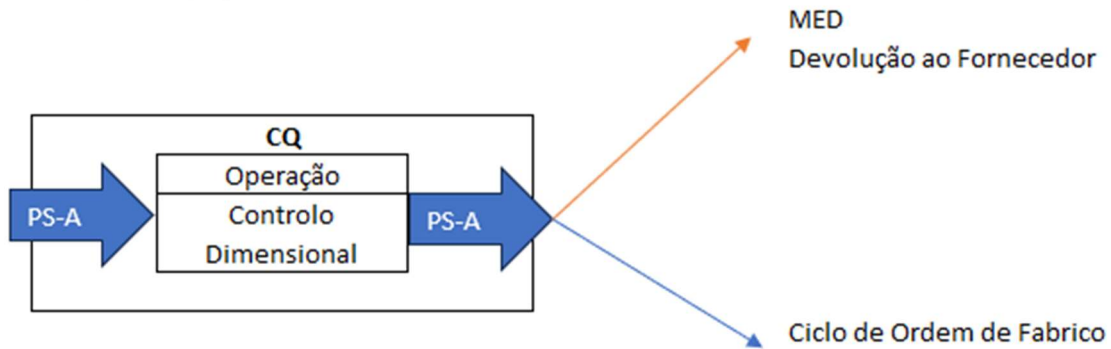
4 Procedimento

A empresa implementa procedimentos rigorosos de controlo de artigos, tanto na receção quanto ao longo do ciclo de produção, destacando a importância desses processos para a manutenção da qualidade e integridade dos produtos. O controlo minucioso em ambas as fases é essencial para garantir que os artigos recebidos atendam às especificações estabelecidas e que o processo de produção decorra conforme os padrões de qualidade predefinidos. Dessa forma, minimiza-se o risco de não conformidades e assegura-se a excelência dos produtos finais.

4.1 Controlo no Procedimento

Na empresa, todos os artigos passam por um procedimento rigoroso de controlo de qualidade (CQ), que é aplicado em duas fases principais. A primeira fase envolve a receção e inspeção dos produtos semiacabados, como ilustrado na Figura 4-1, com o objetivo de assegurar que estes cumprem os requisitos definidos no projeto. Caso sejam identificadas discrepâncias, os artigos podem ser classificados como não conformidade (MED), o que requer a sua reavaliação antes de prosseguir para a etapa seguinte. Na segunda fase, os artigos conformes avançam para o ciclo de ordem de fabrico, ilustrado na Figura 4-2, onde são submetidos a diversas operações, incluindo o controlo metrológico. Este controlo visa garantir que os artigos permanecem dentro dos parâmetros estabelecidos ao longo do processo de produção, assegurando a qualidade final do produto. O presente estudo centra-se especificamente na aplicação deste procedimento a um artigo particular da empresa, pertencente à família dos "parafusos Cross", sendo essencial analisar-se a etapa do CQ detalhadamente.

Receção e Inspeção Produto Semi-acabado



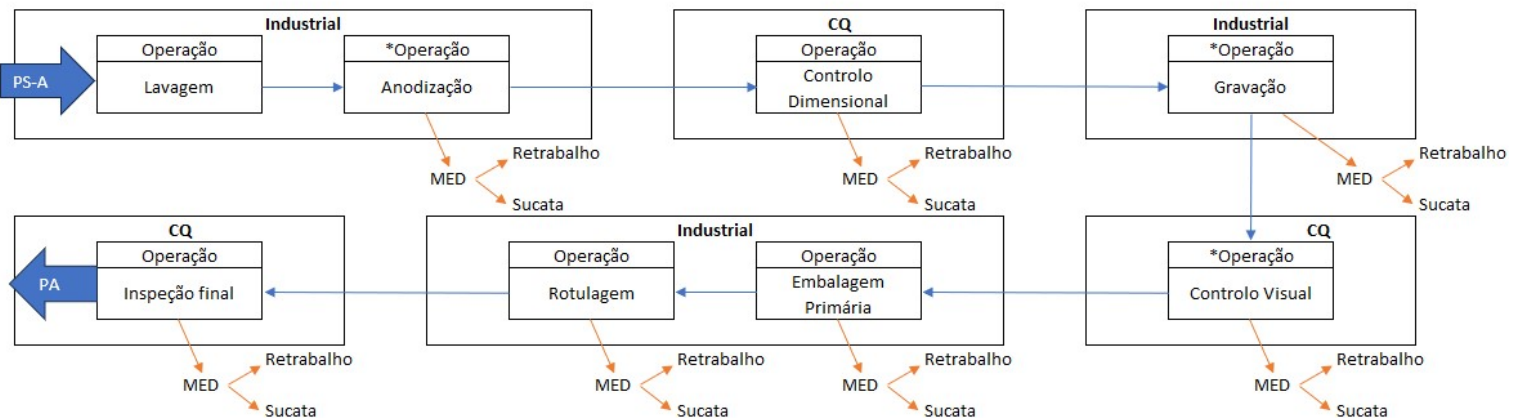
Legenda

PS-A Armazém de produto semi-acabado

Figura 4-1 – Esquema da recepção e inspeção do produto semiacabado.

Os artigos que originam uma MED na fase de inspeção de produtos semiacabados, com ilustrado na Figura 4-1, durante o processo de CQ, são acompanhados por um relatório detalhado. Este relatório documenta as falhas detetadas, justificando as razões para a MED e identificando as possíveis causas. Este procedimento permite não só a correção eficiente dos artigos afetados, mas também a melhoria contínua dos processos de produção, ao identificar e abordar as causas subjacentes das MED's.

Ordem de Fabrico
Artigo: Parafuso



Legenda:
PS-A Armazém de produto semi-acabado
PA Armazém de produto acabado

Nota:
* Se aplicável

Figura 4-2 – Esquema da Ordem de Fabrico.

Na ordem de fabrico, os artigos seguem um ciclo de produção conforme ilustrados na Figura 4-2. Durante este processo, há a possibilidade de os artigos serem rejeitados em determinadas operações. Nestes casos, os artigos podem ser encaminhados para retrabalho, onde são corrigidos para cumprir os requisitos de qualidade estabelecidos. No entanto, se não puderem ser corrigidos de forma eficaz, os artigos são descartados como 'sucata'.

4.2 Organização e gestão do Procedimento

4.2.1 Organização dos artigos

No âmbito da gestão de processos e do controlo de qualidade, a organização dos artigos é essencial para garantir uma monitorização eficiente. Cada artigo é categorizado através de um código numérico específico, que não só identifica o tipo de artigo, mas também as suas características e dimensões. Como demonstrado na Figura 4-3, os dois primeiros dígitos referem-se ao tipo de artigo, os segundos dois dígitos indicam a origem da família a que pertence, os terceiros dois dígitos referem-se ao tipo de parafuso e os últimos dígitos detalham as suas dimensões específicas.

Identificação Produto (Product Identification) / Encomenda (Order) / Doc. Receção (Incoming Doc.)					
Artigo (Item):	15.14.07.19007.MQ	Descrição (Name):	15.14.07.19007 Mechanized	Revisão (Revision):	02
Descrição (Description):	Locking Screw, Ti, Ø1,9 x 7mm Cross-Drive - S/I Extremities				
Fornecedor (Supplier):	F0001 - ACNIS International				
Encomenda:	Data Enc. For:	Qtd Enc:			
Doc. Receção (Inc.Doc)	VAL/ALL/56	Dt Receção (Delivery Dt):	01/01/2030	Qtd recebida (Delivered Qty): 1	
Lote (Lot):	<L01>	Relatório Fornecedor Nº (Supplier Report):			

Legenda:

15.14.07.190007

- 15 – Tipo de artigo: Parafuso
- 14 – Família do artigo: Locking Screw
- 07 – Tipo de Parafuso: Cross-Drive
- 19007 – Dimensões do parafuso
 - 19 – ØB=1,90 mm (Diâmetro do parafuso)
 - 007 – L=7,00 mm (Cumprimento do parafuso)

Figura 4-3 – Organização dos artigos [16].

4.2.2 Organização dos Equipamentos de Monitorização

Os equipamentos utilizados para a monitorização dos artigos são organizados em diferentes famílias, cada uma dedicada a um método de medição específico. Esta estrutura facilita a implementação de abordagens direcionadas para o controlo das diversas cotas a serem verificadas nos artigos. No caso particular do controlo das dimensões dos parafusos, como ilustrado na Figura 4-4, são realizadas medições rigorosas com o auxílio destes equipamentos de monitorização. A alocação dos equipamentos, com base nas cotas a serem controladas, nos tipos de controlo e nas grandezas a serem monitorizadas, simplifica a gestão do processo e assegura a precisão das medições. Como por exemplo para a medição do diâmetro dos parafusos, utiliza-se um paquímetro. Este equipamento permite medir com exatidão as variações no diâmetro, garantindo que todos os parafusos atendam as especificações exigidos. Além disso, a utilização de calibres de rosca assegura que o passo e o perfil da rosca estejam dentro das especificações. Este nível de detalhe na monitorização é crucial para evitar falhas nos produtos.

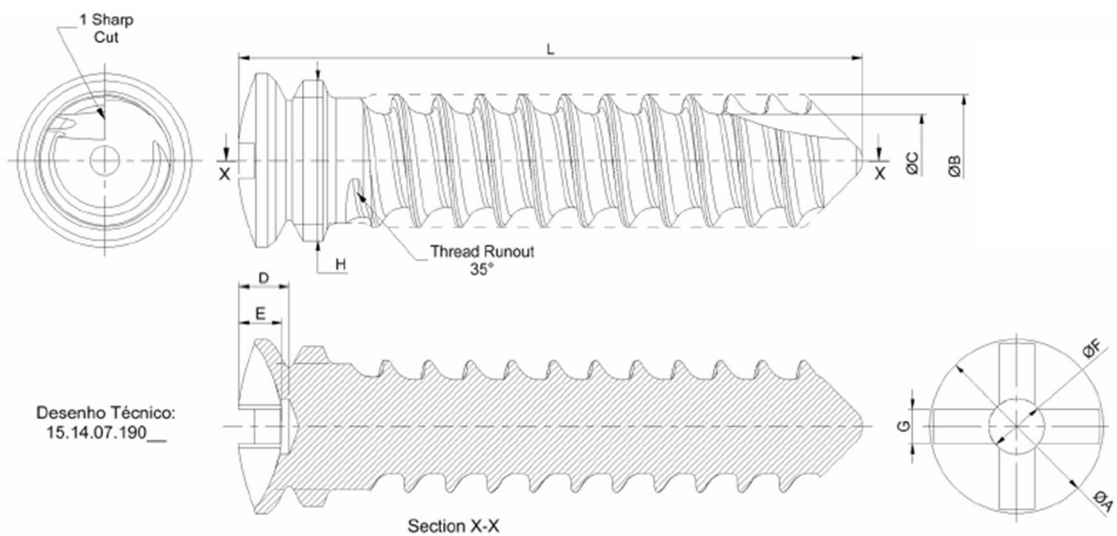


Figura 4-4 – Esquema de medição do Artigo 15.14.07.19XXX [16].

A Figura 4-5 ilustra a atribuição das famílias de equipamentos dedicados à inspeção das diferentes cotas do parafuso Cross. Estes equipamentos são selecionados segundo as

Famílias de equipamentos

Famílias de equipamentos												P	
Id:	R/P - DLM / Optical	R/P - DLM / Optical	R/P - DLM / Optical	R/P - Optical	R/P - Cross Depth	R/P - Cross Depth	R/P - Optical	R/P - Optical	R - Metric GO/NOGO	P - Anodizing Color	R/P - Visual		
EMM (EQ):													
Tol.	L=4,00 mm [3,90/4,10]	ØA=2,50 mm [2,45/2,55]	ØB=1,90 mm [1,80/1,90]	ØC=1,35 mm [1,25/1,35]	D=0,70 mm [0,65/0,75]	E=0,60 mm [0,55/0,65]	ØF=0,80 mm [0,75/0,85]	G=0,50 mm [0,50/0,52]	H=M2,3x0,4 OK	GREEN OK	SHARP CUT=1 OK	C (Ok)	NC (Nok)
1													
2													

suas características, de modo a garantir a qualidade e a conformidade dos produtos.

Figura 4-5 – Grelha de registo de valores [16].

Na Tabela 4-1 é fornecida uma visão abrangente dos diferentes tipos de famílias de equipamentos utilizados no controlo dos artigos. Essas famílias abrangem uma variedade de instrumentos e dispositivos especializados, cada um desempenhando um papel específico na verificação e garantia da qualidade dos produtos produzidos pela fábrica. Por sua vez as famílias acoplamento, verificação de montagem e visual, não são constituídas por equipamento, mas sim por ensaios com os próprios artigos, (famílias acoplamento e verificação de montagem) ou por ensaio de observação no próprio artigo, (família visual).

Através da classificação e organização dessas famílias, é possível garantir os processos de inspeção e assegurar que cada aspecto relevante dos artigos seja cuidadosamente avaliado e monitorado.

Tabela 4-1 – Tipos de família de equipamentos de controlo.

Designação		Tipo	
Inglês	Português	Equipamento	
		---	Descrição
<i>DLM - Dimensional Measurement Equipment</i>	Equipamento de Medição Dimensional	Paquímetros; Micrómetros; Sutas; Transferidores de ângulos; Etc.	---
<i>DLM / Optical - Dimensional Measurement Equipment / Optical</i>	Equipamento de Medição Dimensional / Ótica	Paquímetros; Micrómetros; Sutas; Transferidores de ângulos; Etc./ Projector de perfil; MMC ótica	---
<i>Optical</i>	Ótica	Projector de perfil; MMC ótica	---
<i>Optical / CMM - Optical / Coordinate Measuring Machine"</i>	Ótica / Máquina de Medição por Coordenadas	Projector de perfil; MMC ótica / Máquina de Medição por Coordenadas	---
<i>CMM - Coordinate Measuring Machine"</i>	Máquina de Medição por Coordenadas	Máquina de Medição por Coordenadas	---
<i>K-Wire - Kirschner wire</i>	Fio de Kirschner	Fio de Kirschner	Dispositivo médico utilizado em ortopedia, traumatologia e cirurgia ortopédica para fixar fraturas ósseas temporariamente ou para fornecer suporte durante o processo de cicatrização.
<i>Drill Bit</i>	Broca	Broca	---
<i>Torx</i>	Torx	Torx	---
<i>Torque</i>	Binário	Medidor de Torque	---

Designação		Tipo	
Inglês	Português	Equipamento	
		---	Designação
<i>DLM / CMM - Dimensional Measurement Equipment / Coordinate Measuring Machine</i>	Equipamento de Medição Dimensional / Coordinate Measuring Machine	Paquímetros; Micrómetros; Sutas; Transferidores de ângulos; Etc. / Máquina de Medição por Coordenadas	---
<i>Torx GO/NOGO</i>	Torx P/NP	Calibre Passa / Não Passa	O calibre Passa / Não Passa é uma ferramenta utilizada nos processos de controlo de qualidade na indústria, servindo para assegurar a compatibilidade entre diferentes peças. Esta ferramenta de medição não nos dá um valor no sentido convencional do termo mas sim um estado.
<i>Conic GO/NOGO</i>	Cone P/NP	Calibre cónico	
<i>Metric GO/NOGO</i>	Métrico P/NP	Calibre métrico	
<i>Hardness</i>	Dureza	Durómetro	---
<i>Tensioner Force</i>	Transdutor de força	Transdutor de força	---
<i>Coupling</i>	Acoplamento	---	Ensaio funcional - Verificar o acoplamento dos instrumentos (chaves brocas) os cabos
<i>Assembly Check</i>	Verificação de montagem	---	Ensaio funcional – Verificar a montagem de instrumentos.

Designação		Tipo	
Inglês	Português	Equipamento	
		---	Descrição
<i>Assembly Check</i>	Verificação de montagem	---	Ensaio funcional – Verificar a montagem de instrumentos.
<i>Anodizing Color</i>	Cor de anodização	Padrões de cores	Operação de comparação de um padrão com o artigo anodizado
<i>Clearance Probe</i>	Verificador de Folgas	Verificador de Folgas	---
<i>Torx Depth</i>	Profundidade Torx	Comparador de haste telescópica	Comparadores aplicados a um acessório para controlar a profundidade do Torx.
<i>Cross Depth</i>	Profundidade Cruz		Comparadores aplicados a um acessório para controlar a profundidade do Cruz

Estas famílias de equipamentos são aplicadas nas etapas do CQ, para o controlo geométrico das cotas dos artigos. Por razões de formalização e comunicação com o organismo notificador e fornecedores, a designação das famílias é apresentada em inglês, conforme ilustrado na Figura 4-5, e na Tabela 4-1. Para facilitar a interpretação, neste documento a designação das famílias é apresentada de forma bilingue português e inglês.

4.2.3 Registo dos valores

O registo manual das dimensões, conforme ilustrado na Figura 4-6, desempenha um papel crucial na complementação deste processo. Este método assegura a rastreabilidade dos dados e a fiabilidade dos resultados obtidos. Ao registar as medições, é possível acompanhar com precisão cada etapa do processo de

monitorização, garantindo que todas as dimensões sejam verificadas e documentadas de acordo com os padrões estabelecidos. Este procedimento contribui para a verificação da consistência dos dados e para a integridade do controle de qualidade, garantindo assim a confiabilidade do artigo.

Além disso, a documentação meticulosa das dimensões permite identificar rapidamente quaisquer discrepâncias ou anomalias que possam surgir durante o processo. Este nível de detalhe é essencial para a manutenção de altos padrões de qualidade e para a implementação de melhorias contínuas. Através deste método, é possível assegurar que todas as partes envolvidas no processo tenham acesso a informações precisas e atualizadas, facilitando a comunicação e a tomada de decisões informadas.

17-2024													
Id:	R/P - DLM / Optical	R/P - DLM / Optical	R/P - DLM / Optical	R/P - Optical	R/P - Cross Depth	R/P - Cross Depth	R/P - Optical	R/P - Optical	R - Metric GO/NOGO	P - Anodizing Color	R/P - Visual	P	
EMM (EQ):	EM004.00 03-2024	EM004.00 03-2024	EM004.00 03-2024	EM017.00 05-2024	EM023.00 09-2023	EM024.00 09-2023	EM017.00 10-2024	EM012.00 10-2024	EM029.01 10-2024	—	—	✓	
Tol.	L=7,00 mm [6,80/7,20]	ØA=2,50 mm [2,40/2,60]	ØB=1,90 mm [1,80/1,90]	ØC=1,35 mm [1,25/1,35]	D=0,70 mm [0,65/0,75]	E=0,60 mm [0,55/0,65]	ØF=0,80 mm [0,75/0,85]	G=0,50 mm [0,50/0,52]	H=M2,3x0,4 OK	GREEN OK	SHARP CUT=1 OK	C (Ok)	NC (Nok)
1	7,00	2,45	1,83	1,31	0,71	0,61	0,80	0,51	OK		OK	✓	
2	7,00	2,45	1,83	1,32	0,72	0,61	0,81	0,50	OK		OK	✓	
3	7,00	2,46	1,84	1,30	0,71	0,62	0,81	0,52	OK		OK	✓	
4	6,99	2,46	1,83	1,33	0,70	0,61	0,83	0,50	OK		OK	✓	
5	6,99	2,45	1,83	1,33	0,70	0,60	0,79	0,50	OK		OK	✓	
6	7,00	2,44	1,84	1,33	0,71	0,61	0,82	0,50	OK		OK	✓	
7	7,00	2,46	1,83	1,32	0,72	0,62	0,77	0,50	OK		OK	✓	
8	6,99	2,45	1,83	1,31	0,72	0,62	0,80	0,51	OK		OK	✓	
9	7,00	2,46	1,83	1,33	0,71	0,60	0,79	0,52	OK		OK	✓	
10	7,00	2,46	1,84	1,31	0,70	0,60	0,78	0,51	OK		OK	✓	
11	6,99	2,46	1,83	1,31	0,72	0,62	0,80	0,52	OK		OK	✓	
12	7,00	2,45	1,83	1,31	0,72	0,61	0,78	0,52	OK		OK	✓	
13	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,60	0,82	0,51	OK		OK	✓	

Figura 4-6 – Registro manual de Medições [17].

A Figura 4-6 ilustra as medições realizadas para cada dimensão crítica do parafuso. Cada coluna detalha a dimensão específica e a família de EMM (Equipamento de Monitorização e Medição) adequada para essa medição. Na Tabela 4-1, é identificado o tipo de EMM, a utilizar. Por exemplo na cota L a família é do tipo *DLM / Optical* (Equipamento de Medição Dimensional / Ótica).

4.3 Diagnóstico

A empresa definiu planos de amostragem de acordo com a Norma ISO 2859-1 especificamente para parafusos. O controle de qualidade por amostragem é uma abordagem eficaz para avaliar a qualidade de uma produção em grande escala sem a necessidade de inspecionar cada parafuso individualmente. Nesse método, uma seleção representativa de parafusos é escolhida aleatoriamente e inspecionada. No entanto, existem sempre fatores de risco que influenciam o processo de medição, como

ilustrado na Figura 4-7. Por exemplo, o erro humano devido à fadiga durante a inspeção pode levar ao registo incorreto do valor real do parafuso, resultando em decisões equivocadas sobre a aceitação ou rejeição dos produtos. Para mitigar esses riscos, está implementado um procedimento rigoroso de formação e rotação de inspetores, e dupla verificação do registo de valores obtidos. Os equipamentos de monitorização cumprem um plano de calibração estabelecido segundo as suas especificações, o seu desempenho e os resultados obtidos na calibração. Contudo a variabilidade no método de medição pode introduzir erros adicionais. Além disso, as condições ambientais, como temperatura e humidade, podem afetar a precisão dos equipamentos de medição. Assim, é essencial controlar e monitorizar essas condições durante o processo de inspeção, garantindo que não interfiram nos resultados [14] [22].

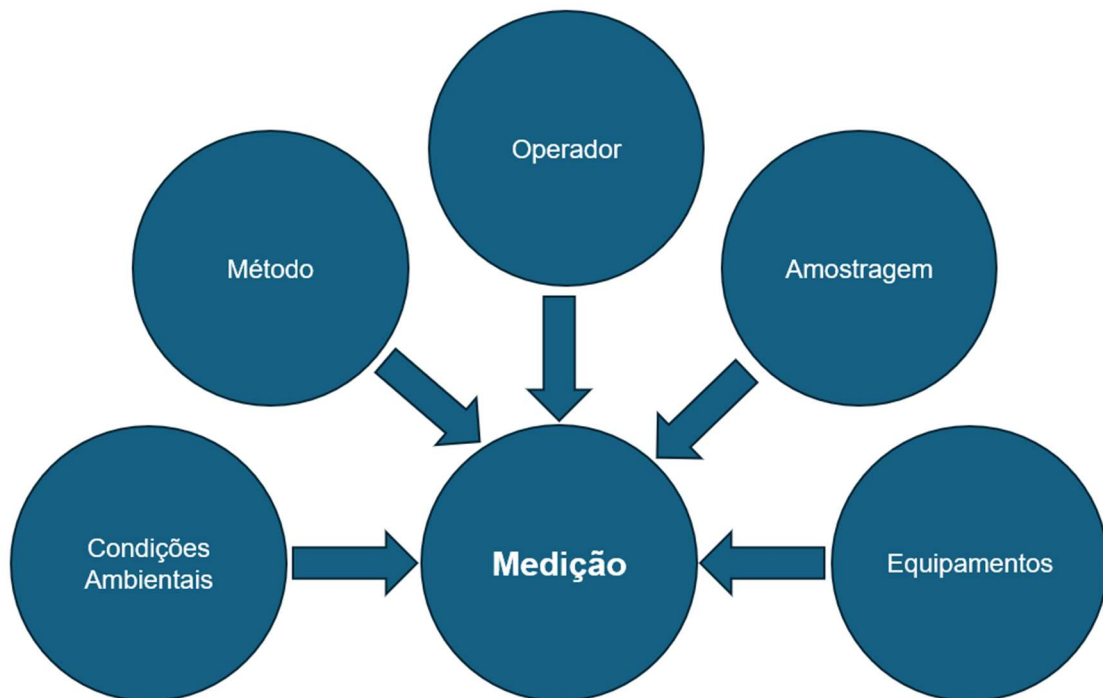


Figura 4-7- Fatores que influenciam no processo de medição [14].

4.3.1 Proposta de Melhoria

A empresa identificou a necessidade de aprimorar o processo de medição para garantir maior precisão e consistência na inspeção de parafusos, especialmente os parafusos Cross. Atualmente, o processo enfrenta desafios como a variabilidade nos métodos de medição e o risco de erros humanos devido à fadiga dos inspetores. Para resolver essas questões, é essencial implementar tecnologias avançadas e procedimentos mais rigorosos. Uma abordagem potencial para essa melhoria inclui a adoção de sistemas de

medição automatizados, que possam ser programados para realizar medições de acordo com parâmetros pré-definidos. Esses sistemas oferecem várias vantagens, como a padronização dos procedimentos, a redução do tempo de configuração e a minimização de erros humanos. Além disso, a capacidade de programação permite adaptar facilmente o processo a diferentes tipos de parafusos e requisitos específicos de inspeção.

Perante o aumento da produção para satisfazer as exigências do mercado, a implementação de um sistema de medição torna-se ainda mais crucial para garantir o controle e a eficiência dos processos. O uso de um sistema automatizado proporciona uma coleta de dados mais rápida e precisa, minimizando a probabilidade de erros humanos associados ao registo manual. A automatização também permite uma análise em tempo real dos dados, possibilitando uma resposta imediata a quaisquer desvios ou problemas nos processos de produção. Essa capacidade de monitoramento em tempo real é fundamental para manter a qualidade e a eficiência da produção, especialmente em períodos de alta atividade. À medida que a produção aumenta, o sistema pode ser facilmente adaptado para lidar com um volume crescente de dados, garantindo que o controle e a eficiência dos processos se mantenham mesmo em ambientes de produção mais exigentes. Além disso, a automatização libera recursos humanos para outras tarefas críticas, permitindo uma alocação mais eficiente da mão-de-obra e aumentando a produtividade global da empresa.

Capítulo 5

Projeto de melhoria

Este capítulo aborda o projeto de melhoria implementado através da utilização de um sistema de medição ótica de alta precisão, o Quick Vision Pro, que representa uma inovação no campo da metrologia industrial. A sua capacidade de realizar medições sem contacto, aliada ao uso de tecnologias de visão para capturar e analisar as características dos componentes com alta precisão, torna-o uma ferramenta essencial na indústria moderna, onde a exatidão e a precisão nas medições são indispensáveis para assegurar a qualidade dos produtos finais.

5 Projeto de Melhoria

No contexto da indústria moderna, a precisão e exatidão na medição de componentes são fatores cruciais para garantir a qualidade e o desempenho dos produtos finais. A crescente complexidade dos processos de manufatura e a demanda por produtos com tolerâncias rigorosas têm impulsionado a adoção de sistemas de medição avançados, que permitem aos fabricantes assegurar que os seus produtos atendam às especificações exigidas.

5.1 Planeamento

O projeto de melhoria, como ilustrado na Figura 5-1, destaca o desenvolvimento de uma matriz no Excel (Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de fabrico) como elemento central na gestão eficiente dos dados e na sistematização de processos, especialmente no que se refere à programação do controlo dos artigos, à realização dos ensaios e à sua validação. O uso desta ferramenta proporciona uma abordagem estruturada, que otimiza tanto o tempo quanto os recursos, minimizando, ao mesmo tempo, erros na execução de tarefas complexas. A primeira fase deste projeto de melhoria consistiu na construção e organização da matriz. Esta matriz foi desenhada de forma a integrar todas as variáveis relevantes ao processo de controlo, com o objetivo de garantir uma visão clara e abrangente de todos os fatores envolvidos. A sua estruturação facilita a leitura e interpretação dos dados, além de permitir a automatização de cálculos e o acompanhamento dos resultados em tempo real. A programação do controlo geométrico dos artigos é outra componente crucial do projeto de melhoria. Os ensaios foram realizados de forma sequencial e metódica, assegurando que os recursos fossem alocados de forma eficiente. A validação do projeto foi realizada através de cálculos estatísticos e da avaliação de incertezas. Este processo permitiu identificar os ajustes necessários e garantir a fiabilidade dos resultados.



Figura 5-1- Ciclo (Desenvolvimento da Matriz Excel, Programação, Ensaios e Validação).

5.2 Recursos

O sistema de medição Quick Vision Pro ilustrado na Figura 5-2 é um sistema avançado de medição ótica que se destaca pela sua elevada precisão e pela utilização de tecnologia de visão artificial. Este sistema é amplamente utilizado na indústria do fabrico, especialmente em setores onde a exatidão das peças é crítica, como na automotiva, aeroespacial, eletrónica e médica. A principal vantagem do Quick Vision Pro reside na sua capacidade de realizar medições sem contacto, o que permite inspecionar componentes delicados, sem o risco de os danificar. Dotado de uma câmara de alta resolução e de um software sofisticado para análise de imagem, o Quick Vision Pro consegue capturar e medir características nos artigos a analisar com uma precisão notável. Esta funcionalidade é essencial em ambientes de produção onde até as menores variações podem comprometer a qualidade final do produto. Além disso, o sistema é suficientemente versátil para ser integrado em linhas de produção automatizadas, permitindo uma inspeção contínua e eficiente, sem necessidade de intervenção manual constante. Outro ponto forte do Quick Vision Pro é a sua interface intuitiva, que facilita a sua operação por parte de utilizadores com diferentes níveis de experiência. A flexibilidade do sistema permite que ele seja utilizado numa vasta gama de aplicações, desde a inspeção de dimensões simples até à análise de formas complexas. Estas características tornam-no uma ferramenta essencial para o controlo de qualidade em processos de fabrico exigentes e para o desenvolvimento de novos produtos, onde a precisão e a conformidade com as especificações são imperativas [6].



Figura 5-2 - Quick Vision Pro [15].

O modelo Quick Vision Pro Hyper QV 404 da Mitutoyo, conforme descrito na Figura 5-3, reforça as capacidades avançadas do sistema ao proporcionar exatidão e eficiência no

controle de qualidade. Este modelo assegura medições confiáveis e consistentes, alinhadas com as elevadas especificações da gama Quick Vision Pro, sendo mais uma solução robusta e de elevado desempenho para garantir a precisão nas medições industriais.

QVH4 HYPER Pro

Model		QVH4 HYPER 302 Pro	QVH4 HYPER 404 Pro	QVH4 HYPER 606 Pro
Order No.		365-605	365-615	365-625
		QVH4A-H302P1L-E	QVH4A-H404P1L-E	QVH4A-H606P1L-E
Measuring range (XxYxZ) [mm]	Vision	300x200x200	400x400x250	600x650x250
	Common to vision & displacement sensor	176x200x200	276x400x250	476x650x250
External dimensions (WxDxH) (Including the special sub-base) [mm]		866x930x1612	1118x1426x1776	1400x1994x1804
Stage glass (WxD) [mm]		399x271	493x551	697x758
Main unit mass (Including the special sub-base) [kg]		365	650	1475
Vision measuring accuracy [μm]* ¹	Vision	$E_{LW}/E_{LV}, \text{MPE}$	(0,8 + 2L/1000)	
		E_{LXY}, MPE	(1,4 + 3L/1000)	
	STREAM* ² (optional)	E_{LW}, MPE	(1,5 + 2L/1000)	
		E_{TX}, E_{TY}	(1,5 + 3L/1000)	
		E_{ZXY}	(2,0 + 4L/1000)	
Optical magnification		2,5X objective (QV-HR2,5X or QV-SL2,5X) and middle magnification tube lens		
Non-contact displacement sensor measuring accuracy [μm]* ²	E_{TZ}	(1,5 + 2L/1000)		
Resolution of scale [μm]		0,02		
Operating temperature range	Ambient temperature	20±2 °C		
	Temperature variation	0,5 °C/1H and 1 °C/24H		
Maximum stage loading [kg]* ⁴		15	30	40
Imaging device		B&W CMOS digital camera		
Illumination unit	Contour illumination	White LED		
	Surface illumination	White LED		
	PRL	White LED		
Observation unit* ⁵		Programmable power turret 1X-2X-6X		
Air supply	Pressure	0,2 MPa* ³		
Thermal compensation function		Automatic		

*1 L: arbitrary measuring length (unit: mm) *2 Determined by Mitutoyo's inspection method. *3 Air supply pressure to be in range 0,3 to 0,9 MPa.

*4 An excessively biased or concentrated load is excluded. *5 Programmable power turret 1X-2X-4X model and 1X-2X-4X-6X model are available to special order.

Note: Machines in this series are equipped with the main unit deactivating system (relocation detection system) that prevents the machine from operating if it is subjected to an unexpected vibration or if it is relocated. Be sure to contact your nearest Mitutoyo sales office prior to relocating this machine after initial installation.

Figura 5-3 – Especificações Quick Vision Pro [15].

O software QVPAK, ilustrado na Figura 5-4 é uma ferramenta de interface desenvolvida especificamente para controlar sistemas Quick Vision da Mitutoyo. Este software é utilizado para automatizar e controlar processos de medição precisos em diversas indústrias. Uma das suas principais características é a possibilidade de programar através de duas linguagens distintas. QVBasic é uma linguagem de programação flexível, permitindo uma ampla gama de aplicações, enquanto QVEasyEditor oferece uma abordagem mais simples e intuitiva para os utilizadores, facilitando o desenvolvimento e a implementação de soluções. Estas linguagens permitem a criação de programas que automatizam o processo de medição e verificam se os artigos estão dentro das especificações predefinidas, garantindo assim a precisão e qualidade no controlo.

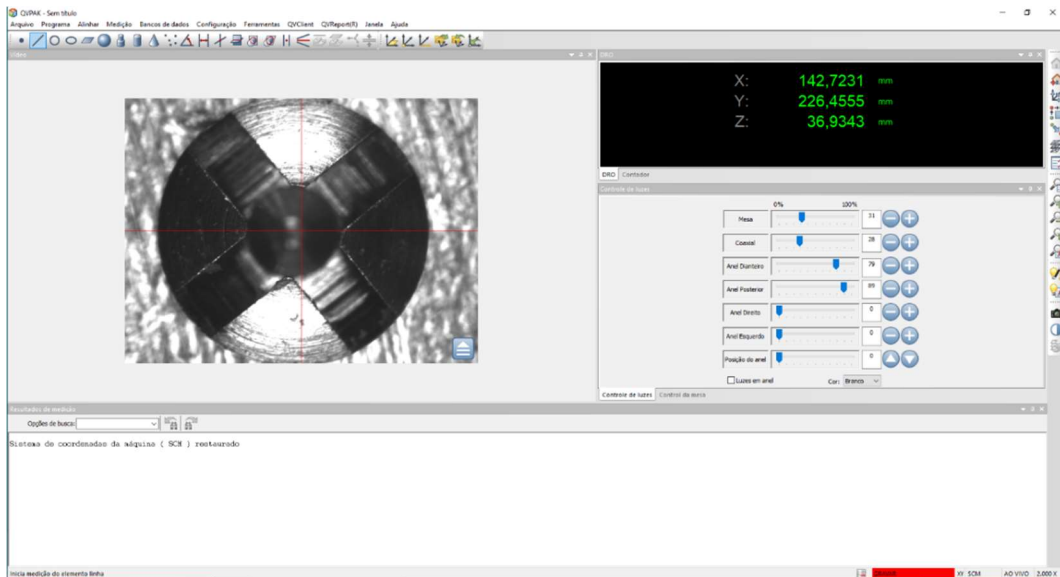


Figura 5-4 - Ambiente de trabalho do software QVPAK.

Através do QVBasic, os utilizadores podem desenvolver programas mais avançados, aproveitando a flexibilidade oferecida por esta linguagem. Esta flexibilidade permite a criação de soluções personalizadas e complexas, adequando-se a projetos que requerem uma abordagem mais detalhada e controlada. A Figura 5-5 ilustra um exemplo de como o QVBasic permite um nível elevado de controlo sobre o código, demonstrando a sua capacidade de lidar com projetos mais sofisticados. Por outro lado, o QVEasyEditor oferece uma alternativa mais acessível, com uma interface mais intuitiva e simplificada para a criação de programas. Esta ferramenta é ideal para utilizadores que preferem uma abordagem mais direta e menos técnica, sem a necessidade de uma programação extensiva. A facilidade de uso do QVEasyEditor é ilustrada na Figura 5-6, que demonstra como é possível criar aplicações de forma mais rápida e eficiente, com uma curva de aprendizagem menos acentuada.

```

Editor do QVBasic - Sem titulo
Arquivo  Editar  Exibir  Programa  Ajuda
[Icons]
Declare Sub QVBlock_3
Declare Sub QVBlock_2
Declare Sub QVBlock_1
Option Explicit

sub startup
' *** Display Format ***
DistanceUnits = MM
CoordinateMode = CART
ResolutionMode = DECIMALS_3
AngleRange = ZERO_TO_360
AngleUnits = DMS
' *** Measuring Device ***
MeasuringDevice = QV_VIDEO
' *** Lens in Use ***
Lens.Select Label:="1X (QV Objective)"
' *** Results Formatting ***
Results.ShowFeatureTypeInHdr = TRUE
Results.ShowFeatureLabelInHdr = TRUE
Results.ShowFeatureIDInHdr = TRUE
Results.ShowNumOfPointsInHdr = TRUE
Results.ShowColumnLabels = TRUE
Results.FormatColumns ACTUAL, NOMINAL, DEVIATION, UPTOL, LOWTOL, PASSFAIL, OUTTOL
' *** Results Messages ***
Results.ShowAlignmentMsg = TRUE
Results.ShowUnitsChangeMsg = TRUE
Results.ShowConstructionMsg = TRUE
Results.ShowErrorMsg = TRUE
' *** Results Data Reporting ***
Results.ReportLevel = ALLDATA
' *** Results Logging ***
Results.LogFileName = ""
Results.LogToFile = FALSE
Results.LogToCOM1 = FALSE
Results.LogToCOM2 = FALSE
' *** Part Program Options ***
BreakOnErrors = TRUE
ShowImageTools = TRUE
ShowTravelLimitWarnings = TRUE
AutoRunSmartRecovery = FALSE
KeepFeatureDataPoints = FALSE
' *** Smart Recovery Options ***
Video.SmartRecovery.Focus = TRUE
Video.SmartRecovery.FocusRange = 1
Video.SmartRecovery.Lighting = TRUE
Video.SmartRecovery.LightingRange = 1
Video.SmartRecovery.ToolPosition = TRUE
Video.SmartRecovery.ToolPositionRange = 1
Video.SmartRecovery.ToolAngle = TRUE
Video.SmartRecovery.ToolAngleRange = 1
Video.SmartRecovery.EdgeStrength = TRUE
Video.SmartRecovery.EdgeStrengthRange = 1
' *** Restore MCS ***
PCS.RestoreMCS
' *** Reference Plane ***
ReferencePlane = XY_PLANE
end sub 'startup
<

```

Figura 5-5 - Editor do QVBasic.

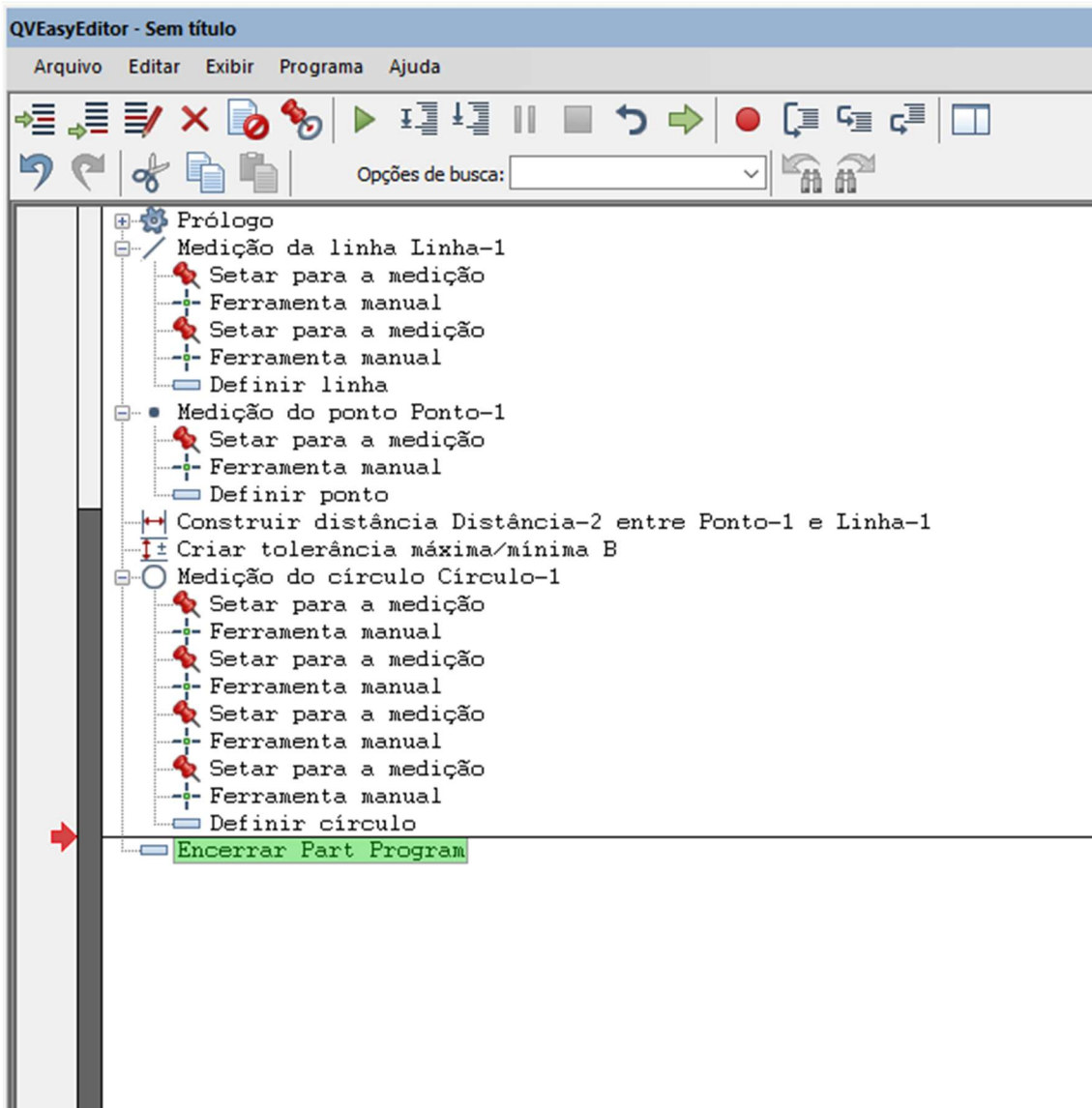


Figura 5-6 - Editor do QVEasyEditor.

O software QVPAK oferece uma variedade de ferramentas de medição e auxílio à programação para facilitar o processo de criação de programas de controlo de artigos. Algumas dessas ferramentas podem incluir:

1. Definição de pontos de medição: Os utilizadores podem especificar os pontos exatos nos artigos onde as medições devem ser realizadas.
2. Criação de trajetórias de medição: Permite definir o percurso que a sonda da MMC deve seguir para medir diferentes características do artigo.
3. Definição de tolerâncias: Os utilizadores podem especificar tolerâncias para cada característica medida, determinando os limites aceitáveis para as dimensões dos artigos.

4. Cálculos de desvio: O software pode calcular automaticamente os desvios entre as medições realizadas e as especificações definidas, ajudando a determinar se os artigos estão dentro dos limites aceitáveis.
5. Visualização gráfica: Oferece uma representação visual dos artigos e das trajetórias de medição, facilitando a compreensão e o ajuste dos programas.

As ferramentas e funcionalidades, permitem criar as parametrizações necessárias para identificar se os artigos estão dentro do esperado, garantindo assim a qualidade e conformidade dos produtos fabricados. Na Figura 5-7, é evidenciado o registo das cotas controladas, acompanhadas dos respetivos parâmetros.

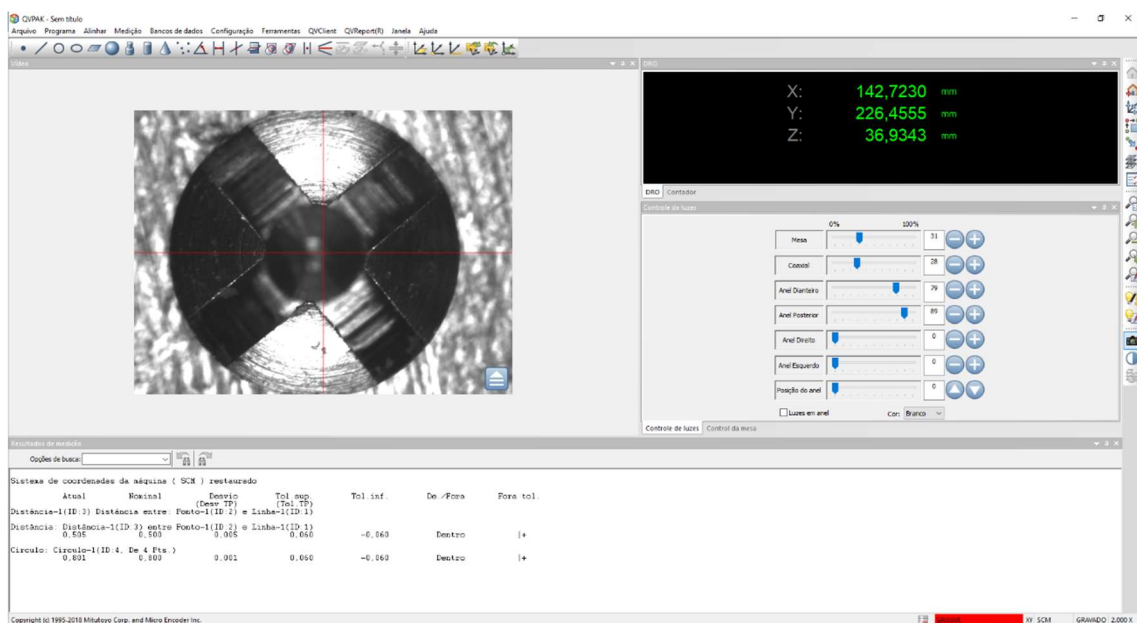


Figura 5-7 – Ambiente de trabalho software QVPAK com registos.

5.3 Desenvolvimento

O software QVPAK oferece a capacidade de exportar os dados de medição diretamente para o Microsoft Excel, facilitando a análise e gestão dos resultados. Uma das suas funcionalidades principais é a criação automática de um ficheiro denominado QVReport,

conforme ilustrado nos Apêndices 1 e 2, garantindo uma integração eficiente entre a programação e o controlo de qualidade dos artigos.

Esta funcionalidade permite uma verificação rápida e precisa da conformidade dos produtos com as especificações definidas durante o processo de parametrização. Os dados exportados para o QVReport são posteriormente processados numa outra folha de cálculo em Excel, designada Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de Fabrico, como ilustrado no Apêndice 3. Esta folha é desenvolvida de acordo com os parâmetros e diretrizes estabelecidos pelo departamento de Qualidade, permitindo a avaliação dos resultados com base nas especificações fornecidas pelo departamento de Projeto.

O fluxograma apresentado na Figura 5-8 descreve dois processos distintos. No lado esquerdo, o processo começa com a execução de um programa no sistema, que gera um ficheiro de saída chamado QVReport.out. Este ficheiro, em formato Excel, contém os valores do artigo controlado pelo sistema como ilustrado no apêndice 1. Os dados do QVReport são depois tratados e exportados para uma folha de cálculo em Excel (Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de Fabrico), onde os valores são processados e organizados como ilustrado no apêndice 2. Em seguida, o processo passa por uma decisão: se os dados estiverem corretos ok, o fluxo avança para uma Ordem de fabrico. Se houver alguma não conformidade nok, o processo move-se para uma MED. Após uma análise a MED, outra decisão é feita: se o resultado for ok, o sistema volta à Ordem de fabrico; caso contrário, o artigo é rejeitado. No lado direito do fluxograma, o processo inicia com a ligação do computador e do sistema QV 404 PRO. Após isso, o software QVPAK é executado, e a mesa de medição move-se automaticamente para o ponto zero, com uma advertência sobre a alta velocidade de movimento nos eixos. Neste ponto, há uma decisão: o utilizador pode clicar em ok para continuar ou optar por sair, o que encerra o processo. Se a decisão for continuar, o próximo passo é abrir um arquivo nomeado por defeito programas, abrir um arquivo nomeado Setup Astrolabe Medical. Dentro deste arquivo, encontra-se referências de artigos como, por exemplo, a pasta 15.14.07.19007.MQ, que representa uma referência. O processo termina com a execução do programa.

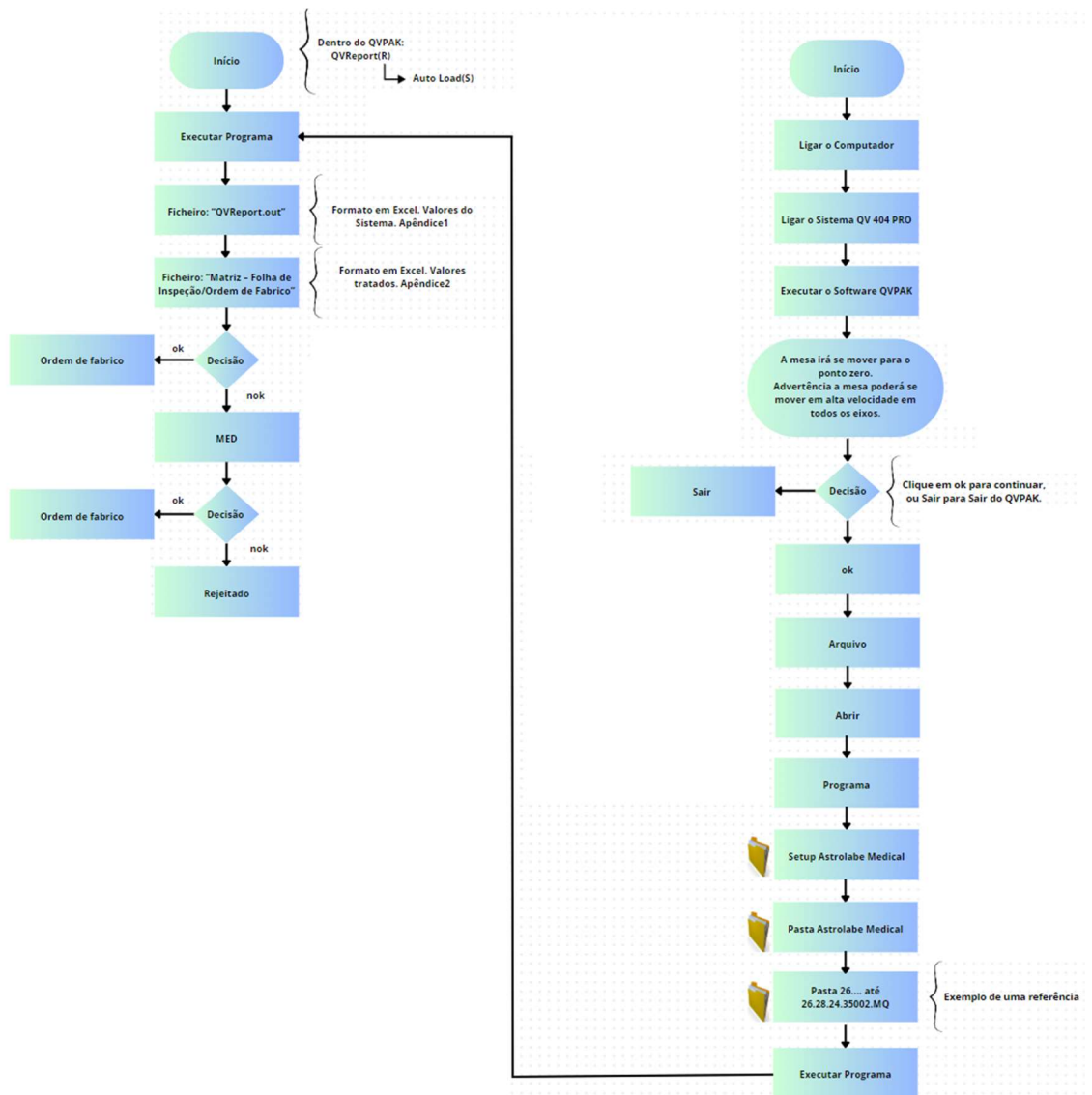


Figura 5-8 – Fluxograma de Sistema/Controlo.

O ficheiro QVReport regista os resultados de forma sequencial, conforme a programação estabelecida no programa de controlo do artigo, organizando-os verticalmente. Contudo, o Departamento de Qualidade definiu que o registo dos resultados deverá ser apresentado de forma horizontal. Para cumprir esta diretriz, os dados são quando são importados para uma folha de cálculo Excel (Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de Fabrico), que os converte para um formato horizontal, permitindo assim o tratamento adequado dos mesmos e a sua comparação com as especificações do artigo.

5.3.1 Método de Controlo S2

Para a avaliação do método S2 - Método de Controlo (Registo automático), foram utilizados os termos “S1 – Método de Controlo (Registo manual)” e “S2” para identificar duas estratégias distintas. Essa nomenclatura não só organiza o conteúdo de forma clara e sistemática, mas também facilita a referência e a compreensão das diferentes metodologias analisadas. Para esta avaliação, a família utilizada foi a dos parafusos cross 15.14.07.19XXX.

O método de controlo S2 utiliza equipamentos das famílias Optical, Cross Depth, Metric GO/NOGO, Anodizing Color e Visual. Na Tabela 5-1, é apresentada a descrição detalhada dos equipamentos utilizados, juntamente com as respetivas cotas a serem controladas.

Tabela 5-1 – Equipamentos utilizados em S2

Família	Equipamento	Cotas	Esquema
Optical	Quick Vision Pro	L; ØA; ØB ØC; G; ØF	Figura 4-5
Cross Depth	Comparador com adaptador	D; E	
Metric GO/NOGO	Anéis Padrão P/NP	H	
Anodizing Color	Calibre de Cor	Green	
Visual	---	Sharp Cut	

Para o desenvolvimento de programas específicos para o controlo de parafusos é uma parte essencial, de modo a garantir a precisão e a qualidade durante o processo de produção. Este processo abrange tanto a inspeção da cabeça quanto do corpo do parafuso, exigindo a elaboração de programas adaptados às diversas famílias de parafusos e às suas dimensões específicas. Os programas destinados ao controlo da cabeça do parafuso variam de acordo com o tipo de dimensões envolvidas, podendo apresentar variações mesmo dentro de uma mesma família de parafusos. Por exemplo, diferentes tipos de formatos de cabeça requerem abordagens distintas durante o processo de controlo. Por sua vez, os programas de controlo do corpo do parafuso variam conforme suas dimensões, tais como o comprimento (representado por "L") e o diâmetro (representado por "B"), conforme ilustrado na Figura 5-9.

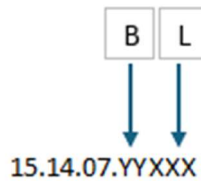


Figura 5-9 – Dimensões.

Após a elaboração dos programas de controlo específicos, é realizada uma etapa crucial de configuração que envolve a criação de uma rotina através de uma matriz ilustrada na Figura 5-10, uma funcionalidade disponibilizada pelo próprio software do sistema. Esta matriz permite que os programas de controlo se repitam inúmeras vezes, possibilitando o controlo sistemático e eficiente dos artigos. A utilização da matriz é essencial para a automatização e otimização do processo de inspeção.

Na metodologia de funcionamento da matriz, como ilustrado na Figura 5-10 é fundamental que os parâmetros sejam preenchidos corretamente para garantir a eficácia do processo. Um desses parâmetros essenciais é o número de repetições, visível na Figura 5-10 secção “repetições” que indica quantas vezes o programa será repetido ao longo dos eixos XX e YY. No exemplo à esquerda, o programa está configurado para ser repetido uma vez no eixo XX e oito vezes no eixo YY. O contrário ocorre na imagem à direita, onde o programa se repete oito vezes no eixo XX e uma vez no eixo YY. Isso assegura que as operações cubram a área desejada de forma completa e precisa.

Outro conjunto de parâmetros críticos são os valores DX, DY e DZ, visíveis na Figura 5-10, que definem a distância de deslocação a partir do ponto zero do programa em cada um dos eixos. Na Figura 5-10, à esquerda, observa-se as repetições nos eixos XX e YY, com um valor de DX = 50 e DY = 0 em X e DX = 0 e DY = 30 em Y, o que indica que o deslocamento ocorre ao longo do eixo Y. Já na imagem à direita, demonstra que o deslocamento ocorre ao longo do eixo X. Estes parâmetros são vitais para posicionar corretamente as operações dentro da matriz, permitindo que cada repetição ocorra no local exato, sem desvios que possam comprometer o resultado.

Adicionalmente, o método permite que determinadas etapas sejam ignoradas, como indicado na secção “Etapas ignoradas” da configuração ou seja, há a possibilidade de configurar a matriz para que certas posições sejam excluídas, não repetindo o programa nesses pontos específicos. Esta funcionalidade é particularmente útil para otimizar o tempo de operação e evitar redundâncias desnecessárias, focando apenas nas áreas que realmente necessitam de intervenção.

Deste modo, a correta configuração dos parâmetros de repetições, deslocações e exclusões dentro da matriz é essencial para assegurar que o processo decorra de forma eficiente, precisa e com o máximo aproveitamento dos recursos disponíveis.

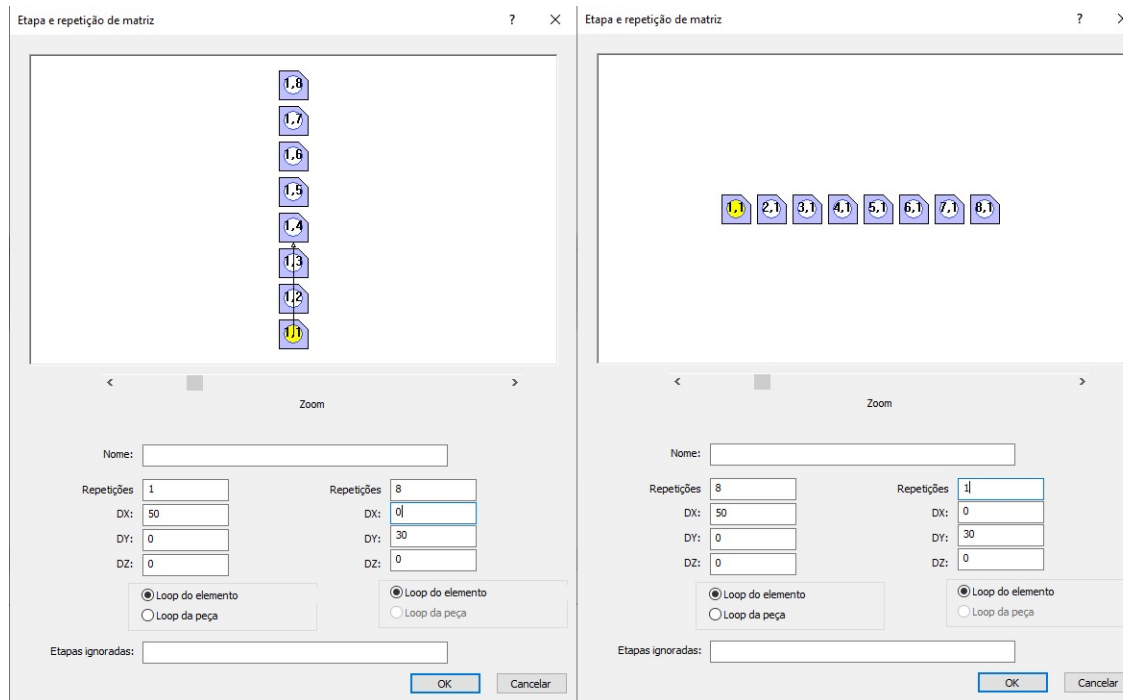


Figura 5-10 – Etapas e repetição de matriz.

Como ilustrado na Figura 5-11 a configuração de uma matriz completa com dez repetições em ambos os eixos. Neste caso, a matriz apresenta um padrão regular, onde cada elemento é repetido de forma equidistante ao longo dos eixos XX e YY. No exemplo apresentado, a matriz é configurada para repetir os elementos dez vezes tanto no eixo XX como no eixo YY, resultando numa grelha de 10x10. Essa abordagem garante que as intervenções sejam realizadas de forma sistemática e consistente em todas as posições da matriz.

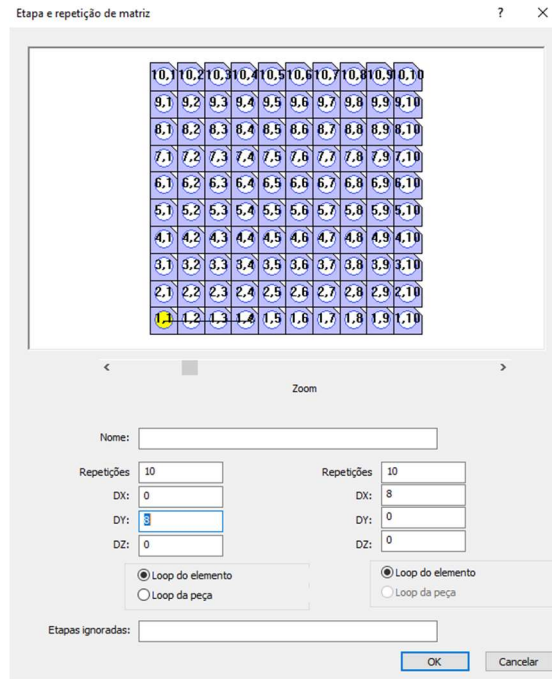


Figura 5-11 – Etapas e repetição de matriz completa.

5.3.2 Programação

O sistema dispõe de dois tipos de editores de programação, o QVBasic e o QVEasyEditor, conforme mencionado anteriormente. Ambos os métodos de programação de controlo operam através do método de aprendizagem. Neste processo, o programador do sistema "ensina" ao sistema onde se encontra o artigo, como deve ser medido e quais as ferramentas a serem utilizadas para essa medição.

- O QVBasic: Suportado pela linguagem Visual Basic for Applications (VBA), permitindo uma programação mais flexível e personalizada, sendo ideal para utilizadores com mais experiência em programação;
- O QVEasyEditor: Oferece uma interface mais intuitiva e acessível, simplificando a edição e execução de programas, sendo mais adequado para utilizadores que preferem um ambiente de programação fácil de utilizar. Durante o processo de medição de um artigo, as etapas são automaticamente registadas no programa, o que facilita significativamente a criação e a edição dos procedimentos. A organização em estrutura de árvore permite uma edição simples e intuitiva, bem como a inserção ou remoção de passos no programa de medição do artigo. Adicionalmente, a lista de programas apresenta ícones de erro que possibilitam

a rápida identificação de medições fora da tolerância ou de outros problemas, assegurando, assim, um controlo de qualidade mais rigoroso e eficiente;

Na preparação para a programação o programador tem de garantir que todos os artigos sujeitos ao ensaio estejam nas mesmas posições e com a mesma distância uns dos outros nos eixos XX e YY, posições ilustradas na

Figura 5-12. De forma a garantir que a mudança do zero de alinhamento seja bem-sucedida, a programação deve ser seguida segundo a grelha de controlo, como ilustrado na Figura 4-5. Assim, cada cota medida será colocada na célula correta no Excel Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de fabrico como descrito no apêndice 3. No decorrer do programa dentro da Matriz do sistema um ficheiro em Excel QVRport estará a correr automaticamente como descrito nos apêndices 1 e 2, esse ficheiro está a extrair os resultados de forma que seja possível serem tratados na Excel Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de fabrico.

Após assegurar as condições de posicionamento no suporte ilustrado na Figura 5-12, prosseguiu-se com o controlo dimensional. Para quantificar as cotas nesta fase do processo, torna-se imperativo utilizar as ferramentas de medição disponibilizadas pelo software. Em determinados casos, é necessário relacionar entre si as próprias ferramentas de medição para obter os resultados. Os passos seguintes descrevem uma programação padrão para um parafuso do tipo cross.

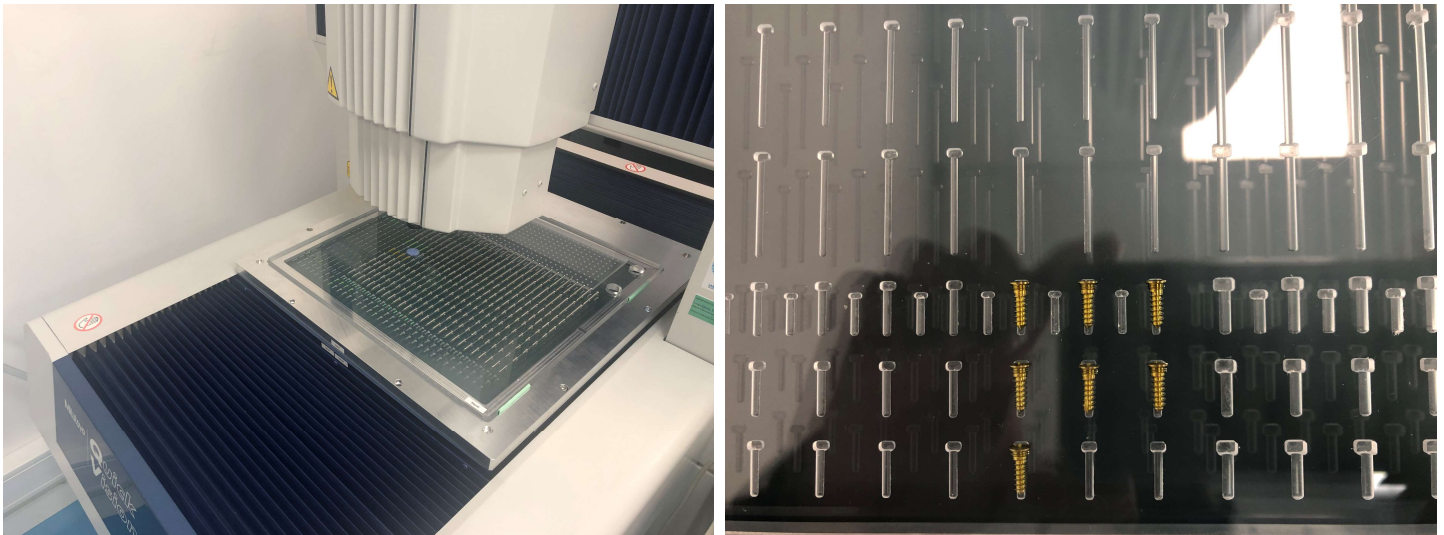


Figura 5-12 – Suporte 1 Quick Vision Pro.

Cabeça parafuso cross:

Alinhamento – Procedimento Detalhado.

Ferramenta de Medição de Circunferência:

- A primeira etapa do alinhamento consiste na utilização de uma ferramenta específica para medir a circunferência da peça como ilustrado na Figura 5-13 . Esta ferramenta deve ser ajustada para definir o ponto zero, que serve como referência base, em função da quantificação precisa da circunferência do parafuso. Este zero é essencial para garantir que todas as medições subsequentes sejam consistentes e precisas;

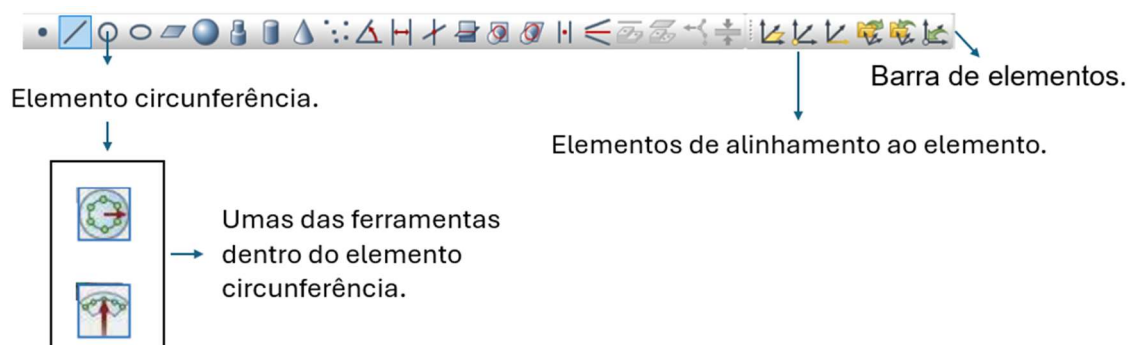


Figura 5-13 – Utilização de ferramenta.

Alinhamento Padrão:

- O alinhamento padrão ilustrado Figura 5-14 envolve a comparação entre uma imagem de referência e a imagem do parafuso em questão. Dado que pode haver variações na orientação da cabeça do parafuso, é necessário ajustar a rotação da imagem padrão. Este ajuste é feito até que a imagem padrão e a imagem da peça estejam alinhadas de forma precisa, permitindo uma comparação fiável;

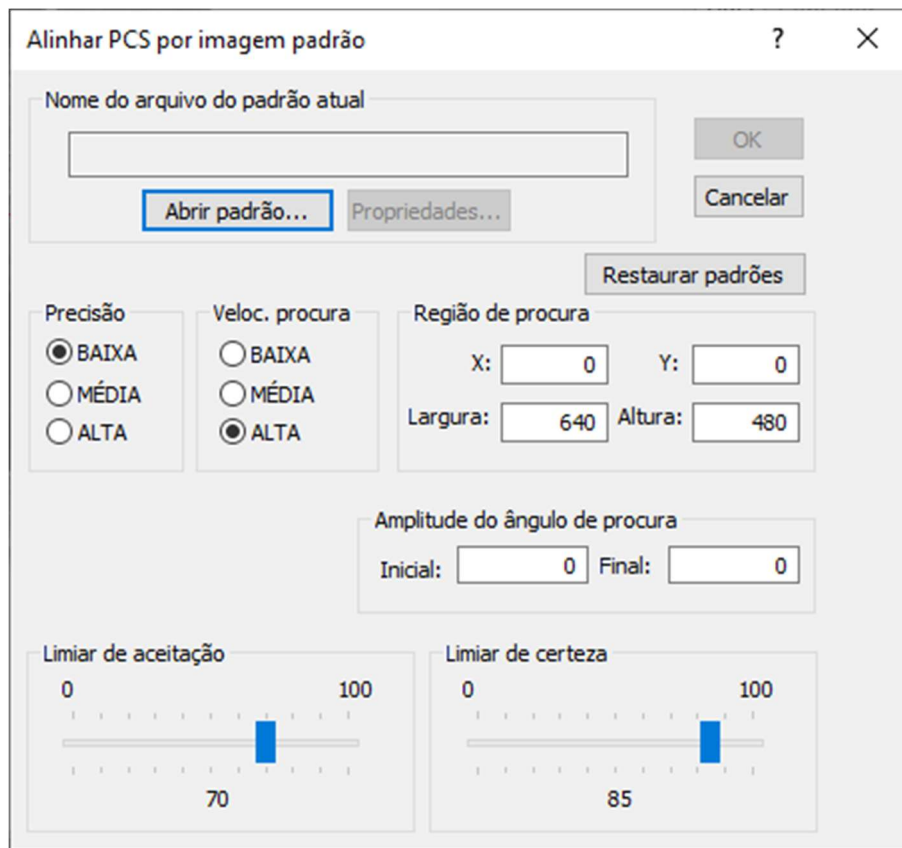


Figura 5-14 – Alinhamento Padrão.

Rotação Programável:

- A rotação da imagem padrão pode ser ajustada com uma precisão programável. Por exemplo, ao dividir os 360° de uma rotação completa por 180°, obtemos incrementos de 2°. Este ajuste pode ser afinado conforme necessário, até se alcançar um alinhamento perfeito entre as imagens comparadas;
- A escolha de utilizar incrementos de 2° na rotação da imagem padrão baseia-se na necessidade de um ajuste preciso para a sobrepor as imagens, permitindo um controle detalhado sobre a orientação da imagem. Este nível de precisão é crucial para garantir que, ao rotacionar a imagem, se possa atingir um alinhamento perfeito com a outra imagem em análise. Ao utilizar valores pequenos, minimizamos a possibilidade de erros de alinhamento, favorecendo a qualidade do resultado. Assim, esta abordagem programável garante uma manipulação mais eficaz das imagens, facilitando a obtenção do encaixe desejado;

Sub-Rotina de Alinhamento:

- Caso seja necessário um alinhamento mais fino, pode ser implementada uma sub-rotina em loop. Este loop realiza ajustes incrementais de forma contínua até se atingir o resultado desejado, garantindo a máxima precisão no alinhamento do artigo em análise. Trata-se de uma repetição da rotação programada, que vai iterando até o alinhamento perfeito ser alcançado;

Medição – Procedimento Detalhado:

- Cota $\varnothing A$ e Cota $\varnothing F$ - A ferramenta de medição de circunferência como ilustrado na Figura 5-15 tem como função quantificar as dimensões da cabeça do parafuso através de medição direta. Este processo envolve a aplicação da ferramenta na superfície da circunferência do parafuso, permitindo obter o seu diâmetro;

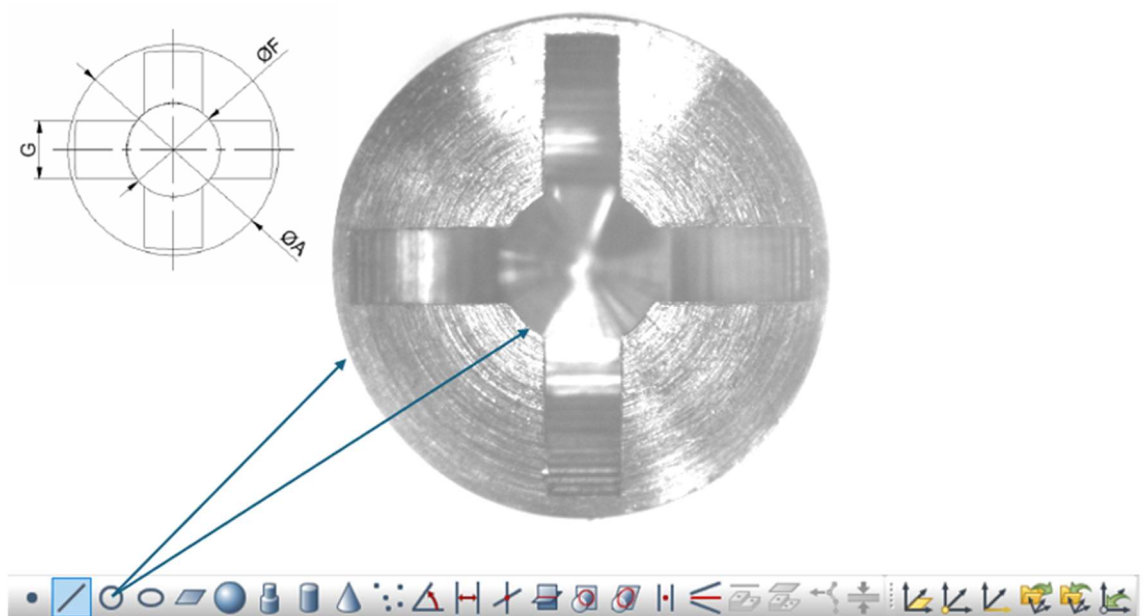


Figura 5-15 – Medição Cota $\varnothing A$ e Cota $\varnothing F$.

- Cota G – As ferramentas de medição de linha e ponto e a ferramenta distância como ilustrado na Figura 5-16 que permitem determinar a distância precisa entre dois elementos específicos;
 - Medição de Linha: É definido uma linha numa zona do cross com dois pontos;
 - Medição de Ponto: É definido um ponto numa zona do cross oposta a zona da linha;
 - Distância: A ferramenta calcula a distância direta entre a linha e o ponto;

Estas ferramentas de medição permitem definir valores nominais e tolerâncias. Isso significa que se a medição estiver fora desses limites, o sistema identifica automaticamente um erro. Para o corpo parafuso cross seguiu-se a mesma lógica de programação.

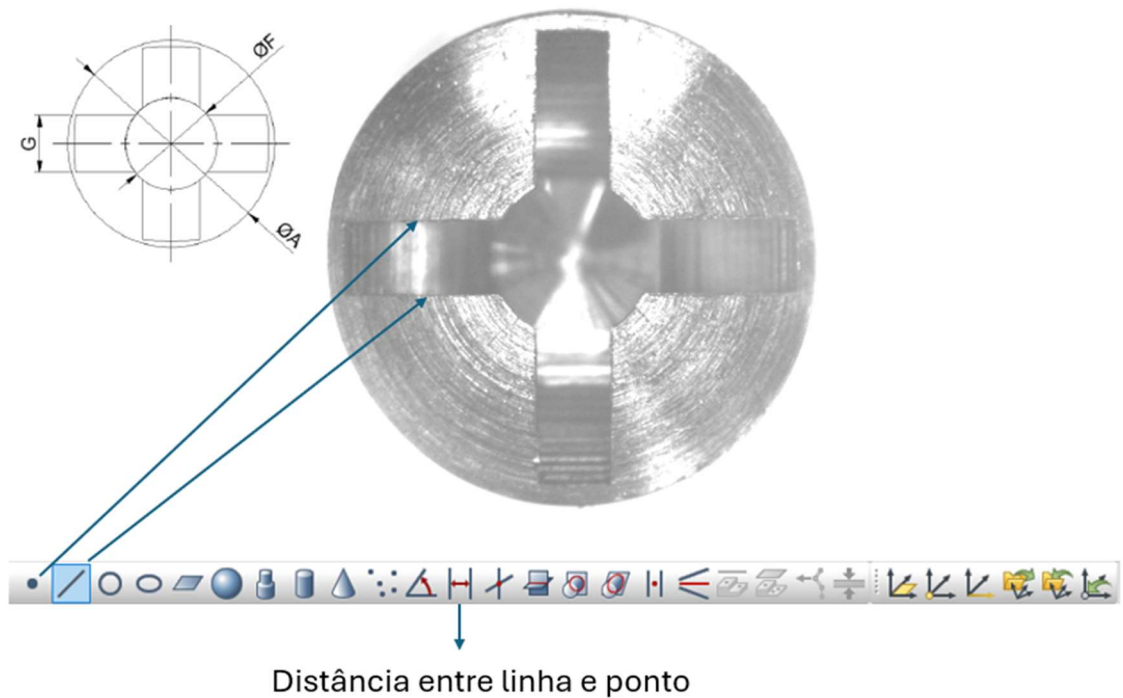


Figura 5-16 – Medição Cota G.

5.3.3 Organização dos Programas

Na Tabela 5-2 e Tabela 5-3, estão organizados e catalogados os programas de controle para a cabeça e o corpo do parafuso Cross-Drive 15.14.07.YYXXX, onde YY corresponde ao diâmetro do corpo do parafuso e XXX ao seu comprimento, sendo que YY tem o valor 19 e XXX varia consoante o valor L.

O Apêndice 4 apresenta uma demonstração detalhada sobre a interligação entre os elementos de medição e as respectivas ferramentas, que são responsáveis por gerar os pontos necessários à construção.

À medida que o comprimento do corpo do parafuso varia, torna-se necessária a elaboração de um programa de controle específico. Segundo as Tabela 5-2 e Tabela 5-3 para esta família de parafusos, é necessário o desenvolvimento de 18 programas dedicados ao corpo do parafuso e 1 programa específico para a cabeça.

**Tabela 5-2 – Programas de Controlo para a corpo do Parafuso
15.14.07.YYXXX.**

Lista de Programas corpo					
YY	XXX				
19	004	005	006	007	008
	009	010	011	012	013
	014	015	016	017	018
	019	020	021		
Total:	18				

Tabela 5-3 – Programas de Controlo para a cabeça do Parafuso 15.14.07.YYXXX.

Lista de Programas cabeça				
YY	ØA	ØF	G	
19	2,50	0,80	0,50	
Total:				1

Como exemplo a partir das Tabela 5-2 e Tabela 5-3, podemos retirar as seguintes informações:

- Pode-se extrair o código 15.14.07.19004, que corresponde a um parafuso do tipo Cross-Drive, com diâmetro de corpo 1,9 mm e comprimento L igual a 4 mm. Um programa é destinado ao corpo e outro à cabeça, sendo este último comum aos restantes elementos da mesma família;

Nas Tabela 5-4 e Tabela 5-5, estão organizados e catalogados os programas de controlo para a cabeça e o corpo do parafuso Cross-Drive 15.04.07.YYXXX, onde YY corresponde ao diâmetro do corpo do parafuso e XXX ao seu comprimento, sendo que YY pode tem os valores de 12, 14, 17, 19, 23 e 25 e onde XXX varia consoante o valor L.

Do mesmo modo do caso acima à medida que o comprimento do corpo do parafuso varia, torna-se necessária a elaboração de um programa de controlo específico. Segundo as Tabela 5-4 e Tabela 5-5 para esta família de parafusos, é necessário o desenvolvimento de 97 programas dedicados ao corpo do parafuso e 3 programa específico para a cabeça [16] [17].

**Tabela 5-4 – Programas de Controlo para a corpo do Parafuso
15.04.07.YYXXX.**

Lista de Programas corpo											
YY	XXX	YY	XXX	YY	XXX	YY	XXX	YY	XXX	YY	XXX
12	004	14	003	17	004	19	004	23	005	25	005
	005		004		005		005		006		006
	006		005		006		006		007		007
	007		006		007		007		008		008
	008		007		008		008		009		009
	009				009		009		010		010
	010				010		010		011		011
	011				011		011		012		012
	012				012		012		013		013
	013				013		013		014		014
					014		014		015		015
					015		015		016		016
					016		016		017		017
					017		017		018		018
					018		018		019		019
					019		019		020		020
					020		020		021		021
					021		021		022		022
									023		023
									024		024
											025
											026
											027
											028
											029
											030
Total	10		5		18		18		20		26

97

Tabela 5-5 – Programas de Controlo para a cabeça do Parafuso 15.04.07.YYXXX.

Lista de Programas cabeça				
YY	ØA	ØF	G	
12	1,80	0,80	0,50	1
14	1,80	0,80	0,50	
17	2,50	0,80	0,50	1
19	2,50	0,80	0,50	
23	3,50	1,10	0,50	1
25	3,50	1,10	0,50	
Total:				3

Como exemplo a partir das Tabela 5-4 e Tabela 5-5, podemos retirar as seguintes informações:

- Pode-se extrair o código 15.04.07.12004, que corresponde a um parafuso do tipo Cross-Drive, com diâmetro de corpo 1,2 mm e comprimento L igual a 4 mm. Um programa é destinado ao corpo e outro à cabeça, sendo este último comum a 15 elementos da mesma família;

O número de programas não é o mesmo em todas as famílias, sendo variável conforme as especificações. Esta variação depende de fatores como as características geométricas, assim, diferentes características resultam em diferentes quantidades de programas.

5.3.4 Gestão do EMM Sistema Ótico

A matriz em Excel oferece uma abordagem eficaz para registar os dados de medição de maneira organizada. Uma ferramenta que facilita a interpretação e análise dos resultados, uma estrutura clara e sistemática.

A integração do sistema de medição constitui um processo crucial para assegurar a qualidade e eficiência dos processos. Este procedimento envolve uma série de etapas estratégicas que visam desde a configuração adequada das ferramentas de medição até à integração harmoniosa do sistema com os processos.

O sistema está inserido no plano de calibração dos Equipamentos de Medição e Monitorização (EMM) da qualidade. O critério de Aceitação (CA) do sistema é fundamentado tanto nas especificações dos artigos fabricados quanto nas especificações fornecidas pelo fabricante do sistema.

A formação contínua dos técnicos no sistema é essencial para garantir o seu correto funcionamento e utilização eficaz. Este processo envolve uma série de etapas que

visam familiarizar os técnicos com as funcionalidades, procedimentos e protocolos relacionados ao sistema:

- Introdução abrangente do sistema, incluindo uma visão geral das suas características;
- Prática como operar o sistema;
- Procedimentos de manutenção e resolução de problemas relacionados ao sistema;
- Protocolos de segurança relacionados ao sistema;
- Formação contínua do sistema;

A integração do sistema de medição dentro da empresa representa um marco significativo no aprimoramento dos processos operacionais e na garantia da fiabilidade e qualidade dos produtos. Essa etapa envolve a incorporação estratégica do sistema de medição nos fluxos de trabalho existentes, com o objetivo de melhorar a eficiência e consistência das medições, proporcionando uma resposta mais precisa e rápida às necessidades operacionais da empresa. Durante a integração diversos testes foram realizados no sistema de medição para validar a sua precisão, confiabilidade e desempenho. A fim de garantir a fiabilidade do sistema, foram realizadas medições em lotes utilizando tanto o método manual, com o auxílio de equipamentos convencionais, quanto o sistema de medição automatizado. Esse procedimento permite comparar os resultados obtidos pelos dois métodos e verificar a consistência e precisão do sistema em relação às medições manuais.

O processo está sujeito a melhorias conforme os resultados obtidos e à medida que novas ferramentas de programação são adquiridas. Essa abordagem permite aperfeiçoar continuamente o sistema de medição, incorporando novas funcionalidades e otimizando os procedimentos existentes com base nas lições aprendidas e nas ferramentas tecnológicas disponíveis.

5.4 Implementação

Para proceder com a elaboração destinada a validar a eficácia do método de controlo, foi desenvolvido um conjunto estruturado de etapas que visam garantir uma execução eficaz do método proposto e a subsequente validação. Esta elaboração é fundamental para assegurar a precisão, fiabilidade e consistência das medições, permitindo que os resultados obtidos sejam robustos e replicáveis. Cada etapa do processo foi cuidadosamente delineada para mitigar possíveis falhas e assegurar que o método atenda aos requisitos estabelecidos, promovendo uma avaliação criteriosa e rigorosa da sua eficácia.

5.4.1 Etapas da Implementação

A implementação do controlo de qualidade dos parafusos foi dividida em três etapas, cada uma abordando um processo específico. Esta estrutura foi estabelecida para garantir uma abordagem sistemática, promovendo uma melhor compreensão e execução das práticas de controlo de qualidade. A divisão em etapas permite que cada fase do processo seja gerida de forma clara e eficiente, assegurando que os padrões de qualidade sejam rigorosamente cumpridos.

1. Seleção da Amostra:

A empresa estabeleceu planos de amostragem conforme a Norma ISO 2859-1 para determinados artigos, como é o caso dos parafusos. O controlo de qualidade por amostragem é uma abordagem eficiente para avaliar a qualidade de produções em larga escala, sem a necessidade de inspecionar cada artigo individualmente. Nesse método, uma seleção representativa de artigos é escolhida aleatoriamente e sujeita a inspeção. Este processo permite verificar se a produção atende aos padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a conformidade com as especificações técnicas e normativas aplicáveis. Assim, a empresa pode assegurar a consistência e confiabilidade dos seus produtos, mantendo elevados padrões de qualidade.

A amostra consiste num Locking Screw, em titânio, com um diâmetro de Ø1,9 mm e comprimento de 4 mm, com sistema de encaixe Cross-Drive, utilizado em procedimentos cirúrgicos ortopédicos para fixação de extremidades superiores e inferiores. Este tipo de parafuso é essencial em intervenções onde é necessária a fixação estável de implantes, oferecendo resistência mecânica e biocompatibilidade, características típicas do titânio, que minimizam o risco de rejeição e promovem a integração óssea [11].

2. Definição dos Parâmetros:

Os parâmetros de avaliação, incluindo as cotas consideradas críticas são estabelecidos de acordo com as especificidades definidas pelo departamento de projeto. Os critérios de avaliação considerados relevantes pelo responsável pelo departamento. Estes parâmetros são determinados com base em ensaios funcionais e feedback de clientes bem como procedimentos de fabricação estabelecidos por normas.

3. Metodologia de Medição:

O objetivo deste procedimento é clarificar e orientar o operador na sequência de trabalho para a utilização do Quick Vision Pro da Mitutoyo (modelo Hyper QV 404) na medição

de parafusos. Este procedimento padronizado visa estabelecer uma abordagem sistemática e rigorosa para a inspeção destes artigos.

Ao seguir este procedimento, o operador terá uma diretriz clara e detalhada sobre as etapas a serem seguidas durante o processo de medição, desde a preparação do equipamento até a análise dos resultados.

5.4.2 Instrução de trabalho

A instrução de trabalho detalha, de forma clara e estruturada, os passos a seguir para garantir a execução correta das tarefas, assegurando consistência e qualidade em todas as etapas do processo. Contudo, além da instrução de trabalho, foram realizadas reuniões regulares com as equipes envolvidas, com o objetivo de alinhar expectativas, discutir potenciais desafios e garantir que todos os colaboradores compreendam os procedimentos a adotar. Adicionalmente, foram implementadas sessões de formação para capacitar os operadores, garantindo que estes dominem as técnicas e ferramentas necessárias. Para complementar, foi disponibilizada tutoria contínua, permitindo o acompanhamento e suporte direto por parte de colaboradores mais experientes, assegurando a correta aplicação das instruções e a resolução de dúvidas no momento da execução.

a) Arranque do Sistema:

- Ligar o Computador;
- Ligar a CMM no botão “Power” no comando;
- Executar o Software QVPAK. Como ilustrado na Figura 5-17;
- A mesa irá se mover para o ponto zero;

Nota: A mesa poderá se mover em alta velocidade em todos os eixos.

- O sistema pronto para modo de medição livre ou modo de elaboração / execução de programa de controle:

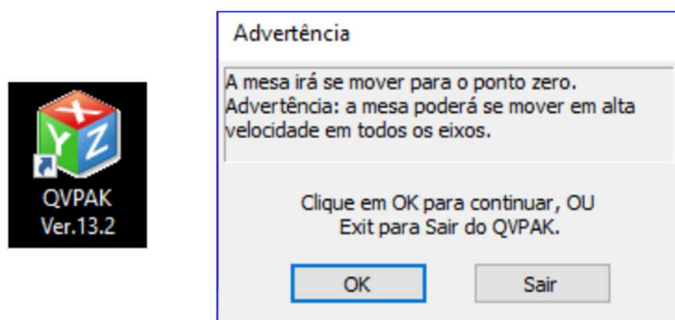


Figura 5-17 – Arranque do Sistema.

b) Início do Processo:

- Executar Programa de controlo;
- Arquivo → Abrir → Programa;
- Abrir o programa de medição → Setup Astrolabe Medical;
- Pasta 26 → 26.28. → 26.28.24. → 26.28.24.35002.MQ_Final.QVB (Exemplo de uma referência);
- QVPAK irá limpar a janela de resultados de medição. Deseja salvar o arquivo? (Sim ao Não);
- Programa → Executar;
- Mensagem de ajuste de velocidade → ok;

c) Realização do processo:

- Seguir os passos do Programa de controlo;
- Seguir o exemplo os passos do Programa. Como ilustrado na Figura 5-18;
- Todos os Programa seguem o mesmo procedimento;



Figura 5-18 – Passos do Programa de controle.

d) Saída do Processo:

- Após a finalização das medições, a MMC deve ser desligada;
- Arquivo → Sair;
- QVPAK Irá limpar a janela de resultados de medição. Deseja salvar o arquivo? (Sim ao Não);
- A MMC só se desliga fisicamente com o desligar do computador (fonte comutada);

5.4.3 Acessórios de apoio a medição

No auxílio às medições, nos métodos de S1 e S2, foram utilizados suportes para garantir a estabilidade e o posicionamento do artigo em relação aos equipamentos de monitorização utilizados no controle das medições. Esses suportes desempenham um papel fundamental no posicionamento adequado dos artigos em relação aos

equipamentos de monitorização utilizados no controlo das medições. Na Figura 5-19, é ilustrado o suporte utilizado no método S1 para o controlo das cabeças do parafuso, enquanto na Figura 5-20 é mostrado o suporte utilizado no mesmo método para o controlo do corpo do parafuso. A Figura 5-21, por sua vez, apresenta o suporte utilizado no método S2.

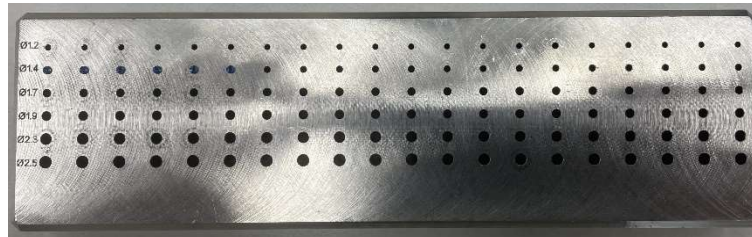


Figura 5-19 – Suporte – Medição da Cabeça dos Parafusos Cross – Método S1.



Figura 5-20 – Suporte – Medição do Corpo dos Parafusos Cross – Método S1.

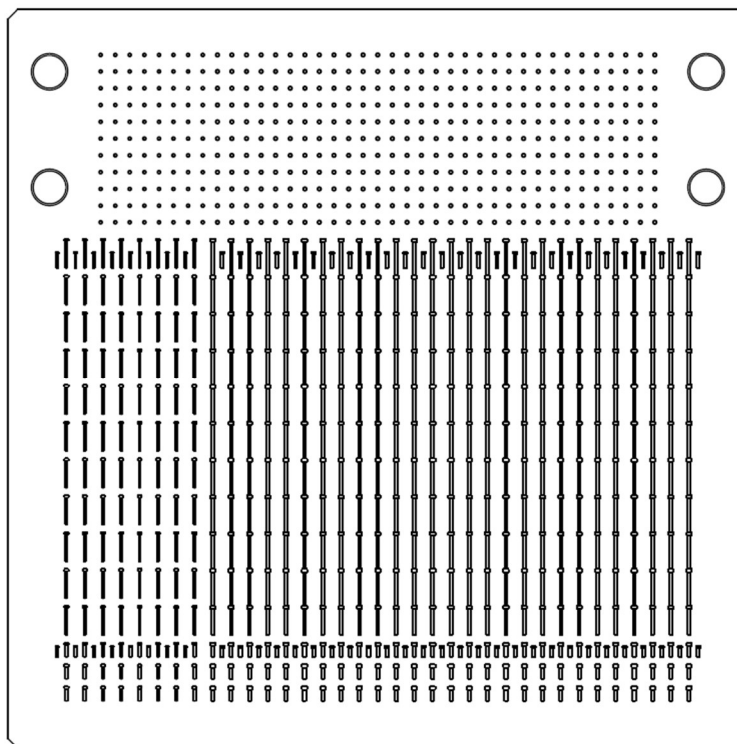


Figura 5-21 – Suporte 1 Quick Vision Pro – Método S2.

S1 – Método de Controlo (Registo manual).

O método de controlo S1 utiliza equipamentos das famílias DLM/Optical, Optical, Cross Depth, Metric GO/NOGO, Anodizing Color e Visual segundo a Tabela 5-6. Na Figura 4-5, encontra-se a descrição detalhada dos equipamentos utilizados, juntamente com as respetivas cotas a serem controladas.

Tabela 5-6 – Equipamentos utilizados em S1.

Família	Equipamento	Cotas	Esquema
DLM/Optical	Paquímetro	L; ØA; ØB	Figura 4-5 Figura 4-5 – Grelha de registo de valores [16].
Optical	Projetor de perfil	ØC; G; ØF	
Cross Depth	Comparador com adaptador	D; E	
Metric GO/NOGO	Anéis Padrão P/NP	H	
Anodizing Color	Calibre de Cor	Green	
Visual	---	Sharp Cut	

O método de controlo S2 descrito anteriormente é uma abordagem sistemática que assegura a conformidade com as especificações.

5.4.4 Execução dos ensaios

Realizaram-se ensaios das estratégias S1 e S2 com o artigo 15.14.07.19007 (Locking Screw, Ti, Ø1.9 x 7 mm Cross) como referência. Estes parafusos, cujas medidas são teoricamente conhecidas, embora não sejam um padrão formalizado. Essa abordagem permite avaliar a repetibilidade, exatidão e outros atributos dos sistemas em condições controladas. A amostragem em análise é composta por 50 unidades, pertencentes a um total de 400 parafusos. Devido à limitação do suporte do método em vigor que só suporta 20 parafusos e as medições da amostra são repartidos em 3 partes. O ensaio foi realizado na quantidade máxima do suporte. Na Figura 5-22, são apresentadas as medições de um artigo selecionado, através do método S1 com registo manual.

Tol.	L=7,00	ØA=2,50	ØB=1,90	C=1,30	D=0,70	E=0,6	ØF=0,80	G=0,50	H=M2,3x0,4	GREEN	SHARP CUT=1		C	NC
	[6,80/7,20]	[2,40/2,50]	[1,80/1,90]	[1,25/1,35]	[0,65/0,75]	[0,55/0,65]	[0,75/0,85]	[0,50/0,52]	OK	OK	OK			
1	7,00	2,45	1,83	1,31	0,71	0,61	0,80	0,50	ok	---	ok	---		✓
2	7,00	2,45	1,83	1,32	0,72	0,61	0,81	0,50	ok	---	ok	---		✓
3	7,00	2,46	1,84	1,30	0,71	0,62	0,81	0,52	ok	---	ok	---		✓
4	6,99	2,46	1,83	1,33	0,70	0,61	0,83	0,50	ok	---	ok	---		✓
5	6,99	2,45	1,83	1,33	0,70	0,60	0,79	0,50	ok	---	ok	---		✓
6	7,00	2,44	1,84	1,33	0,71	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---		✓
7	7,00	2,46	1,83	1,32	0,72	0,62	0,77	0,50	ok	---	ok	---		✓
8	6,99	2,44	1,83	1,31	0,72	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---		✓
9	7,00	2,46	1,83	1,33	0,71	0,60	0,79	0,52	ok	---	ok	---		✓
10	7,00	2,44	1,84	1,31	0,70	0,60	0,78	0,51	ok	---	ok	---		✓
11	6,99	2,46	1,83	1,31	0,72	0,62	0,80	0,52	ok	---	ok	---		✓
12	7,00	2,45	1,83	1,31	0,72	0,61	0,78	0,52	ok	---	ok	---		✓
13	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,60	0,82	0,51	ok	---	ok	---		✓
14	6,99	2,45	1,83	1,31	0,72	0,61	0,81	0,50	ok	---	ok	---		✓
15	7,00	2,45	1,83	1,32	0,72	0,61	0,81	0,50	ok	---	ok	---		✓
16	7,00	2,46	1,84	1,32	0,71	0,62	0,81	0,52	ok	---	ok	---		✓
17	7,00	2,46	1,83	1,33	0,71	0,61	0,83	0,50	ok	---	ok	---		✓
18	6,99	2,44	1,83	1,33	0,70	0,60	0,80	0,50	ok	---	ok	---		✓
19	7,00	2,44	1,84	1,33	0,71	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---		✓
20	7,00	2,46	1,84	1,32	0,72	0,62	0,81	0,50	ok	---	ok	---		✓

Figura 5-22 – Registo de Valores Método S1 na fase de ensaio.

Na Figura 5-23, são apresentadas as medições de um artigo selecionado, através do sistema de medição do método S2 com registo automático.

Tol.	L=7,00	ØA=2,50	ØB=1,90	C=1,30	D=0,70	E=0,6	ØF=0,80	G=0,50	H=M2,3x0,4	GREEN	SHARP CUT=1		C	NC
	[6,80/7,20]	[2,40/2,50]	[1,80/1,90]	[1,25/1,35]	[0,65/0,75]	[0,55/0,65]	[0,75/0,85]	[0,50/0,52]	OK	OK	OK			
1	7,00	2,44	1,83	1,30	0,70	0,60	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓	
2	7,00	2,44	1,83	1,30	0,71	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓	
3	7,00	2,45	1,83	1,30	0,71	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓	
4	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---	✓	
5	7,01	2,45	1,81	1,32	0,71	0,61	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓	
6	7,00	2,44	1,82	1,32	0,70	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓	
7	7,00	2,45	1,82	1,32	0,70	0,61	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓	
8	7,00	2,45	1,82	1,32	0,73	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓	
9	7,01	2,45	1,82	1,31	0,70	0,61	0,79	0,51	ok	---	ok	---	✓	
10	7,01	2,44	1,84	1,31	0,70	0,60	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓	
11	7,00	2,45	1,82	1,33	0,71	0,61	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓	
12	7,00	2,45	1,82	1,32	0,73	0,62	0,81	0,51	ok	---	ok	---	✓	
13	7,01	2,45	1,82	1,31	0,70	0,61	0,79	0,51	ok	---	ok	---	✓	
14	7,01	2,44	1,85	1,31	0,70	0,60	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓	
15	7,00	2,44	1,83	1,30	0,70	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓	
16	7,00	2,44	1,82	1,30	0,71	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓	
17	7,00	2,45	1,83	1,30	0,71	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓	
18	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---	✓	
19	7,01	2,45	1,83	1,33	0,71	0,61	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓	
20	7,01	2,44	1,82	1,31	0,70	0,60	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓	

Figura 5-23 – Registo de Valores Método S2 na fase de ensaio.

5.4.5 Estatística

A análise comparativa de dois sistemas de medição avalia a variabilidade, precisão e eficiência dos dados obtidos. Utilizando métricas como o desvio padrão e a amplitude, é possível examinar a consistência das medições e identificar potenciais discrepâncias. As representações gráficas dos tempos de execução de cada método destacam a importância de ambos os sistemas na otimização dos processos.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Equação 5 - 1}$$

X_i : Valor individual

\bar{X} : Média amostral

n : Número de observações

Tabela 5-7 – Desvio Padrão.

L	ØA	ØB	C	D	E	ØF	G	---
0,0047	0,0083	0,0047	0,0097	0,0081	0,0076	0,0164	0,0088	S1
0,0049	0,0066	0,0088	0,0099	0,0093	0,0077	0,0144	0,0047	S2

Na Tabela 5-7 os valores obtidos do desvio padrão em ambos os sistemas revelam a variabilidade dos dados. Um desvio padrão elevado indica maior dispersão em relação

à média, sugerindo inconsistências no desempenho. Por outro lado, valores mais baixos refletem maior consistência e confiabilidade. Na análise dos dados, podemos concluir que os dois sistemas apresentam um desvio padrão semelhante e baixo. Isso indica uma consistência nas medições, refletindo que os parâmetros estão dentro da tolerância de fabrico do artigo. Essa estabilidade é um indicador positivo da qualidade do processo, sugerindo que os sistemas estão a funcionar de forma eficiente e a cumprir os requisitos estabelecidos.

$$\text{Erro} = \text{Valor Lido (Média)} - \text{Valor Nominal}$$

$$\text{Equação 5 - 2}$$

Tabela 5-8 – Erro.

L	ØA	ØB	C	D	E	ØF	G	
6,997	2,452	1,833	1,319	0,721	0,611	0,805	0,507	S1
7,004	2,447	1,826	1,312	0,707	0,608	0,798	0,503	S2
Erro = Valor Referência (Média) - Valor Nominal								
-0,003	-0,048	-0,067	-0,031	0,021	0,011	0,005	0,007	S1
0,004	-0,053	-0,074	-0,038	0,007	0,008	-0,002	0,003	S2

Na Tabela 5-8, são demonstrados os erros entre o valor nominal e a média do valor de referência. Essa análise é fundamental para avaliar a precisão das medições e garantir que os parâmetros estão dentro das especificações aceitáveis. A diferença entre o valor nominal e o valor de referência é um indicador crítico que ajuda a identificar desvios que possam comprometer a qualidade do produto.

A amplitude é uma medida que quantifica a variação de um conjunto de dados, calculada pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo. Esta medida é essencial para compreender a dispersão dos dados, pois fornece uma visão clara da extensão total dos valores observados.

$$\text{Amplitude} = \text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo}$$

$$\text{Equação 5 - 2}$$

Tabela 5-9 – Amplitude.

L	ØA	ØB	C	D	E	ØF	G	---
0,010	0,020	0,010	0,030	0,020	0,020	0,060	0,020	S1
0,010	0,020	0,040	0,030	0,030	0,020	0,040	0,010	S2

Na análise dos dados obtidos na Tabela 5-9, podemos concluir que os resultados apresentam semelhança, exceto para ØB e ØF, que mostram variações significativas. Essas diferenças indicam que as discrepâncias observadas estão relacionadas aos métodos aplicados e à amostra recolhida para ambos os métodos. Não foi garantido que a amostra utilizada seja exatamente a mesma, embora todas as unidades pertençam ao mesmo lote de 400 parafusos.

A Figura 5-24 representa a linha de tempo das etapas do método S1, que corresponde ao tempo necessário para executar o método. Nesta linha de tempo, são detalhadas as etapas do processo de medição, desde a preparação inicial até a conclusão. Cada etapa é cuidadosamente delineada, incluindo a inicialização do sistema, a execução dos procedimentos de medição, e a finalização do processo. Ao longo da linha de tempo, são indicados os tempos para cada etapa, permitindo uma visualização clara e precisa do tempo total necessário para concluir o método.

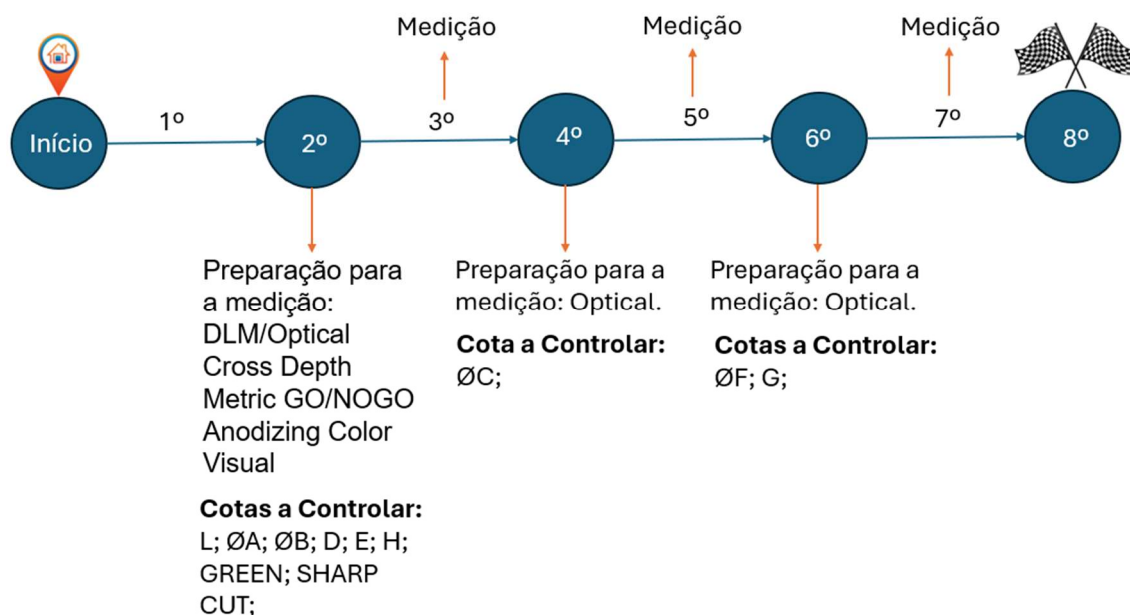


Figura 5-24 – Linha de Tempo S1.

A Figura 5-25 ilustra a linha de tempo para das etapas do método S2, que representa o tempo necessário para executar o método de medição automatizado utilizando o sistema Quick Vision Pro da Mitutoyo. Similar à Figura 5-24, esta linha de tempo apresenta as diferentes etapas do processo de medição, desde a inicialização do sistema até a conclusão das medições. Cada etapa é cuidadosamente explicada, destacando os tempos para cada fase do processo.

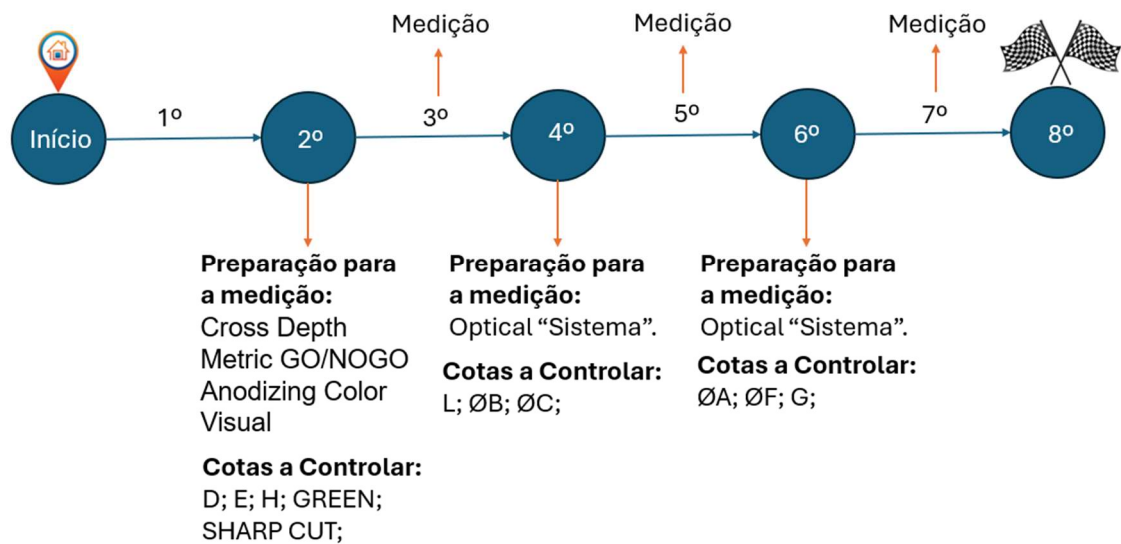


Figura 5-25 – Linha de Tempo S2.

A Tabela 5-10, demonstra tempo de execução da operação por cada método. Esta comparação revela diferenças claras na duração das operações entre os métodos S1 e S2, com o método S2 mostrando-se mais eficiente em termos de tempo, ao completar as operações de forma mais rápida do que o método S1. A análise desses tempos é essencial para avaliar a produtividade e a eficiência de cada método.

Tabela 5-10 – Linha de Tempo.

1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	Total de Tempo	
1'	30"	54".20	5".20	36".20	5".20	43".20	1'	0h50'10'	S1
1'	25"	35".20	5".20	12".20	5".20	18".20	1'	0h27'25'	S2

Estes cálculos foram realizados com 20 parafusos devido à limitação de capacidade dos suportes utilizados no método S1, que só permitem acomodar essa quantidade. A diferença para metade do tempo entre os dois métodos indica que o método S2 é mais

rápido e sugere uma melhor alocação de recursos, além de potencial para aumentar a produtividade. A análise dos tempos de execução destaca a importância de avaliar as eficiências relativas dos métodos, pois isso pode resultar em ganhos substanciais em termos de tempo e custos operacionais.

5.4.6 Incerteza

No campo da medição, conceitos como incerteza, precisão, exatidão, repetibilidade e linearidade são essenciais para assegurar a qualidade dos resultados. A incerteza refere-se à margem de erro associada à medição, refletindo a confiabilidade dos dados obtidos. A precisão, por sua vez, descreve a consistência das medições quando repetidas sob as mesmas condições, enquanto a exatidão avalia a proximidade das medições em relação ao valor verdadeiro. A repetibilidade indica a capacidade de um sistema em produzir resultados idênticos em condições idênticas, e a linearidade assegura que a relação entre as entradas e saídas se mantenha proporcional ao longo da gama de medições. A medição por variáveis possibilita uma análise detalhada de grandezas contínuas. Assim, a interligação desses conceitos é crucial para garantir medições robustas e interpretáveis.

5.4.6.1 Conceitos

A precisão, conforme definido no "VIM 2.26", é um parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza atribuídos à mensuranda a partir das informações utilizadas. Está associada à dispersão dos valores resultantes da repetição das medições.

A exatidão, de acordo com a "VIM 2.13", refere-se à aproximação entre um valor medido e um valor verdadeiro da mensuranda.

A repetibilidade, segundo a "VIM 2.21", é a capacidade de obter os mesmos resultados quando o mesmo procedimento de medição é aplicado. Esta capacidade envolve a utilização do mesmo observador, do mesmo instrumento de medição nas mesmas condições, e a realização da medição no mesmo local, sendo que a repetição deve ocorrer durante um curto intervalo de tempo.

A reprodutibilidade, conforme a "VIM 2.25", é a capacidade de obter resultados consistentes ao repetir um estudo ou experiência sob as mesmas condições. Para isso, devem ser mantidos o princípio e o método de medição, o observador, o instrumento, o padrão de referência, o local e as condições de utilização, além do tempo de realização [1][3][4].

Linearidade - Propriedade de uma relação entre duas variáveis onde uma mudança em uma delas resulta numa mudança proporcional na outra.

Incerteza - É o resultado de uma medição em que reflete a falta de conhecimento associado ao valor da grandeza a ser medido. Um resultado de medição com influência a efeitos relativos, mesmo tendo conhecimento dos erros sistemáticos.

Tipos de Incerteza:

Incerteza Tipo A é derivada de uma análise estatística das séries de medições repetidas. Este tipo de incerteza é calculado com base em dados experimentais, utilizando métodos estatísticos para avaliar a variabilidade das medições. Os principais passos incluem a realização de medições repetidas, o cálculo da média e do desvio padrão das medições, e a determinação da incerteza padrão da média.

Incerteza Tipo B é quando as fontes de incertezas são conhecidas e avaliadas e as correções tenham sido aplicadas gera um grau de confiança.

Nos casos em que uma distribuição normal (gaussiana) possa ser atribuída à mensurada e a incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de saída tenha suficiente fiabilidade, deve ser usado o fator de expansão $k = 2$. A incerteza expandida atribuída corresponde a uma probabilidade de expansão de aproximadamente 95%.

Se uma destas condições de normalidade ou fiabilidade suficiente não for cumprida, o fator de expansão $k = 2$ pode levar a uma incerteza expandida que corresponde a uma probabilidade de expansão menor que 95%. Nestes casos, e de forma a assegurar que o valor da incerteza expandida apresentado corresponde a uma probabilidade de expansão que é idêntica ao caso normal, têm de ser seguidos outros procedimentos. O uso de aproximadamente a mesma probabilidade de expansão, é essencial sempre que dois resultados de medição de uma dada grandeza têm de ser comparados, por exemplo, quando se avaliam os resultados de uma comparação interlaboratorial ou se avalia a conformidade com uma especificação. O Objetivo é avaliar um produto ao resultado, aceitando ou rejeitando esse produto ou esse teste. Em qualquer medição se obtém o valor real, mas associar-lhe uma incerteza aceitável para a medida em questão [20][23].

5.4.6.2 Parafuso para Cálculos de Incerteza

Um parafuso foi selecionado aleatoriamente da amostra para estudo de precisão, exatidão, repetibilidade e reprodutibilidade. Essas análises são essenciais para verificar a consistência das medições em relação às especificações técnicas, garantindo confiabilidade e qualidade dos resultados obtidos.

5.4.6.3 Precisão

Para avaliar a dispersão relativa dos dados em relação à média, utiliza-se o coeficiente de variação, calculado pela Equação 5 - 3. Este coeficiente, que é expresso em termos percentuais, oferece uma medida normalizada da variabilidade, permitindo comparar a dispersão entre diferentes conjuntos de dados, independentemente das suas magnitudes. A Equação 5 - 3 é particularmente útil para compreender a consistência dos dados em estudos onde as unidades de medida podem variar.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100 \quad \text{Equação 5 - 3}$$

CV: Coeficiente de variação
S: Desvio padrão das replicações
X: Média das replicações

Tabela 5-11 – Coeficiente de variação

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média		
Valor Nominal	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	Valor Obtido	S	CV (%)
7,00	7,000	7,001	7,000	7,000	7,001	7,000	7,000	7,001	7,000	7,001	7,000	0,0005	0,0070
2,50	2,450	2,450	2,450	2,451	2,451	2,451	2,451	2,450	2,451	2,450	2,451	0,0005	0,0204
1,90	1,840	1,841	1,840	1,840	1,840	1,840	1,840	1,840	1,840	1,840	1,840	0,0003	0,0163
1,35	1,320	1,320	1,321	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	0,0003	0,0227
0,80	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,791	0,790	0,790	0,0003	0,0380
0,50	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,501	0,500	0,500	0,501	0,500	0,0004	0,0800

A análise dos valores apresentados na Tabela 5-11, demonstra uma correlação direta entre o coeficiente de variação e a dispersão dos dados. Quanto menor é o coeficiente de variação, menor é a dispersão dos dados, indicando maior precisão. Isto significa que as medições são mais consistentes e próximas umas das outras. O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa, expressa como a razão entre o desvio padrão e a média de um conjunto de dados, apresentada em percentagem.

5.4.6.4 Exatidão

Segundo o fabricante do sistema, a exatidão varia consoante o eixo ou a conjugação de eixos. Para avaliar a proximidade dos resultados obtidos em relação ao valor verdadeiro ou esperado, utiliza-se a exatidão, calculada pelas Equação 5 – 4, Equação 5 – 5 e Equação 5 – 6. Esta métrica é crucial para determinar a fidelidade dos dados em relação

ao padrão de referência, permitindo identificar possíveis erros sistemáticos no processo de medição. As Equação 5 – 4, Equação 5 – 5 e Equação 5 – 6 fornece, assim, uma avaliação quantitativa da exatidão, sendo essencial para garantir a confiabilidade das conclusões tiradas a partir dos dados. Nestas equações, o termo L representa o comprimento em mm. Estas equações são fornecidas diretamente pelo fabricante.

$$\text{Eixo X e Y: } \left(0,8 + \frac{2L}{1000}\right) \mu\text{m} \quad \text{Equação 5 – 4}$$

$$\text{Eixo Z: } \left(1,5 + \frac{2L}{1000}\right) \mu\text{m} \quad \text{Equação 5 – 5}$$

$$\text{Conjugação dos Eixos XY: } \left(1,4 + \frac{3L}{1000}\right) \mu\text{m} \quad \text{Equação 5 – 6}$$

As equações anteriores referem-se à exatidão dos movimentos do sistema nos seus eixos. Estes movimentos são realizados pelo sistema para alcançar uma posição programada antes de realizar a medição.

Para avaliar a proximidade dos resultados obtidos em relação ao valor verdadeiro ou esperado, utiliza-se a exatidão, calculada pela Equação 5 - 7. Esta métrica é crucial para determinar a fidelidade dos dados fornecidos pelo sensor em relação a medição, permitindo identificar possíveis erros sistemáticos no processo de medição. A Equação 5 - 7 fornece, assim, uma avaliação quantitativa da exatidão, sendo essencial para garantir a confiabilidade das conclusões tiradas a partir dos dados. Nesta equação, o termo L representa o comprimento em mm. A equação utilizada é fornecida pelo fabricante.

$$\text{Exatidão (Sensor de medição): } \left(1,5 + \frac{2L}{1000}\right) \mu\text{m} \quad \text{Equação 5 – 7}$$

A equação mencionada refere-se à exatidão das medições realizadas pelo sistema. Na Tabela 5-12, são apresentados os cálculos de exatidão com base nesta equação.

Tabela 5-12 – Cálculo da Exatidão segundo as expressões do fabricante.

Cota	Valor Nominal	Média	
		Valor Obtido	sensor de medição
L	7,00 mm	7,000 mm	1,5140 μm
$\varnothing A$	2,50 mm	2,451 mm	1,5050 μm
$\varnothing B$	1,90 mm	1,840 mm	1,5038 μm
$\varnothing C$	1,35 mm	1,320 mm	1,5027 μm
$\varnothing F$	0,80 mm	0,790 mm	1,5016 μm
G	0,50 mm	0,500 mm	1,5010 μm

Para garantir este nível de exatidão, o sistema deve ser ajustado pelo fabricante com a lente master QV-HR2,5X [15].

5.4.6.5 Repetibilidade

O cálculo da repetibilidade baseou-se nos valores obtidos por três inspetores, cada um deles atuando de forma independente. A repetibilidade foi determinada para a cota L, que possui um valor nominal de 7 mm e uma tolerância de $\pm 0,2$ mm. Cada inspetor realizou medições repetidas dessa cota, e os dados resultantes foram analisados para avaliar a consistência das medições de cada inspetor, permitindo assim a determinação da repetibilidade [13].

As condições para o cálculo são:

- Dez Amostras ($n = 10$);
- Três medições em cada amostra ($r = 3$);

Na Tabela 5-13 demonstra os resultados do inspetor A.

Tabela 5-13 – Valores obtidos pelo Inspetor A.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_10		Média
Valor Lido 1	7,009	7,008	7,008	7,008	7,008	7,008	7,007	7,000	7,007	7,008		7,0071
Valor Lido 2	7,009	7,007	7,007	7,007	7,008	7,007	7,008	7,000	7,007	7,007		7,0067
Valor Lido 3	7,009	7,007	7,007	7,007	7,009	7,007	7,007	7,000	7,007	7,007		7,0067
AVE	7,009	7,007	7,007	7,007	7,008	7,007	7,007	7,000	7,007	7,007	$\bar{X} =$	7,0068
Range	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	$\bar{R}_1 =$	0,0007

Desvio Padrão: 0,0024.

Desvio Padrão da Média: 0,0004.

Podemos concluir, pelos valores obtidos pelo inspetor A, que a repetibilidade é de 0,0004.

Na Tabela 5-14 demonstra os resultados do inspetor B.

Tabela 5-14 – Valores obtidos pelo Inspetor B.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_10		Média
Valor Lido 1	7,007	7,009	7,008	7,008	7,008	7,008	7,008	7,000	7,008	7,008		7,0072
Valor Lido 2	7,008	7,007	7,007	7,007	7,009	7,007	7,008	7,000	7,007	7,007		7,0067
Valor Lido 3	7,008	7,007	7,007	7,007	7,009	7,007	7,007	7,001	7,007	7,007		7,0067
AVE	7,008	7,008	7,007	7,007	7,009	7,007	7,008	7,000	7,007	7,007	$\bar{X} =$	7,0069
Range	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	$\bar{R}_2 =$	0,0011

Desvio Padrão: 0,0023.

Desvio Padrão da Média: 0,0004.

Podemos concluir, pelos valores obtidos pelo inspetor B, que a repetibilidade é de 0,0004.

Na Tabela 5-15 demonstra os resultados do inspetor C.

Tabela 5-15 – Valores obtidos pelo Inspetor C.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_10		Média
Valor Lido 1	7,008	7,008	7,008	7,008	7,008	7,008	7,007	7,000	7,007	7,008		7,0070
Valor Lido 2	7,009	7,007	7,007	7,007	7,008	7,007	7,008	7,000	7,007	7,006		7,0066
Valor Lido 3	7,009	7,007	7,007	7,007	7,009	7,007	7,007	7,000	7,007	7,007		7,0067
AVE	7,009	7,007	7,007	7,007	7,008	7,007	7,007	7,000	7,007	7,007	$\bar{X} =$	7,0068
Range	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	$\bar{R}_3 =$	0,0009

Desvio Padrão: 0,0024.

Desvio Padrão da Média: 0,0004.

Podemos concluir, pelos valores obtidos pelo inspetor C, que a repetibilidade é de 0,0004. Pode-se concluir que as medições realizadas por cada inspetor apresentam uma elevada repetibilidade. A reduzida variabilidade observada entre as medições sugere que os resultados obtidos são consistentes, evidenciando uma precisão e estabilidade significativas no processo de medição.

5.4.6.6 Incerteza Tipo A

O cálculo de incerteza tipo A, é calculado nos valores obtidos por cada inspetor individualmente, para determinar a incerteza tipo A associada às medições, utiliza-se a abordagem estatística baseada na análise de dados experimentais. A incerteza tipo A é calculada a partir da variabilidade dos resultados obtidos em múltiplas medições, permitindo quantificar a dispersão dos valores em torno da média. Este tipo de incerteza é fundamental para avaliar a precisão das medições e é calculado utilizando a Equação 5 – 8 [13][20][23].

Inspetor A

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,0024}{\sqrt{30}} = 0,00044 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 – 8}$$

u: Incerteza Tipo A

S: Desvio padrão das replicações

n: Número de medições

Inspetor B

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,0023}{\sqrt{30}} = 0,00042 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 – 8}$$

Inspetor C

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,0024}{\sqrt{30}} = 0,00044 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 – 8}$$

5.4.6.7 Incerteza Tipo B

O cálculo da incerteza tipo B, é calculado através de várias, fontes de incerteza.

- Identificação das fontes de incerteza linear:

a) Exatidão do sistema segundo o fabricante;

$$\frac{1,5 + 2L}{1000}$$

O valor de L em mm

b) Incerteza da calibração do sistema;

O valor obtido através do Certificado de Calibração do sistema. Valor de incerteza mais alta registada no ensaio voltométrico. Ensaio de exatidão X+, Y+, Z+. Página 3 Anexo 1 Certificado de calibração n° 02/148/2022. Ensaio verificação eixo ZZ.

c) Variação térmica;

d) Resolução do sistema;

O valor obtido através das características do sistema.

O laboratório onde o sistema está instalado tem a temperatura e a humidade controladas. A temperatura é controlada a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e a humidade é controlada a $55\% \pm 5\%$. Na Tabela 5-16, encontram-se os cálculos da incerteza tipo B Linear.

Tabela 5-16 – Cálculo da incerteza Tipo B Linear.

Descrição da Componente	Valor da Componente	Tipo aval./Distribuição de	Incerteza Padrão (ux)
Exatidão do sistema segundo o fabricante	$8,02 \cdot 10^{-4}$ mm	A/Normal	$8 \cdot 10^{-4}$ mm
Incerteza da calibração do sistema	0,0022 mm	b/normal*	0,0011 mm
Variação térmica	2°C	b/trian	0,8165°C
Resolução do sistema	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	b/rect	$3 \cdot 10^{-4}$ mm
Descrição da Componente	Coefficiente sensibilidade (Ci)	Componente Incerteza (ux.Ci)	Componente Incerteza (ux.Ci)^2
Exatidão do sistema segundo o fabricante	1	$8 \cdot 10^{-4}$ mm	$6,420 \cdot 10^{-7}$ mm ²
Incerteza da calibração do sistema	1	0,0011 mm	$1,210 \cdot 10^{-6}$ mm ²
Variação térmica	$1,15 \cdot 10^{-5}$ m/°C	$9,4 \cdot 10^{-6}$ mm	$8,8167 \cdot 10^{-11}$ mm ²
Resolução do sistema	1	$3 \cdot 10^{-4}$ mm	$8,3333 \cdot 10^{-8}$ mm ²

Para calcular a incerteza tipo B associada às medições, com já referido é obtida a partir de variáveis. Esta incerteza é calculada utilizando a Equação 5 – 8.

$$u(y) = \sqrt{(6,420 \cdot 10^{-7} + 1,210 \cdot 10^{-6} + 8,8167 \cdot 10^{-11} + 8,3333 \cdot 10^{-8})}$$

$$= 0,0014 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 – 8}$$

Facto de expansão K:

Um fator de expansão é geralmente simbolizado por k, o número maior do que um pelo qual uma incerteza-padrão combinada é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida. O fator de abrangência k é uma medida de confiabilidade, e quando as leituras realizadas no equipamento se repetem o valor de k será 2 pois os graus de liberdade tendem a infinito, caso contrário o fator k varia conforme a Tabela 5-17.

Tabela 5-17 – t - Student

V_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

A incerteza expandida corresponde a uma combinação de todas as fontes de incerteza obtidas no processo de medição. Para calcular a incerteza expandida, utiliza-se a Equação 5 - 9 que integra a incerteza combinada com um fato K, que é escolhido com base no nível de confiança.

$$U(y) = u(y) \cdot k = 0,0014.2 = \pm 0,0028 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 - 9}$$

A incerteza linear do sistema varia consoante o comprimento de L. Os cálculos efetuados estão para um L = 400 mm. Para um L = 1 mm, a incerteza é de $\pm 0,0023$ mm.

- Identificação das fontes de incerteza angular:

a) Desvio Padrão da Média;

Elaboração de um programa no sistema que consiste em medir repetidamente um ângulo de 45 graus, a fim de calcular o desvio padrão da média. Os valores apresentados encontram-se na Tabela 5-18.

Tabela 5-18 – Valores obtidos para cálculo desvio padrão da média.

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_10
Medição	45,0657	45,0656	45,0655	45,0655	45,0654	45,0653	45,0655	45,0654	45,0655	45,0658
AVE	45,0655									
Range	0,0005									
Desvio Padrão	0,0001									
Desvio Padrão da Média	0,0000467									

b) Incerteza da calibração do sistema;

O valor obtido através do Certificado de Calibração do sistema. Valor de incerteza mais alta registrada no ensaio de exatidão angular A1. Página 3 Anexo 1 Certificado de calibração nº 02/148/2022.

c) Variação térmica;

d) Resolução do sistema;

O valor obtido através das características do sistema.

Os cálculos da incerteza tipo B Angular encontra-se apresentados na Tabela 5-19.

Tabela 5-19 – Cálculo da incerteza Tipo B Angular.

Descrição da Componente	Valor da Componente	Tipo aval./Distribuição	Incerteza Padrão (ux)
Exatidão do sistema segundo o fabricante	$4,67 \cdot 10^{-5}^\circ$	A/Normal	$4,67 \cdot 10^{-5}^\circ$
Incerteza da calibração do sistema	$0,0222^\circ$	b/normal*	$0,0111^\circ$
Variação térmica	2°C	b/trian	$0,8165^\circ\text{C}$
Resolução do sistema	$5 \cdot 10^{-5}^\circ$	b/rect	$3 \cdot 10^{-5}^\circ$
Descrição da Componente	Coefficiente sensibilidade (Ci)	Componente de incerteza (ux.Ci)	Componente de incerteza (ux.Ci)²
Exatidão do sistema segundo o fabricante	1	$4,67 \cdot 10^{-5}^\circ$	$2,1809 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^2$
Incerteza da calibração do sistema	1	$0,0111^\circ$	$1,2343 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$
Variação térmica	$1,15 \cdot 10^{-5} \text{ m}/^\circ\text{C}$	$9,4 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$	$8,8167 \cdot 10^{-11} \text{ mm}^2$
Resolução do sistema	1	$3 \cdot 10^{-5}^\circ$	$8,3333 \cdot 10^{-10} \text{ mm}^2$

A incerteza combinada angular é calculada para avaliar a precisão das medições angulares, integrando todas as fontes de incerteza associadas ao processo de medição. Para este cálculo, utilizam-se a Equação 5 – 10 e Equação 5 - 11, que seguem o mesmo raciocínio utilizado para calcular a incerteza combinada linear.

$$u(y) = \sqrt{(2,1809 \cdot 10^{-9} + 1,2343 \cdot 10^{-4} + 8,8167 \cdot 10^{-11} + 8,3333 \cdot 10^{-10})}$$

$$= 0,0111 \text{ mm} \quad \text{Equação 5 – 10}$$

$$U(y) = u(y) \cdot k = 0,0111 \cdot 2 = 0,0222^\circ \quad \text{Equação 5 – 11}$$

$$0,0222^\circ = 0^\circ 1' 22''$$

A incerteza angular do sistema é uma incerteza fixa. Nesta Tabela 5-20 resume as fórmulas aplicadas para calcular a incerteza tipo B, cada distribuição/modelo pode ter uma fórmula específica para determinar a incerteza padrão, dependendo da natureza da incerteza e da distribuição dos dados [18][20].

Tabela 5-20 – Quadro resumo

Estimativa da grandeza de entrada $u(X_i)$						Grandeza de saída $u_i(y)$
Fonte de Incerteza	Valor da componente	Processo de avaliação	Tipo de distribuição	$u(x_i)$	c_i	$u_i^2(y)$
Exatidão do Sistema	a_1 $= \frac{1,5 + \frac{2L}{1000}}{1000}$	Especificação de fabricante	A/Normal	a_1	$\frac{\partial f}{\partial x_1}$	$(u(x_1) \cdot c_1)^2$
Incerteza de calibração	a_2	Certificado de calibração	B/Normal	A_2/k	$\frac{\partial f}{\partial x_2}$	$(u(x_2) \cdot c_2)^2$
Variação térmica	a_3	Especificação de fabricante	B/Triangular	$A_2/\sqrt{6}$	$\frac{\partial f}{\partial x_3}$	$(u(x_3) \cdot c_3)^2$
Resolução	a_4	Especificação de fabricante	B/Retangular	$A_4/\sqrt{3}$	$\frac{\partial f}{\partial x_4}$	$(u(x_4) \cdot c_4)^2$
Somatório da componente quadrática, $\sum u_i^2(y) =$				$\sum (u(x_i) \cdot c_i)^2$		
Valor da incerteza padrão da grandeza de saída, $u(y) =$				$\sqrt{\sum u_i^2(y)}$		

Valor de incerteza expandida, $U =$	$ku(y)$
-------------------------------------	---------

5.4.6.8 Linearidade

Segundo o fabricante do sistema, a linearidade é de 0,02 µm por encoder linear. Isto significa que, quando ocorre uma perturbação num eixo, esta pode ser refletida no outro eixo com uma magnitude de 0,02 µm por encoder linear [15].

5.4.6.9 Medição por variáveis

De forma a avaliar o sistema em relação ao processo, utilizou-se o método de medição por variáveis. Esta técnica estatística é amplamente empregue para avaliar a qualidade de um processo ou produto através da medição contínua de uma característica específica. A abordagem é utilizada em controle de qualidade, engenharia e manufatura, e implica a utilização de dados quantitativos.

Na Tabela 5-21 esta demonstrado a média dos valores obtidos pelos três inspetores, em que:

- $D_4 = 3,267$ para 2 tentativas e $2,574$ para 3 tentativas;
- $D_3 = 0$ até 6 tentativas. (Fatores para construção das cartas de controlo de variáveis).

Tabela 5-21 – Média dos valores obtidos pelos Inspetores.

										$\bar{\bar{X}} =$	7,007	
AVE (X_p)	7,008	7,007	7,007	7,007	7,008	7,007	7,007	7,000	7,007	7,007	$R_p =$	0,008

Para a análise de medições por variáveis, são utilizadas as Equações 5-12 e 5-13. Estas equações são essenciais para descrever as relações entre variáveis.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{(\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3)}{N^\circ \text{ Inspectores}} = 0,001 \quad \text{Equação 5 - 12}$$

$$\text{máx}\bar{X} - \text{min}\bar{X} = 0,0001$$

$$LSC_R = \bar{\bar{R}} \cdot D_4 = 0,002$$

$$LIC_R = \bar{\bar{R}} \cdot D_3 = 0,000$$

$$VE = R \cdot K_1 = 0,001 \cdot 0,591 = 0,0006 \quad \text{Equação 5 - 13}$$

Na Tabela 5-22 a coluna K_1 os fatores de d_2 para construção das cartas de controle de variáveis, especificamente (1/1,128) (1/1,693).

Tabela 5-22 – Fatores K_1

Tentativas	K_1
2	0,887
3	0,591

$$\%VE = 100 \left[\frac{EV}{\frac{Tol.}{6}} \right] = 0,8572$$

A reprodutibilidade é um conceito fundamental na análise de medições, referindo-se à capacidade de obter resultados consistentes quando a medição é realizada por diferentes operadores, utilizando os mesmos métodos e condições. A variação operadora é uma componente específica da variabilidade que reflete as discrepâncias nas medições atribuíveis a diferentes operadores, conforme descrito na Equação 5-14.

$$VO = \left\{ (X_{DIF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{VE^2}{nr} \right) \right\}^{1/2} = \left\{ (0,001 \cdot 0,5231)^2 - \left(\frac{0,0006^2}{10,3} \right) \right\}^{1/2} = 0,0005115$$

$$= 5,115 \cdot 10^{-4} \qquad \text{Equação 5 – 14}$$

Nas tabelas seguintes Tabela 5-23 e Tabela 5-24 na coluna k_n todos os cálculos são baseados na estimativa de 5,15 desvios padrão (99,0% da área abaixo da curva normal). Em que $K_2 = 5,15/d_2^*$, onde d_2^* depende do número de peças e é 1, pois existe somente 1 cálculo de amplitude. Onde d_2^* é obtido da tabela D3, "Quality Control and Industrial Statistics", A.J. Duncan [21].

Tabela 5-23 – Fatores K_2

Tentativas	K_2
2	0,7071
3	0,5231

$$\%VO = 100 \left[\frac{AV}{\frac{Tol.}{6}} \right] = 0,7307$$

A Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) são conceitos fundamentais na avaliação da precisão de um sistema de medição. A repetibilidade refere-se à consistência dos

resultados obtidos por um único operador sob as mesmas condições. Em contraste, a reprodutibilidade diz respeito à consistência dos resultados quando diferentes operadores realizam as medições, conforme descrito na Equação 5-15. A análise conjunta de R&R permite identificar e mitigar fontes de erro, assegurando resultados mais confiáveis.

$$GR \& R = \sqrt{\{(VE^2 + VO^2)\}} = \sqrt{(0,0006^2 + 0,0005115^2)} \\ = 0,000788 \quad \text{Equação 5 – 15}$$

$$\%GR \& R = 100 \left[\frac{GR \& R}{\frac{Tol.}{6}} \right] = 1,1264$$

A Variação Peça é um conceito essencial na análise de medições, referindo-se à variabilidade inerente às características de uma peça ou produto em particular, conforme descrito na Equação 5-16. Essa variação é influenciada por fatores como diferenças de fabricação, materiais utilizados e condições ambientais durante o processo de medição.

$$VP = R_p \cdot K_3 = 0,008 \cdot 0,3146 = 0,00252 \quad \text{Equação 5 – 16}$$

Tabela 5-24 – Fatores K₃

Amostras	K ₃
3	0,5231
4	0,4467
5	0,4030
6	0,3742
7	0,3534
8	0,3375
9	0,3249
10	0,3146

$$\%VP = 100 \left[\frac{VP}{\frac{Tol.}{6}} \right] = 3,6$$

A tolerância é um conceito fundamental na engenharia, referindo-se ao intervalo aceitável de variação nas dimensões ou características de um produto, conforme descrito na Equação 5-17. Estabelecer tolerâncias é essencial para garantir que as peças se encaixem corretamente e funcionem eficazmente. Uma tolerância bem

definida assegura a qualidade do produto e minimiza a variabilidade, contribuindo para a fiabilidade dos sistemas de medição [19].

$$Tol. = Superior - Inferior = 6,8 - 7,2 = 0,40 \quad \text{Equação 5 - 17}$$

$$\frac{Tol.}{6} = 0,07$$

5.4.6.10 Análise de Resultados

A avaliação dos resultados dos métodos S1 e S2 demonstra uma performance consistente, com diferenças mínimas em termos de precisão e exatidão. A análise dos desvios padrões das médias revela baixa variabilidade, indicando a fiabilidade e repetibilidade dos resultados obtidos. Além disso, os valores de erro em relação aos valores nominais permanecem dentro dos limites aceitáveis, confirmando a conformidade com as especificações estabelecidas. O desenvolvimento de um método de controlo utilizando uma MMC ótica teve como principal objetivo aumentar a fiabilidade, eliminar a influência do operador e automatizar o tratamento de dados. Esta abordagem resultou numa redução significativa do tempo de controlo, especialmente evidente no método S2. A automatização proporcionada pela MMC ótica não só aumentou a eficiência do processo, como também garantiu resultados mais consistentes e precisos, sugerindo que o método S2 pode ser preferível em situações onde o tempo é um fator crítico, mantendo a fiabilidade esperada.

Após análise dos resultados obtidos, verifica-se que o sistema atende plenamente aos requisitos estabelecidos. Os testes e medições realizados demonstraram que todas as especificações foram cumpridas dentro dos limites aceitáveis. Estes resultados refletem a eficácia do processo adotado, alinhado com normas e regulamentações pertinentes. A avaliação criteriosa da performance do sistema revelou que ele opera dentro dos parâmetros esperados, garantindo precisão e confiabilidade nos dados fornecidos. Este alinhamento com os requisitos estabelecidos não apenas assegura a qualidade das medições, mas também fortalece a confiança na capacidade do sistema em atender às necessidades e expectativas na produção.

Adicionalmente, a fonte com mais influência no cálculo da incerteza do tipo B é a incerteza de calibração. Quanto menor for a incerteza de calibração, menor será a incerteza do tipo B. Para o cálculo, foi contabilizada a incerteza correspondente ao ponto mais distante nos eixos.

Capítulo 6

Conclusões

Neste capítulo, apresentam-se as conclusões resultantes do desenvolvimento e estudo realizados nos capítulos anteriores, com um enfoque particular na melhoria do sistema de controlo da empresa em questão. Além disso, são propostas diversas direções para futuros desenvolvimentos, que têm o potencial de contribuir significativamente para o aperfeiçoamento contínuo dos processos analisados. Estas sugestões visam não apenas otimizar a eficácia dos métodos existentes, mas também explorar novas oportunidades para inovar e refinar as práticas de controlo, assegurando um progresso sustentado e a manutenção de elevados padrões de qualidade.

6 Conclusões & Desenvolvimentos futuros

Destacando a eficácia do sistema ótico de medição no controlo de qualidade industrial. São discutidos os sucessos alcançados nas fases de desenvolvimento, a validação do sistema, e a melhoria da precisão e consistência dos processos produtivos. Além disso, a análise da incerteza de calibração e as implicações da automação na metrologia são abordadas, refletindo sobre os desafios e avanços na área.

6.1 Conclusões

Após a conclusão da dissertação, é evidente que todas as fases de desenvolvimento foram bem-sucedidas. A análise aprofundada da importância do controlo de qualidade no ambiente industrial revelou que a implementação das etapas previstas foi eficaz na validação do sistema ótico de medição. Este sistema demonstrou a sua capacidade de aprimorar a precisão e a consistência dos processos produtivos, reduzindo erros associados ao fator humano e promovendo uma gestão de qualidade mais eficiente.

A avaliação dos métodos S1 e S2 mostrou uma performance consistente, com diferenças mínimas em termos de precisão e exatidão. A análise dos desvios padrão das médias revelou baixa variabilidade, indicando a fiabilidade e a repetibilidade dos resultados obtidos. Os valores de erro em relação aos valores nominais permaneceram dentro dos limites aceitáveis, confirmando a conformidade com as especificações estabelecidas. Estes resultados destacam a eficácia do método de controlo utilizando uma Máquina de Medição por Coordenadas ótica, que visou aumentar a fiabilidade, eliminar a influência do operador e automatizar o tratamento de dados. A implementação deste método resultou numa redução significativa do tempo de controlo, especialmente com o método S2, evidenciando uma maior eficiência e consistência dos resultados.

Adicionalmente, a análise revelou que o sistema desenvolvido atende plenamente aos requisitos estabelecidos. Os testes e medições confirmaram que todas as especificações foram cumpridas dentro dos limites aceitáveis, refletindo a eficácia do processo adotado e a conformidade com as normas e regulamentações pertinentes. A avaliação detalhada da performance do sistema garantiu que ele opera dentro dos parâmetros esperados, assegurando a qualidade das medições e reforçando a confiança na capacidade do sistema para atender às necessidades e expectativas da produção.

Um aspecto crucial identificado foi que a principal fonte de influência no cálculo da incerteza do tipo B é a incerteza de calibração. Reduzir a incerteza de calibração é fundamental para minimizar a incerteza do tipo B. No cálculo da incerteza, foi

considerada a incerteza correspondente ao ponto mais distante nos eixos, assegurando uma avaliação precisa da incerteza total associada ao sistema.

A implementação bem-sucedida das soluções tecnológicas e a automação na metrologia representam um avanço significativo na otimização dos processos de medição e controlo, respondendo eficazmente aos desafios contemporâneos da indústria. A abordagem adotada não só melhorou a eficiência e a precisão, como também garantiu a qualidade dos produtos e a satisfação das exigências do mercado.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Num contexto de perspectiva futura, há várias áreas que poderão beneficiar de otimizações contínuas e inovações tecnológicas. Primeiramente, apesar dos resultados positivos alcançados, a otimização contínua do sistema ótico de medição é essencial. Poderão ser integradas novas tecnologias, como inteligência artificial com um novo software, para melhorar ainda mais a análise preditiva e a correção automática de desvios, reduzindo assim a variabilidade e aumentando a precisão. Outro aspeto importante identificado na dissertação foi a incerteza de calibração, que se destacou como a principal fonte de incerteza do tipo B. No futuro, será crucial desenvolver métodos e padrões de calibração mais avançados para minimizar esta incerteza, o que aumentará a confiança nas medições e nos resultados obtidos.

A automação do processo de medição, que se revelou eficaz na redução do tempo de controlo e na eliminação da influência humana, também apresenta potencial para expansão. Futuros desenvolvimentos poderão explorar a escalabilidade e flexibilidade deste sistema, adaptando-o a outros setores industriais ou a medições de componentes mais complexos. A integração do sistema ótico com sistemas de gestão da qualidade (SGQ) em ambiente industrial é outro caminho promissor. Esta integração poderá promover uma abordagem mais holística ao controlo de qualidade, melhorando a rastreabilidade e a conformidade com regulamentos.

Referências bibliográficas

- [1] P. Guedes, *Metrologia Industrial*. Lousã: ETEP-EDIÇÕES.
- [2] «IPQ – Instituto Português da Qualidade». Acedido: 18 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ipq.pt/>
- [3] M. Seabra, E. Filipe, e C. A. Nieto de Castro, *METROLOGIA - em Síntese*, 1ª. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade, 2001.
- [4] *Vocabulário Internacional de Metrologia*, 1ª Edição. CAPARICA Portugal: Instituto Português da Qualidade, 2012.
- [5] «IPAC». Acedido: 18 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <http://www.ipac.pt/>
- [6] «Mitutoyo Europe». Acedido: 4 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://mitutoyo.eu/>
- [7] «X3D | Engenharia Inversa & Fabrico Aditivo». Acedido: 4 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://x3d.pt/>
- [8] *Handbook of Optical Dimensional Metrology*, 1.ª ed. Kevin Harding, 2020.
- [9] «S4Metro - Solutions for Metrology | Metrologia Industrial | S4Metro - Solutions for Metrology | Metrologia Industrial». Acedido: 4 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.solutions4metrology.com/>
- [10] «Werth-Messtechnik». Acedido: 4 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.werth.de/pt/aplicacoes.html>
- [11] «Home - Astrolabe». Acedido: 5 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://astrolabe-medical.com/>
- [12] «Política da Qualidade.PDF».
- [13] Armando Albertazzi G. Jr., André R. de Sousa, *Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial*, 2.ª ed. MANOLE, 2017.
- [14] «Módulo 3 Conceitos Técnicos em Metrologia.pdf».
- [15] «PRE 1552 - Quick Vision Pro Specifications_WEB.pdf».
- [16] «Astrolabe_Receção e Inspeção Produto Semi-acabado_15.14.07.190__.pdf».
- [17] «Astrolabe_Receção e Inspeção Produto Semi-acabado.pdf».
- [18] Alexandre Mende e Pedro Paulo Rosário, *Metrologia e Incerteza de Medição – Conceitos e Aplicações*, 1.ª ed. Lisboa - Portugal: LTC, 2020.
- [19] Alvaro Abackerli, *Metrologia para a Qualidade*, 1ª edição. GEN LTC, 2015.
- [20] ARENCIBIA, *Incerteza De Medição - Metodologia de Cálculo, Conceitos e Aplicações*. Janeiro - RJ Brasil: Editora Interciência, 2019.

- [21] Duncan, Acheson J, *Quality control and industrial statistics*. Homewood, Ill., R.D. Irwin, 1974.
- [22] João Cirilo da Silva Neto, *Metrologia e Controle Dimensional*, 2.^a ed. LTC, 2018.
- [23] P. Cabral, *METROLOGIA INDUSTRIAL uma função de GESTÃO DA QUALIDADE*, Instituto Electrotécnico Português. J.Silva & F. Correia, Lda., 1994.
- [24] «ZEISS Industrial Metrology Homepage». Acedido: 4 de agosto de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.zeiss.com.br/metrologia/home.html>

APÊNDICES

Apêndice 1 QVReport_Cabeça

FeatureType	FeatureLabel	FeatureID	OutputItem	Actual	Nominal	Deviation	UpperTol	LowerTol	PassFail
Distance	ØA[1,1]	1	Diameter	2,441	2,4	-0,041	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,1]	2	Diameter	0,799	0,8	0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,1]	5	LC	0,5	0,5	0	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,2]	6	Diameter	2,439	2,5	0,061	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,2]	7	Diameter	0,809	0,8	-0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,2]	10	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,3]	11	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,3]	12	Diameter	0,801	0,8	-0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,3]	15	LC	0,509	0,5	-0,009	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,4]	16	Diameter	2,459	2,5	0,041	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,4]	17	Diameter	0,819	0,8	-0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,4]	20	LC	0,509	0,5	-0,009	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,5]	21	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,5]	22	Diameter	0,801	0,8	-0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,5]	25	LC	0,5	0,5	0	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,6]	26	Diameter	2,441	2,5	0,059	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,6]	27	Diameter	0,81	0,8	-0,01	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,6]	30	LC	0,5	0,5	0	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,7]	31	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,7]	32	Diameter	0,778	0,8	0,022	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,7]	35	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,8]	36	Diameter	2,451	2,5	0,049	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,8]	37	Diameter	0,801	0,8	-0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,8]	40	LC	0,497	0,5	0,003	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,9]	41	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,9]	42	Diameter	0,791	0,8	0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,9]	45	LC	0,51	0,5	-0,01	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,10]	46	Diameter	2,439	2,5	0,061	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,10]	47	Diameter	0,781	0,8	0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,10]	50	LC	0,509	0,5	-0,009	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,11]	51	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,11]	52	Diameter	0,779	0,8	0,021	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,11]	55	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,12]	56	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,12]	57	Diameter	0,809	0,8	-0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,12]	60	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,13]	61	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,13]	62	Diameter	0,79	0,8	0,01	0,05	-0,05	PASS

Distance	G[1,13]	65	LC	0,509	0,5	-0,009	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,14]	66	Diameter	2,441	2,5	0,059	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,14]	67	Diameter	0,781	0,8	0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,14]	70	LC	0,508	0,5	-0,008	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,15]	71	Diameter	2,441	2,5	0,059	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,15]	72	Diameter	0,809	0,8	-0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,15]	75	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,16]	76	Diameter	2,439	2,5	0,061	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,16]	77	Diameter	0,809	0,8	-0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,16]	80	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,17]	81	Diameter	2,449	2,5	0,051	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,17]	82	Diameter	0,8	0,8	0	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,17]	85	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,18]	86	Diameter	2,461	2,5	0,039	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,18]	87	Diameter	0,819	0,8	-0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,18]	90	LC	0,509	0,5	-0,009	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,19]	91	Diameter	2,45	2,5	0,05	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,19]	92	Diameter	0,801	0,8	-0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,19]	95	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS
Distance	ØA[1,20]	96	Diameter	2,439	2,5	0,061	0	-0,1	PASS
Distance	ØF[1,20]	97	Diameter	0,801	0,8	-0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	G[1,20]	100	LC	0,501	0,5	-0,001	0,02	0	PASS

Apêndice 2 QVReport_Corpo

FeatureType	FeatureLabel	FeatureID	OutputItem	Actual	Nominal	Deviation	UpperTol	LowerTol	PassFail
Distance	L[1,1]	3	LC	6,999	7	-0,001	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,1]	6	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,1]	9	Diameter	1,302	1,3	0,002	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,2]	12	LC	6,998	7	-0,002	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,2]	15	Diameter	1,828	1,9	-0,072	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,2]	18	Diameter	1,301	1,3	0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,3]	21	LC	6,999	7	-0,001	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,3]	24	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,3]	27	Diameter	1,3	1,3	0	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,4]	30	LC	6,997	7	-0,003	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,4]	33	Diameter	1,827	1,9	-0,073	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,4]	36	Diameter	1,319	1,3	0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,5]	39	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,5]	44	Diameter	1,809	1,9	-0,091	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,5]	47	Diameter	1,318	1,3	0,018	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,6]	50	LC	7,001	7	0,001	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,6]	53	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,6]	56	Diameter	1,318	1,3	0,018	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,7]	59	LC	6,999	7	-0,001	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,7]	62	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,7]	65	Diameter	1,319	1,3	0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,8]	68	LC	6,999	7	-0,001	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,8]	71	Diameter	1,828	1,9	-0,072	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,8]	74	Diameter	1,319	1,3	0,019	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,9]	77	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,9]	80	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,9]	83	Diameter	1,309	1,3	0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,10]	86	LC	7,008	7	0,008	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,10]	89	Diameter	1,839	1,9	-0,061	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,10]	92	Diameter	1,309	1,3	0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,11]	95	LC	7,008	7	0,008	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,11]	98	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,11]	101	Diameter	1,329	1,3	0,029	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,12]	104	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,12]	107	Diameter	1,818	1,9	-0,082	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,12]	110	Diameter	1,317	1,3	0,017	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,13]	113	LC	7,007	7	0,007	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,13]	116	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,13]	119	Diameter	1,309	1,3	0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,14]	122	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,14]	125	Diameter	1,849	1,9	-0,051	0	-0,1	PASS

Distance	ØC[1,14]	128	Diameter	1,309	1,3	0,009	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,15]	131	LC	6,998	7	-0,002	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,15]	134	Diameter	1,831	1,9	-0,069	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,15]	137	Diameter	1,302	1,3	0,002	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,16]	140	LC	6,998	7	-0,002	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,16]	143	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,16]	146	Diameter	1,301	1,3	0,001	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,17]	149	LC	6,998	7	-0,002	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,17]	152	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,17]	155	Diameter	1,3	1,3	0	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,8]	158	LC	6,998	7	-0,002	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,8]	161	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,8]	164	Diameter	1,311	1,3	0,011	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,9]	167	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,9]	170	Diameter	1,829	1,9	-0,071	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,9]	173	Diameter	1,329	1,3	0,029	0,05	-0,05	PASS
Distance	L[1,20]	176	LC	7,009	7	0,009	0,2	-0,2	PASS
Distance	ØB[1,20]	179	Diameter	1,819	1,9	-0,081	0	-0,1	PASS
Distance	ØC[1,20]	182	Diameter	1,309	1,3	0,009	0,05	-0,05	PASS

Apêndice 3 Matriz – Folha de Inspeção/Ordem de fabrico

Tol.	L=7,00	ØA=2,50	ØB=1,90	C=1,30	D=0,70	E=0,6	ØF=0,80	G=0,50	H=M2,3x0,4	GREEN	SHARP CUT=1	C	
	[6,80/7,20]	[2,40/2,50]	[1,80/1,90]	[1,25/1,35]	[0,65/0,75]	[0,55/0,65]	[0,75/0,85]	[0,50/0,52]	OK	OK	OK		
1	7,00	2,44	1,83	1,30	0,70	0,60	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓
2	7,00	2,44	1,83	1,30	0,71	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓
3	7,00	2,45	1,83	1,30	0,71	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓
4	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---	✓
5	7,01	2,45	1,81	1,32	0,71	0,61	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓
6	7,00	2,44	1,82	1,32	0,70	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓
7	7,00	2,45	1,82	1,32	0,70	0,61	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓
8	7,00	2,45	1,82	1,32	0,73	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓
9	7,01	2,45	1,82	1,31	0,70	0,61	0,79	0,51	ok	---	ok	---	✓
10	7,01	2,44	1,84	1,31	0,70	0,60	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓
11	7,00	2,45	1,82	1,33	0,71	0,61	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓
12	7,00	2,45	1,82	1,32	0,73	0,62	0,81	0,51	ok	---	ok	---	✓
13	7,01	2,45	1,82	1,31	0,70	0,61	0,79	0,51	ok	---	ok	---	✓
14	7,01	2,44	1,85	1,31	0,70	0,60	0,78	0,50	ok	---	ok	---	✓
15	7,00	2,44	1,83	1,30	0,70	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓
16	7,00	2,44	1,82	1,30	0,71	0,60	0,81	0,50	ok	---	ok	---	✓
17	7,00	2,45	1,83	1,30	0,71	0,62	0,80	0,51	ok	---	ok	---	✓
18	7,00	2,46	1,83	1,31	0,70	0,61	0,82	0,50	ok	---	ok	---	✓
19	7,01	2,45	1,83	1,33	0,71	0,61	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓
20	7,01	2,44	1,82	1,31	0,70	0,60	0,80	0,50	ok	---	ok	---	✓
21	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
22	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
23	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
24	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
27	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!
28	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	!

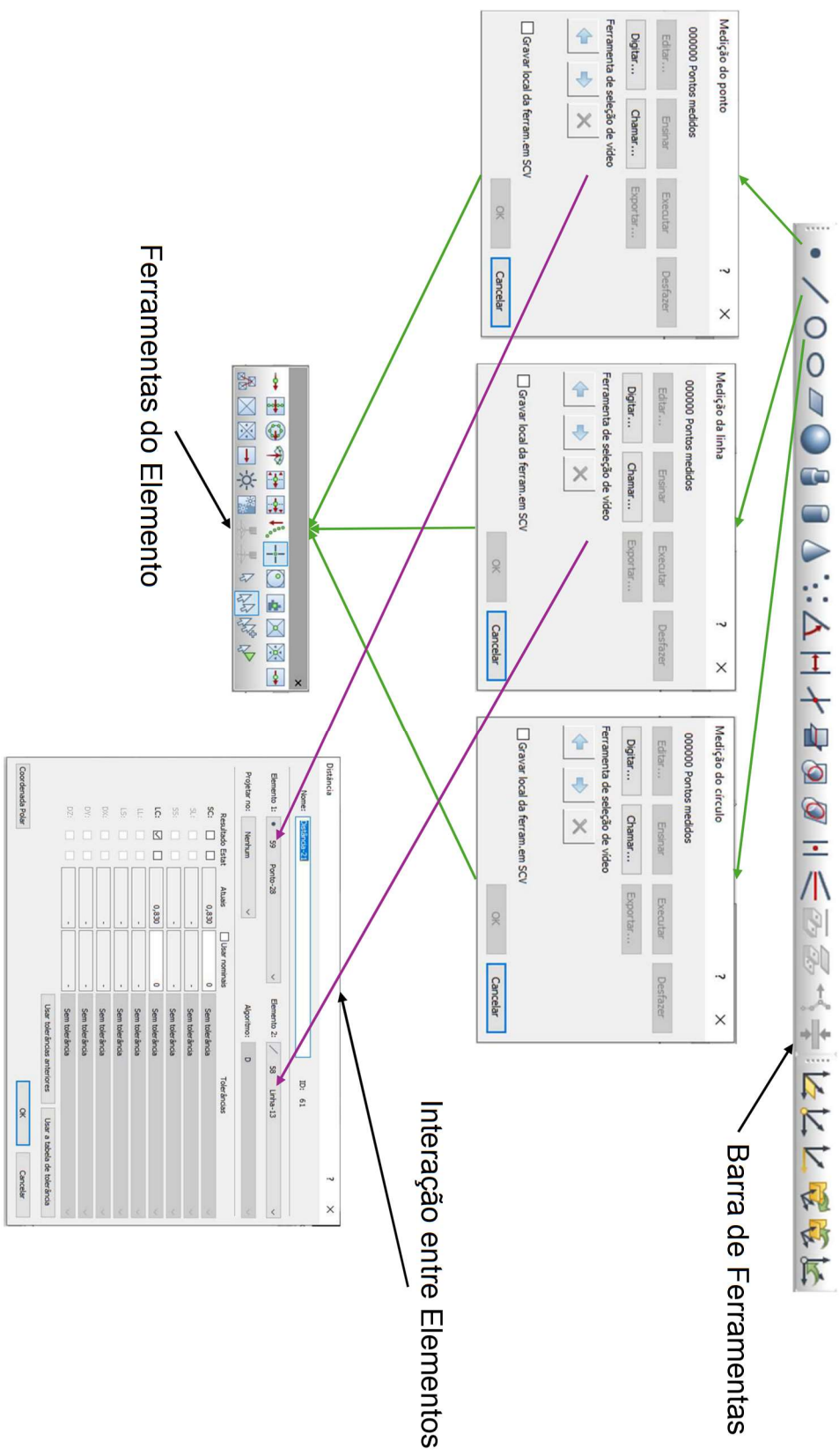
Tot.			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
L=7,00	6,8	7,2	7,00	7,00	7,00	7,00	7,01	7,00	7,00	7,00	7,01	7,01	7,00	7,00	7,01	7,01	7,00	7,00	7,00	7,00	7,01	7,01	
ØA=2,50	2,4	2,5	2,44	2,44	2,45	2,46	2,45	2,44	2,45	2,45	2,45	2,44	2,45	2,45	2,45	2,44	2,44	2,44	2,45	2,46	2,45	2,44	
ØB=1,90	1,8	1,9	1,83	1,83	1,83	1,83	1,81	1,82	1,82	1,82	1,82	1,84	1,82	1,82	1,82	1,85	1,83	1,82	1,83	1,83	1,83	1,82	
C=1,30	1,25	1,35	1,30	1,30	1,30	1,31	1,32	1,32	1,32	1,32	1,31	1,31	1,33	1,32	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,31	1,33	1,31	
D=0,70	0,65	0,75	0,70	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	0,70	0,73	0,70	0,70	0,71	0,73	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	
E=0,6	0,55	0,65	0,60	0,60	0,62	0,61	0,61	0,60	0,61	0,62	0,61	0,60	0,61	0,62	0,61	0,60	0,60	0,60	0,62	0,61	0,61	0,60	
ØF=0,80	0,75	0,85	0,80	0,81	0,80	0,82	0,80	0,81	0,78	0,80	0,79	0,78	0,78	0,81	0,79	0,78	0,81	0,81	0,80	0,82	0,80	0,80	
G=0,50	0,5	0,52	0,50	0,50	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,51	0,50	0,50	0,50	
H=M2,3x0,4	OK	OK	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
GREEN	OK	OK															---	---					
SHARP CUT=1	OK	OK	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
---	0	0																					

Tot.			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
L=7,00	6,8	7,2	7,00	7,00	7,00	7,00	7,01	7,00	7,00	7,00	7,01	7,01	7,00	7,00	7,01	7,01	7,00	7,00	7,00	7,00	7,01	7,01	---
ØA=2,50	2,4	2,5	2,44	2,44	2,45	2,46	2,45	2,44	2,45	2,45	2,45	2,44	2,45	2,45	2,45	2,44	2,44	2,44	2,45	2,46	2,45	2,44	---
ØB=1,90	1,8	1,9	1,83	1,83	1,83	1,83	1,81	1,82	1,82	1,82	1,82	1,84	1,82	1,82	1,82	1,85	1,83	1,82	1,83	1,83	1,83	1,82	---
C=1,30	1,25	1,35	1,30	1,30	1,30	1,31	1,32	1,32	1,32	1,32	1,31	1,31	1,33	1,32	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,31	1,33	1,31	---
D=0,70	0,65	0,75	0,70	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	0,70	0,73	0,70	0,70	0,71	0,73	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	---
E=0,6	0,55	0,65	0,60	0,60	0,62	0,61	0,61	0,60	0,61	0,62	0,61	0,60	0,61	0,62	0,61	0,60	0,60	0,60	0,62	0,61	0,61	0,60	---
ØF=0,80	0,75	0,85	0,80	0,81	0,80	0,82	0,80	0,81	0,78	0,80	0,79	0,78	0,78	0,81	0,79	0,78	0,81	0,81	0,80	0,82	0,80	0,80	---
G=0,50	0,5	0,52	0,50	0,50	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,51	0,50	0,50	0,50	---
H=M2,3x0,4	OK	OK	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	---
GREEN	OK	OK	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SHARP CUT=1	OK	OK	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok
ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
NC																							✓

Apêndice 4 Barra de Ferramentas do Software



ANEXOS

Anexo 1 Certificado do Sistema - 02/148/2022



Data do Certificado: 2022/09/29

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 02/148/2022

Data da Calibração: 2022/09/29

Cliente : Astrolabe, Lda
Morada : Rua José Gomes Ferreira 2
2660-517 São Julião do Tojal / Loures
Portugal

Departamento Qualidade

Equipamento:	QV - Microscópio	Fabricante :	Mitutoyo
Modelo:	QV-404	Número de série :	0323504
Número de inventário:	EMM.412.00	Operador:	J. Carvalho
Capacidade XY:	400 400 (mm)	Resolu Linear:	0,001 (mm)
Sistema de ampliação:	1X	Angular:	0°01' (°)

Condições ambientais:

Temperatura máxir	20,4 °C	Temperatura mínima:	20,2 °C
Humidade relativa:	63 hr ± 5 % hr		

Método Utilizado:

O equipamento foi calibrado de acordo com o procedimento PE.LAB.02 Ed. 2 Rev. 6

Técnico

J. Carvalho

Director do Laboratório

Pedro Maia



Este certificado não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito da EACampos-LEC.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 02/148/2022
Ensaio de exactidão linear Y+ (E2)

Valor nominal	Valor médio lido	Erro observado	Incerteza Expandida +/-	Vef	k
1,000	0,999	-0,0009	0,0021	61	2,0
10,000	10,000	0,0000	0,0022	62	2,0
50,000	50,000	-0,0003	0,0027	65	2,0
100,000	100,000	-0,0008	0,0036	61	2,0
200,000	200,000	-0,0009	0,0054	57	2,0
300,000	300,001	0,0000	0,0072	56	2,1
400,000	400,002	-0,0001	0,0090	56	2,1

Ensaio de exactidão angular A1 (1º Quadrante)

Valor nominal	Valor médio lido	Erro observado	Incerteza Expandida +/-	Vef	k
45°0'	45°1'	0°1'15"	0°1'3"	135	2,0

Ensaio de exactidão angular A2 (2º Quadrante)

Valor nominal	Valor médio lido	Erro observado	Incerteza Expandida +/-	Vef	k
135°0'	134°59'	-0°0'21"	0°1'20"	121	2,0

Ensaio de exactidão angular A3 (3º Quadrante)

Valor nominal	Valor médio lido	Erro observado	Incerteza Expandida +/-	Vef	k
225°0'	224°59'	-0°1'38"	0°1'20"	121	2,0

Ensaio de exactidão angular A4 (4º Quadrante)

Valor nominal	Valor médio lido	Erro observado	Incerteza Expandida +/-	Vef	k
315°0'	315°0'	-0°0'15"	0°1'3"	136	2


 IMP.LAB.22.11

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 02/148/2022

Erro de ampliação A5 (zona central) *

Ampliação	Erro %	Incerteza Expandida +/-
1	0,0	2,31

Incerteza de medição

A incerteza expandida, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=k_i$, o qual para uma distribuição "t" com $V_{ef}=V_{efi}$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de cobertura de, aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-04/02.

A estabilidade a longo prazo do objecto não foi considerada.

Observações:

* Ensaio fora do ambito de acreditação

Calibração realizada "in situ"
Valores obtidos depois de ajuste.

Fim de Certificado



IMP.LAB.22.11

Página 4 de 4

Anexo 2 Certificado do Sistema – Ensaio verificação eixo ZZ



Data do Certificado: 29/09/2022

Ensaio verificação eixo ZZ

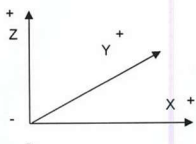
Padrões (Rastreabilidade):

Designação	Identificação	Nº de certificado	Rastreab./Cert.Acredit.
Masterscale	AC.LAB.12	20210001	MITUTOYO
Termohigrometro	AC.LAB.10	CHUM 1148/21	ISQ
Blocos Padrão	AC.LAB.31	CDIM 8257/16	ISQ

Resultado das medições:

Unidades em milímetros

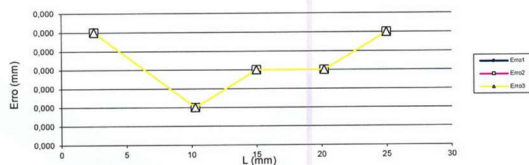
Sistema de coordenadas utilizado:



Ensaio de exactidão Z+

Valor nominal	Erro médio observado	Incerteza +/-	K
2,500	0,0003	0,00141	2,0
10,300	0,0001	0,00144	2,0
50,000	0,0002	0,00146	2,0
150,000	0,0002	0,00148	2,0
170,000	0,0003	0,00150	2,0

Erros das medições



IMP.LAB.30.1

Página 2 de 3

Rua Senhora da Penha, 110-114 - Apartado 4057 • 4461-901 SENHORA DA HORA • PORTUGAL • Telefone: 22 090 9484 - Fax: 22 090 9439
Sociedade Anónima - Capital Social € 208.000 - N.º Matricula/NIPC: 514 821 450

IMP.LAB.30.1

Página 1 de 3

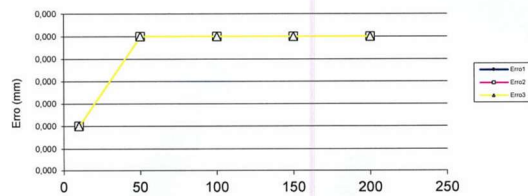
Rua Senhora da Penha, 110-114 - Apartado 4057 • 4461-901 SENHORA DA HORA • PORTUGAL • Telefone: 22 090 9484 - Fax: 22 090 9439
Sociedade Anónima - Capital Social € 208.000 - N.º Matricula/NIPC: 514 821 450

Ensaio verificação eixo ZZ

Ensaio de exactidão X+,Y+,Z+

Valor nominal	Erro médio observado	Incerteza +/-	K
10,000	0,0001	0,00144	2,0
50,000	0,0003	0,00160	2,0
100,000	0,0003	0,00180	2,0
150,000	0,0003	0,00200	2,0
200,000	0,0003	0,00220	2,0

Erros das medições



Incerteza de medição

A incerteza de medição expandida é expressa pela incerteza padrão de medição multiplicada pelo factor K, que para uma distribuição t-(Student) corresponde a uma probabilidade de aproximadamente 95%.

A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com o documento EA-4/02. A estabilidade a longo prazo do objecto não foi considerada.

Observações:

Calibração realizada " in situ "
Ensaio após ajuste.

Fim de Certificado



IMP.LAB.30.1

