



Otimização do controlo produtivo com base nos índices de capacidade

LEONARDO MOREIRA TOMAZI

Setembro de 2025

**OTIMIZAÇÃO DO CONTROLO PRODUTIVO COM
BASE NOS ÍNDICES DE CAPACIDADE**

Leonardo Moreira Tomazi

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Paulo António da Silva Ávila

Júri:

Presidente:

Vogais:

Porto, setembro de 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a todas as pessoas, empresas e instituições que de forma direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

Gostaria, também, de agradecer ao Professor Paulo Ávila pela orientação, pelas críticas construtivas, correções e esclarecimentos sobre o tema em estudo nesta tese de mestrado.

Por outro lado, dedico ainda uma palavra de apreço à Professora Manuela Silva, pelo apoio, pelos esclarecimentos suplementares sobre o tema e pela partilha de conhecimento.

Da mesma forma, agradeço, ainda, ao Grupo Azurea e a todos os colaboradores que me apoiaram durante este percurso, sobretudo, ao diretor da unidade da Azurea em Portugal, Vincent Skrzypczak, pela mentoria no ambiente industrial e pela oportunidade de desenvolver este estudo, bem como a oportunidade de integrar o grupo. Agradeço, também, à técnica de qualidade da unidade da Azurea em Portugal, Carla Rocha, pelo grande apoio e esclarecimentos relativos ao processo de controlo de qualidade.

Para além disso, à Cristiana Silva, pelo seu apoio inabalável, companheirismo e compreensão em todas as fases – não somente neste estudo, mas como também durante todo o ciclo académico do mestrado e, no fundo, desde que nos conhecemos.

Agradeço, também, a todos os meus amigos e colegas académicos pelos estudos conjuntos e a partilha de conhecimento.

E por último, mas não menos importante, ainda agradecer à minha família, e em especial à minha mãe, pelo suporte e apoio durante todo este ciclo.

Novamente, a todos, um muito obrigado.

Resumo

Este projeto foi desenvolvido nas instalações da empresa Azurea Portugal, no seguimento da proposta por parte desta para procurar reduzir o controlo produtivo, com base nos índices de capacidade. A empresa, localizada na Maia, pertence ao Grupo Azurea, com sede na Suíça, onde se produz microcomponentes de precisão, com ênfase na indústria da relojoaria.

Deste modo, após a exposição ao desafio, iniciou-se o desenvolvimento deste projeto com a escolha de um produto e devido departamento, para eventual análise aos indicadores ao nível da capacidade e performance do seu processo produtivo. Desta maneira, seria possível ajustar os níveis de capacidade que permitiriam, possivelmente, redirecionar os recursos de forma mais assertiva, com base no processo interno da empresa, de forma a poupá-los em processos estáveis e direcioná-los a outros que necessitassem de maior atenção.

Porém, ao longo da análise detetou-se situações que colocavam entraves no desenvolvimento do projeto e, por isso, com recurso ao diagrama de Ishikawa, foram realizados vários testes até ser possível chegar a uma conclusão, que permitiu continuar com o processo a analisar.

No seu seguimento, realizou-se várias verificações e supressões de controlos, que permitiu analisar o seu impacto nos indicadores de capacidade. Esta análise possibilitou ainda que fosse reduzido o tempo de controlo diário que a empresa tinha estipulado, com base nos regulamentos internos.

Palavras-chave: Capacidade, Performance do Processo, Controlo Estatístico de Processo, Otimização de Controlo.

Abstract

This project was developed at the premises of Azurea Portugal, following the company's proposal to reduce production control based on capacity indices. The company, located in Maia, belongs to the Azurea Group, headquartered in Switzerland, where precision micro components are produced, with an emphasis on the watchmaking industry.

Thus, after being presented to the challenge, the development of this project began with the selection of a product and the appropriate department for eventual analysis of indicators related to the capacity and performance of its production process. This would make it possible to adjust capacity levels, which would potentially allow resources to be redirected more assertively, based on the company's internal process, in order to spare them within a stable process, and redirect them to others that might need more attention.

However, during the analysis, there were detected situations that hindered the development of the project. Therefore, using the Ishikawa Diagram, several tests were carried out until a conclusion could be reached, which allowed the analysis process to continue.

Following this, several checks and control deletions were carried out, which made it possible to analyze their impact on capacity indicators. This analysis also made it possible to reduce the daily control time that the company had stipulated, based on internal regulations.

KEYWORDS: Capability, Performance Process, Statistical Process Control, Control Optimization.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Objetivos Propostos	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura da Organização do Estudo.....	4
2. Apresentação da Empresa e do Problema.....	5
2.1. Apresentação da Empresa.....	5
2.2. Apresentação do Problema.....	8
3. Revisão Bibliográfica	9
3.1. Microcomponentes de Precisão e Relojoaria Suíça	9
3.2. Controlo Estatístico do Processo.....	10
3.3. Cartas de Controlo	11
3.3.1. Carta de Controlo por Variáveis.....	12
3.3.1.1. Carta de Controlo de I e AM	12
3.3.1.2. Carta de Controlo de X e R.....	13
3.3.1.3. Carta de Controlo de X e S	14
3.3.2. Carta de Controlo por Atributos	15
3.3.2.1. Carta de Controlo P.....	15
3.3.2.2. Carta de Controlo NP	16
3.3.2.3. Carta de Controlo C.....	16
3.3.2.4. Carta de Controlo U	17
3.4. Capacidade e Performance do Processo.....	17
3.4.1. Índice de Capacidade do Processo.....	19
3.4.2. Índice de Performance do Processo	21

3.5. Diagrama de Ishikawa	22
4. Caso de Estudo 1 – Máquina 1.....	25
4.1. Contextualização do Processo Produtivo.....	25
4.2. Seleção do Sistema a Estudar.....	28
4.2.1. Setor.....	28
4.2.2. Produto	29
4.3. Plano de Controlo.....	30
4.3.1. Plano de Controlo do Sistema.....	30
4.3.2. Plano de Controlo do Produto	31
4.4. Instrumentos de Medição	32
4.5. Ferramenta de Registo de Dados e Controlo	33
4.6. Análise do Nível de Capacidade e Performance do Processo	34
4.7. Análise de Causa Inicial do Controlo Dimensional D7.....	40
4.8. Testes de Causa	41
4.8.1. Teste de Causa 1 – Resíduos de Sujidade	41
4.8.2. Teste de Causa 2 – Instrumento de Medição Avariado	43
4.8.3. Teste de Causa 3 – Inexatidão do Ponto de Leitura Dimensional	46
4.8.4. Resultados.....	53
5. Caso de Estudo 2 – Máquina 2.....	55
5.1. Otimização do Controlo Produtivo.....	55
6. Conclusão	83
6.1. Conclusões finais.....	83
6.2. Limitações e trabalhos futuros.....	84
Referências.....	85

Lista de Figuras

Figura 1 – Logotipo da Azurea.....	5
Figura 2 – Unidade industrial da Azurea em Portugal	6
Figura 3 – Evolução da Azurea ao longo do tempo.....	6
Figura 4 – Parte da área produtiva de tornearia da Azurea em Portugal	7
Figura 5 – Alguns produtos de produção na Azurea	8
Figura 6 – Estrutura base do gráfico de controlo.....	11
Figura 7 – Estrutura da curva de distribuição normal do intervalo de especificação	20
Figura 8 – Estrutura do diagrama de Ishikawa.....	23
Figura 9 – Diagrama de fluxo do processo produtivo	27
Figura 10 – Desenho técnico do produto.....	29
Figura 11 – Torno CNC utilizado para produção do produto	30
Figura 12 – Calibres de rosca	33
Figura 13 – Calibres de furo Azurea	33
Figura 14 – Comparador vertical digital	33
Figura 15 – Comparador horizontal digital	33
Figura 16 – Microscópio de medição por luneta	33
Figura 17 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm).....	35
Figura 18 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm).....	35
Figura 19 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de $\varnothing 2.90\text{mm}$)	35
Figura 20 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de $\varnothing 1.65\text{mm}$)	35
Figura 21 – Gráfico de controlo D5 (dimensão de 0.4mm).....	36
Figura 22 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de $\varnothing 1.40\text{mm}$)	36
Figura 23 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de $\varnothing 0.930\text{mm}$)	36
Figura 24 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°).....	36
Figura 25 – Gráfico de controlo D9 (dimensão de 90°).....	37
Figura 26 – Gráfico de controlo D10 (dimensão de 3.05mm).....	37
Figura 27 – Gráfico de controlo 11 (dimensão de 5°)	37
Figura 28 – Gráfico de controlo D12 (dimensão de 0.05 ± 0.020).....	37
Figura 29 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas)	38
Figura 30 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas).....	38
Figura 31 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35).....	38
Figura 32 – Gráfico de controlo A4 (dimensão de 0.905mm).....	38
Figura 33 – Diagrama de Ishikawa aplicado a variação dimensional.....	40
Figura 34 – Processo de limpeza para controlo	41

Figura 35 – Produto antes da limpeza	42
Figura 36 – Produto depois da limpeza.....	42
Figura 37 – Gráfico de controlo com registo do teste de causa 1	42
Figura 38 – Calibre de controlo e aferição	43
Figura 39 – Dispositivo de medição Azurea Type 6500	43
Figura 40 – Visão da medição do calibre de aferição no microscópio de medição por luneta .	45
Figura 41 – Medição do calibre de aferição no Microscópio de medição por luneta	45
Figura 42 – Gráfico de controlo com registo da produção após o teste de causa 2.....	46
Figura 43 – Registo de medição e rastreabilidade	46
Figura 44 – Responsáveis pelos controlos	47
Figura 45 – Controlo relativo a peça utilizada para o teste de repetibilidade.....	48
Figura 46 – Medição da dimensão $\varnothing 0.930$ no microscópio de medição por luneta	48
Figura 47 – Visão da medição do produto no Microscópio de medição por luneta.....	49
Figura 48 – Responsáveis pelos controlos	50
Figura 49 – Microscópio de medição por vídeo.....	51
Figura 50 – Controlo dimensional D7 (dimensão $\varnothing 0.930$) no microscópio de medição por vídeo	52
Figura 51 – Torno CNC S6 utilizado para reinício da produção do produto em estudo	55
Figura 52 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm).....	56
Figura 53 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm).....	56
Figura 54 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de $\varnothing 2.90$ mm)	56
Figura 55 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de $\varnothing 1.65$ mm)	56
Figura 56 – Gráfico de controlo D5 (dimensão de 0.4mm).....	57
Figura 57 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de $\varnothing 1.40$ mm)	57
Figura 58 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de $\varnothing 0.930$ mm)	57
Figura 59 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°).....	57
Figura 60 – Gráfico de controlo D9 (dimensão de 90°).....	58
Figura 61 – Gráfico de controlo D10 (dimensão de 3.05mm).....	58
Figura 62 – Gráfico de controlo 11 (dimensão de 5°)	58
Figura 63 – Gráfico de controlo D12 (dimensão de 0.05 ± 0.020).....	58
Figura 64 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas).....	59
Figura 65 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas).....	59
Figura 66 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35).....	59
Figura 67 – Gráfico de controlo A4 (dimensão de 0.905mm).....	59
Figura 68 – Bancadas de controlo.....	62
Figura 69 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm).....	65
Figura 70 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm).....	66

Figura 71 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de $\varnothing 2.90\text{mm}$)	66
Figura 72 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de $\varnothing 1.65\text{mm}$)	66
Figura 73 – Gráfico de controlo D5 (dimensão de 0.4mm).....	66
Figura 74 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de $\varnothing 1.40\text{mm}$)	67
Figura 75 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de $\varnothing 0.930\text{mm}$)	67
Figura 76 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°).....	67
Figura 77 – Gráfico de controlo D9 (dimensão de 90°).....	67
Figura 78 – Gráfico de controlo D10 (dimensão de 3.05mm).....	68
Figura 79 – Gráfico de controlo 11 (dimensão de 5°)	68
Figura 80 – Gráfico de controlo D12 (dimensão de 0.05 ± 0.020).....	68
Figura 81 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas)	68
Figura 82 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas).....	69
Figura 83 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35).....	69
Figura 84 – Gráfico de controlo A4 (dimensão de 0.905mm).....	69
Figura 85 – Gráfico comparativo de Cp e Cpk do estudo inicial e da proposta 1	70
Figura 86 – Gráfico comparativo de Pp e Ppk do estudo inicial e da proposta 1	71
Figura 87 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm).....	74
Figura 88 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm).....	74
Figura 89 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de $\varnothing 2.90\text{mm}$)	74
Figura 90 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de $\varnothing 1.65\text{mm}$)	75
Figura 91 – Gráfico de controlo D5 (dimensão de 0.4mm).....	75
Figura 92 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de $\varnothing 1.40\text{mm}$)	75
Figura 93 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de $\varnothing 0.930\text{mm}$)	75
Figura 94 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°).....	76
Figura 95 – Gráfico de controlo D9 (dimensão de 90°).....	76
Figura 96 – Gráfico de controlo D10 (dimensão de 3.05mm).....	76
Figura 97 – Gráfico de controlo 11 (dimensão de 5°)	76
Figura 98 – Gráfico de controlo D12 (dimensão de 0.05 ± 0.020).....	77
Figura 99 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas)	77
Figura 100 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas).....	77
Figura 101 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35).....	77
Figura 102 – Gráfico de controlo A4 (dimensão de 0.905mm).....	78
Figura 103 – Gráfico comparativo de Cp e Cpk entre o estudo inicial, a proposta 1 e a proposta 2	79
Figura 104 – Gráfico comparativo de Pp e Ppk entre o estudo inicial, a proposta 1 e a proposta 2	79

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores dos índices Cp e Cpk e a condição de qualidade	20
Tabela 2 – Comparativo entre os valores de Cp e Cpk.....	20
Tabela 3 – Valores dos índices Pp e Ppk e a condição de qualidade	21
Tabela 4 – Número de processos subsequentes por setor primário	28
Tabela 5 – Produção média anual por setor primário	28
Tabela 6 – Plano de controlo do produto	32
Tabela 7 – Resumo dos Índices	39
Tabela 8 – Sequenciamento dos testes de causa	40
Tabela 9 – Resultado do Teste de Causa 1 – Resíduos de Sujidades	42
Tabela 10 – Valores das medições do calibre de aferição	44
Tabela 11 – Inserção de dados no software	47
Tabela 12 – Teste de medição do controlo D7 (dimensão Ø0.930) no microscópio de medição por luneta.....	49
Tabela 13 – Inserção de dados no software	50
Tabela 14 – Teste do controlo dimensional D7 (dimensão Ø0.930) no microscópio de medição por vídeo	52
Tabela 15 – Dados de melhoria nos índices do controlo dimensional D7	53
Tabela 16 – Resumo dos índices no estudo inicial.....	60
Tabela 17 – Tempo médio de medição por dimensão.....	61
Tabela 18 – Tempo médio de controlo diário inicial.....	64
Tabela 19 – Redução do número de peças controladas	65
Tabela 20 – Resumo dos índices – Proposta 1	70
Tabela 21 – Tempo médio de controlo diário – Proposta 1.....	72
Tabela 22 – Comparativo de redução do tempo de controlo do estudo inicial e proposta 1 ...	73
Tabela 23 – Resumo dos índices – Proposta 2	78
Tabela 24 – Tempo médio de controlo diário – Proposta 2.....	80
Tabela 25 – Comparativo de redução do tempo de controlo do estudo inicial e proposta 1 e 2	81

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

APC	<i>Automated Process Control</i>
CEP	Controlo Estatístico do Processo
Cp	Capacidade do Processo
Cpk	Capacidade do Processo Ajustado
IQC	<i>Incoming Quality Control</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LIC	Limite Inferior de Controlo
LIE	Limite Inferior de Especificação
LC	Linha Central
LSC	Limite Superior de Controlo
LSE	Limite Superior de Especificação
Pp	Performance do Processo
Ppk	Performance do Processo Ajustado
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
NC	Não Controlado
MML	Microscópio de medição por luneta

Lista de Símbolos

σ	Desvio padrão populacional	[unidade]
μ	Média	[unidade]
s	Desvio padrão amostral	[unidade]
\bar{x}	Média	[unidade]

1. Introdução

Este capítulo inicia o estudo da otimização do controlo produtivo com base na capacidade e performance do processo, onde serão apresentados os temas principais em capítulos e detalhados posteriormente nos subcapítulos seguintes. Nestes, irão ser abordados, sobretudo, o enquadramento do tema, expondo os objetivos propostos, a metodologia de pesquisa e a estrutura da organização do estudo. A mesma tem em conta os objetivos propostos da unidade curricular de dissertação da tese, do Mestrado em Engenharia Mecânica no ramo da Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP.

1.1. Enquadramento do Tema

O setor da indústria de microcomponentes mecânicos exige um alto nível de precisão e qualidade dos seus componentes. Para além disso, seguem também rigorosos processos de controlo de qualidade, por sua vez, instituídos pelo Sistema de Gestão da Qualidade – SGQ, de forma a garantir a conformidade dos produtos com frequentes controlos dimensionais, geométricos, superficiais, visuais e de dureza dos componentes.

A relojoaria Suíça tem uma grande história e tradição a manter, com os seus produtos de alta precisão e qualidade, que suportam um alto grau de exigência por parte dos seus clientes. Isto pressupõe padrões de trabalho rigorosos, onde potenciais falhas que venham a ocorrer, podem gerar um grande impacto negativo e reduzir o nome de uma marca. Desta forma, evitar falhas, garantir que os produtos cheguem ao final do processo produtivo em conformidade e com as especificações exigidas pelos clientes permitem assegurar que os componentes deem um correto funcionamento aos subconjuntos, e na sua globalidade, aos relógios, conforme previsto inicialmente.

A capacidade de processo traduz-se como a habilidade de um processo em desenvolver os resultados dentro das especificações esperadas, e ao longo do tempo, configura a performance do processo. No setor de microcomponentes de precisão, bem como da relojoaria, este tipo de capacidade é imprescindível para que se possa ter um processo fiável, dentro de uma área onde as tolerâncias são muito pequenas, normalmente cotadas em milésimas de milímetro, e os padrões de qualidade são altamente exigentes. Para que se possa alcançar este resultado, é necessária a utilização de máquinas que possuam uma grande precisão e proporcionem um bom nível de performance, ferramentas de alta qualidade e específicas para o processo, além de possuir um elevado nível de rigidez, assim como um local de trabalho de temperatura controlada e estável. Não somente as máquinas, mas também o colaborador tem grande contributo no processo produtivo, que aliado à sua experiência profissional, especialização no

Introdução

setor e formação contínua, apresentam um olhar crítico sobre as suas atividades para fazerem sempre o melhor e obterem os melhores resultados.

Analisar a capacidade, e ao longo do tempo a performance do processo, permite compreender se o processo é capaz de atender aos requisitos do cliente e avaliar a necessidade de implementação de melhorias, como por exemplo, o aumento ou a redução do controlo produtivo. Isto irá contribuir para o sucesso da empresa com base na garantia da satisfação do cliente, além de torná-la mais competitiva.

1.2. Objetivos Propostos

O objetivo do presente estudo, passa por realizar uma análise ao nível da capacidade e performance do processo produtivo de um produto, com base em indicadores. No caso de haver um alto desempenho do processo, procurar-se-á otimizar o controlo produtivo. Se houver um baixo desempenho, procurar-se-á identificar a possível causa e realizar estudos que favoreçam a sua correção. Em uma última instância, caso não seja possível atingir-se os objetivos inicialmente propostos, irá ser procurado a minimização do impacto do baixo desempenho com o aumento do controlo produtivo, contribuindo para a melhoria contínua da qualidade no processo produtivo.

O ajuste aos níveis de capacidade permitirão, possivelmente, redirecionar os recursos de forma mais assertiva, com base no processo interno da empresa, de forma a poupá-los em processos estáveis e direcioná-los a outros que necessitem de maior atenção.

O desenvolvimento deste estudo na Azurea Portugal apresenta a primeira tentativa formal da empresa no desenvolvimento de um estudo com o foco na análise da capacidade e da performance do processo, bem como a sua otimização ou reforço do controlo durante o processo produtivo.

A inexistência de históricos ou estudos similares no Grupo Azurea permitirão uma nova visão da eficiência estratégica da empresa relativa ao controlo durante o processo produtivo, a qual possibilitará, conforme os resultados deste estudo, o futuro desenvolvimento noutros novos estudos com foco na melhoria contínua dos processos internos, e eventualmente, a expansão do mesmo às demais unidades do grupo.

Para a conclusão deste objetivo principal foram realizados estudos que são classificados como objetivos específicos, de forma a permitir uma melhor compreensão estruturada sobre o tema, nomeadamente:

1. Análise global do processo produtivo;
2. Seleção do setor de estudo;
3. Seleção do produto;
4. Compreensão do processo de controlo;
5. Compreensão dos instrumentos de medição utilizados;
6. Compreensão básica do *software* de análise de dados;

7. Análise dos indicadores do nível de capacidade e de performance do processo do produto;
8. Identificação, análise e proposta de melhoria aos pontos de intervenção;
9. Validação da melhoria proposta aos pontos de intervenção.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi a de estudo de caso, o que permitiria realizar uma análise aprofundada do desenvolvimento do processo produtivo real, no contexto prático e industrial.

Desta maneira, observou-se a capacidade e performance do processo de um produto atualmente em produção, visando diminuir o número de controlos e, conseqüentemente, o tempo despendido. Por outro lado, procurou-se identificar e corrigir problemas, caso houvesse, mas, também, em última instância, aumentar o controlo produtivo de forma a elevar os índices associados.

O método incluiu a análise do processo, de procedimentos internos e de dados operacionais que fossem relevantes ao objetivo do estudo. Com base nestas análises, para além de terem também sido utilizados métodos e ferramentas retirados da literatura, foram propostas melhorias que permitissem estudar e avaliar o impacto da redução do controlo na capacidade e performance do processo.

Com isto, deseja-se desenvolver estratégias de aplicação para a concretização dos objetivos propostos e compreender se o processo é realmente capaz de atender às necessidades da empresa, assim como cumprir com os requisitos dos clientes.

Posto isto, a utilização de literaturas académicas indexadas permitiu um nível maior de credibilidade ao estudo. Numa fase inicial, foi realizado uma pré-seleção dos artigos, de forma a filtrar os que apresentassem maior relevância e pertinência ao tema central. Ainda assim, houve alguma dificuldade em obter literaturas e observações relativamente ao estudo sobre microcomponentes de precisão, principalmente no setor da relojoaria, tendo em conta que grande parte do conteúdo faz parte das estratégias empresariais. Isto proporciona a essas empresas vantagens competitivas e demonstram, por sua vez, o carácter de sigilo empresarial.

Em resumo, o estudo forneceu uma base teórica necessária para o desenvolvimento do tema, permitindo que fosse possível a obtenção de conteúdo credível, servindo de pilar para o seu desenvolvimento e aplicabilidade prática. No entanto, foi necessário, através do progresso do caso de estudo a seguir exposto, desenvolver outros métodos e estudar, mais aprofundadamente, os gráficos informativos, para conseguir entender a capacidade do processo e como este poderia ser afetado.

1.4. Estrutura da Organização do Estudo

O estudo aqui apresentado divide-se em seis capítulos, onde cada capítulo contém uma estrutura menor, dividida em subcapítulos, que apresentam com mais detalhes o assunto que se pretende desenvolver.

Deste modo, começou-se pelo primeiro capítulo, já apresentado. Este contém a introdução ao estudo, onde se explica com mais pormenores o enquadramento do tema, os objetivos propostos, a metodologia de pesquisa e a estrutura da organização do estudo, aqui comentada.

O segundo capítulo apresenta a empresa e o grupo ao qual faz parte. É referido, também, a sua missão, visão e valores, os quais regem o desenvolvimento da empresa e uma contextualização do trajeto empresarial ao longo dos anos. Neste capítulo expõem-se o problema enfrentado pela empresa, em busca de soluções e melhorias no seu processo.

O terceiro capítulo mostra a revisão bibliográfica, onde são apresentadas as bases teóricas que levam ao sustento do estudo desenvolvido. É na revisão bibliográfica que nos aproximamos dos conceitos teóricos, expondo o seu raciocínio lógico, antes de os colocarmos em prática, no estudo.

O quarto capítulo tem como objetivo apresentar e desenvolver o conteúdo estudado no primeiro caso de estudo, onde são abordadas questões sobre as análises iniciais e decisões tomadas. Da mesma forma, desenvolve-se o caso de estudo com relação à análise de causa para estabilização do processo e melhoria dos índices de capacidade e performance do processo.

O quinto capítulo apresenta o estudo desenvolvido no âmbito da otimização do número de controlos, através dos índices de capacidade e performance do processo, apresentando as análises e as suas decisões em busca dos objetivos propostos pela empresa.

O sexto capítulo tem como objetivo a apresentação de uma conclusão ao estudo realizado, esclarecendo sobre os limites encontrados e o seu impacto no desenvolvimento, bem como a apresentação de uma proposta de melhorias com base na discussão dos resultados encontrados.

2. Apresentação da Empresa e do Problema

Este capítulo apresenta a empresa e o grupo Azurea, contextualizando o seu desenvolvimento e expansão ao longo dos anos. Por outro lado, comenta-se a sua política de qualidade, os setores de atuação e alguns dos produtos desenvolvidos. Este capítulo também mostrará os problemas enfrentados atualmente pela empresa, assim como a sua procura por soluções e melhorias, que beneficiem o processo produtivo na sua globalidade, permitindo uma maior competitividade industrial.

2.1. Apresentação da Empresa

O desenvolvimento prático deste estudo foi realizado na empresa Azurea Unipessoal Lda., unidade do Grupo Azurea em Portugal, que produz microcomponentes mecânicos de precisão, acabados ou semiacabados, com ênfase no setor da relojoaria.



Figura 1 – Logotipo da Azurea
(Reproduzido do site da Azurea, 2025. <https://azurea.ch/>)

As unidades do Grupo Azurea na Suíça, para além do setor da relojoaria, atuam também no setor médico, metrológico e de microtecnologia.

Apresentação da Empresa e do Problema



Figura 2 – Unidade industrial da Azurea em Portugal

(Captura de ecrã da apresentação em vídeo da Azurea Unipessoal Lda. no site da Azurea, 2025. Recuperado de <https://azurea.ch/en/websites/>)

Fundada na Suíça em 1914, o Grupo Azurea atualmente emprega cerca de 250 colaboradores, e conta com quatro unidades na Suíça e uma em Portugal, onde está presente desde 2012, na zona industrial da Maia, no distrito do Porto.

1914	1998	2009	2012	2023
Azurea Technology Horlogere SA	Azurea Jauges SA	Azurea Microtechnique SA	Azurea Unipessoal Lda	Azurea Decoupage SA
Suíça	Suíça	Suíça	Portugal	Suíça
Co-desenvolvimento e fabricação de componentes, conjuntos e funções para movimentos de relógios mecânicos.	Fabricação e distribuição de medidores, varetas e dispositivos de verificação.	Industrialização e fabricação de componentes, subconjuntos e sistemas microtécnicos, médicos e metrológicos.	Produção de componentes e subconjuntos microtécnicos e relojoeiros.	Corte, dobra, montagem de componentes e funções para movimentos mecânicos de relógios. Co-desenvolvimento de componentes e funções cortadas, dobradas e montadas para o movimento.

Figura 3 – Evolução da Azurea ao longo do tempo

(Linha do tempo criada pelo autor, baseado nas informações do site da Azurea, 2025. <https://azurea.ch/en/websites/>)

O Grupo Azurea tem uma cultura de melhoria contínua, sobretudo, focada no compromisso com a satisfação do cliente. O grupo conta, também, com uma equipa de engenheiros e técnicos especializados que compõem os seus departamentos, ligados às áreas da industrialização, inovação, desempenho e performance industrial.



*Figura 4 – Parte da área produtiva de tornearia da Azurea em Portugal
(Reproduzido do site da Azurea, 2025. <https://azurea.ch/en/group/#heritage>)*

Os produtos desenvolvidos passam por diversos setores e processos, através de técnicas que podem ser tradicionais ou específicas do setor relojoeiro e de alta precisão, os quais estão envoltos de tecnologia, máquinas e ferramentas de alta qualidade.

Como parte da sua política de qualidade, o Grupo Azurea tem a sua missão, visão e valores, que regem as suas estratégias e ações empresariais, buscando através da melhoria contínua resultados de excelência.

- Missão: Estudar as tecnologias do amanhã, com o objetivo de estar sempre um passo à frente.
- Visão: Posicionar-se como líder nos seus vários mercados.
- Valores:
 - Ambição
 - Independência
 - Compromisso
 - Flexibilidade
 - Respeito
 - Transparência

A Azurea conta, também, com as certificações ISO 9001 e ISO 14001 para todas as unidades do grupo, e as certificações ISO 13485 para a Azurea Microtechnique e a ISO 17025 para a Azurea Jauges.

Apresentação da Empresa e do Problema



*Figura 5 – Alguns produtos de produção na Azurea
(Composição de produtos do Grupo Azurea, criada pelo autor, a partir de imagens obtidas dos folhetos disponíveis no site do Azurea, 2025. <https://azurea.ch/en/websites/>)*

Deste modo, a Azurea mantém-se ao longo dos anos e desde a sua fundação em constante desenvolvimento, aperfeiçoamento e expansão, procurando sempre a satisfação dos seus clientes e a motivação dos seus colaboradores.

2.2. Apresentação do Problema

Para o Grupo Azurea é essencial fornecer produtos de alta qualidade, cumprindo com todas as especificações e o rigor de seus clientes. Para isto é imprescindível ter um processo produtivo capaz e estável, mantendo um alto grau de confiança no seu processo.

Em caso de um processo incapaz, é importante buscar compreender os motivos que o levam a este resultado, analisando os seus potenciais fatores e deficiências, buscando a sua correção.

Neste aspeto, o controlo produtivo é muito importante para garantir que o processo segue os parâmetros estipulados sem ultrapassar os seus limites. Em contrapartida, a utilização de um grande número de controlos pode sobrecarregar a mão de obra disponível.

Em processos estáveis, o alto número de controlos pode tornar-se um gasto desnecessário de um recurso importante, porém, pode ser uma mais-valia num processo instável e problemático.

Com isto, a empresa procura verificar se é possível otimizar o número de controlos produtivos, sem deixar que isto impacte negativamente o seu processo e na sua capacidade produtiva, mantendo um processo capaz e estável, a curto e a longo prazo, através utilização dos índices de capacidade e de performance do processo, com isto, gerir de forma mais eficiente os seus recursos operacionais. Desta forma, possuir um processo capaz, com valores mínimos dos índices de 1, sendo desejável índices de valor maior ou igual a 1.33, com um índice máximo de 2.

3. Revisão Bibliográfica

Este capítulo sustenta o estudo do tema proposto, abordando os temas sobre microcomponentes de precisão e relojoaria Suíça, controlo estatístico de processo, cartas de controlo, capacidade e performance do processo e o diagrama de Ishikawa. O estudo realizado neste capítulo, tem como fonte principal artigos científicos indexados.

3.1. Microcomponentes de Precisão e Relojoaria Suíça

A indústria relojoeira na Suíça teve o seu início no século XVII, sendo que atualmente domina o mercado internacional através de diversas marcas suíças, reconhecidas pela sua experiência adquirida ao longo do tempo na área (Philippe et al., 2022).

As relojoeiras suíças possuem uma grande reputação que provem de diversos fatores, alguns deles como a alta qualidade e rigorosa precisão dos seus produtos, bem como a inovação neles aplicadas (Rech et al., 2023).

A modernização dos processos produtivos no século XIX, por meio da mecanização das máquinas que produziam os componentes, permitiram um ganho de produtividade, unindo-as à sabedoria e experiência dos artesãos (Philippe et al., 2022).

Com base na literatura consultada, nota-se que a relojoaria suíça possui um grande histórico ligado à experiência adquirida ao longo do tempo, onde os conhecimentos passados entre as gerações dos artesãos apresentaram um grande contributo nesta história, bem como a sua preservação cultural. O rigor com a qualidade e precisão dos seus produtos, bem como a sua modernização através das novas tecnologias (onde incluem-se não só os produtos, mas também aos processos envolvidos em todo o seu processo produtivo), mostram-se até hoje, sinónimo da relojoaria suíça.

Uma das estratégias utilizadas para associar características positivas a determinados produtos, é através da identificação do seu local de origem, pois se este estiver associado a um local que seja reconhecido por determinado produto, então, este pode ser considerado uma vantagem competitiva para uma marca (Rech et al., 2023).

Os relógios que apresentam as indicações de produção suíça são referências de produtos que carregam o peso da alta qualidade neles contidos (Rech et al., 2023).

O produto comercializado com a indicação de origem suíça tem uma maior valorização do que quando comparados a outros produtos com a indicação de outra origem, podendo ter um valor adicional de até 50% nos produtos classificados como marcas de luxo (Rech et al., 2023).

Os estudos da literatura revisados demonstram o foco na qualidade e precisão da relojoaria suíça, o que caracteriza esta vantagem competitiva e adquirida ao longo do tempo. Isto comprova toda a importância da qualidade, não somente do produto final, mas implicitamente, durante todo o processo produtivo. As pequenas falhas que possam ocorrer nos relógios suíços, derivados de falhas durante a sua produção, podem gerar não conformidades internas para os fabricantes destes produtos. Por sua vez, também podem prejudicar a imagem de uma marca, impactando esta vantagem competitiva, visto que a relojoaria suíça é conhecida pelo seu alto padrão de qualidade aplicado aos seus produtos.

3.2. Controlo Estatístico do Processo

O Controlo Estatístico de Processo – CEP – permite gerir o desempenho do processo, através da análise dos dados por meios gráficos num processo contínuo, o que permite identificar e realizar ações corretivas de eventuais instabilidades e a sua respetiva causa (Soriano et al., 2020).

O CEP é uma metodologia que visa analisar se o processo se desenvolve de maneira estável ao longo do tempo, verificando se está em controlo estatístico, dentro dos limites de especificação impostos pelo cliente (Korpysa et al., 2023).

O CEP permite realizar inspeções durante o processo de forma contínua e em vários períodos, o que permite, caso seja identificado alguma não conformidade, que o processo seja parado e ajustado, antes de continuar o processo novamente (Motorcu & Güllü, 2006).

Intervenções no processo só são necessárias quando este não estiver sob controlo, com variações fora dos limites definidos pelo projeto ou cliente. Caso esteja fora de controlo, as causas devem ser analisadas e corrigidas (Motorcu & Güllü, 2006).

Os desvios e variabilidade em processos de manufatura são inerentes ao processo, pelo qual o controlo produtivo tem uma grande importância na redução destes fatores. Estes podem derivar do processo, de parâmetros, de ferramentas, dos instrumentos de medição, dos operadores ou da complexidade dos produtos (Korpysa et al., 2023).

Em síntese, esta primeira parte da revisão da literatura com base no CEP, permite compreender as principais diretrizes deste sistema em que é aplicado a um processo produtivo que pode ser controlado e analisado ao longo do tempo, de forma que este se mantenha estável e dentro dos limites de especificação.

A literatura também demonstra que através da utilização de gráficos, é possível uma visão global do processo, o que permite identificar de forma mais simplificada e visual, a existência de tendências ou anomalias no processo. Por outro lado, permite, também, encontrar pontos críticos no processo que facilitem a tomada de decisões e na elaboração de ações de correção, com base nos diferentes fatores que são inerentes ao processo, de forma a evitar que este fique fora de controlo ou com grande instabilidade.

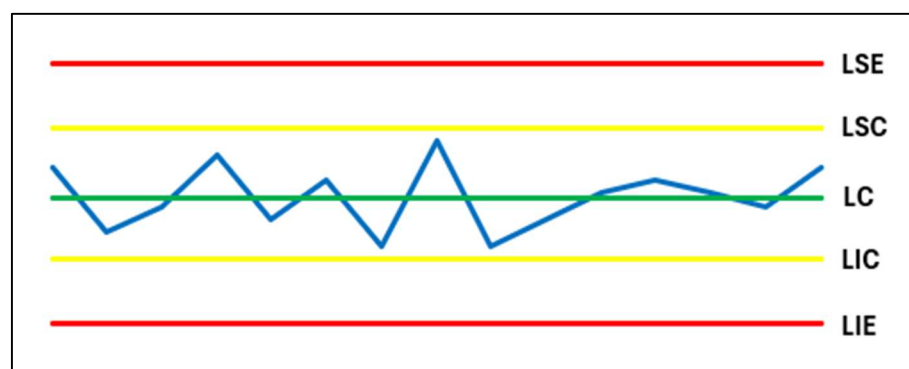
3.3. Cartas de Controlo

As cartas de controlo apresentam dados que são recolhidos e apresentados em formato gráfico para uma rápida compreensão visual e melhor entendimento do processo. Este gráfico apresenta uma linha central de referência, indicada como Linha Central – LC – incluindo outras duas linhas que representam o Limite Superior de Especificação – LSE – e o Limite Inferior de Especificação – LIE – e ainda, outras duas linhas intermediárias que representam o Limite Superior de Controlo – LSC – e o Limite Inferior de Controlo – LIC. Os dados que são apresentados na carta de controlo podem variar consoante o processo e o tempo. Da mesma maneira, podem, também, ser estudados de forma a compreender a existência de tendências ou variações, permitindo contribuir para a identificação do tipo destas variações, isto é, se essas variações são comuns ou especiais, bem como previsíveis (Santos & Casagrande, 2021).

Devido à variabilidade do processo é importante monitorizar com frequência o desenvolvimento da produção. Este pode ser realizado com cartas de controlo ou outras ferramentas estatísticas para análise e implementação da melhoria contínua da qualidade (Silva & Magno, 2021).

Os estudos sobre as cartas de controlo mostram como estas são utilizadas para o registo de dados, o que permite de uma forma rápida e fácil, devido ao seu auxílio gráfico, a compreensão do processo, bem como a sua monitorização. Assim, é-nos possível a realização de análises de forma a identificar variações, ou até oportunidades para melhoria, o que permite agir de forma proativa, perante os consequentes impactos no processo.

Deste modo, o gráfico de controlo apresenta uma estrutura base com os seus limites de controlos e de especificação, como apresentados na Figura 6.



*Figura 6 – Estrutura base do gráfico de controlo
(adaptado pelo autor com base em Santos & Casagrande, 2021)*

Segundo Santos & Casagrande (2021) as cartas de controlo são classificadas em dois tipos, sendo eles o de atributos e o de variáveis. Estes tipos auxiliam na identificação dos padrões dos processos ao longo do tempo, o que nos permite ganhar em eventuais recursos diversos, através das análises com o foco na prevenção e na identificação de instabilidades e tendências no processo durante o período de análise.

A análise dos dados com base no histórico permite compreender se as variações do processo são uma causa comum, sendo uma variação controlada e normal, ou se esta é uma causa especial, sendo uma variação não controlada e anormal ao processo (Santos & Casagrande, 2021).

A análise por meio de gráficos de controlo apresenta informações que permitem atuar na identificação e prevenção de falhas durante o processo produtivo, seja esta a causa das falhas isoladas ou padronizadas. Para além disso, é, também, uma ferramenta que permite a melhoria da capacidade e performance do processo, atuando como uma ferramenta da gestão estratégica e de desenvolvimento, voltada para a competitividade (Melo et al., 2022).

As literaturas demonstram que a análise das cartas de controlo, sejam de atributos ou de variáveis, são uma ferramenta importante para a análise dos processos e permitem identificar o tipo de variabilidade do processo. Por sua vez, permite detetar a existência de padrões com base no histórico, o que pode auxiliar na tomada de decisões e evitar que variações fora de controlo criem anomalias no processo. O objetivo é, então, a melhoria contínua da qualidade e o seu aperfeiçoamento ao longo do tempo, incluindo na melhoria estratégica, bem como na capacidade e performance do processo.

3.3.1. Carta de Controlo por Variáveis

As cartas de controlo por variáveis têm como objetivo principal, analisar os dados obtidos através do controlo com base em características de grandezas que sejam mensuráveis, ou seja, quantitativas, baseando-se em três variáveis: a média, a amplitude e o desvio padrão (Silva & Magno, 2021).

3.3.1.1. Carta de Controlo de I e AM

As cartas de controlo de individuais (I¹) utilizam a média de valores de amostras individuais do processo (Sousa et al., 2017).

A utilização das cartas de controlo de individuais permite analisar o processo com base em medições únicas, na qual apresentam um subgrupo único (Melo et al., 2022).

Segundo Sousa et al. (2017) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo de valores individuais pode ser expresso através das Equações (1), (2) e (3).

$$LC = \bar{X} \quad (1)$$

$$LSC = \bar{X} + 3 \cdot \sigma \quad (2)$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \cdot \sigma \quad (3)$$

¹ I é uma abreviação de individuais, traduzido do inglês *individuals*.

Onde:

- LC^2 é a linha central;
- LSC^2 é o limite superior de controlo;
- LIC^2 é o limite inferior de controlo;
- \bar{X} é a média;
- σ^2 é o desvio padrão.

As cartas de controlo de amplitude móvel (AM³) utilizam a amplitude de duas amostras sucessivas de observações individuais para o cálculo da variabilidade do processo (Sousa et al., 2017).

A utilização das cartas de controlo de amplitude móvel analisa o processo com base na variação entre as medições únicas das amostras – o valor absoluto (Melo et al., 2022).

Segundo Sousa et al. (2017) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo de médias móveis pode ser expresso através das equações (4), (5) e (6).

$$LC = \overline{MR} \quad (4)$$

$$LSC = D_4 \cdot \overline{MR} \quad (5)$$

$$LIC = D_3 \cdot \overline{MR} \quad (6)$$

Onde:

- LC^2 é a linha central;
- LSC^2 é o limite superior de controlo;
- LIC^2 é o limite inferior de controlo;
- \overline{MR} é a amplitude móvel média;
- D_3 é um valor tabelado;
- D_4 é um valor tabelado.

3.3.1.2. Carta de Controlo de X e R

As cartas de controlo do tipo média (X) e amplitude (R) são utilizadas em conjunto, de forma que a carta X realiza o controlo do valor médio do processo, e a carta R controla a amplitude do processo (Silva & Magno, 2021).

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo de média pode ser expresso através das equações (7), (8) e (9).

² Siglas adaptadas e traduzidas do inglês *CL* (*central line*), *UCL* (*upper control limit*) e *LCL* (*lower control limit*). Foi, também, substituído a estimativa do desvio padrão pelo símbolo σ , conforme Sousa et al. (2017).

³ AM é uma abreviação de amplitude móvel, sigla adaptada e traduzidas do inglês *moving range*.

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (7)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (8)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (9)$$

Onde:

- **LC**⁴ é a linha central;
- **LSC** é o limite superior de controlo;
- **LIC** é o limite inferior de controlo;
- $\bar{\bar{X}}$ é a média das médias;
- \bar{R} é a amplitude média;
- A_2 é um valor tabelado.

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo de amplitude pode ser expresso através das equações (10), (11) e (12).

$$LC = \bar{R} \quad (10)$$

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R} \quad (11)$$

$$LIC = D_3 \cdot \bar{R} \quad (12)$$

Onde:

- **LC** é a linha central;
- **LSC** é o limite superior de controlo;
- **LIC** é o limite inferior de controlo;
- \bar{R} é a amplitude média;
- D_3 é um valor tabelado;
- D_4 é um valor tabelado.

3.3.1.3. Carta de Controlo de X e S

As cartas de controlo do tipo média (X) e desvio padrão (S) são utilizadas em conjunto, de forma que a carta X realiza o controlo do valor médio do processo, e a carta S controla o desvio padrão do processo. Este é ainda mais preciso do que a carta de amplitude, se o número de amostras for maior que dez (Silva & Magno, 2021).

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo de média, pode ser expressa através das equações (7), (8) e (9), como as apresentadas anteriormente.

Segundo ainda Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo do desvio padrão pode ser expressos através das equações (13), (14) e (15).

⁴ Sigla adaptada de LM para LC, conforme Silva & Magno (2021).

$$LC = \bar{S} \quad (13)$$

$$LSC = B_4 \cdot \bar{S} \quad (14)$$

$$LIC = B_3 \cdot \bar{S} \quad (15)$$

Onde:

- LC^4 é a linha central;
- LSC é o limite superior de controlo;
- LIC é o limite inferior de controlo;
- \bar{S} é o desvio padrão;
- B_3 é um valor tabelado;
- B_4 é um valor tabelado.

3.3.2. Carta de Controlo por Atributos

As cartas de controlo por atributos, tem o objetivo de controlar produtos que não possam ser mensurados e contabilizados quantitativamente, mas sim qualitativamente (Silva & Magno, 2021).

As cartas de controlo por atributos visam contabilizar qualitativamente os defeitos de um produto por meio visual, sendo estes classificados como conforme ou não conforme (Silva & Magno, 2021).

As cartas de controlo por atributos são divididas em quatro cartas, cada uma com a sua especificidade. Há a carta de controlo P relacionada com as proporções de defeitos; a carta de controlo NP relacionada com as unidades defeituosas; a carta de controlo C relacionada ao número de não conformidades por unidade; e a carta de controlo U relacionada com a taxa de não conformidades por unidade (Silva & Magno, 2021).

Em síntese, a literatura apresenta uma alternativa à carta de controlo por variáveis e mostramos uma abordagem diferente para quantificar os defeitos e suprimir a necessidade existente em alguns processos que não podem ser contabilizados em valores quantitativos.

3.3.2.1. Carta de Controlo P

A carta de controlo P é utilizada para monitorizar a proporção de produtos defeituosos gerados pelo processo (Silva & Magno 2021) .

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo P podem ser expressadas através das Equações (16), (17) e (18).

$$LC = P \quad (16)$$

$$LSC = P + \frac{3 \cdot \sqrt{P \cdot (1 - P)}}{N} \quad (17)$$

$$LIC = P - \frac{3 \cdot \sqrt{P \cdot (1 - P)}}{N} \quad (18)$$

Onde:

- LC^4 é a linha central;
- **LSC** é o limite superior de controlo;
- **LIC** é o limite inferior de controlo;
- **P** é a proporção de itens defeituosos na amostra;
- **N** é o tamanho da amostra.

3.3.2.2. Carta de Controlo NP

A carta de controlo NP é utilizada para monitorizar o número de produtos defeituosos numa quantidade fixa de produtos (Silva & Magno 2021) .

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo NP podem ser expressadas através das equações (19), (20) e (21).

$$LC = n\bar{P} \quad (19)$$

$$LSC = n\bar{P} + 3\sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})} \quad (20)$$

$$LIC = n\bar{P} - 3\sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})} \quad (21)$$

Onde:

- **LC** é a linha central;
- **LSC** é o limite superior de controlo;
- **LIC** é o limite inferior de controlo;
- \bar{P} é proporção média de defeitos.
- **n** é o tamanho da amostra.

3.3.2.3. Carta de Controlo C

A carta de controlo C é utilizada para monitorizar o número de defeitos num único produto (Silva & Magno 2021) .

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo C podem ser expressos através das equações (22), (23) e (24).

$$LC = \bar{C} \quad (22)$$

$$LSC = \bar{C} + 3\sqrt{\frac{\bar{C}}{n}} \quad (23)$$

$$LIC = \bar{C} - 3 \sqrt{\frac{\bar{C}}{n}} \quad (24)$$

Onde:

- LC^4 é a linha central;
- LSC é o limite superior de controlo;
- LIC é o limite inferior de controlo;
- n é o tamanho da amostra;
- \bar{C} é a média de defeitos por unidade.

3.3.2.4. Carta de Controlo U

A carta de controlo U é utilizada para controlar a quantidade média de defeitos por unidade, no qual o tamanho do produto pode ser variável (Silva & Magno 2021).

Segundo Silva & Magno (2021) os valores da LC, LSC e LIC para a carta de controlo U podem ser expressos através das equações (25), (26) e (27).

$$LC = \bar{U} \quad (25)$$

$$LSC = \bar{U} + 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} \quad (26)$$

$$LIC = \bar{U} - 3 \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} \quad (27)$$

Onde:

- LC é a linha central;
- LSC é o limite superior de controlo;
- LIC é o limite inferior de controlo;
- \bar{U} é média de defeitos por unidade;
- n é o tamanho da amostra.

3.4. Capacidade e Performance do Processo

Ao longo das últimas décadas, o estudo da capacidade do processo mostrou-se importante para compreender se este atende os requisitos especificados e, complementado por ferramentas da qualidade, como o CEP, permitem mensurar o processo para a aplicação mais assertiva das ações de melhoria da qualidade (Wu et al., 2009).

Existem metodologias que podem ser aplicadas durante a fase de conceção do projeto, onde a dificuldade para conseguir alcançar a qualidade absoluta é grande. Desta forma, pode-se

conseguir limitar e conter as consequências da variação do processo, sem que seja obrigatório a eliminação da causa raiz da variação (Saha & Majumder, 2018).

A melhoria contínua da qualidade é desenvolvida com base nos requisitos de qualidade do cliente, habitualmente discutida nas fases de projeto ou produção (Motorcu & Güllü, 2006).

Podemos identificar os pontos críticos do processo e analisá-los através do estudo da capacidade do processo, bem como compreender a sua variabilidade, se este está apto e se consegue atingir os objetivos definidos pelo cliente (Saha & Majumder, 2018).

Empresas que tomam a qualidade do processo produtivo como elementar, aplicam-no na globalidade do processo, procurando, então, sempre a satisfação do cliente com base nos requisitos de qualidade exigidos pelo mesmo. Por outro lado, apresentam processos produtivos de alta qualidade, no que se pode notar alguns benefícios no que se refere a baixa quantidade de desperdícios no processo produtivo (Motorcu & Güllü, 2006).

Uma das formas de inspeção de controlo de qualidade acontece na etapa final de um processo produtivo, no qual ocorre a verificação e teste do produto. Se este se apresentar em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo cliente, o produto segue para envio. Se o produto apresentar uma ou mais não conformidades, de forma geral, existem duas alternativas: se for possível ajustar, o produto segue para o retrabalho; entretanto, em muitos casos, não é possível ajustar ou retrabalhar, devido a diversos fatores, pelo que este produto é rejeitado como não conforme e descartado (Motorcu & Güllü, 2006).

Segundo Korpysa et al. (2023) a utilização de índices de capacidade e performance do processo auxiliam na eficiência do processo, podendo ser ajustado, de forma a aumentar ou diminuir os seus níveis perante as necessidades. Isto significa que permite evitar custos excessivos, pois não traz benefícios proporcionais se o processo tiver continuamente altos níveis nos índices.

Assim sendo, a capacidade do processo pode, portanto, ser mensurada através de indicadores, os quais podem ser alocados em dois grupos: a curto termo sendo o índice de capacidade do processo C_p e C_{pk} , e a longo termo sendo o índice de performance do processo P_p e o P_{pk} (Korpysa et al., 2023).

Em síntese, as observações anteriores indicam uma crescente valorização dos estudos da capacidade de processo através do auxílio de ferramentas de controlo estatístico de processo, mas também, da adaptação de estratégias que procurem a melhoria contínua da qualidade. Estas estratégias de melhorias podem ser aplicadas aos produtos ou processos produtivos na sua fase de desenvolvimento ou projeto, e noutros casos, adaptá-los durante a fase produtiva, os quais auxiliem, também, o desenvolvimento estratégico.

Os estudos ainda indicam que existe uma tendência cada vez maior com a preocupação da qualidade e exigência por meio dos clientes, e buscam através da análise dos processos, fornecer produtos dentro das especificações, assim como manter a sua competitividade, otimizando os processos, através da redução de diversas formas de desperdício e de valorização dos recursos.

3.4.1. Índice de Capacidade do Processo

A melhoria contínua da qualidade passa pela compreensão do processo produtivo. Esta permite que as ações tomadas sejam mais bem direcionadas, objetivas e assertivas (Wu et al., 2009).

Os índices de capacidade do processo fornecem dados para que possa ser analisado, e consequentemente, mensurado o desempenho do processo, com base nos limites de especificações exigidos pelo cliente (Tsai & Chen, 2006; Wu et al., 2009).

A análise à capacidade do processo permite compreender, com base em indicadores, a capacidade do processo, C_p , mas também, a variabilidade média do processo, o C_{pk} . Tem, por fundamento, a repetibilidade e amplitude dos dados, permitindo compreender se o processo é capaz de cumprir com os requisitos impostos e especificados pelo cliente (Melo et al., 2022)

O indicador C_p indica se o processo tem capacidade para produzir dentro dos limites de especificação do produto, e o indicador C_{pk} indica se o processo está centrado dentro dos limites de especificação do produto (Motorcu & Güllü, 2006).

Segundo Wu et al. (2009) o valor de C_p pode ser expresso através da equação (28).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} \quad (28)$$

Onde:

- C_p é a capacidade do processo;
- LSE^5 é o limite superior especificado;
- LIE^5 é o limite inferior especificado;
- σ é o desvio padrão.

O índice de capacidade de processo baseava-se somente no valor de C_p , no entanto, como o valor de C_p somente compara o desempenho do processo com base nos limites de especificação, e só é adequado quando a média estiver centrada, houve a necessidade de criação de um novo índice. Este teria de permitir avaliar a centralização, dando origem ao índice C_{pk} (Wu et al., 2009).

O C_{pk} mede o deslocamento da média do processo, utilizando o menor dos valores unilaterais da capacidade do processo obtido nos cálculos (Melo et al., 2022).

Segundo Wu et al. (2009) o valor de C_{pk} pode ser expresso através da equação (29).

$$C_{pk} = \min \left(\frac{LSE - \bar{X}}{3 \sigma}, \frac{\bar{X} - LIE}{3 \sigma} \right) \quad (29)$$

Onde:

- C_{pk} é a capacidade do processo ajustado;
- LSE^5 é o limite superior especificado;
- LIE^5 é o limite inferior especificado;

⁵ Siglas adaptadas e traduzidas do inglês *UCL* (*upper control limit*) e *LCL* (*lower control limit*), conforme Wu et al. (2009).

Revisão Bibliográfica

- \bar{X} ⁶ é a média;
- σ é o desvio padrão.

Segundo Korpysa et al. (2023) o resultado do índice de capacidade do processo Cp e Cpk, e a respetiva condição de qualidade é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos índices Cp e Cpk e a condição de qualidade
(adaptado pelo autor com base em Korpysa et al. 2023)

Índices		Qualidade
$Cp \geq 2.00$	$Cpk \geq 2.00$	Excecional
$1.67 \leq Cp < 2.00$	$1.67 \leq Cpk < 2.00$	Excelente
$1.33 \leq Cp < 1.67$	$1.33 \leq Cpk < 1.67$	Bom
$1.00 \leq Cp < 1.33$	$1.00 \leq Cpk < 1.33$	Aceitável

A distribuição normal permite compreender como o processo decorre quando relacionado com os intervalos de especificação LSE e LIE. Desta forma, pode-se comparar os valores teóricos com os valores reais do processo (Wu et al., 2009).

Segundo Melo et al. (2022) podemos comparar os resultados dos índices de capacidade para melhor compreender o que acontece com o processo, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre os valores de Cp e Cpk
(adaptado pelo autor com base em Melo et al. 2022)

Valores	Descritivo
$Cp = Cpk$	A média do processo e a média dos limites de especificação estão centrados
$Cpk < Cp$	A média do processo e a média dos limites de especificação estão descentrados
$Cpk < 0$	A média do processo está fora dos limites de especificação

Segundo Wu et al. (2009) , a estrutura da curva de distribuição normal do intervalo de especificação pode ser expressa, como apresentado na Figura 7.

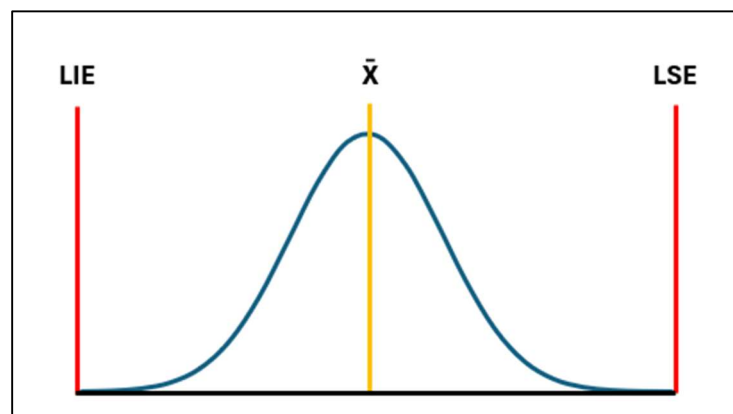


Figura 7 – Estrutura da curva de distribuição normal do intervalo de especificação
(adaptado pelo autor com base em Wu et al. 2009)

⁶ Sigla da média μ adaptada para \bar{X} , conforme Wu et al. (2009).

Os estudos demonstram a importância de compreender o processo produtivo para direcionar os planos de ações de melhoria da qualidade, bem como possuir métricas para medir o processo produtivo. Por esse motivo, os índices de capacidade do processo devem permitir ter dados para analisar e definir as adequadas respostas, bem como compreender se o processo cumpre com os requisitos estipulados pelo cliente.

3.4.2. Índice de Performance do Processo

Os índices de capacidade e de performance do processo são ferramentas complementares ao CEP que apresentam uma visão mais profunda sobre como o processo se desenvolve. Isto permite, também, quantificar a eficiência e a capacidade do processo, atender aos limites de especificação propostos, através de parâmetros previamente estabelecidos como referência – quanto mais alto o valor, melhor será o desempenho do processo (Korpysa et al., 2023).

O P_p e o P_{pk} são índices utilizados para quantificar e analisar a performance do processo durante um período maior (Korpysa et al., 2023).

Segundo Korpysa et al. (2023) o valor de P_p pode ser expresso através da equação (30).

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (30)$$

Onde:

- P_p é a performance do processo;
- LSE é o limite superior especificado;
- LIE é o limite inferior especificado;
- s é o desvio padrão.

Segundo Korpysa et al. (2023) o valor de P_{pk} pode ser expresso através da equação (31).

$$P_{pk} = \min \left(\frac{LSE - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - LIE}{3s} \right) \quad (31)$$

Onde:

- P_{pk} é a performance do processo ajustado;
- LSE é o limite superior especificado;
- LIE é o limite inferior especificado;
- \bar{X} ⁷ é a média;
- s é o desvio padrão.

Segundo Korpysa et al. (2023) a forma de interpretação dos índices é a mesma, tanto para a capacidade do processo C_p e C_{pk} , quanto para a performance do processo P_p e P_{pk} , como pode ser visto na Tabela 3.

*Tabela 3 – Valores dos índices P_p e P_{pk} e a condição de qualidade
(adaptado pelo autor com base em Korpysa et al. 2023)*

⁷ Sigla da média μ adaptada para \bar{X} , conforme Korpysa et al. (2023).

Índices		Qualidade
$Pp \geq 2.00$	$Ppk \geq 2.00$	Excecional
$1.67 \leq Pp < 2.00$	$1.67 \leq Ppk < 2.00$	Excelente
$1.33 \leq Pp < 1.67$	$1.33 \leq Ppk < 1.67$	Bom
$1.00 \leq Pp < 1.33$	$1.00 \leq Ppk < 1.33$	Aceitável

A literatura estudada, em síntese, demonstra que a forma de interpretação dos dados, através dos indicadores, permanece igual para ambos os índices, como pode ser visto na Tabela 1, comparativamente à Tabela 3. Porém, pode ser utilizado com situações diferentes, nomeadamente a utilização a curto e longo prazo, que mantem o foco de compreender o processo e mensurá-lo.

3.5. Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também reconhecido por outros nomes, como o diagrama de causa e efeito, ou diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta da qualidade utilizada para analisar um problema, e tem como objetivo principal identificar a sua causa (Inácio et al., 2023).

A utilização do diagrama de Ishikawa permite a identificação do problema, das possíveis causas e suas consequências, assim como da análise e suas ações de correção (Fabiś-Domagata, 2017).

No estudo de Korpysa et al. (2023), desvios e variabilidade estão sujeitos ao processo de manufatura e estes fatores podem derivar do processo, de parâmetros, de ferramentas, dos instrumentos de medição, dos operadores ou da complexidade dos produtos.

A análise de um problema através da utilização dos 6M's concentra-se em agrupar possíveis causas do problema em seis principais vertentes diretamente ligadas ao processo produtivo, sendo eles a máquina, o material, o meio ambiente, a medida, o método e a mão de obra (Inácio et al., 2023).

Segundo Costa et al. (2023) as causas podem ser relacionadas e agrupadas em seis diferentes categorias:

- **Máquina:** Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva a máquina e o seu funcionamento, assim como as suas ferramentas e toda a sua manutenção.
- **Material:** Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva o material ou a matéria-prima utilizada no processo, bem como as suas especificações técnicas.
- **Meio ambiente:** Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva o meio ambiente, ou seja, as condições ambientais ou físicas, sejam elas internamente ou externamente relacionadas com a empresa ou ligadas ao processo produtivo.

- Medida: Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva os métodos de medidas e medição, e instrumentos de medição utilizados, bem como os indicadores de eficiência e calibração.
- Método: Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva o método utilizado, ou seja, os processos, os procedimentos e instruções de trabalho que são seguidas para o desenvolvimento do processo.
- Mão de obra: Relaciona todas as possíveis causas do problema em questão no qual envolva a mão de obra utilizada, bem como todos os outros fatores e todas as condicionantes que envolvam o comportamento e as habilidades humanas utilizadas ou envolvidas no processo.

Os 6M's são representados através de ligações ao problema em questão, e destas ligações surgem novas linhas com as possíveis causas, as quais permitem uma melhor organização dos dados e da sua resolução (Inácio et al., 2023).

Segundo Costa et al. (2023) o diagrama de Ishikawa permite determinar as possíveis causas com base em determinado efeito do processo, por meio de representações gráficas, como podemos ver na Figura 8.

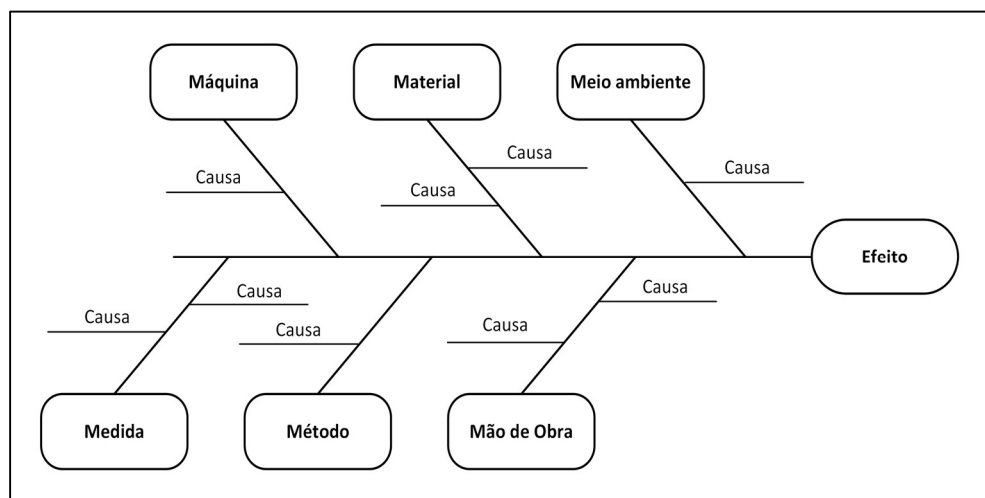


Figura 8 – Estrutura do diagrama de Ishikawa
(adaptado pelo autor com base em Costa et al., 2023)

Assim, os estudos demonstram que o diagrama de Ishikawa permite identificar as possíveis causas de um determinado problema, organizando-as em grupos específicos, através de uma expressão gráfica, que permite uma visão geral do problema e o seu auxílio na condução da análise, e consequentemente, na identificação da causa raiz do problema, bem como da sua estratégia e do seu plano de ação.

Revisão Bibliográfica

4. Caso de Estudo 1 – Máquina 1

Este capítulo tem como objetivo a apresentação do caso de estudo a ser analisado. Neste, serão apresentados os temas principais em capítulos e detalhados posteriormente nos subcapítulos seguintes, onde se irá abordar, sobretudo, a contextualização do processo produtivo, a seleção do sistema a estudar, o plano de controlo, os instrumentos de medição, a ferramenta de registo de dados e controlo, a análise do nível de capacidade e performance do processo, a análise de causas inicial, o teste de causa e os resultados.

4.1. Contextualização do Processo Produtivo

A Azurea Portugal realiza a industrialização de microcomponentes de precisão com ênfase na relojoaria suíça, unindo o conhecimento de décadas de experiência e tradição deste país, e combinando-os com a recente tecnologia para a alta precisão.

A industrialização deste tipo de componentes contempla ao longo do processo produtivo, diferentes setores, áreas, processos, procedimentos, instrumentos de medição, máquinas e ferramentas, os quais são adaptados aos diferentes tipos de produtos e contextos durante o ciclo de produção.

Os diferentes processos produtivos e atividades de apoio estão dispersos por diferentes setores, os quais:

- Controlo: setor que avalia a qualidade e realiza medições dimensionais, geométricas, superficiais e visuais, por meio de diversos instrumentos de medição convencionais ou digitais.
- Tornearia: setor que realiza a maquinação através de tornos CNC do tipo suíço com diversas ferramentas, sejam padronizadas ou específicas às operações.
- Embalagem/expedição: setor que visa a embalagem de peças para o armazenamento e a expedição do produto, que é realizado através de diferentes métodos com o objetivo de prevenir a corrosão dos produtos produzidos.
- Fresagem: setor de fresagem a CNC, que realiza a maquinação através de fresadoras a CNC com 3 ou 5 eixos.
- Lavagem: setor que realiza a lavagem de peças de forma semiautomática com o objetivo de preparar os itens produzidos para os demais processos de outros setores.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

- Montagem: setor que realiza a montagem de subconjuntos mecânicos através de máquinas e processos específicos de microcomponentes de precisão.
- Rolagem: setor de maquinação por abrasão, que é realizado através da utilização de máquinas específicas do setor.
- Estoque de peças: setor que realiza o armazenamento de produtos acabados ou semiacabados para futuros processos produtivos ou pedido de clientes.
- Fresagem de engrenagem: setor que realiza a maquinação através da fresagem dos dentes de diversos tipos de engrenagens por meio de máquinas específicas.
- Tratamento térmico: setor que trata os produtos termicamente, realizado através de fornos e processos específicos para o tipo de material termicamente tratado.

O processo produtivo na Azurea Portugal não segue um fluxo único, no qual todas as peças passam pelos devidos processos em todos os setores da empresa. Trata-se de um fluxo múltiplo, isto é, depende do tipo de peça a ser produzida, podendo iniciar em setores específicos. Dependendo do tipo de produto a ser produzido ou do processo necessário, pode também retornar ao mesmo setor mais do que uma vez. Os processos podem também ser adaptados consoante a necessidade produtiva ou a industrialização de novos produtos.

De forma geral, os fluxos produtivos iniciam-se com base em quatro setores de processos produtivos primários, conforme apresentado na Figura 9.

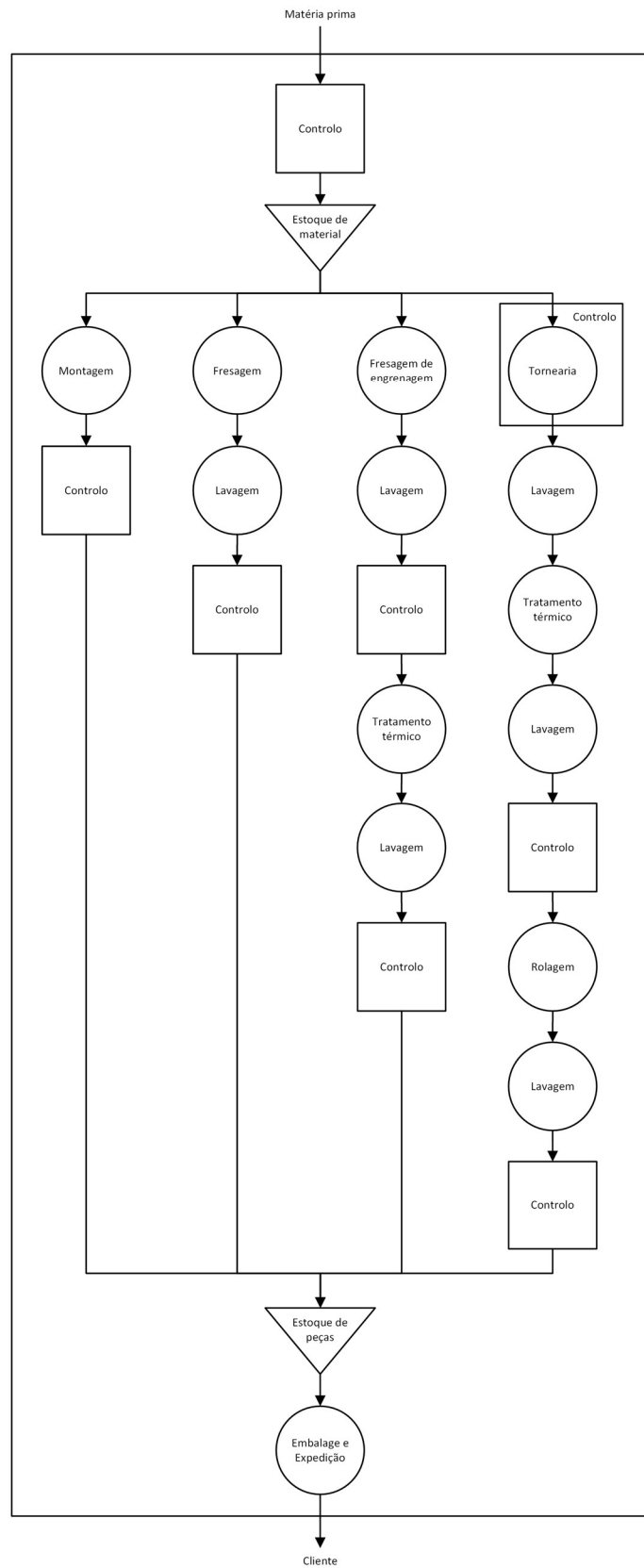


Figura 9 – Diagrama de fluxo do processo produtivo

4.2. Seleção do Sistema a Estudar

A etapa seguinte do estudo concentrou-se na seleção do sistema a estudar, os quais foram separados e analisados em duas partes: a primeira, a identificação do setor da empresa, através da compreensão do processo produtivo das várias áreas. A segunda, a seleção do produto sujeito à análise da capacidade e performance do processo, bem como à sua eventual análise para a sua melhoria, otimização ou reforço do controlo durante o processo produtivo, de forma a cumprir com os objetivos propostos.

4.2.1. Setor

A identificação do setor para a realização do estudo apresentou uma grande importância para o desenvolvimento deste estudo. O critério para a sua seleção baseou-se no setor que possui o maior número de processos subsequentes aos processos produtivos primários. Isto reforçaria a importância de apresentar um processo estável e que tenha repetibilidade, reproduzindo os mesmos resultados em condições similares, de forma a manter o processo fiável para os restantes processos subsequentes.

Com base na Figura 9, são apresentados na Tabela 4, o número de processos subsequentes aos setores primários.

Tabela 4 – Número de processos subsequentes por setor primário

Setor primário	Processos subsequentes
Tornearia	9
Fresagem de engrenagens	7
Fresagem	4
Montagem	3

Com base nestes dados, verifica-se que o processo de tornearia seria o setor com maior número de processos subsequentes ao processo primário. Por outro lado, outro fator que complementa a importância do estudo deste setor, além do número de processos subsequentes, está relacionado com a produção média anual de peças produzidas. Na Tabela 5 são apresentados os dados de produção, fornecidos pela direção da Azurea Portugal, sendo estes dados internos e não publicados.

Tabela 5 – Produção média anual por setor primário

Setor primário	Produção média anual
Tornearia	10.000.000
Fresagem de engrenagens	2.000.000
Montagem	700.000
Fresagem	100.000

Portanto, com base nos dados apresentados e que sustentam a relevância do setor de estudo, a tornearia é o setor que possibilitaria um estudo e uma análise mais estratégica para a Azurea Portugal e foi esse o escolhido, então, para a execução deste caso de estudo.

4.2.2. Produto

O produto selecionado para o desenvolvimento do estudo foi indicado pela direção da Azurea Portugal, podendo ser visto na Figura 10, e que levou em consideração alguns fatores que permitissem uma escolha mais estratégica e assertiva do produto, principalmente por se tratar, como referido anteriormente, do primeiro estudo do género. Com isto, os fatores levados em consideração foram:

- A dimensão do lote de peças: a escolha de um lote com uma quantidade relativamente grande de peças em produção, permitiria um maior tempo produtivo, e consequentemente, uma maior quantidade de peças controladas, tornando o número de amostras mais significativo para o estudo.
- O período de produção: a escolha do produto também assentou na seleção de um dos artigos que fosse produzido dentro do período deste estudo, o que poderia favorecer o acompanhamento do processo.
- A complexidade do produto: este apresentou-se como um importante fator de decisão, por ser uma orientação da direção da empresa. Optando por um produto que apresentem um menor grau de complexidade, que iria permitir um maior controlo das variáveis e aplicação da metodologia. Da mesma forma, traz consigo um ganho de experiência com a sua aplicação, no desenvolvimento de uma base para replicar em futuros produtos com um maior grau de complexidade.

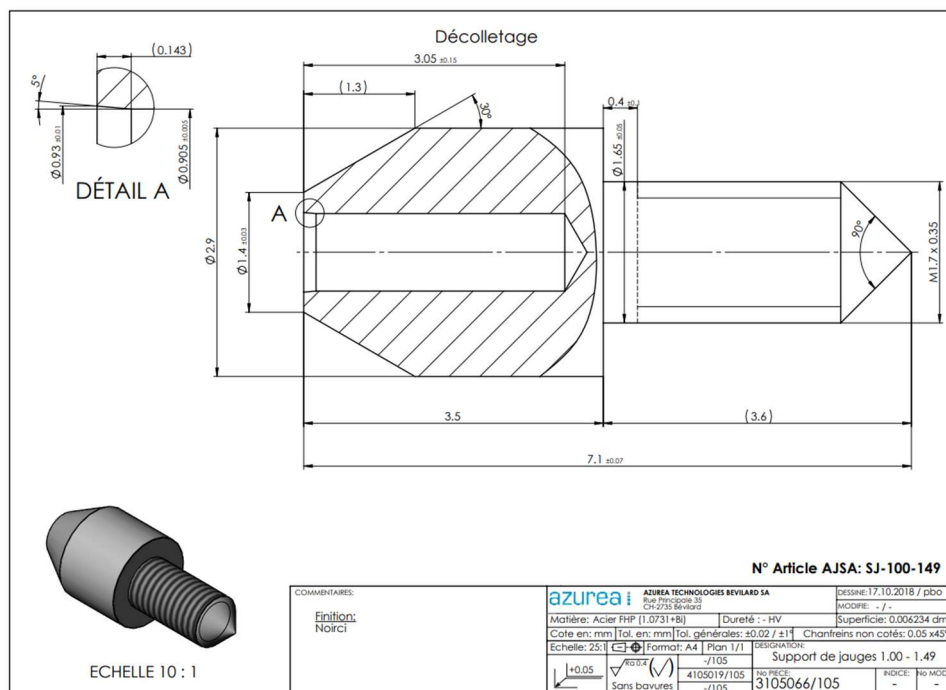


Figura 10 – Desenho técnico do produto

O setor de tornearia da Azurea Portugal possui diferentes modelos de tornos CNC, sendo a sua base os modelos do tipo suíço. Estes apresentam diferentes capacidades e características operacionais, que permitem escolher, para cada produto, o modelo de máquina que mais se

adequa às especificações do mesmo, como, o diâmetro máximo para maquinação, ou o número máximo de ferramentas utilizadas, ou até a geometria do produto.

Através destas e outras características, a gestão definiu a utilização da máquina S9 para a produção do produto selecionado, com uma produção prevista de 25.000 peças. A máquina pode ser vista na Figura 11.



Figura 11 – Torno CNC utilizado para produção do produto

4.3. Plano de Controlo

O plano de controlo do Grupo Azurea é composto de duas partes. A primeira parte define o plano de controlo do sistema e a segunda parte define o plano de controlo do produto, sendo esta última subdividida noutras duas partes: uma é estruturada de forma a realizar a inspeção durante a fase produtiva e a outra é voltada para a fase final do produto.

4.3.1. Plano de Controlo do Sistema

O plano de controlo no Grupo Azurea tem o objetivo de garantir, através de inspeções regulares, a conformidade dos produtos produzidos, com base nos limites de especificação e exigências designados pelo cliente.

Na Azurea existem dois tipos de controlo: o controlo de qualidade final, realizado por lotes com base nas quantidades de ordens de fabrico; e o controlo de qualidade produtivo, que é realizado durante o processo de produção.

O controlo de qualidade final e os critérios de aceitação são definidos pelo cliente com base nas suas exigências, e por razões pré-estabelecidas em contrato, não devem possuir qualquer tipo de alteração no controlo de qualidade do produto final, como por exemplo, a redução da quantidade de peças controladas. Por esse motivo, este controlo não será objeto de estudo.

Por sua vez, o controlo de qualidade produtivo é realizado durante a produção, e segue critérios e procedimentos internos que são geridos e aprovados pelo departamento de qualidade do

Grupo Azurea. Este departamento descreve as diretrizes a serem seguidas. Cada setor apresenta regras de controlo produtivo diferentes e adaptadas ao seu processo, respeitando sempre e na mesma os critérios e especificações do cliente. Como o foco deste estudo é o setor de tornearia, apenas será apresentado o plano de controlo referente a este mesmo setor e produto escolhido.

O plano de controlo é dividido em partes e contempla as etapas de preparação, ajuste do processo e produção, sendo estas:

- Preparação da máquina: processo de controlo na preparação da máquina, realizado através de uma maior amostragem inicial. Tem como foco o ajuste dimensional do produto pela média da amostragem no início da produção. Esta etapa serve, também, como forma de validação e registo do processo para a produção efetiva de forma contínua.
- Ajuste: processo de controlo no ajuste do processo durante a produção, e que é de utilização específica para quando são encontrados desvios que excedam os limites de especificação da peça, realizando o controlo das peças produzidas de forma contínua até à sua correção.
- Arranque da máquina: processo de controlo realizado por volta das 8h da manhã.
- Produção das 11h: processo de controlo realizado por volta das 11h da manhã.
- Produção das 15h: processo de controlo realizado por volta das 15h da tarde.
- Preparação para noite: processo de controlo realizado por volta das 16h da tarde.
- Produção do final da tarde: processo de controlo realizado, se necessário, quando alguma máquina apresenta algum tipo de instabilidade anormal durante a produção, realizado por volta das 20h.
- Produção da noite: processo de controlo realizado com as peças produzidas referente à produção entre as 16h e as 8h do dia seguinte, caso não seja realizado o controlo da produção do final da tarde devido a instabilidades do processo. Caso haja instabilidades e o controlo do final da tarde seja realizado, o controlo é referente a produção entre as 20h e as 8h do dia seguinte.

4.3.2. Plano de Controlo do Produto

O plano de controlo do produto leva em consideração todas as características e especificações do produto exigido pelo cliente, com base no regulamento interno de controlo do setor de tornearia do Grupo Azurea. Este regulamento visa definir estes controlos, com base na sua tolerância, em que quanto menor for a tolerância, maior é a frequência de controlo do produto. Para este estudo, apenas será apresentado o plano de controlo definido para a industrialização do produto selecionado, que é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Plano de controlo do produto

Tipo de controlo	Código do controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Código do tipo de controlo							
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
				Preparação da máquina	Ajuste	Produção do final da tarde	Arranque da máquina	Produção das 11h	Produção das 15h	Preparação para noite	Produção da noite
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	x	x		x				
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	x	x		x		x		
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	x	x		x		x	x	
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	x	x		x		x		
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	x	x		x		x		
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	x	x		x		x		
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	x	x		x		x	x	x
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	x	x						
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	x	x						
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	x	x		x				
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	x	x						
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	x	x		x				
Quantidade de peças inspeccionadas				10	1	1	1	3	3	1	1
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	x	x	x	x	x	x	x	x
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	x	x	x	x	x	x	x	x
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	x	x	x	x	x	x	x	x
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	x	x	x	x	x	x	x	x
Quantidade de peças inspeccionadas				10	1	1	3	3	3	3	10

4.4. Instrumentos de Medição

O Grupo Azurea utiliza diversos tipos de instrumentos de medição para o controlo dimensional, geométrico, de dureza e visual dos produtos produzidos. Cada produto utiliza um tipo de instrumento de medição que melhor se adapta às suas características e especificações.

Os instrumentos de medição utilizados nas empresas do Grupo passam por verificações diárias, e dependendo do equipamento, em períodos regulares através de entidades externas e certificadas para o efeito, visando garantir que os valores das leituras dimensionais são reais e fiáveis. Para o produto em estudo, os instrumentos de medição utilizados no processo de controlo são apresentados, em baixo, desde a Figura 12 à Figura 16.

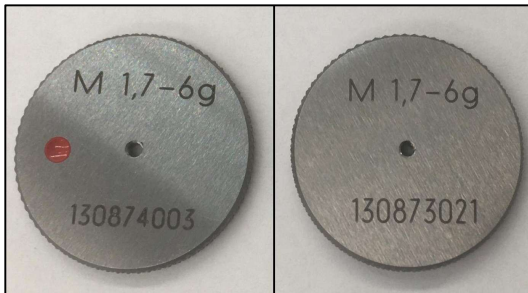


Figura 12 – Calibres de rosca



Figura 13 – Calibres de furo Azurea

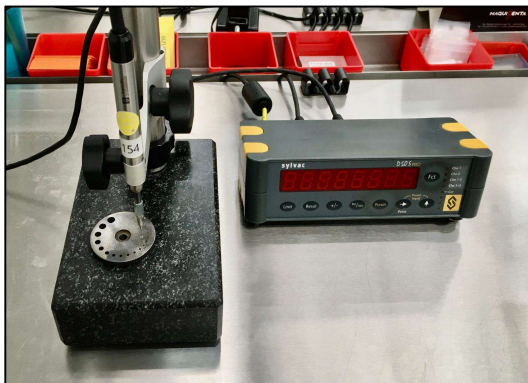


Figura 14 – Comparador vertical digital



Figura 15 – Comparador horizontal digital



Figura 16 – Microscópio de medição por luneta

4.5. Ferramenta de Registo de Dados e Controlo

A Azurea Portugal utiliza o *software* Ellistat para a gestão de dados e registo de informações do processo de controlo produtivo, bem como para o controlo final dos produtos acabados, utilizando os módulos *Automated Process Control* – APC, para o controlo estatístico do processo e de *Incoming Quality Control* – IQC, para o controlo de qualidade final, que são realizados com base nos lotes produzidos. O IQC possui uma ferramenta que permite ajustar o número de inspeções e verificações dos lotes no controlo final, de forma automática, com base nas normas

ISO 2859 para características de atributos, e ISO 3951 para características mensuráveis. Ainda tem, também, um formato personalizado para atender a determinado tipo de controlo ou exigência dos clientes. O módulo APC não possui uma ferramenta que realize o ajuste do número de inspeções ou controlos durante a produção de forma automática, como por exemplo, com base nos indicadores de capacidade ou performance do processo. O *software* apenas sinaliza a existência de um índice de performance do processo com um baixo valor, conforme configurado.

Os dados podem ser inseridos no *software* através da comunicação direta com as máquinas de medição, ou através da inserção manual de dados que são recolhidos durante os processos de controlo. Por sua vez, estes são armazenados no banco de dados para o registo do histórico da produção. O *software* permite ainda a criação de planos de controlo, adaptados à realidade do processo produtivo, como é o caso da Azurea Portugal, bem como o cálculo e a indicação da correção, com base nos seus algoritmos para o ajuste do processo em tempo real.

A utilização do *software* não terá como objetivo compreender como estes dados são, por este, calculados, pois, para este estudo, será apenas utilizado os dados que são, pelo *software* fornecidos.

4.6. Análise do Nível de Capacidade e Performance do Processo

A análise dos gráficos de controlo iniciou-se com a remoção dos controlos relativos ao processo de preparação da máquina que apresenta valores com um nível maior de instabilidade, normalmente necessitando de ajustes e correções iniciais, de forma a estabilizar o processo. Após estas correções, o processo é estabilizado e procede-se a sua validação, iniciando então a produção contínua das peças.

Os controlos relativos ao processo de ajuste também foram removidos, pois trata-se do registo dos valores do controlo que estejam fora do limite de especificação, caso assim o tiver, e que normalmente são causas especiais ao processo, como ajustes ao substituir ferramentas, ou a danificação das ferramentas de corte.

A Azurea não realiza a utilização por padrão de duas diferentes cartas de controlo, mas concentra-se somente na utilização da carta de controlo para a média do processo, a qual também devido ao *software*, apresenta as amostras controladas. Isto permite ter uma visão da dispersão da amostragem, com base na visão da empresa e na realidade do processo, e que melhor se adapta ao seu processo produtivo. Para este estudo, será seguido a mesma estrutura do processo de controlo atualmente utilizada na empresa, porque, com isto, poderá ser possível verificar se a estrutura aplicada é realmente funcional ao processo.

Iniciando na Figura 17 e seguindo até à Figura 28, apresentam-se as cartas de controlo de médias. A dispersão do processo pode ser verificada através dos pontos verticalmente distribuídos em cada valor da média do controlo. Esta característica do *software* permite ver a média e a dispersão dos dados com relação às amostras individuais do processo de forma simples e rápida, com um contexto prático e eficiente para a empresa. A Figura 24, Figura 25 e

Figura 27 não apresentam controlos para apresentação, pois os únicos controlos registados para as dimensões indicadas, somente são controlados no processo de preparação da máquina e ajuste, o qual foram removidos da análise conforme esclarecido anteriormente.

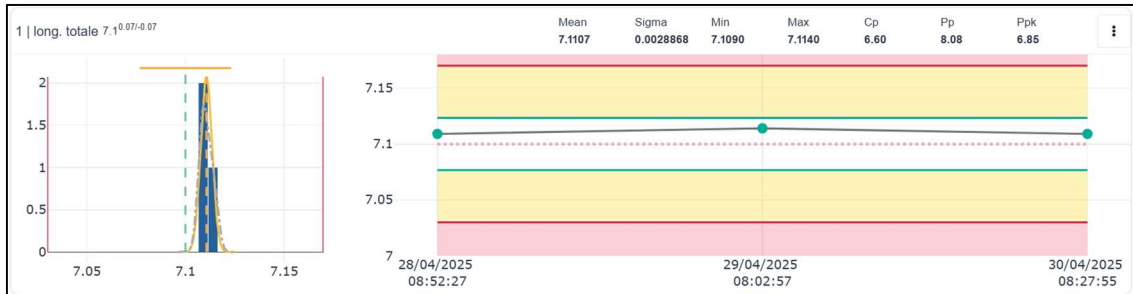


Figura 17 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm)

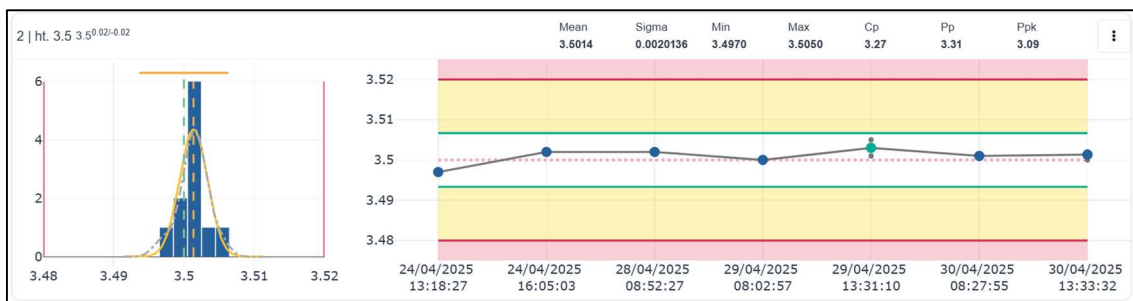


Figura 18 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm)

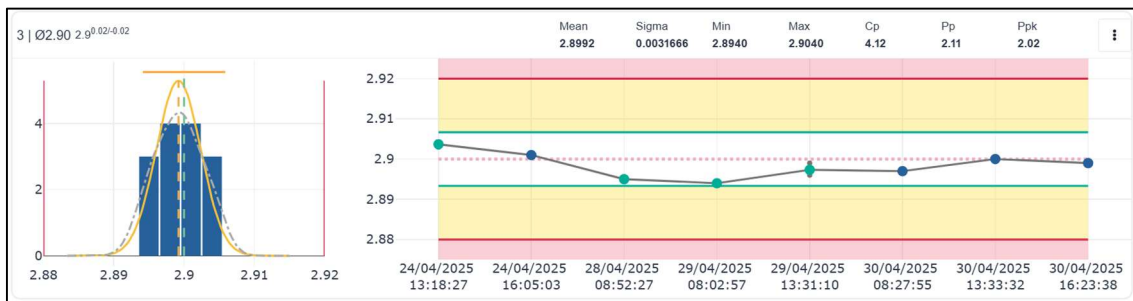


Figura 19 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de Ø2.90mm)

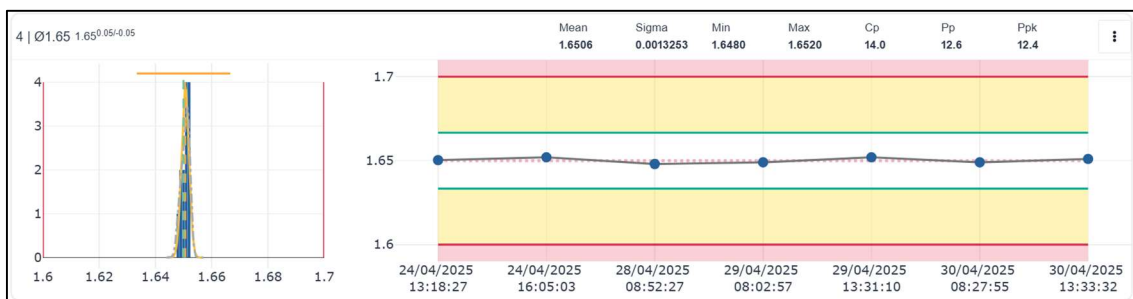


Figura 20 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de Ø1.65mm)

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

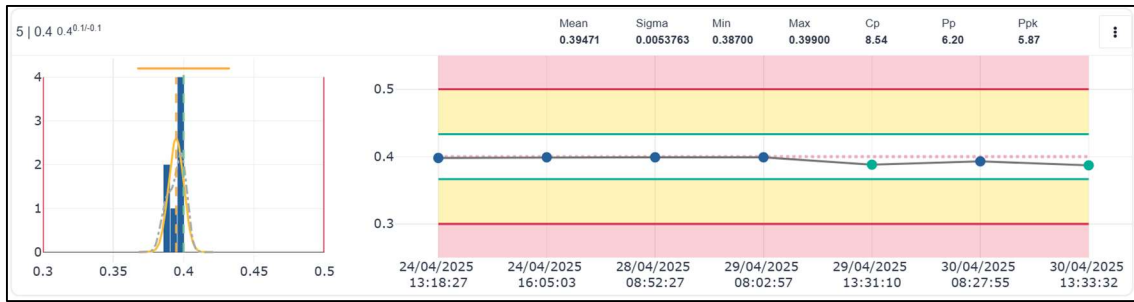


Figura 21 – Gráfico de controlo D5 (dimensão de 0.4mm)

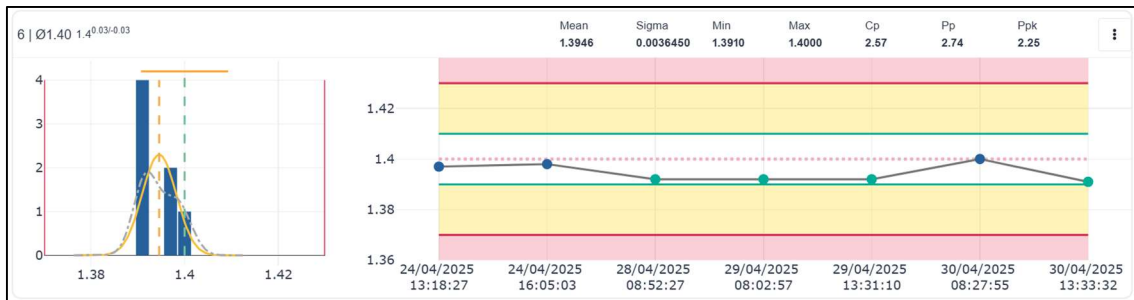


Figura 22 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de Ø1.40mm)

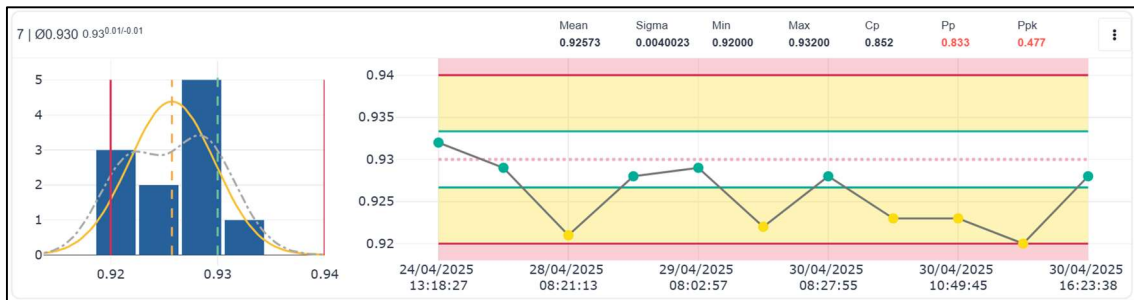


Figura 23 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de Ø0.930mm)



Figura 24 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°)



Figura 25 – Gráfico de controle D9 (dimensão de 90°)

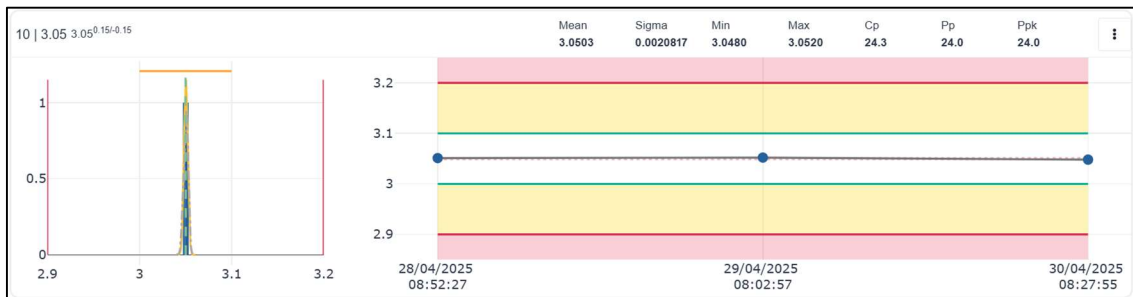


Figura 26 – Gráfico de controle D10 (dimensão de 3.05mm)



Figura 27 – Gráfico de controle 11 (dimensão de 5°)

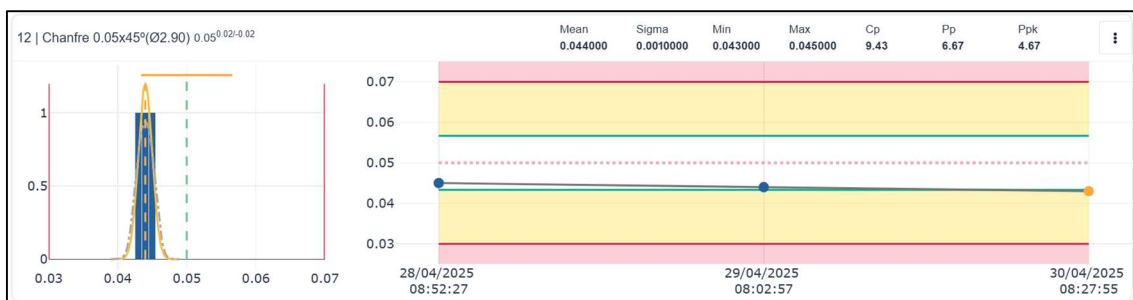


Figura 28 – Gráfico de controle D12 (dimensão de 0.05±0.020)

Desde a Figura 29, até à Figura 32, apresentam-se os gráficos com o registo dos dados relativos às características de atributos, com controlo não mensurável, qualitativo. As características de atributos não são registadas em cartas de controlo, mas sim em gráficos indicativos, que melhor se adaptam ao processo da Azurea, apenas indicando se foram encontradas não conformidades. No contexto prático da empresa, caso se verifique a existência de não conformidades nesta etapa, os lotes vão para triagem, independente do seu número, seguindo em frente somente as boas unidades.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

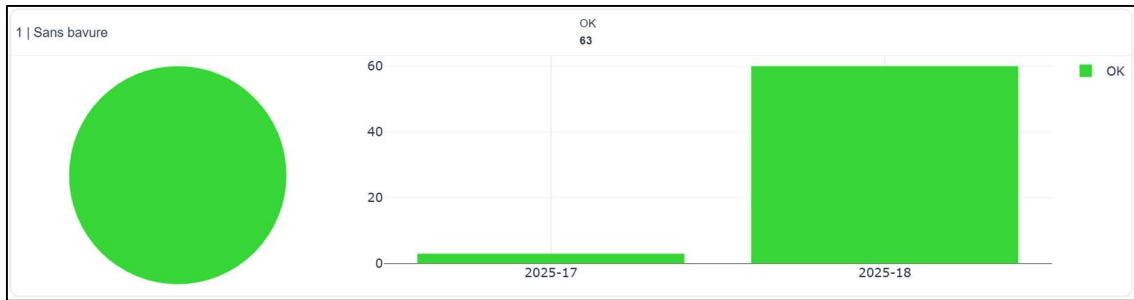


Figura 29 – Gráfico de controle A1 (sem rebarbas)

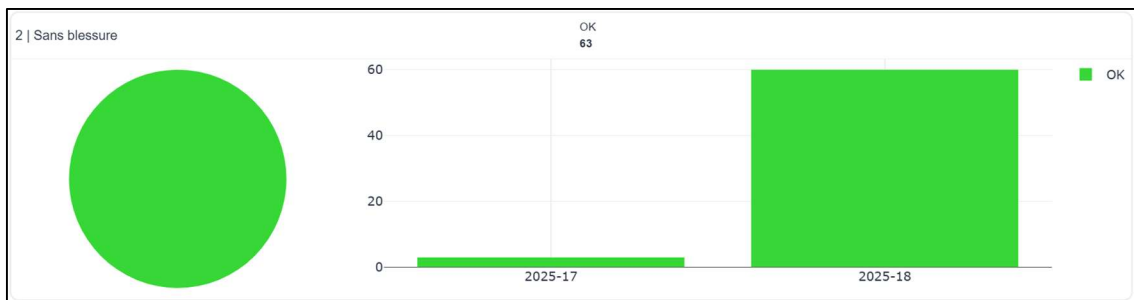


Figura 30 – Gráfico de controle A2 (sem marcas)

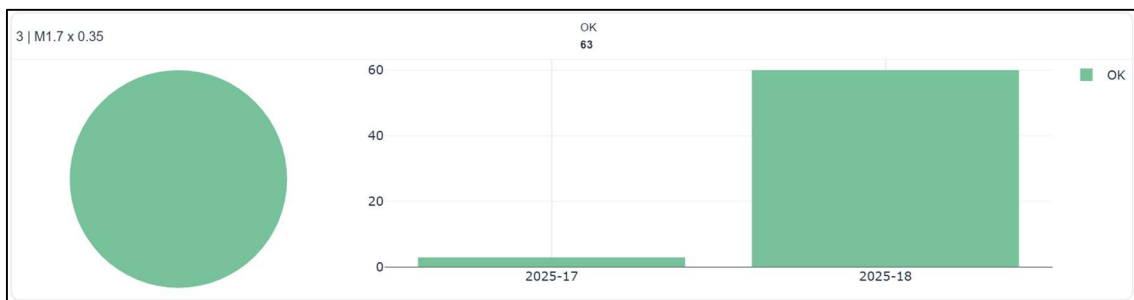


Figura 31 – Gráfico de controle A3 (M1.7 x 0.35)

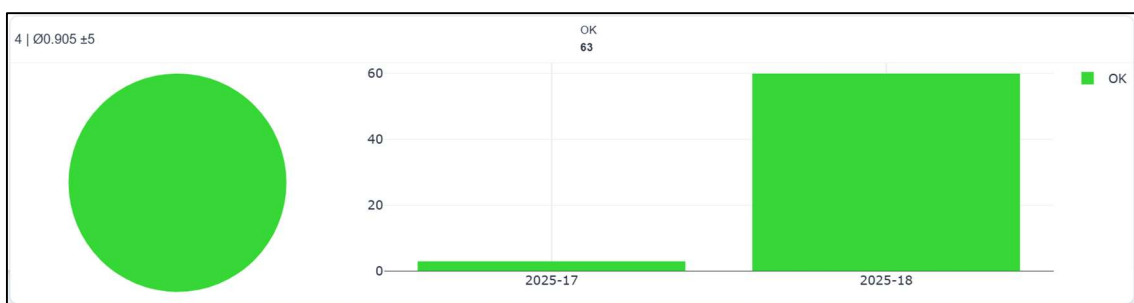


Figura 32 – Gráfico de controle A4 (dimensão de 0.905mm)

A Figura 31 apresenta uma cor diferente, mas tem o mesmo significado com base na legenda do gráfico. O resumo dos valores obtidos é apresentado de forma simplificada na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo dos Índices

Tipo de controlo	Código do controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Índices			
				Cp	Cpk	Pp	Ppk
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	6.60	5.59	8.08	6.85
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	3.27	3.05	3.31	3.09
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	4.12	3.96	2.11	2.02
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	14.0	13.8	12.6	12.4
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	8.54	8.08	6.20	5.87
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	2.57	2.10	2.74	2.25
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	0.852	0.488	0.833	0.477
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	-	-	-	-
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	-	-	-	-
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	24.3	24.2	24.0	24.0
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	-	-	-	-
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	9.43	6.60	6.67	4.67
				OK		NOK	
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	63	0		
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	63	0		
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	63	0		
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	63	0		

Para a análise deste estudo de capacidade e performance serão considerados os valores indicados pela literatura, apresentados na Tabela 1 e na Tabela 3.

O valor do Cpk não é apresentado nos gráficos de controlo pois segundo o desenvolvedor do *software* não é relevante a longo prazo. Entretanto, é possível consultá-lo dentro do *software*.

Portanto, somente o controlo dimensional D7 (dimensão de $\varnothing 0.930$) apresenta valores de Cp, Cpk, Pp e Ppk abaixo de 1, indicando uma incapacidade do processo a curto e a longo prazo. Os valores apresentados de Cpk e Ppk indicam uma descentralização dos dados, o que se alinha com a alta instabilidade dos controlos registados, aproximando-se dos valores limites de especificação, como visto na Figura 23.

Os indicadores qualitativos não apresentam nenhum tipo de defeito, mantendo todos os artigos produzidos em conformidade durante a sua produção.

Os índices com alta capacidade e os controlos qualitativos apresentam uma oportunidade para a aplicação do estudo de otimização do controlo produtivo devido à sua estabilidade e histórico. O índice com baixa capacidade apresenta, também, uma possibilidade de estudo para a identificação da sua causa, e eventual correção. E no caso de não identificar a causa raiz, aumentar o controlo produtivo com o objetivo de minimizar o impacto da baixa capacidade do processo.

4.7. Análise de Causa Inicial do Controlo Dimensional D7

Com o objetivo de desenvolver um diagnóstico sobre as possíveis causas da variabilidade no controlo, indicado na Figura 23, que possui como consequência um impacto no valor da baixa capacidade e performance do processo da dimensão em questão, utilizou-se um diagrama de Ishikawa. O diagrama de Ishikawa permitirá uma visão global perante esta análise inicial, assim como compreender melhor as possíveis causas que estão a afetar o processo. Da mesma forma permite propor ações de correção necessárias, com base nas seis categorias primárias, os 6M's, antes de iniciar o estudo de otimização do controlo.

Através da análise inicial dos dados apresentados entre a Figura 17 e a Figura 28, as potenciais causas da variação do processo, correspondente ao controlo dimensional D7 foram apresentadas. Estas possíveis causas foram alocadas com base nas respetivas categorias primárias, como se pode ver na Figura 33.

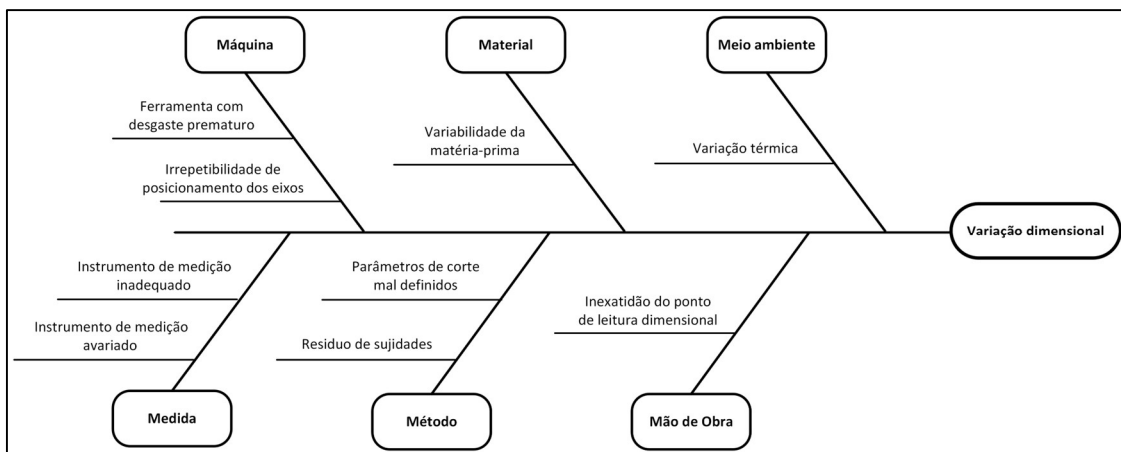


Figura 33 – Diagrama de Ishikawa aplicado a variação dimensional

Com base nas possíveis causas identificadas, foi feita uma ordenação para a realização dos testes, que pode ser vista na Tabela 8, baseando-se na sua relevância e consequente influência. De forma estruturada, esta ordenação permite uma análise com um aumento gradual na sua complexidade.

Tabela 8 – Sequenciamento dos testes de causa

Sequencia	Possível causa	Categoria
1	Resíduo de sujidades	Método
2	Instrumento de medição avariado	Medida
3	Inexatidão do ponto de leitura dimensional	Mão de obra
4	Instrumento de medição inadequado	Medida
5	Parâmetros de corte mal definidos	Método
6	Ferramenta com desgaste prematuro	Máquina
7	Impossibilidade de repetição de posicionamento dos eixos	Máquina
8	Variação térmica	Meio ambiente
9	Variabilidade da matéria-prima	Material

4.8. Testes de Causa

Os testes de causa procuram verificar se a variação do processo, que está diretamente ligada à baixa capacidade e performance do processo e relaciona-se com uma das possíveis causas identificadas no diagrama de Ishikawa. Com isto, foram realizadas verificações e análises aos processos existentes durante o desenvolvimento da produção, com o objetivo de aumentar a capacidade e a performance do processo.

4.8.1. Teste de Causa 1 – Resíduos de Sujidade

O primeiro teste de causa teve como objetivo a verificação da limpeza do produto, garantindo que o mesmo estivesse limpo e sem resíduos de sujidade que pudessem impactar a sua correta leitura dimensional.

Todas as peças que são utilizadas para o controlo passam por um processo de limpeza, que permite remover os resíduos que possam ocasionar leituras dimensionais incorretas, como óleo, limalhas e poeiras. Os produtos de limpeza passam por substituições regulares, sendo substituídos conforme descrição na instrução de trabalho. O processo de limpeza pode ser visto na Figura 34.



Figura 34 – Processo de limpeza para controlo

O processo ocorre de forma sequencial. Primeiramente, as peças são imersas e agitadas dentro do recipiente 1, em seguida no recipiente 2, passando, depois, para o recipiente 3 e, por último, finalizando no recipiente 4, de forma a refinar e aumentar o grau de limpeza das peças. Após este processo de limpeza, as peças recebem um jato de ar comprimido, que expulsa o líquido residual e também realiza a secagem através da evaporação. Em sequência, as peças são levadas para as bancadas de medição para realização do controlo.

O teste considerou as peças utilizadas no controlo habitual, durante todos os controlos desse dia. Após a realização da limpeza, as peças foram inspecionadas para verificar a existência de resíduos e sujidades, bem como efetuar o registo das evidências, como pode ser visto na Tabela 9.

De seguida, deu-se continuidade ao controlo habitual pelos operacionais.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

Tabela 9 – Resultado do Teste de Causa 1 – Resíduos de Sujidades

Controlo	Estado da peça
Preparação da máquina	Controlo não realizado
Ajuste	Controlo não realizado
Arranque da máquina	Sem resíduos de sujidades
Produção das 11h	Controlo não realizado
Produção das 15h	Sem resíduos de sujidades
Produção do fim da tarde	Controlo não realizado
Preparação para noite	Sem resíduos de sujidades
Produção da noite	Sem resíduos de sujidades

A Figura 35 e Figura 36 apresentam um produto antes e após ser limpo pelo processo já descrito anteriormente.

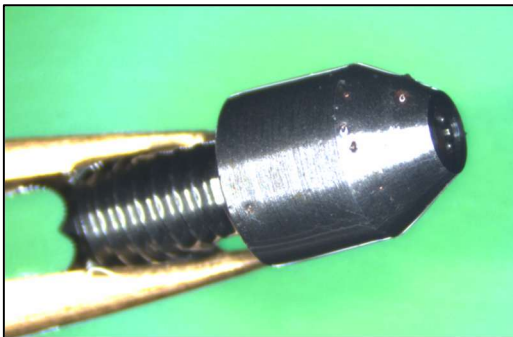


Figura 35 – Produto antes da limpeza



Figura 36 – Produto depois da limpeza

O gráfico de controlo da dimensão em questão, mostra os dados referentes ao processo, como pode ser visto na Figura 37.

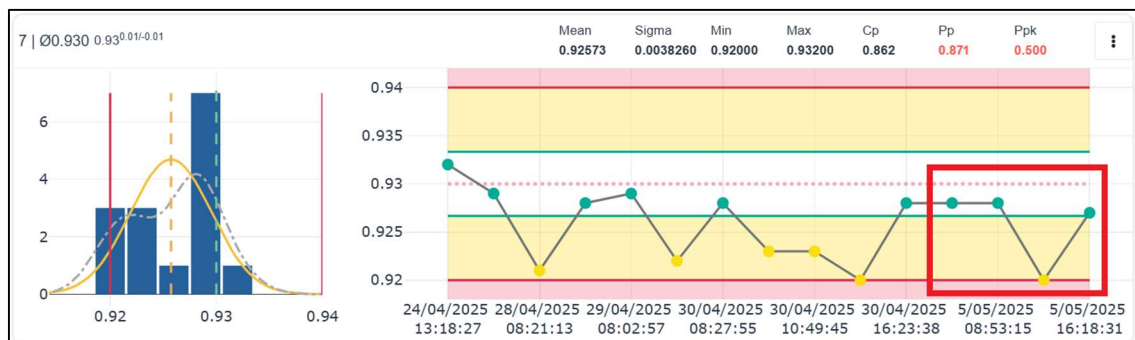


Figura 37 – Gráfico de controlo com registo do teste de causa 1

Com a conclusão do teste, apesar da correta limpeza das peças para o controlo, os quatro últimos valores registados no *software*, e relativos à mesma data, continuou a apresentar um desvio similar aos outros controlos já realizados. Deste modo, considerou-se que o teste não apresentou fortes indícios de corresponder à causa raiz do problema.

4.8.2. Teste de Causa 2 – Instrumento de Medição Avariado

O segundo teste de causa foi realizado ao início do dia de trabalho e teve como objetivo a verificação do instrumento de medição utilizado para o controlo da dimensão. Este deveria de realizar a correta leitura das medidas. Deste modo, seria possível identificar se a variação encontrada na carta de controlo poderia estar relacionada a este instrumento de medição, e posteriormente, acompanhar o gráfico, comparando as realizadas após a sua aferição.

A Azurea Portugal utiliza dois diferentes tipos de calibre. Os de coloração azul são utilizados para o controlo de peças. Já os calibres na coloração amarela são utilizados exclusivamente para a aferição dos instrumentos de medição. Estes calibres são apresentados na Figura 38.



Figura 38 – Calibre de controlo e aferição

Os calibres de aferição dos instrumentos de medição permitem que estes sejam verificados antes da sua utilização no controlo, de forma a conferir e garantir o resultado da leitura dimensional. Estes calibres passam por um processo de aferição anual, sendo enviados para a Azurea Jauges, uma das empresas do Grupo Azurea, na Suíça, que possui a certificação ISO 17025. A Azurea Jauge também possui um equipamento de medição específico de calibres, podendo realizar medições de 0 a 6.500 μ m, e com uma precisão de 0.01 μ m. O equipamento pode ser visto na Figura 39.



Figura 39 – Dispositivo de medição Azurea Type 6500

(Reproduzido do site da loja da Azurea Jauge, 2025. <https://azurea-shop.ch/fr/appareil-de-mesure/28-appareil-de-mesure-6500.html>)

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

De forma a verificar se a causa do problema poderia ser o instrumento de medição, foi utilizado um calibre de aferição com dimensão de $\varnothing 1.000$ para verificar se a leitura apresentada pelo microscópio de medição por luneta era equivalente à dimensão do calibre de aferição.

Os resultados das medições de aferição realizadas no microscópio de medição por luneta, conduzidos pela técnica de qualidade da Azurea Portugal mostram a mensuração do diâmetro com base em três pontos defasados a aproximadamente 120° , com o ponto inicial de forma aleatória, sendo estes apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores das medições do calibre de aferição

Dimensão do calibre de aferição	Dimensões mensuradas no Microscópio de medição por luneta
$\varnothing 1.000$	1.001
	1.000
	1.000
	0.999
	1.000
Média	1.000
Amplitude	0.002

Os cálculos foram realizados através da equação da média (32) e da amplitude (33) das dimensões mensuradas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (32)$$

Onde:

- \bar{X} é a média das dimensões;
- x_i são as dimensões medidas;
- n é o número total de dimensões medidas;

$$A = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} \quad (33)$$

Onde:

- A é a amplitude das dimensões medidas;
- $V_{\text{máx}}$ é o valor máximo das dimensões medidas;
- $V_{\text{mín}}$ é o valor mínimo das dimensões medidas;

Os resultados das medições, apresentados na Tabela 10, mostram um valor médio de $\varnothing 1.000$, com uma amplitude de 2 microns. Considerando que a precisão do equipamento é de 1 microns, verificou-se que o microscópio de medição por luneta apresenta um resultado satisfatório, que condiz com a dimensão do calibre de aferição.

A Figura 40 mostra a visão que o operador tem, através do microscópio de medição, durante as leituras dimensionais dos produtos.

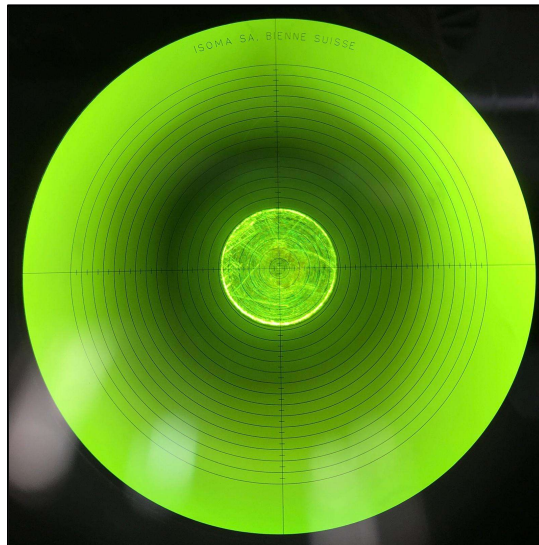


Figura 40 – Visão da medição do calibre de aferição no microscópio de medição por luneta

A Figura 41 mostra um dos valores encontrados durante a medição do calibre de aferição.



Figura 41 – Medição do calibre de aferição no Microscópio de medição por luneta

As micro variações são inerentes ao processo de medição devido à alta precisão dos produtos, mesmo que o operador tenha grande experiência a manusear o instrumento. A sua perspetiva com relação à linha de medição pode variar e é limitada à resolução do equipamento. Por outro lado, pode também ser limitada pelo nível de amplificação da imagem no microscópio e, com isto, altera-se o ponto exato de leitura, conforme visto na Tabela 12, com variações de 1 micrometro da leitura nominal.

O gráfico de controlo da dimensão em questão, apresentado na Figura 42, mostra os dados de controlo referente ao processo, após a aferição do microscópio de medição, como pode ser visto na Figura 42.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

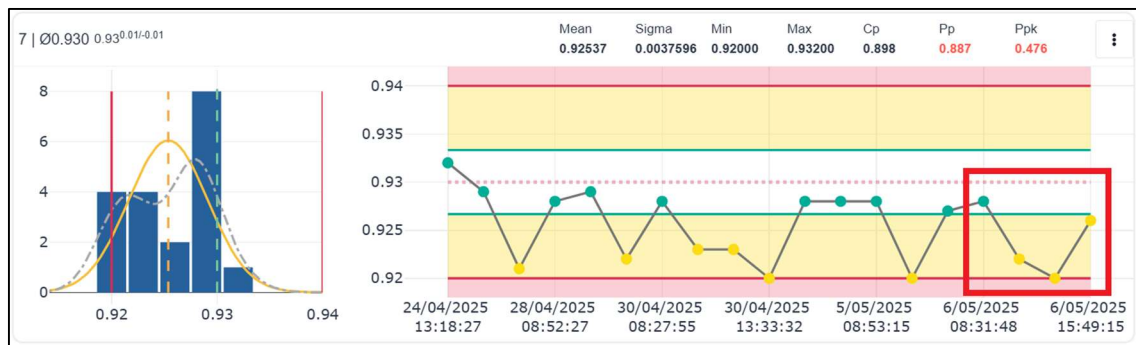


Figura 42 – Gráfico de controlo com registo da produção após o teste de causa 2

O gráfico de controlo apresentado na Figura 42, relativo aos quatro últimos valores registados no *software*, e relativos à data em questão, continuou a apresentar um desvio similar aos outros controlos já realizados. Deste modo, também não apresenta fortes indícios de corresponder à causa raiz do problema em questão.

4.8.3. Teste de Causa 3 – Inexatidão do Ponto de Leitura Dimensional

O terceiro teste de causa teve como objetivo, identificar a existência de uma relação entre a variação dimensional e os operacionais, isto é, verificar se a medição estava a ser realizada de forma correta e precisa, bem como se os valores inseridos no *software* são reais e fiáveis.

Todos os dados relativos aos controlos inseridos no *software* registam o usuário que as inserem, permitindo a sua rastreabilidade dentro do contexto produtivo. A Figura 43 apresenta o registo de medição de um dos controlos.

As siglas dos operadores relativos ao presente estudo foram ocultadas para a preservação da sua identidade, sendo substituído pela designação Operador 1, 2, 3, 4 e 5.

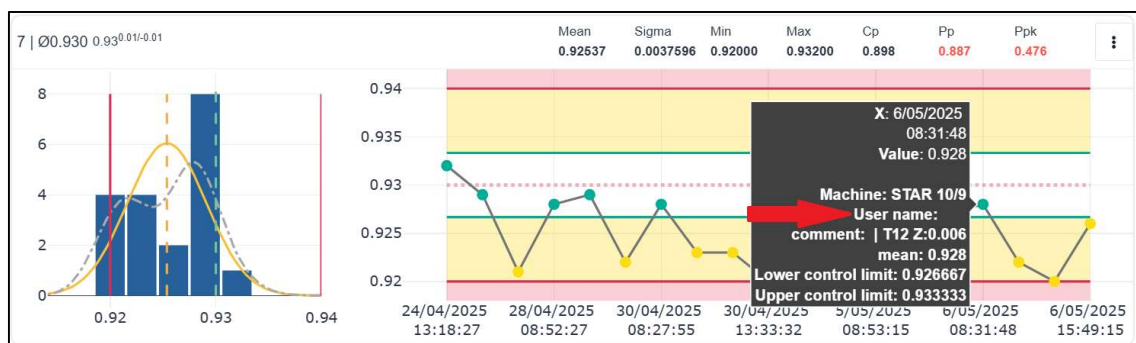


Figura 43 – Registo de medição e rastreabilidade

Para melhor compreensão da análise, os responsáveis pelos controlos podem ser vistos na Figura 44.

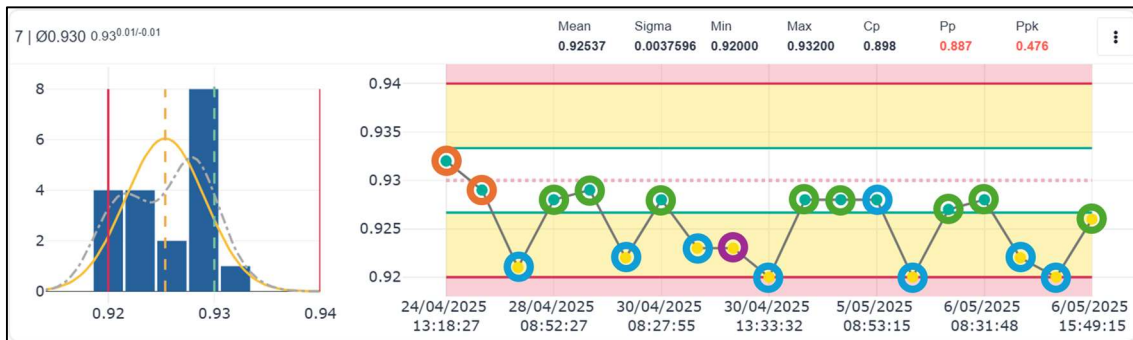


Figura 44 – Responsáveis pelos controlos

Somente é possível verificar estes registos dos controlos de forma individual no *software*, ponto a ponto. Desta forma, as medições que foram registadas são apresentadas na Tabela 11, para melhor leitura.

Tabela 11 – Inserção de dados no *software*

Ponto	Registo de controlo	Dimensões registadas no <i>software</i>
1	Operador 1	∅0.932
2	Operador 1	∅0.929
3	Operador 3	∅0.921
4	Operador 2	∅0.928
5	Operador 2	∅0.929
6	Operador 3	∅0.922
7	Operador 2	∅0.928
8	Operador 3	∅0.923
9	Operador 5	∅0.923
10	Operador 3	∅0.920
11	Operador 2	∅0.928
12	Operador 2	∅0.928
13	Operador 3	∅0.928
14	Operador 3	∅0.920
15	Operador 2	∅0.927
16	Operador 2	∅0.928
17	Operador 3	∅0.922
18	Operador 3	∅0.920
19	Operador 2	∅0.926

Na carta de controlo apresentada na Figura 44, verifica-se que, nos nove controlos realizados, oito estão próximos à dimensão mínima. Desses, sete foram realizados pelo Operador 3, o que reforça a hipótese de existir uma inexactidão do ponto de leitura dimensional, conforme também identificado no diagrama de Ishikawa, anteriormente.

Com isto, foi necessário verificar se as dimensões dos controlos realizados pelos operacionais no microscópio de medição por luneta, eram condizentes com a dimensão real do produto, ou se haveria alguma variação das medidas.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

Para verificar a repetibilidade e fiabilidade das medições, assim como realizar as comparações entre os resultados, solicitou-se aos colaboradores que estavam diretamente envolvidos na produção do produto, para que realizassem cinco medições seguidas à mesma peça, com a mesma dimensão e no mesmo instrumento de medição. Foi solicitado que a fizessem da mesma forma que realizam o processo de medição durante a produção, ou seja, a medição do diâmetro com base em três pontos defasados a aproximadamente 120°, com o ponto inicial de forma aleatória.

Para este teste utilizou-se a mesma peça onde já tinha sido realizado o controlo do produto, conforme indicado na Figura 45. O Operador 1 registou o valor 0.927.

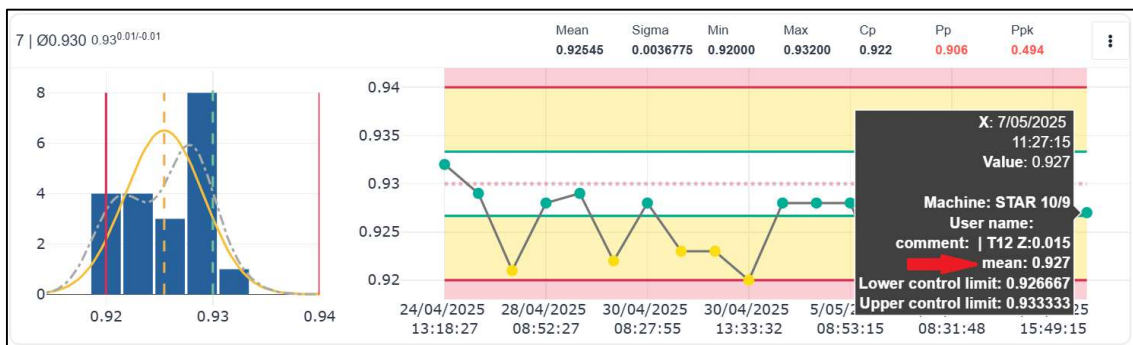


Figura 45 – Controlo relativo a peça utilizada para o teste de repetibilidade

A Figura 46 mostra um dos valores encontrados durante a medição da dimensão de $\varnothing 0.930$ no microscópio de medição por luneta.



Figura 46 – Medição da dimensão $\varnothing 0.930$ no microscópio de medição por luneta

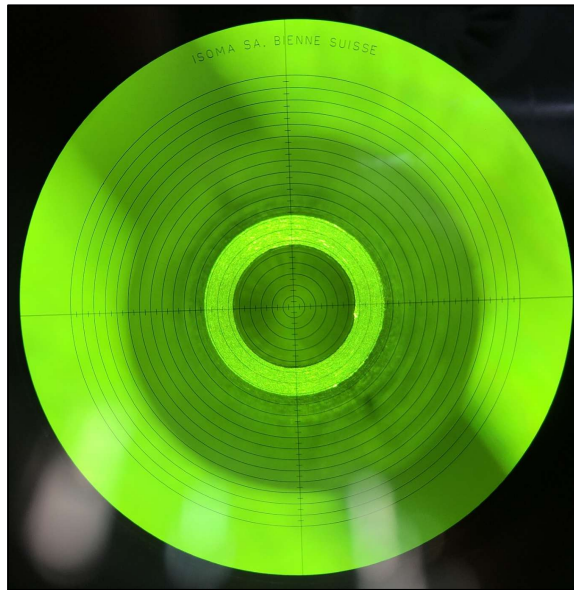


Figura 47 – Visão da medição do produto no Microscópio de medição por luneta

O resultado das medições realizadas durante o teste descrito anteriormente é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Teste de medição do controlo D7 (dimensão $\varnothing 0.930$) no microscópio de medição por luneta

Medição	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4
1	0.926	0.927	0.925	0.926
2	0.928	0.928	0.923	0.929
3	0.926	0.927	0.924	0.928
4	0.926	0.928	0.921	0.927
5	0.927	0.929	0.924	0.929
Média	0.927	0.928	0.923	0.928
Amplitude	0.002	0.002	0.004	0.003

Com base nos dados da Tabela 12, a média das medições do Operador 1 durante o teste, condiz com o valor da medição registada no *software* pelo mesmo operador. As medições realizadas pelo Operador 2 e pelo Operador 4, apresentam valores médios iguais. Entretanto, vê-se uma diferença significativa do valor médio das medições realizada pelo Operador 3, em comparação com os outros colaboradores.

Assim sendo, o teste demonstrou que existe uma divergência entre os valores médios mensurados entre os colaboradores, e que apresenta uma variação do ponto exato da leitura dimensional, indicando uma inexatidão pelo Operador 3. Esta inexatidão não aparenta ter explicação para além deste operador, uma vez que o instrumento de medição foi aferido e as medições dos outros colaboradores possuem uma pequena variação entre si.

Procurando melhorar o processo de medição e correção da inexatidão dimensional, buscou-se desenvolver uma ação de sensibilização que permitisse ao Operador 3, através da orientação de outro colaborador mais experiente, identificar o ponto exato de leitura dimensional, bem como a realização de alguns exercícios para treino.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

Após a realização da ação de sensibilização, nota-se, conforme apresentado na Figura 48, uma estabilização das medições com relação ao historial anterior.

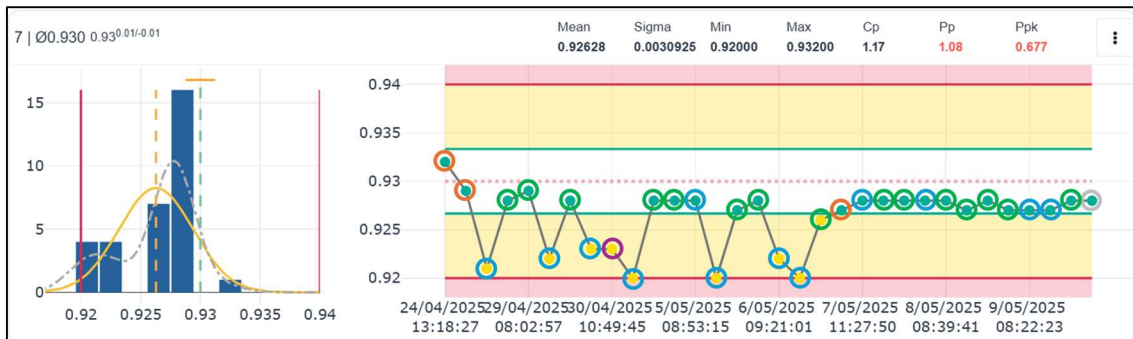


Figura 48 – Responsáveis pelos controlos

Os valores das dimensões medidas nos controlos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Inserção de dados no software

Ponto	Registo de controlo	Dimensões registadas no software
1	Operador 1	∅0.932
2	Operador 1	∅0.929
3	Operador 3	∅0.921
4	Operador 2	∅0.928
5	Operador 2	∅0.929
6	Operador 3	∅0.922
7	Operador 2	∅0.928
8	Operador 3	∅0.923
9	Operador 5	∅0.923
10	Operador 3	∅0.920
11	Operador 2	∅0.928
12	Operador 2	∅0.928
13	Operador 3	∅0.928
14	Operador 3	∅0.920
15	Operador 2	∅0.927
16	Operador 2	∅0.928
17	Operador 3	∅0.922
18	Operador 3	∅0.920
19	Operador 2	∅0.926
20	Operador 1	∅0.927
21	Operador 3	∅0.928
22	Operador 2	∅0.928
23	Operador 2	∅0.928
24	Operador 3	∅0.928
25	Operador 2	∅0.928
26	Operador 2	∅0.927
27	Operador 2	∅0.928
28	Operador 2	∅0.927

29	Operador 3	Ø0.927
30	Operador 3	Ø0.927
31	Operador 2	Ø0.928
32	Operador 4	Ø0.928

Este resultado comprova que houve uma melhoria nas medições da dimensão em questão, em que as dimensões medidas pelo Operador 3 aproximam-se, agora, das medições dos outros colaboradores.

Esta descoberta foi partilhada com o departamento de qualidade, que decidiu investigar mais profundamente a questão. Cogitando a hipótese de novos acontecimentos semelhantes sucederem, com este ou outros operadores diferentes, deu-se a possibilidade de substituir o equipamento atual, por outro mais moderno. Este permitiria a medição desta dimensão, em específico, através de um sistema de vídeo, tornando a tarefa mais fácil, e visualmente mais perceptível. Com isto, e também para a continuação deste estudo, o controlo da dimensão da peça passou a ser realizado no microscópio de medição por vídeo, o que não altera qualquer conclusão realizada até agora, pois os valores medidos mantiveram-se.

O microscópio de medição por vídeo a ser utilizado, pode ser visto na Figura 49.



Figura 49 – Microscópio de medição por vídeo

A Figura 50 mostra um dos valores encontrados durante a medição da peça relativo ao controlo dimensional D7 (dimensão Ø0.930) no microscópio de medição por vídeo, utilizando a mesma peça do teste realizado no microscópio de medição por luneta, podendo assim, comparar os resultados com o novo equipamento.

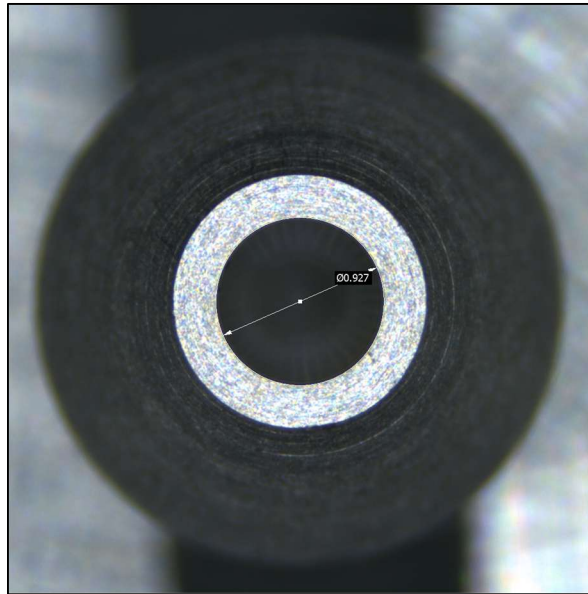


Figura 50 – Controlo dimensional D7 (dimensão $\varnothing 0.930$) no microscópio de medição por vídeo

O resultado das medições do teste realizado à dimensão da peça é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Teste do controlo dimensional D7 (dimensão $\varnothing 0.930$) no microscópio de medição por vídeo

Medição	Operador 2	Operador 3	Operador 4
Medição 1	0.927	0.926	0.928
Medição 2	0.927	0.927	0.927
Medição 3	0.928	0.927	0.929
Medição 4	0.927	0.925	0.928
Medição 5	0.926	0.926	0.927
Média	0.927	0.926	0.928
Amplitude	0.002	0.002	0.002

Para quantificar a diferença de valores, podendo assim comparar a melhoria, realizou-se o cálculo da variação percentual, utilizando a equação (34), realizada através do Microsoft Excel, no formato de percentagem:

$$V = \frac{V_i - V_f}{V_i} \quad (34)$$

Onde:

- V é a variação percentual;
- V_i é a valor inicial;
- V_f é o valor final.

A Tabela 15 apresenta os valores e a variação percentual nos índices:

Tabela 15 – Dados de melhoria nos índices do controlo dimensional D7

Índice	Valor Inicial	Valor final	Melhoria
Cp	0.852	1.17	37.3%
Cpk	0.488	0.736	50.8%
Pp	0.833	1.08	29.7%
Ppk	0.477	0.677	41.9%

Assim, como refletido na Figura 48 e na Tabela 15, as ações tomadas mostram uma estabilização do processo e também um aumento na capacidade e performance do processo, que continuará neste caminho, tendencialmente, ao longo do tempo, o que nos permite continuar o estudo inicial proposto para este trabalho, pela Azurea Portugal.

4.8.4. Resultados

Esta primeira etapa demonstrou a importância de uma análise aprofundada que visasse a resolução dos problemas que afetam os processos produtivos, para que fosse possível estabilizar o processo e permitir um melhor estudo sobre a otimização do controlo durante o mesmo.

Através da sua análise e da utilização do diagrama de Ishikawa, ainda se identificou as possíveis causas da variação dimensional, que afetava diretamente os níveis de capacidade e performance do processo. Desta forma, direcionou-se e sequenciou-se a realização dos estudos das razões para identificar a causa raiz do problema de variação dimensional. Esta estava ligada à inexatidão do ponto de leitura dimensional por um dos colaboradores, criando valores de registo de baixa fiabilidade.

Após esta descoberta, foi possível realizar uma ação de sensibilização ao operador, que obteve bons resultados, permitindo regressar às medições de valores corretos e apresentar uma estabilização dos dados.

A informação partilhada com o departamento de qualidade, que permitiu que fosse possível alterar o equipamento utilizado, por outro mais moderno. Este garantiu resultados mais fiáveis com uma menor aplicação de esforço. Para além disso, resolveu-se um possível constrangimento futuro, que poderia ter repercussões noutros colaboradores ou medições.

Isto permitiu um aumento aos índices de capacidade e performance do processo da dimensão de controlo D7 do produto, onde existia uma variação que ocasionava um baixo valor aos índices. Com relação aos valores iniciais, foi possível elevar o valor do índice de capacidade, Cp, em 37.3% e do Cpk em 50.8%, assim como dos índices de performance do processo, Pp, em 29.7% e do Ppk, em 41.9%.

Caso de Estudo 1 – Máquina 1

5. Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Este capítulo tem como objetivo a apresentação do caso de estudo a ser analisado. Neste, serão apresentados os temas principais em capítulos e detalhados posteriormente no subcapítulo seguinte, onde se irá abordar a otimização do controlo produtivo.

5.1. Otimização do Controlo Produtivo

O estudo de otimização do controlo produtivo foi desenvolvido com o mesmo produto, porém utilizando outra máquina de mesmo modelo. Esta alteração resultou da necessidade urgente da empresa na utilização da máquina S9, que tem uma característica específica que permite a produção de outro produto. Apesar de ainda ter aguardado pela possibilidade de retomar o processo na mesma máquina, isto não foi possível devido às exigências do trabalho na empresa.

Deste modo e de maneira a prosseguir com o estudo, considerando o tempo disponível para o seu desenvolvimento, a gestão da produção encontrou uma oportunidade de seguimento noutra máquina, denominada S6. Esta era do mesmo modelo, com características semelhantes, portanto, permitindo continuar com o estudo, dentro das limitações existentes. A máquina em questão pode ser vista na Figura 51.



Figura 51 – Torno CNC S6 utilizado para reinício da produção do produto em estudo

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

A nova máquina foi analisada durante a sua primeira semana de produção. Os gráficos de controlo são apresentados iniciando na Figura 52 e seguindo até à Figura 67.

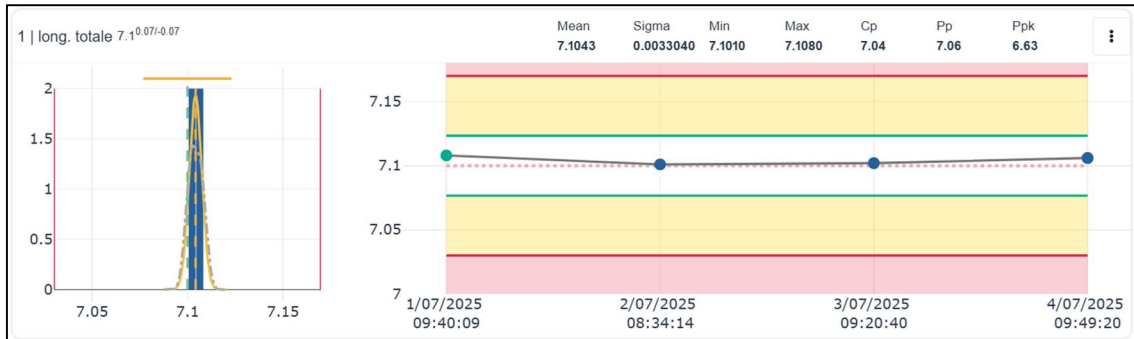


Figura 52 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm)

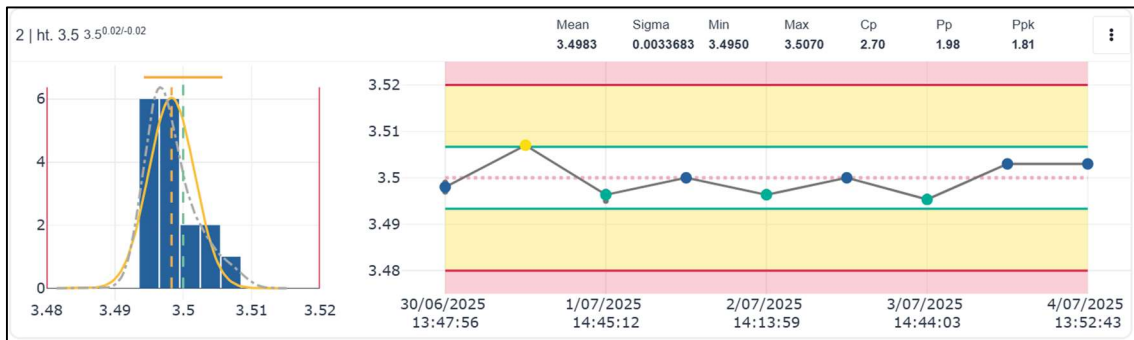


Figura 53 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm)

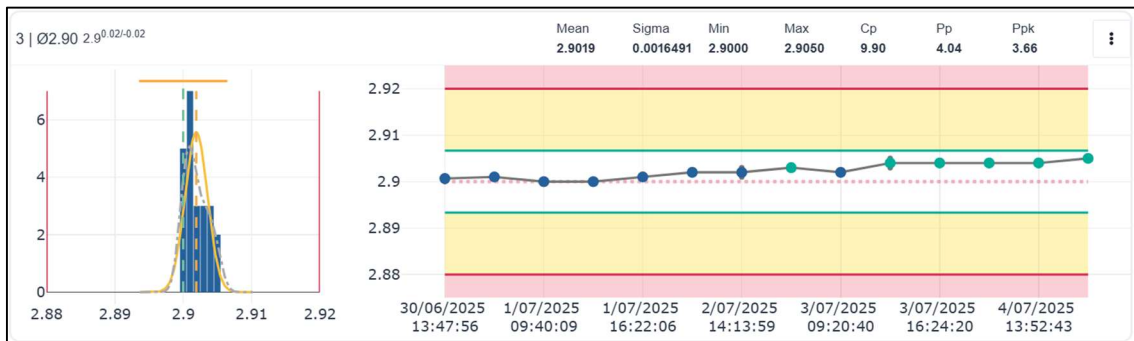


Figura 54 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de Ø2.90mm)

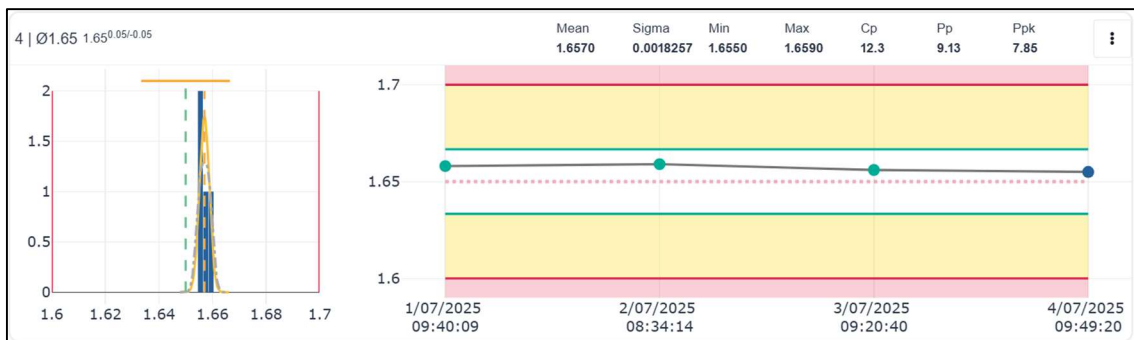


Figura 55 – Gráfico de controlo D4 (dimensão de Ø1.65mm)

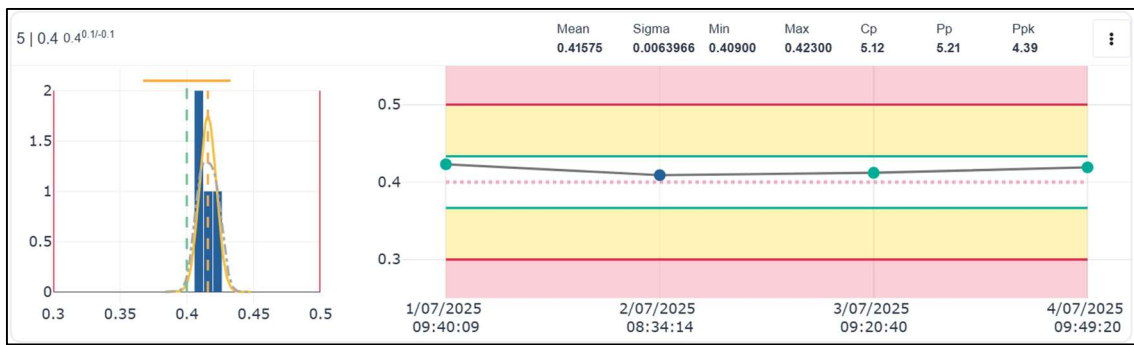


Figura 56 – Gráfico de controle D5 (dimensão de 0.4mm)

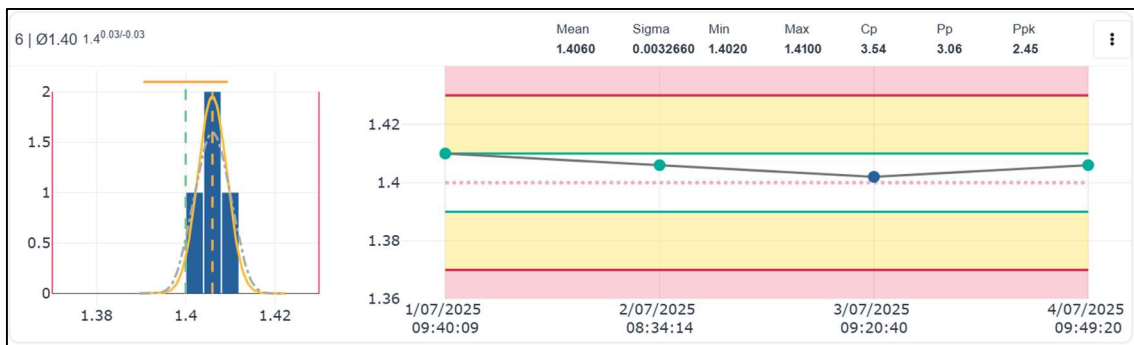


Figura 57 – Gráfico de controle D6 (dimensão de Ø1.40mm)

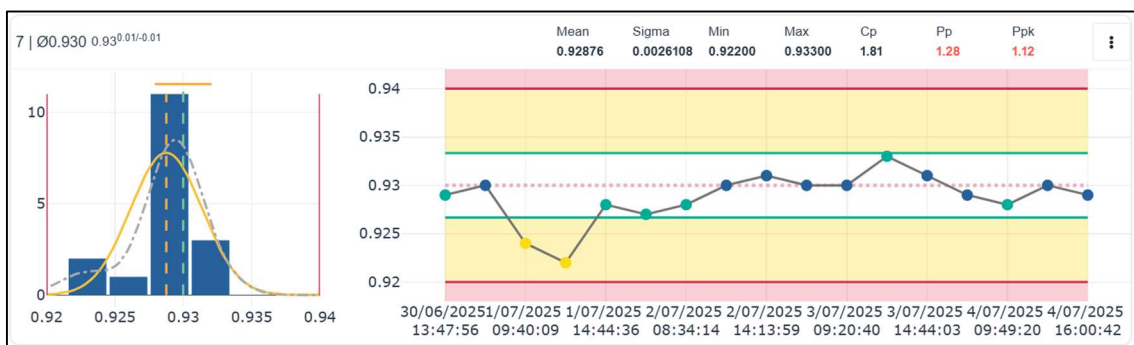


Figura 58 – Gráfico de controle D7 (dimensão de Ø0.930mm)



Figura 59 – Gráfico de controle D8 (dimensão de 30°)

Caso de Estudo 2 – Máquina 2



Figura 60 – Gráfico de controle D9 (dimensão de 90°)

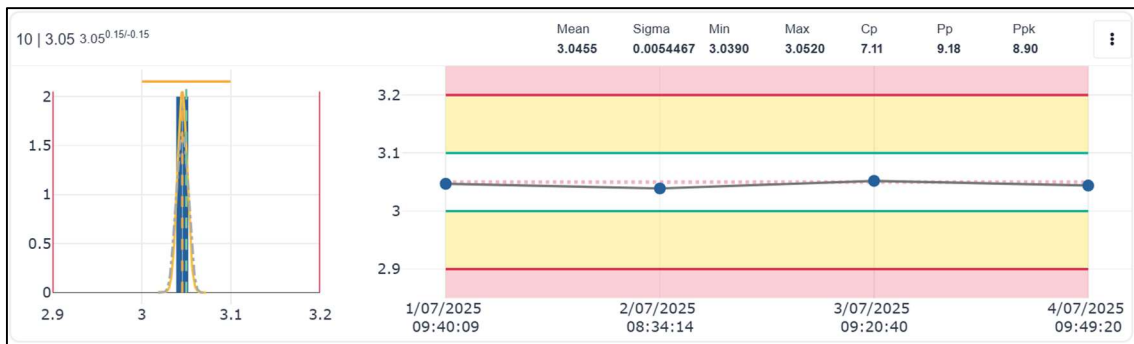


Figura 61 – Gráfico de controle D10 (dimensão de 3.05mm)



Figura 62 – Gráfico de controle D11 (dimensão de 5°)

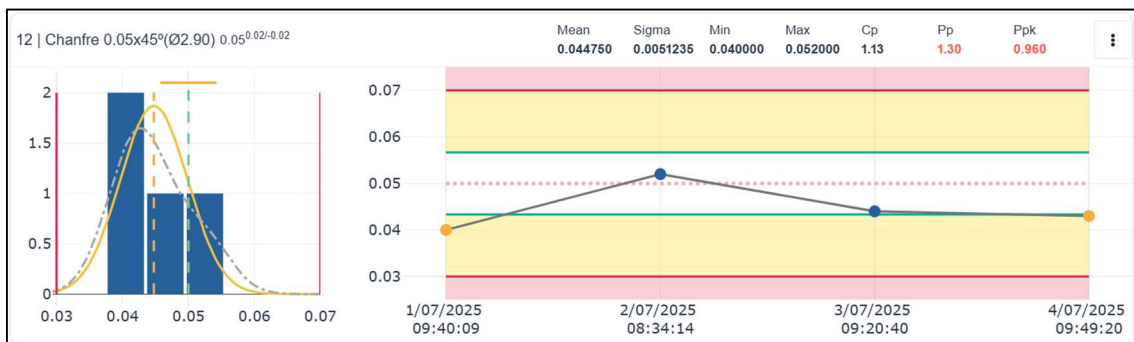


Figura 63 – Gráfico de controle D12 (dimensão de 0.05±0.020)

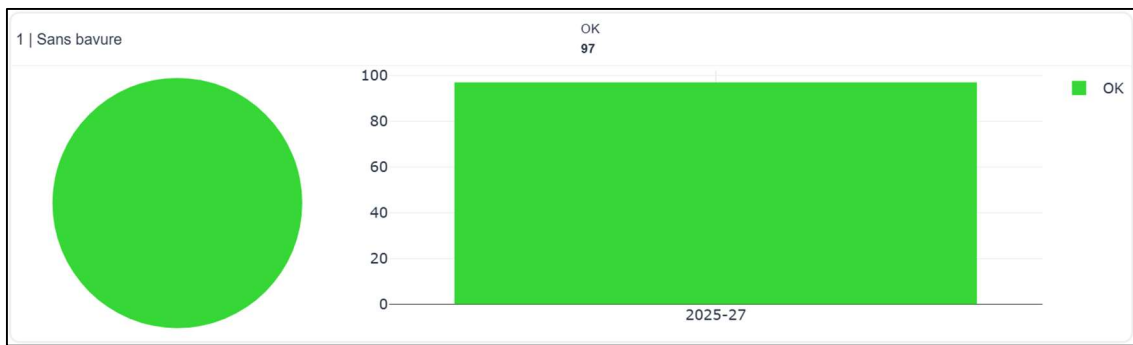


Figura 64 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas)

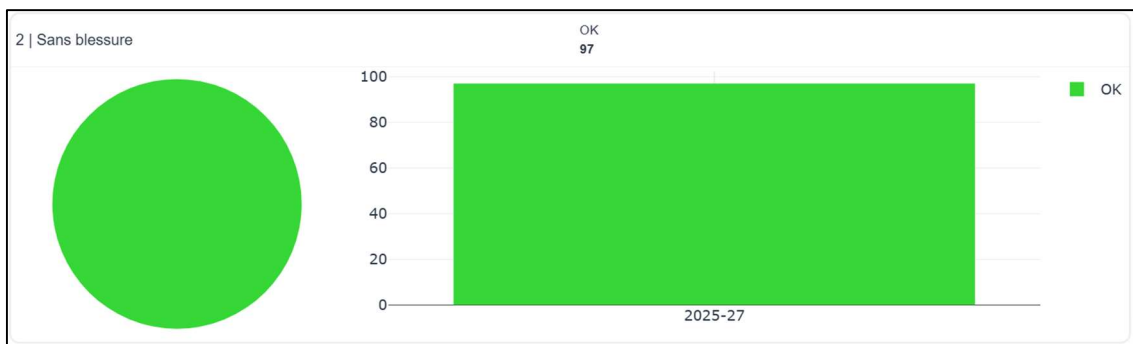


Figura 65 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas)

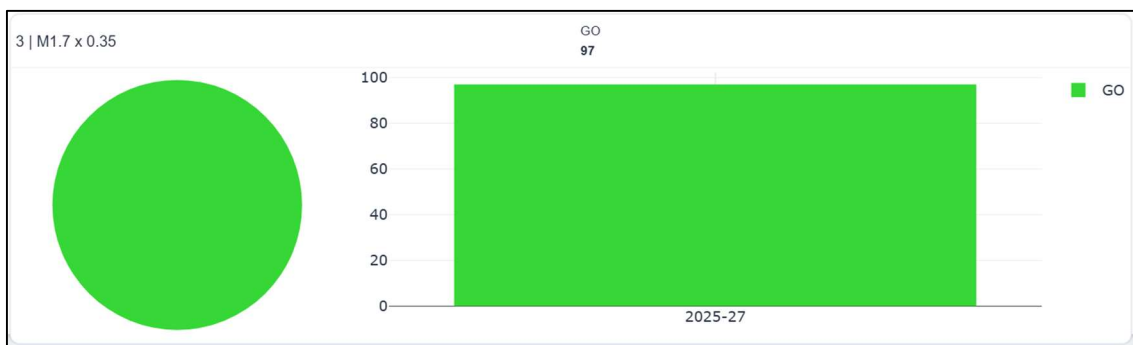


Figura 66 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35)

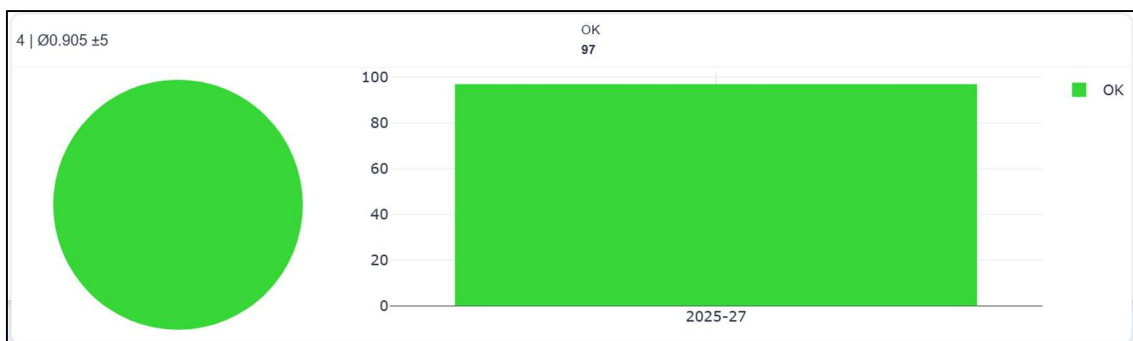


Figura 67 – Gráfico de controlo A4 (dimensão de 0.905mm)

O resumo dos valores obtidos é apresentado de forma simplificada na Tabela 16.

Tabela 16 – Resumo dos índices no estudo inicial

Tipo de controlo	Código do controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Índices			
				Cp	Cpk	Pp	Ppk
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	7.04	6.61	7.06	6.63
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	2.70	2.47	1.98	1.81
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	9.90	8.95	4.04	3.66
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	12.30	10.6	9.13	7.85
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	5.12	4.32	5.21	4.39
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	3.54	2.83	3.06	2.45
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	1.81	1.59	1.28	1.12
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	-	-	-	-
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	-	-	-	-
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	7.11	6.89	9.18	8.90
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	-	-	-	-
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	1.13	0.833	1.30	0.960
				OK		KO	
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	97		0	
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	97		0	
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	97		0	
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	97		0	

Conforme apresentado anteriormente, para a análise da capacidade e performance do processo serão considerados os valores indicados pela literatura, apresentados na Tabela 1 e na Tabela 3.

Os valores indicados na Tabela 16 estão acima do desejado pela Azurea e, em algumas dimensões, apresentam valores muito acima do necessário.

Com relação ao controlo dimensional D7, baseado na literatura, o valor de Cp apresenta-se como um processo excelente e o Cpk, o Pp e Ppk apresentam-se como processos capazes, apesar de ser necessário uma melhoria para ir ao encontro do esperado pela Azurea. Este controlo dimensional também apresentou uma causa especial não identificada em dois controlos iniciais, não voltando a ocorrer novamente. Isto permitiu a estabilização do processo, apesar de ter afetado o índice de capacidade e performance do processo.

O controlo dimensional D12, também com base na literatura, apresenta um índice Cp capaz, mas que pode ser melhorado, assim como o valor de Pp. O Cpk apresenta um valor inferior a 1. O Pp, indica que o processo tem um bom potencial, mas está ligeiramente descentrado. No entanto, isto não apresenta uma grande variação dimensional que possa colocar em risco o bom desenvolvimento do processo, o que diverge do estudo de causa 1. Aí, havia, para além de um processo incapaz, também uma grande variação, aproximando-se dos limites de

especificação. Esta pequena variação deverá ser corrigida com o desenvolvimento ao longo do tempo, aplicando a indicação dos corretores do *software*, que procura a centralização da média.

Com base nesta análise e o seu impacto ao estudo, seguiu-se para a análise da otimização do controlo produtivo.

Como descrito na literatura, níveis muito elevados de capacidade e de performance do processo, podem não ser economicamente favoráveis para a empresa e para a sua competitividade estratégica, quando ponderados em relação ao custo-benefício.

Com isto em mente, foram realizados registos do tempo de controlo de cada dimensão do produto em estudo, para que fosse possível calcular o tempo médio de verificação por dimensão controlada, com base em três medições de tempo recolhidas, como pode ser visto na equação (35).

$$\text{TMM} = \frac{\sum_{h=1}^n \text{TMP}_h}{n} \quad (35)$$

Onde:

- **TMM** é o tempo médio de medição, em segundos;
- **TMP_h** é o tempo de medição da peça, em segundos;
- **n** é o número total de peças medidas, em unidades.
- **h** ∈ **H**, onde **H** é o conjunto de peças medidas.

Os dados e o resultado do cálculo do tempo médio de medição, em segundos, para cada dimensão avaliada, pode ser visto na Tabela 17.

Tabela 17 – Tempo médio de medição por dimensão

Tipo de controlo	Código do controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Tempo de medição			Tempo médio de medição
				1º	2º	3º	
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100 ±0.070	12	14	11	12.33
	D2	Comparador vertical	3.500 ±0.020	11	11	8	10.00
	D3	Comparador horizontal	2.900 ±0.020	10	11	10	10.33
	D4	Comparador horizontal	1.650 ±0.050	12	10	9	10.33
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400 ±0.100	26	26	24	25.33
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400 ±0.030	18	22	19	19.67
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930 ±0.010	43	41	46	43.33
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	27	25	24	25.33
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	26	23	27	25.33
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050 ±0.150	57	63	61	60.33
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	63	58	60	60.33
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05	24	22	25	23.67

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Tipo de controle	Código do controle	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Tempo de medição			Tempo médio de medição
				1º	2º	3º	
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	28	24	29	27.00
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	28	25	29	27.33
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	30	33	33	32.00
	A4	Calibre de furo	0.905 ±0.005	20	24	19	21.00

Os tempos de preparação e de arranjo dos instrumentos de medição não foram contabilizados, pois no início do processo produtivo, os calibres são levados e mantidos nas bancadas de medição durante todo este, e as máquinas e instrumentos de medição estão posicionadas em locais fixos na sua proximidade.



Figura 68 – Bancadas de controle

Após a identificação do tempo médio de medição de cada dimensão, foram realizados os cálculos para identificar o tempo de medição de cada uma, em função do número de peças controladas e o tempo relativo durante cada etapa do controle, como pode ser visto na equação (36).

$$TMC_{ij} = TMCDC_i * QPCEC_j \quad (36)$$

Onde:

- TMC_{ij} é o tempo médio de controle da dimensão i , na etapa j , em segundos;
- $TMCDC_i$ é o tempo médio de controle por dimensão de controle i , em segundos;
- $QPCEC_j$ é a quantidade de peças controladas por etapa de controle j , em unidades;

- $i \in I$, onde I é o conjunto de dimensões consideradas;
- $j \in J$, onde J é o conjunto das etapas de controlo consideradas.

O tempo médio de controlo das dimensões em função das etapas calculadas, foram utilizados para realizar a somatória do tempo médio de controlo para cada etapa deste, como pode ser visto na equação (37).

$$\mathbf{TMCEC}_j = \sum_{i \in I}^n \mathbf{TMC}_{ij} \quad (37)$$

Onde:

- \mathbf{TMCEC}_j é o tempo médio de controlo por etapa de controlo j , em segundos;
- \mathbf{TMC}_{ij} é o tempo médio de controlo da dimensão i , na etapa j , em segundos;
- $j \in J$, onde J é o conjunto das etapas de controlo consideradas.

Com o tempo de todas as etapas do controlo calculados, foi possível calcular o tempo médio desta fase no processo diário, através da equação (38).

$$\mathbf{TMCD} = \frac{\sum \mathbf{TMCEC}_j}{86400} \quad (38)$$

Onde:

- \mathbf{TMCD} é o tempo médio de controlo diário, em segundos;
- \mathbf{TMCEC}_j é o tempo médio de controlo por etapa de controlo j , em segundos;
- 86400 é uma constante para a conversão e utilização no Microsoft Excel, no formato hora, e que equivale a 24 horas, em segundos.
- $j \in J$, onde J é o conjunto de etapas de controlo.

A Tabela 18 apresenta os dados calculados através do Microsoft Excel, utilizando as Equações (36), (37) e (38). Para esta mesma tabela, os controlos de preparação da máquina, ajuste e produção da tarde também não foram considerados para o cálculo do tempo médio total, pois são de carácter excepcional, não sendo diariamente realizados. As dimensões não controladas – NC, também são indicadas na tabela. Os tempos são indicados em segundos, com exceção do tempo médio total, no formato hh:mm:ss.

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Tabela 18 – Tempo médio de controlo diário inicial

Tipo de controlo	Código de controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Tempo médio de controlo por dimensão de controlo	Etapa de controlo							
					Preparação da máquina	Ajuste	Produção do final de tarde	Arranque da máquina	Produção das 11h	Produção das 15h	Preparação da máquina	Produção da noite
					C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	12.33	123.33	12.33	NC	12.33	NC	NC	NC	NC
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	10.00	100.00	10.00	NC	10.00	NC	30.00	NC	NC
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	31.00	10.33	NC
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	31.00	NC	NC
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	25.33	253.33	25.33	NC	25.33	NC	76.00	NC	NC
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	19.67	196.67	19.67	NC	19.67	NC	59.00	NC	NC
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	43.33	433.33	43.33	NC	43.33	NC	130.00	43.33	43.33
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	60.33	603.33	60.33	NC	60.33	NC	NC	NC	NC
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	60.33	603.33	60.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	23.67	236.67	23.67	NC	23.67	NC	NC	NC	NC
Número de peças controladas por etapa de controlo					10	1	1	1	3	3	1	1
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	27.00	270.00	27.00	27.00	81.00	81.00	81.00	81.00	270.00
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	27.33	273.33	27.33	27.33	82.00	82.00	82.00	82.00	273.33
	A3	Calibre de rosca	M1.7x0.35	32.00	320.00	32.00	32.00	96.00	96.00	96.00	96.00	320.00
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	21.00	210.00	21.00	21.00	63.00	63.00	63.00	63.00	210.00
Número de peças controladas por etapa de controlo					10	1	1	3	3	3	3	10
Tempo médio por etapa de controlo					4336.67	433.67	107.33	537.33	322.00	679.00	375.67	1116.67
Tempo médio de controlo diário					00:50:31							

Com o tempo médio de controlo diário do produto em questão identificado, procurou-se compreender se, com uma redução do número de controlos durante o processo produtivo, haveria um impacto significativo na variação dimensional. Isto alteraria diretamente os níveis de capacidade e de performance do processo. Este impacto poderia ser positivo desde que fosse controlado e não se ultrapassasse os limites já estipulados anteriormente.

Desta forma, após a análise inicial, suprimiu-se os controlos da produção das 11h e da produção das 15h. Aqui, o objetivo é o de controlar o produto ao início da manhã, no arranque da máquina, e depois, realizar um novo controlo ao final do dia, na preparação para a noite, verificando se a produção se manteve estável sem os controlos intermédios. Outro ponto decidido foi o de supressão do controlo qualitativo da produção da noite, visto que apresenta estabilidade e peças em conformidade. Então, reduziu-se o número de peças controladas de 10 para 5, uma vez que possui 100% de produtos em conformidade durante as inspeções.

Na Tabela 19 é apresentado os controlos reduzidos.

Tabela 19 – Redução do número de peças controladas

Tipo de Controlo	Número de peças controladas								
	Controlo C5 (Produção das 11h)			Controlo C6 (Produção das 15h)			Controlo C8 (Produção da noite)		
	Estudo inicial	Proposta 1	Redução	Estudo inicial	Proposta 1	Redução	Estudo inicial	Proposta 1	Redução
Quantitativo (Controlo D)	3	0	100.00%	3	0	100.00%	1	1	0.00%
Qualitativo (Controlo A)	3	0	100.00%	3	0	100.00%	10	5	50.00%

Ao final da segunda semana de produção do produto com a supressão das etapas e a redução do número de peças controladas, realizou-se uma nova análise aos dados de forma a comparar o seu impacto no processo produtivo e nos índices de capacidade e performance do processo. Os gráficos de controlo são apresentados iniciando na Figura 69 e seguindo até a Figura 84.

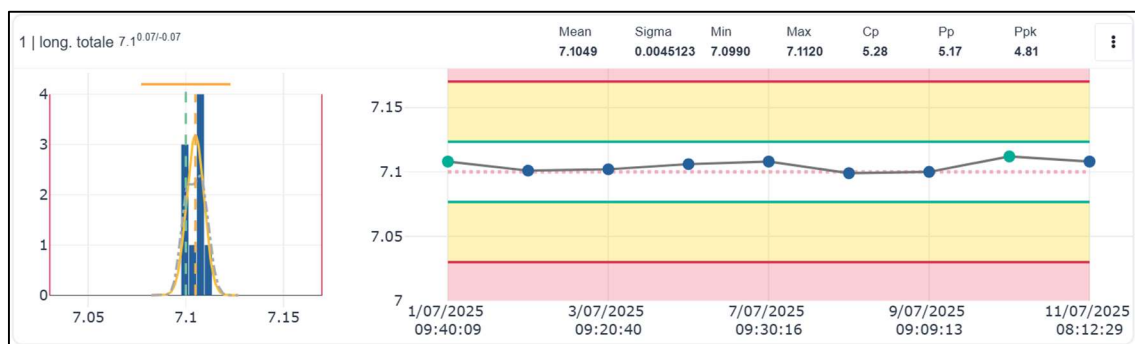


Figura 69 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm)

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

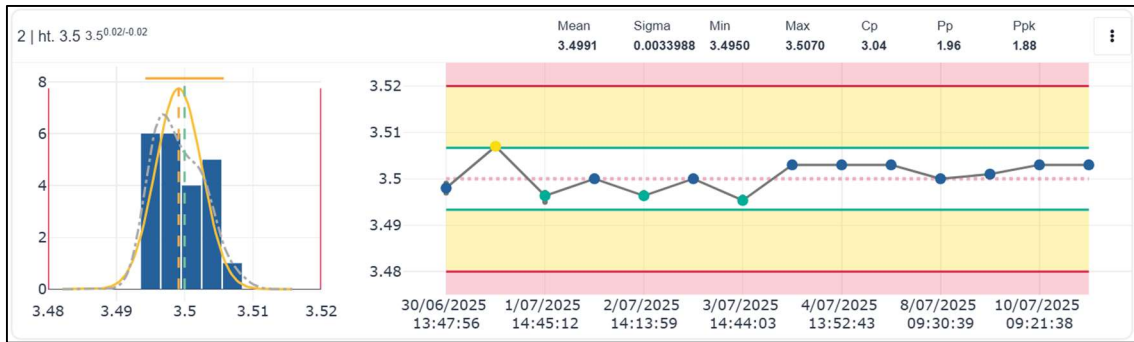


Figura 70 – Gráfico de controle D2 (dimensão de 3.5mm)

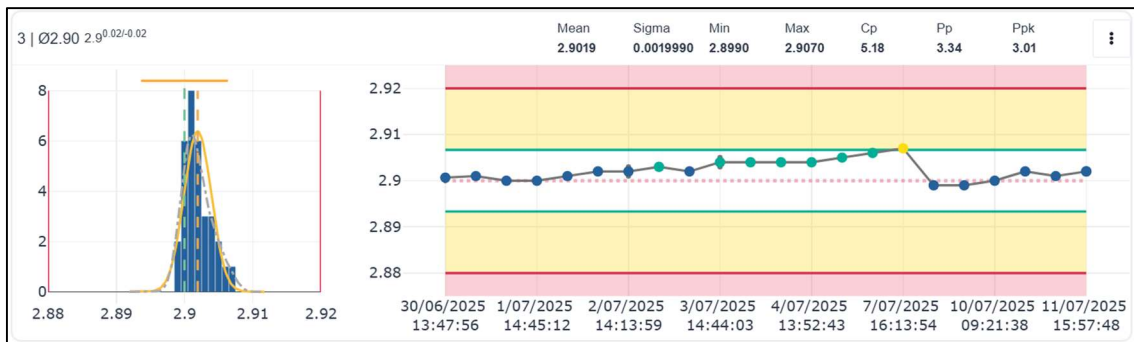


Figura 71 – Gráfico de controle D3 (dimensão de Ø2.90mm)

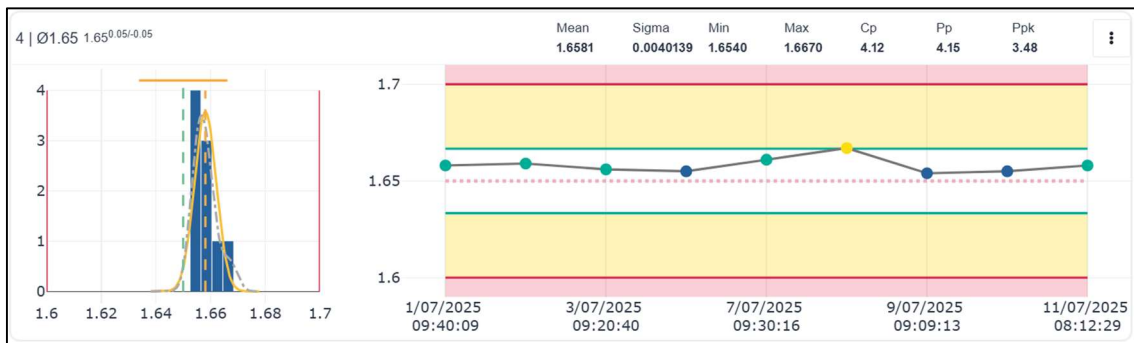


Figura 72 – Gráfico de controle D4 (dimensão de Ø1.65mm)

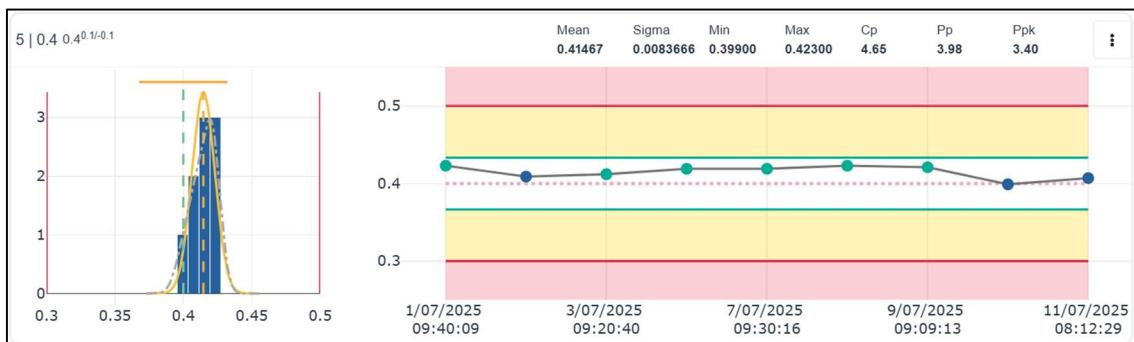


Figura 73 – Gráfico de controle D5 (dimensão de 0.4mm)

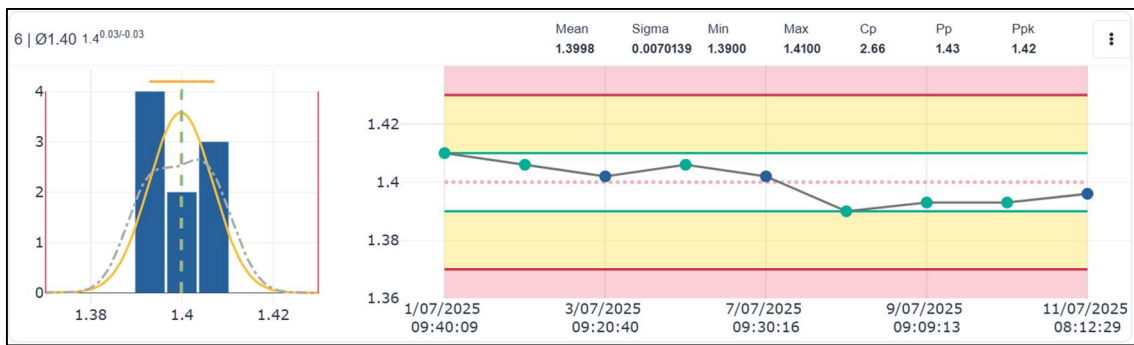


Figura 74 – Gráfico de controlo D6 (dimensão de Ø1.40mm)

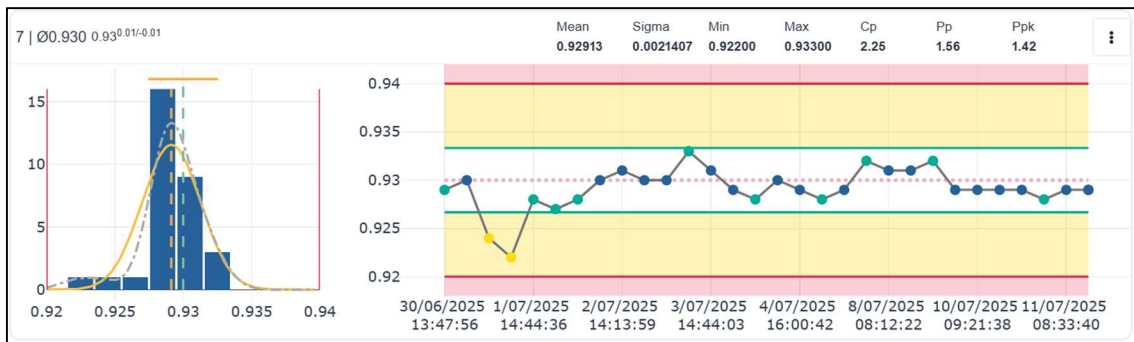


Figura 75 – Gráfico de controlo D7 (dimensão de Ø0.930mm)



Figura 76 – Gráfico de controlo D8 (dimensão de 30°)



Figura 77 – Gráfico de controlo D9 (dimensão de 90°)

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

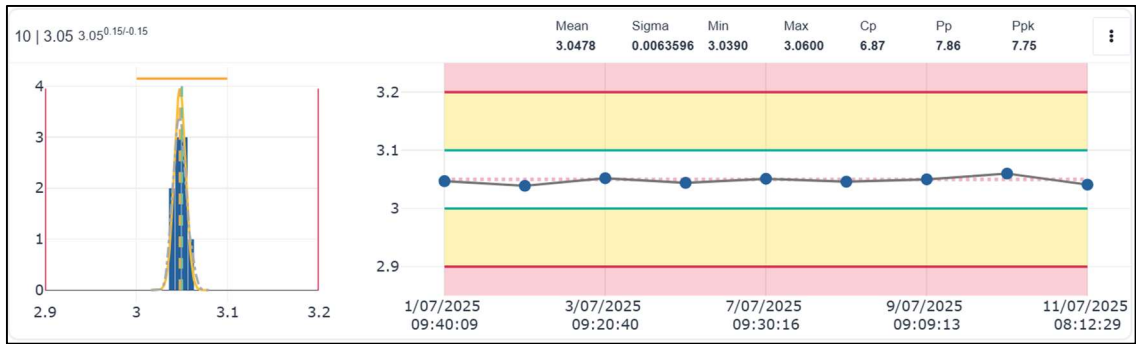


Figura 78 – Gráfico de controle D10 (dimensão de 3.05mm)



Figura 79 – Gráfico de controle 11 (dimensão de 5°)

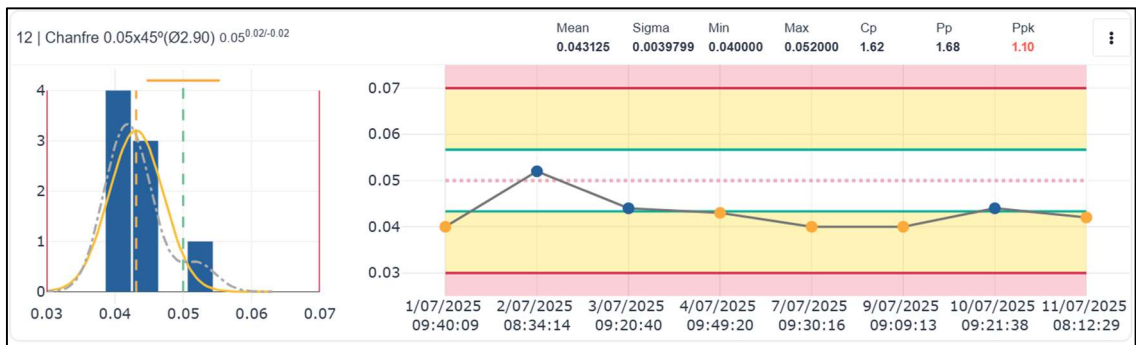


Figura 80 – Gráfico de controle D12 (dimensão de 0.05±0.020)

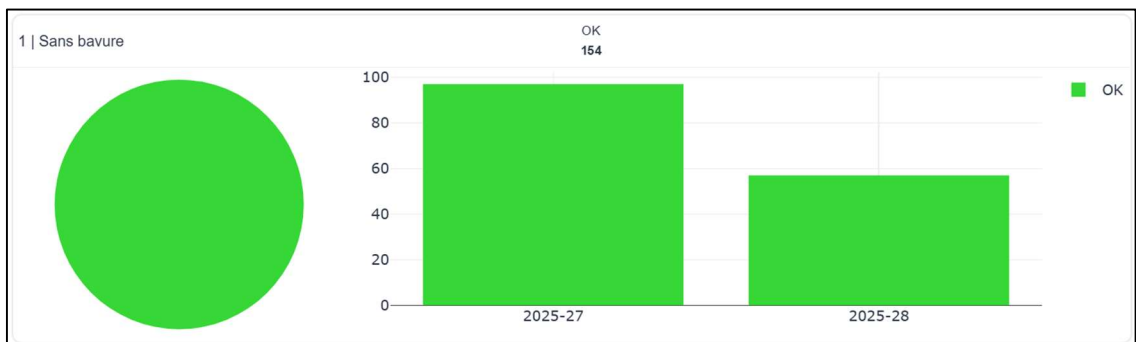


Figura 81 – Gráfico de controle A1 (sem rebarbas)

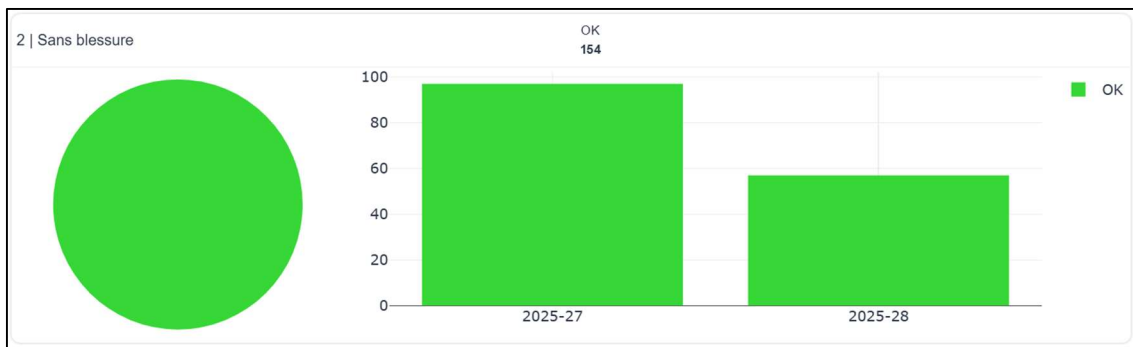


Figura 82 – Gráfico de controle A2 (sem marcas)

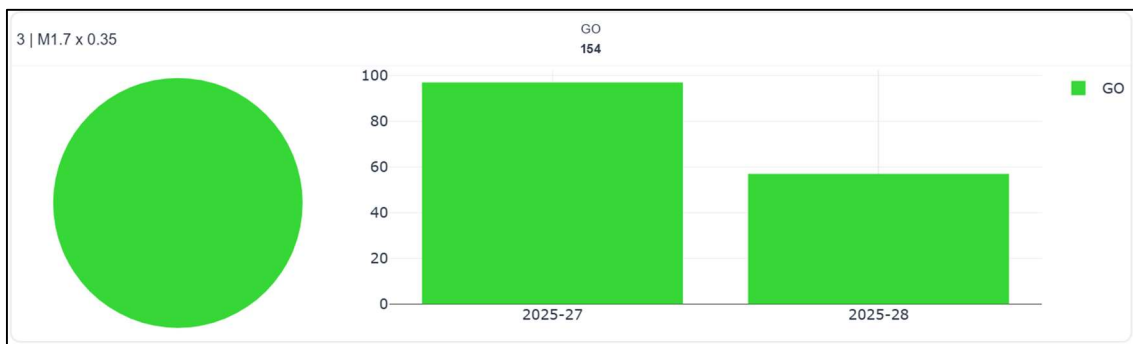


Figura 83 – Gráfico de controle A3 (M1.7 x 0.35)

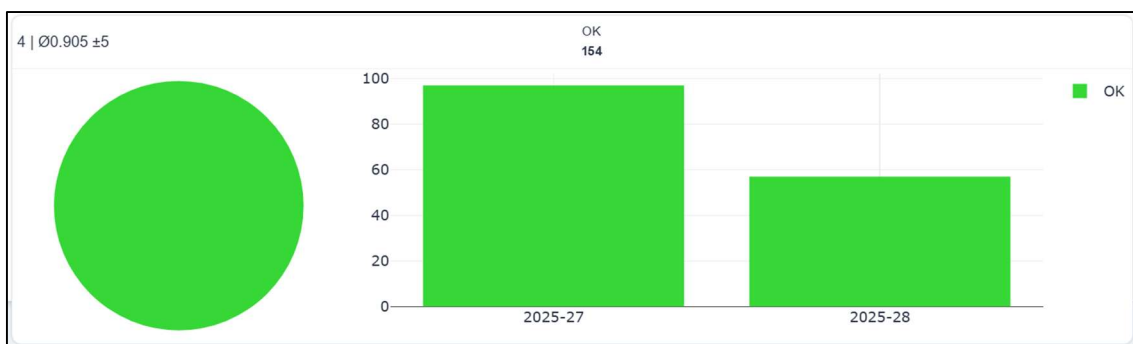


Figura 84 – Gráfico de controle A4 (dimensão de 0.905mm)

O resumo dos valores obtidos é apresentado de forma simplificada na Tabela 20.

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Tabela 20 – Resumo dos índices – Proposta 1

Tipo de controlo	Código do controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Índices			
				Cp	Cpk	Pp	Ppk
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	5.28	4.91	5.17	4.81
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	3.04	2.91	1.96	1.88
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	5.18	4.68	3.34	3.01
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	4.12	3.45	4.15	3.48
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	4.65	3.97	3.98	3.40
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	2.66	2.64	1.43	1.42
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	2.25	2.05	1.56	1.42
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	-	-	-	-
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	-	-	-	-
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	6.87	6.77	7.86	7.75
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	-	-	-	-
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	1.62	1.06	1.68	1.10
				OK/GO		KO/NOGO	
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	154		0	
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	154		0	
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	154		0	
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	154		0	

Com base nestes registos, a produção manteve-se estável ao longo da semana, mesmo com a redução do número de peças controladas. De forma a completar a análise e a realizar uma comparação da variabilidade dos valores dos índices, foi desenvolvido um gráfico de barras, Figura 85 e Figura 86, para visualização gráfica do impacto da redução no controlo entre o estudo inicial e a proposta 1.

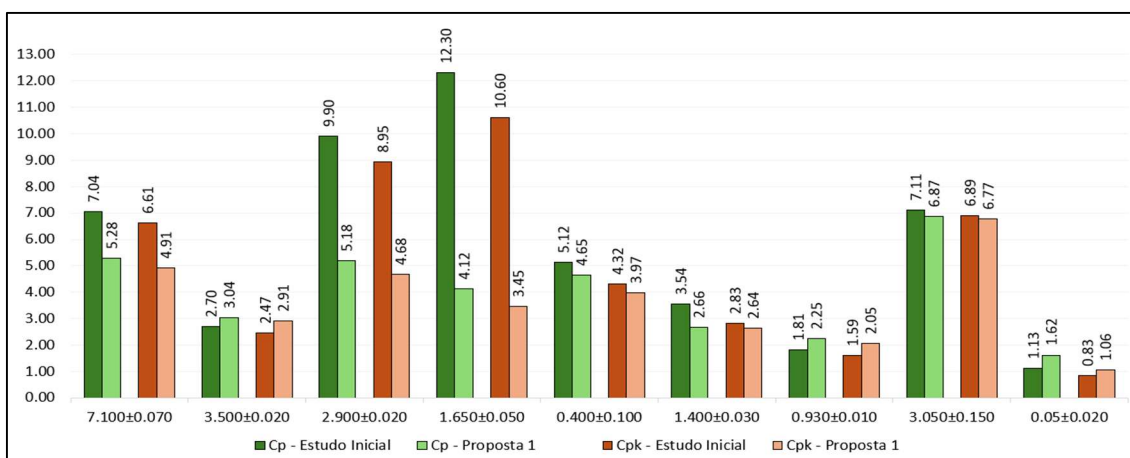


Figura 85 – Gráfico comparativo de Cp e Cpk do estudo inicial e da proposta 1

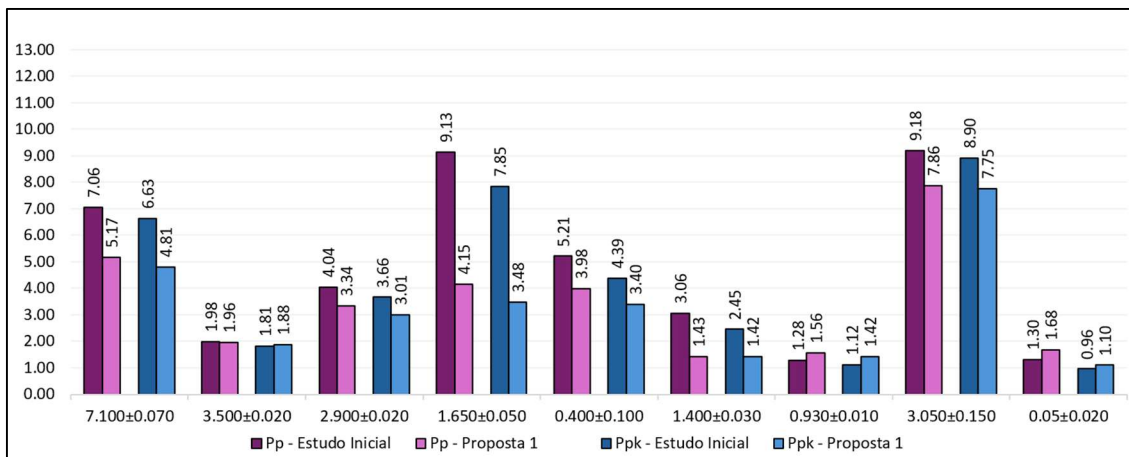


Figura 86 – Gráfico comparativo de Pp e Ppk do estudo inicial e da proposta 1

Os gráficos mostram, então, na sua maioria, uma redução dos valores dos índices de capacidade e performance do processo, em função da redução no número de controlos e peças controladas. Entretanto, também houve um aumento destes índices em algumas dimensões.

A Tabela 21 apresenta os dados atualizados aos ajustes do número de peças controladas.

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Tabela 21 – Tempo médio de controlo diário – Proposta 1

Tipo de controlo	Código de controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Tempo médio de controlo por dimensão de controlo	Etapa de controlo							
					Preparação da máquina	Ajuste	Produção do final de tarde	Arranque da máquina	Produção das 11h	Produção das 15h	Preparação da máquina	Produção da noite
					C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	12.33	123.33	12.33	NC	12.33	NC	NC	NC	NC
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	10.00	100.00	10.00	NC	10.00	NC	0.00	NC	NC
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	0.00	10.33	NC
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	0.00	NC	NC
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	25.33	253.33	25.33	NC	25.33	NC	0.00	NC	NC
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	19.67	196.67	19.67	NC	19.67	NC	0.00	NC	NC
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	43.33	433.33	43.33	NC	43.33	NC	0.00	43.33	43.33
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	60.33	603.33	60.33	NC	60.33	NC	NC	NC	NC
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	60.33	603.33	60.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	23.67	236.67	23.67	NC	23.67	NC	NC	NC	NC
Número de peças controladas por etapa de controlo (un)					10	1	1	1	0	0	1	1
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	27.00	270.00	27.00	27.00	81.00	0.00	0.00	81.00	135.00
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	27.33	273.33	27.33	27.33	82.00	0.00	0.00	82.00	136.67
	A3	Calibre de rosca	M1.7x0.35	32.00	320.00	32.00	32.00	96.00	0.00	0.00	96.00	160.00
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	21.00	210.00	21.00	21.00	63.00	0.00	0.00	63.00	105.00
Número de peças controladas por etapa de controlo (un)					10	1	1	3	0	0	3	5
Tempo médio por etapa de controlo (s)					4336.67	433.67	107.33	537.33	0.00	0.00	375.67	580.00
Tempo médio de controlo diário (hh:mm:ss)					00:24:53							

Durante o estudo da proposta 1, o processo manteve-se estável e proporcionou uma redução do tempo médio de controlo, quando comparado o estudo inicial, como pode ser visto na Tabela 22.

Tabela 22 – Comparativo de redução do tempo de controlo do estudo inicial e proposta 1

Estudo	Tempo médio de controlo diário	Tempo médio de controlo diário reduzido	Redução percentual
Estudo inicial	00:50:31	00:00:00	0%
Proposta 1	00:24:53	00:25:38	50.7%

Para calcular o tempo médio de controlo diário reduzido, utilizou-se a equação (39), realizada através do Microsoft Excel, no formato hh:mm:ss.

$$\mathbf{TMCDR} = \mathbf{TMCD}_i - \mathbf{TMCD}_f \quad (39)$$

Onde:

- **TMCDR** é o tempo médio de controlo diário, no formato hh:mm:ss;
- **TMCD_i** é o tempo médio de controlo diário inicial, no formato hh:mm:ss;
- **TMCD_f** é o tempo médio de controlo diário final, no formato hh:mm:ss;

Para a realização do cálculo da redução percentual, utilizou-se a equação (40), realizada através do Microsoft Excel, no formato de percentagem.

$$\mathbf{TMCDR} = \frac{\mathbf{TMCD}_i - \mathbf{TMCD}_f}{\mathbf{TMCD}_i} \quad (40)$$

Onde:

- **TMCDR** é o tempo médio de controlo diário, no formato hh:mm:ss;
- **TMCD_i** é o tempo médio de controlo diário inicial, no formato hh:mm:ss;
- **TMCD_f** é o tempo médio de controlo diário final, no formato hh:mm:ss;

A proposta 1 apresentou uma redução significativa do tempo de controlo, apresentando um processo estável durante o estudo da mesma, diretamente ligada à redução do número de controlos da produção das 11h e da produção das 15h. Neste caso, observou-se uma redução percentual de 50.7% no tempo médio de controlo diário. Este estudo também apresentou um processo estável durante o estudo da proposta 1, na sua aplicação prática, através da supressão dos controlos.

A análise dos dados e indicadores permitiu realizar uma nova supressão de um controlo intermediário, a preparação para a noite. Esta supressão permitirá analisar o desenvolvimento do processo, verificando se com a remoção deste controlo, o processo se manteve estável entre o arranque da máquina e a produção da noite.

Com a estabilidade do controlo da noite, durante todo o processo produtivo, tendo em vista a máquina S6, optou-se também pela redução complementar do controlo da produção da noite, passando das atuais 5, para 3 peças.

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Desta forma, ao final da terceira semana de produção do produto com a supressão dos controlos indicados e a redução do número de peças inspecionadas e controladas, fez-se uma nova análise aos dados. Comparando, mais uma vez, o seu impacto no processo produtivo e nos índices de capacidade e performance do processo, assim como nos controlos de atributos.

Os gráficos de controlo são apresentados, iniciando na Figura 87 e seguindo até a Figura 102.

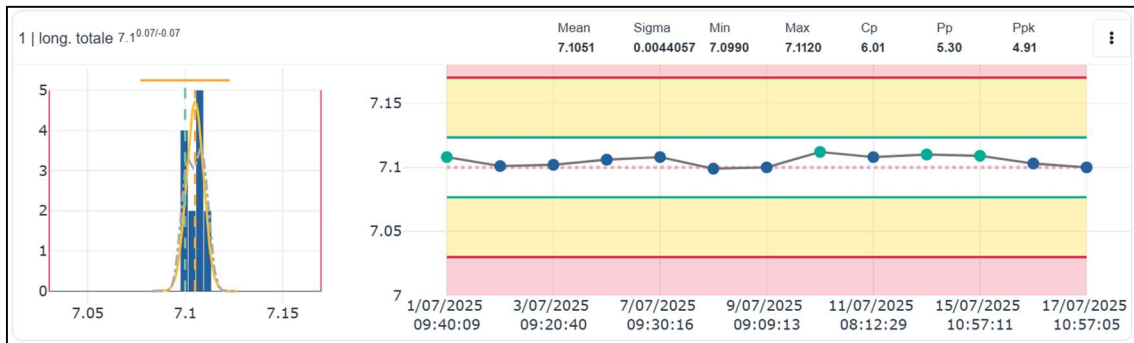


Figura 87 – Gráfico de controlo D1 (dimensão de 7.1mm)

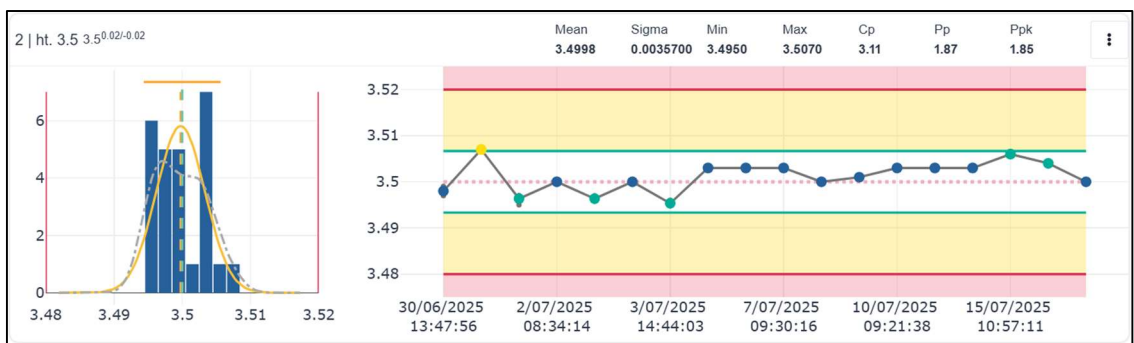


Figura 88 – Gráfico de controlo D2 (dimensão de 3.5mm)

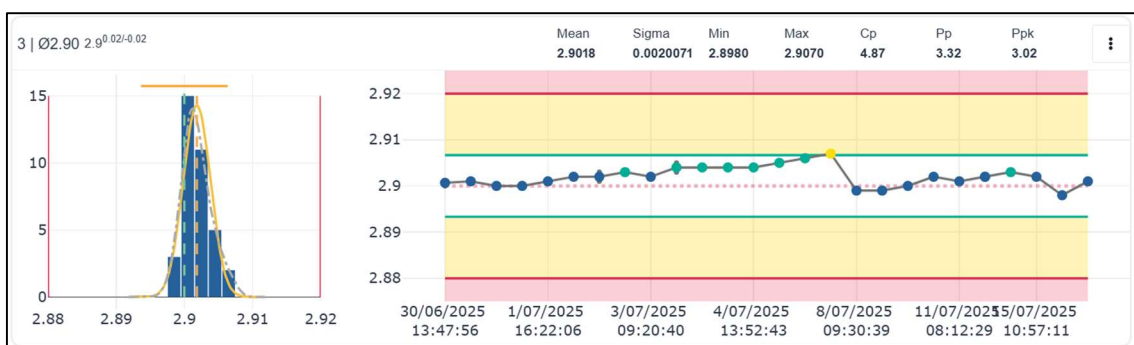


Figura 89 – Gráfico de controlo D3 (dimensão de Ø2.90mm)

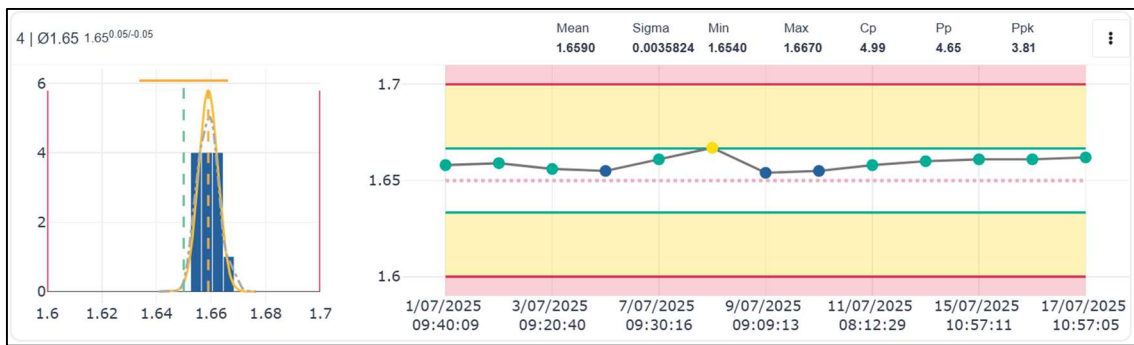


Figura 90 – Gráfico de controle D4 (dimensão de Ø1.65mm)

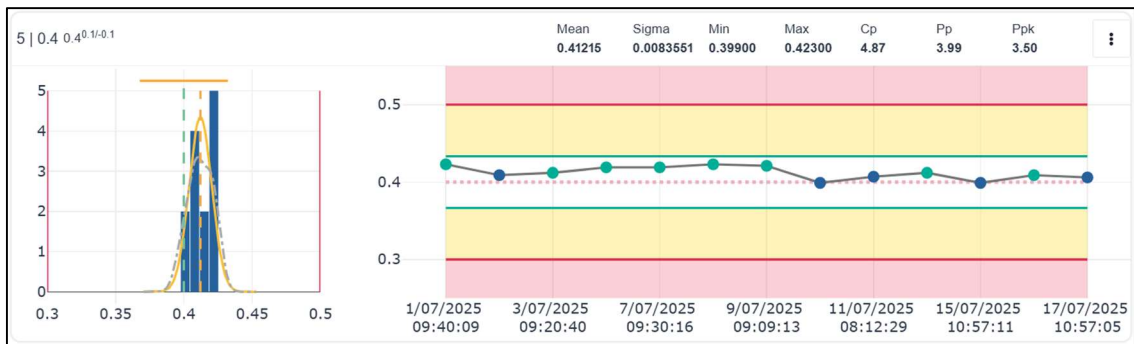


Figura 91 – Gráfico de controle D5 (dimensão de 0.4mm)

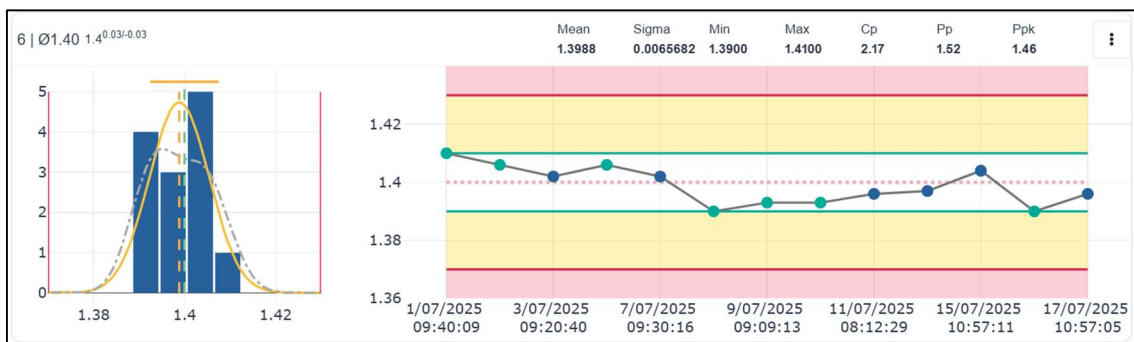


Figura 92 – Gráfico de controle D6 (dimensão de Ø1.40mm)

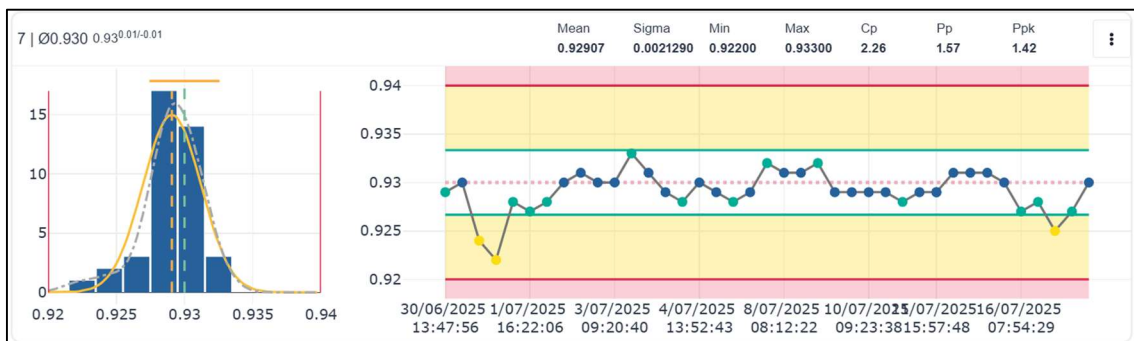


Figura 93 – Gráfico de controle D7 (dimensão de Ø0.930mm)

Caso de Estudo 2 – Máquina 2



Figura 94 – Gráfico de controle D8 (dimensão de 30°)



Figura 95 – Gráfico de controle D9 (dimensão de 90°)

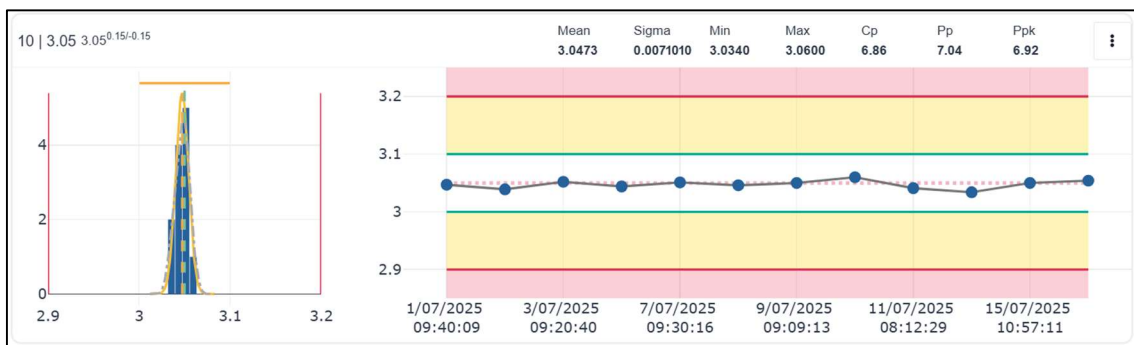


Figura 96 – Gráfico de controle D10 (dimensão de 3.05mm)



Figura 97 – Gráfico de controle 11 (dimensão de 5°)

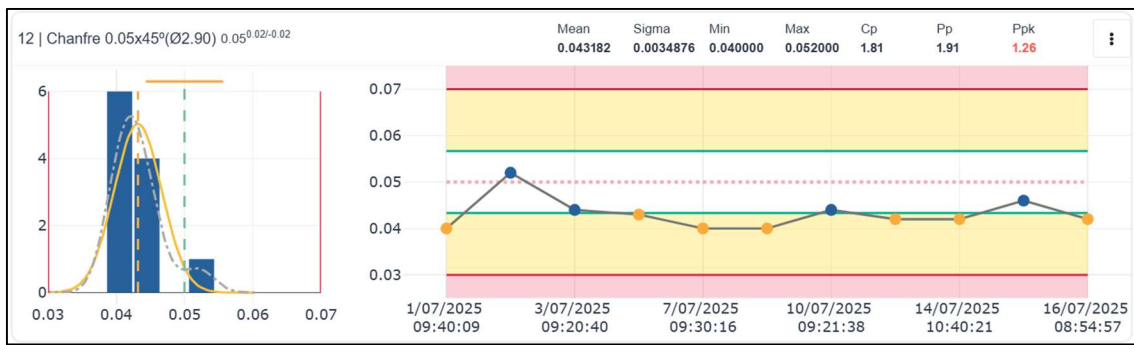


Figura 98 – Gráfico de controlo D12 (dimensão de 0.05±0.020)

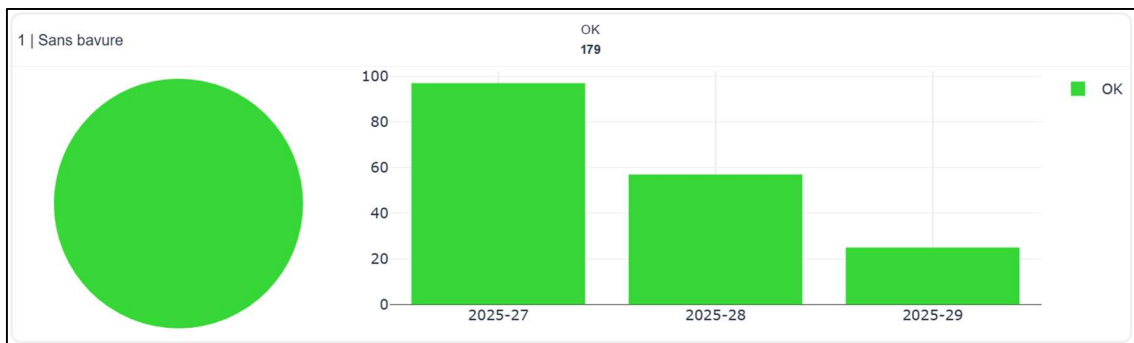


Figura 99 – Gráfico de controlo A1 (sem rebarbas)

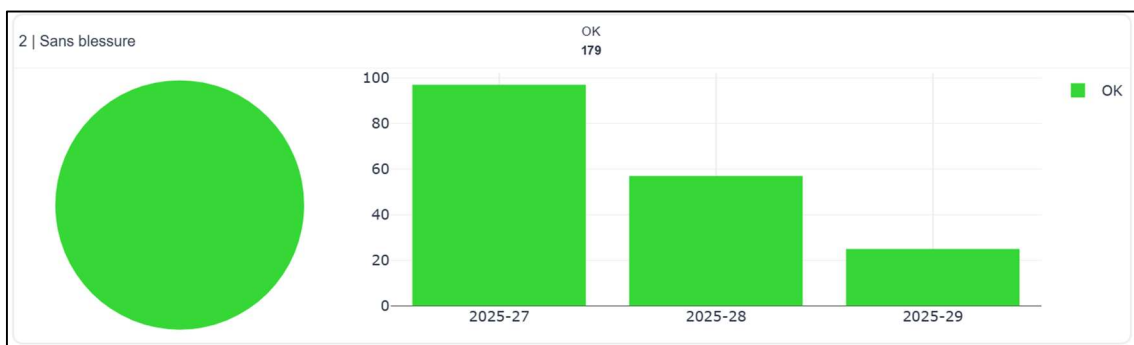


Figura 100 – Gráfico de controlo A2 (sem marcas)

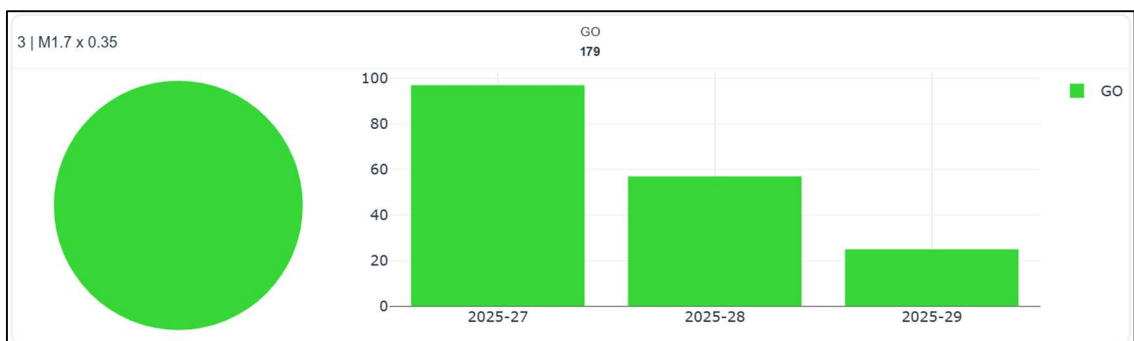


Figura 101 – Gráfico de controlo A3 (M1.7 x 0.35)

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

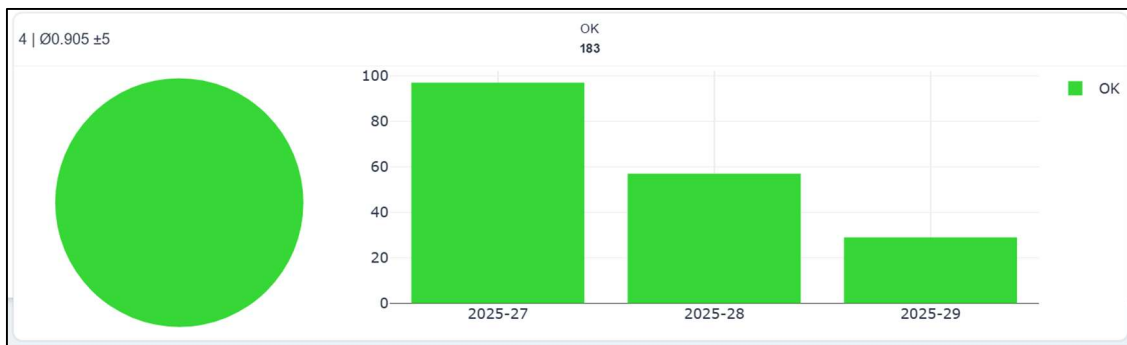


Figura 102 – Gráfico de controle A4 (dimensão de 0.905mm)

O resumo dos valores obtidos é apresentado de forma simplificada na Tabela 23.

Tabela 23 – Resumo dos índices – Proposta 2

Tipo de controle	Código do controle	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Índices			
				Cp	Cpk	Pp	Ppk
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	6.01	5.57	5.30	4.91
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	3.11	3.08	1.87	1.85
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	4.87	4.42	3.32	3.02
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	4.99	4.09	4.65	3.81
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	4.87	4.28	3.99	3.50
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	2.17	2.09	1.52	1.46
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	2.26	2.06	1.57	1.42
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	-	-	-	-
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	-	-	-	-
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	6.86	6.74	7.04	6.92
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	-	-	-	-
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	1.81	1.02	1.91	1.26
				OK/GO		KO/NOGO	
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	179		0	
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	179		0	
	A3	Calibre de rosca	M1.7 x 0.35	179		0	
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	183		0	

Os gráficos de controle permaneceram estáveis na maioria das dimensões ao longo da terceira semana, mesmo com uma nova redução do número de peças controladas.

Os dados apresentados no gráfico de barras da Figura 103 e Figura 104, são relativos à capacidade e performance do processo, com foco ao estudo da proposta 1 e 2, apresentando também o estudo inicial, para comparação com o histórico.

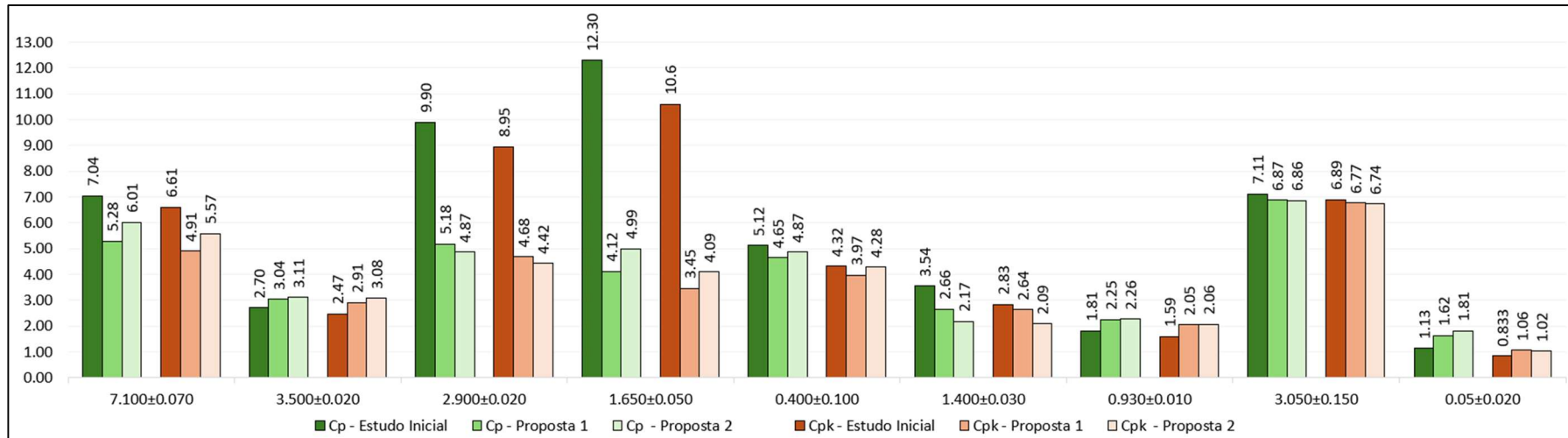


Figura 103 – Gráfico comparativo de Cp e Cpk entre o estudo inicial, a proposta 1 e a proposta 2

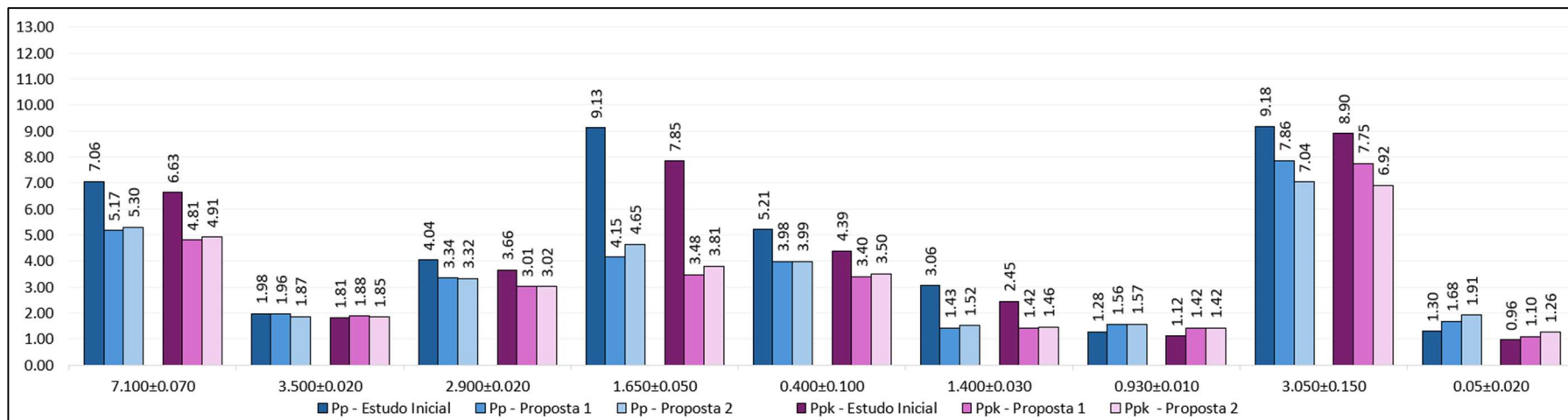


Figura 104 – Gráfico comparativo de Pp e Ppk entre o estudo inicial, a proposta 1 e a proposta 2

Com relação à análise do tempo de controlo, a Tabela 24 apresenta os dados atualizados relativo às adaptações nas inspeções e controlos realizados.

Caso de Estudo 2 – Máquina 2

Tabela 24 – Tempo médio de controlo diário – Proposta 2

Tipo de	Código de controlo	Tipo de instrumento ou inspeção	Dimensão	Tempo médio de controlo por dimensão de controlo	Etapa de controlo							
					Preparação da máquina	Ajuste	Produção do final de tarde	Arranque da máquina	Produção das 11h	Produção das 15h	Preparação para noite	Produção da noite
					C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Quantitativa	D1	Comparador vertical	7.100±0.070	12.33	123.33	12.33	NC	12.33	NC	NC	NC	NC
	D2	Comparador vertical	3.500±0.020	10.00	100.00	10.00	NC	10.00	NC	0.00	NC	NC
	D3	Comparador horizontal	2.900±0.020	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	0.00	0.00	NC
	D4	Comparador horizontal	1.650±0.050	10.33	103.33	10.33	NC	10.33	NC	0.00	NC	NC
	D5	Microscópio de medição por luneta	0.400±0.100	25.33	253.33	25.33	NC	25.33	NC	0.00	NC	NC
	D6	Microscópio de medição por luneta	1.400±0.030	19.67	196.67	19.67	NC	19.67	NC	0.00	NC	NC
	D7	Microscópio de medição por luneta	0.930±0.010	43.33	433.33	43.33	NC	43.33	NC	0.00	0.00	43.33
	D8	Microscópio de medição por luneta	30°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D9	Microscópio de medição por luneta	90°	25.33	253.33	25.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D10	Microscópio de medição por luneta	3.050±0.150	60.33	603.33	60.33	NC	60.33	NC	NC	NC	NC
	D11	Microscópio de medição por luneta	5°	60.33	603.33	60.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	D12	Microscópio de medição por luneta	0.05±0.020	23.67	236.67	23.67	NC	23.67	NC	NC	NC	NC
Número de peças controladas por etapa de controlo					10	1	1	1	0	0	0	1
Qualitativa	A1	Inspeção visual	Sem rebarbas	27.00	270.00	27.00	27.00	81.00	0.00	0.00	0.00	81.00
	A2	Inspeção visual	Sem marcas	27.33	273.33	27.33	27.33	82.00	0.00	0.00	0.00	82.00
	A3	Calibre de rosca	M1.7x0.35	32.00	320.00	32.00	32.00	96.00	0.00	0.00	0.00	96.00
	A4	Calibre de furo	0.905±0.005	21.00	210.00	21.00	21.00	63.00	0.00	0.00	0.00	63.00
Número de peças controladas por etapa de controlo					10	1	1	3	0	0	0	3
Tempo médio por etapa de controlo					4336.67	433.67	107.33	537.33	0.00	0.00	0.00	365.33
Tempo médio de controlo diário (hh:mm:ss)					00:15:03							

O gráfico demonstra uma pequena variação na maioria das dimensões entre a proposta 1 e a proposta 2, o que pode indicar uma conclusão de estabilização do processo para algumas dimensões, assim como uma ligeira melhoria dos índices de capacidade e performance do processo.

A Tabela 25 apresenta a diferença entre os tempos de controlo entre o estudo inicial, realizado com o controlo normal; a proposta 1, realizado com o controlo otimizado; e a proposta 2, que contém a última análise deste estudo, e na qual observou-se uma redução percentual de 39.5% com relação à proposta 1. Quando comparado com o estudo inicial, apresenta uma redução total de 70.2% no tempo médio de controlo diário.

Tabela 25 – Comparativo de redução do tempo de controlo do estudo inicial e proposta 1 e 2

Análises	Tempo médio de controlo diário	Tempo médio de controlo diário reduzido	Redução percentual por proposta	Redução percentual total
Estudo Inicial	00:50:31	00:00:00	0%	70.2%
Proposta 1	00:24:53	00:25:38	50.7%	
Proposta 2	00:15:03	00:09:50	39.5%	

Conclusão

6. Conclusão

Este capítulo concluí os objetivos traçados para a otimização do controlo produtivo com base na capacidade e performance do processo na Azurea Portugal, mostrando uma resposta ao problema exposto inicialmente. Por outro lado, esclarece, também, as limitações identificadas e sugere melhorias, bem como os próximos passos para um novo estudo ou seu aprofundamento.

6.1. Conclusões finais

O estudo desenvolvido na Azurea Portugal foi a primeira experiência formal de análise nesta empresa, sobre a otimização do controlo produtivo com base nos índices de capacidade e performance do processo.

Na primeira parte, o estudo permitiu desenvolver um senso crítico para a análise, identificação, compreensão e resolução de problemas, que possibilitaram a identificação e correção da causa raiz do problema inicial numa das dimensões controladas, contribuindo para a melhoria contínua da capacidade e do processo produtivo. Aqui foi possível ainda detetar, com base nesta análise, o que poderia estar a acontecer para os dados iniciais serem diferentes um dos outros, tendo conseguido resolver um possível problema interno. Da mesma forma, e apesar das dificuldades iniciais, chegou-se ainda à conclusão, para estudo interno por parte da empresa, que para as medições das peças poderia ser necessário uma máquina mais atual, moderna, que colmatasse, ainda, certas falhas humanas.

Na segunda parte, o estudo continuou com o desenvolvimento de uma análise que proporcionou uma redução do número de controlos aplicado ao produto em questão, de forma que não fosse reduzida a capacidade e performance do processo para níveis inferiores aos aceitáveis. Como consequência, isto permitirá uma redução do tempo de mão de obra utilizada, que poderá ser reencaminhada para outros propósitos.

Numa visão mais ampla e estratégica do grupo empresarial, o estudo permitiu adquirir conhecimentos que poderão surgir como base e estrutura guia para futuros estudos aplicados a produtos de maior complexidade.

Desta maneira, o resultado positivo deste estudo pode ser uma referência importante para as demais unidades do grupo que possuam problemas semelhantes ou que queiram otimizar o controlo produtivo, assim como atuar no desenvolvimento da melhoria contínua dos processos

internos, ou na implementação de medidas corretivas devido a irregularidades que possam ser identificadas nos processos, ou até mesmo na eficiência global da empresa.

6.2. Limitações e trabalhos futuros

Apesar do estudo apresentado ir de encontro com os objetivos propostos, reduzindo o controlo produtivo, notou-se, no entanto, que em alguns controlos dimensionais analisados, o índice de capacidade e performance do processo aumentou, não parecendo ter uma explicação lógica para isto acontecer. Deste modo, considera-se que poderá ser motivo de análise futura, correspondendo, também, às limitações.

Por outro lado, houve também uma dificuldade para a obtenção de literatura que confirmasse a necessidade e a importância para a redução do controlo produtivo, com base nos índices de capacidade. Esta área poderá ter sido, ainda, pouco explorada pelos académicos, podendo ser, portanto, uma possível referência para o futuro.

Da mesma forma, o estudo através do *software* que a Azurea Portugal utiliza, tornou a tarefa relativamente difícil, pela falta de experiência no seu uso. Apesar de ter procurado aprender e ter comunicado com a própria empresa que desenvolveu o programa para descobrir mais, ainda assim não pareceu suficiente para conseguir ir mais a fundo em determinadas questões, como gostaria. Igualmente, a dificuldade no idioma tornou mais lento este processo, conseguindo atrasar as etapas inicialmente traçadas, limitando, por sua vez, o desenvolvimento do estudo.

Assim, este estudo permitiu que fosse, então, criada uma estrutura para o desenvolvimento de futuras análises complementares, que pudessem, inclusivamente, ser discutidas para todo o Grupo Azurea. Deste modo, apresenta-se aqui uma grande oportunidade para analisar o processo produtivo, sendo bastante positivo para identificar potenciais oportunidades de melhoria, sobretudo no controlo do processo produtivo.

Referências

- Azurea Group. (2025a). *Azurea Decoupage Brochure*. <https://azurea.ch/wp-content/uploads/2024/07/Brochure-AD-FR.pdf>
- Azurea Group. (2025b). *Azurea Jauge Shop*. <https://azurea-shop.ch/fr/appareil-de-mesure/28-appareil-de-mesure-6500.html>
- Azurea Group. (2025c). *Azurea Jauges Brochure*. https://azurea.ch/wp-content/uploads/2023/12/Plaque-A5_08-11-23_FR1.pdf
- Azurea Group. (2025d). *Azurea Microtechnique*. <https://azurea.ch/wp-content/uploads/2024/07/Brochure-AM-FR.pdf>
- Azurea Group. (2025e). *Azurea Technologie Horlogere Brochure*. https://azurea.ch/wp-content/uploads/2024/07/Plaque-technologie_horlogere_pages.pdf
- Azurea Group. (2025f). *The Azurea Group*. <https://azurea.ch/en/group/>
- Costa, C. E. S. da, Santo, E. D. do E., Rocha, L. A., & Ortin, S. M. A. (2023). APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE - CONTROLE ESTATÍSTICOS DE PROCESSOS E DIAGRAMA DE ISHIKAWA NA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE LIMÃO. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(5), 1794–1819. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.9916>
- Inácio, L. C. dos R., Avelino, S. F., Sanjulião, L.-R. K. A., Reis, M. J., Borges, V. de O., Piantino, L. F. M., Pinto, R. A. N., & Da Silva, H. M. (2023). Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(10), 17413–17427. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2890>
- Korpysa, J., Kuczmaszewski, J., & Zagórski, I. (2023). Capability Analysis of AZ91D Magnesium Alloy Precision Milling Process with Coated Tools. *Materials*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/ma16083119>
- Melo, D. J. de, Silva, L. A. da, Paiva, A. P. de, & Quinino, R. da C. (2022). APLICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO EM UMA LINHA DE EMBALAGEM DE FRUTAS. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 8(4), 01–18. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37577>

Referências

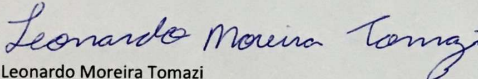
- Motorcu, A. R., & Güllü, A. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials and Design*, 27(5), 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.11.003>
- Philippe, D., Debenedetti, A., & Chaney, D. (2022). How brands mobilize status, reputation, and legitimacy cues to signal their social standing: The case of luxury watchmaking. *Marketing Theory*, 22(3), 333–358. <https://doi.org/10.1177/14705931221089327>
- Rech, A., Noris, A., & Sabatini, N. (2023). How swiss watchmaking brands are communicating made in Switzerland. *Springer Proceedings in Business and Economics*, 99–112. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38541-4_10
- Saha, A., & Majumder, H. (2018). Performance analysis and optimization in turning of ASTM A36 through process capability index. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(4), 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.11.002>
- Santos, D. F., & Casagrande, D. J. (2021). FERRAMENTAS DA QUALIDADE COM ÊNFASE EM CARTA DE CONTROLE. *Revista Interface Tecnológica*, 18(2), 784–795. <https://doi.org/10.31510/infa.v18i2.1322>
- Silva, S. de A., & Magno, R. N. O. (2021). PROBABILIDADE, CARTA DE CONTROLE APLICADA A SOFTWARE EM CIÊNCIA DA EDUCAÇÃO ARTIGO ORIGINAL. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*, 11, 43–73. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/matematica/ciencia-da>
- Soriano, F. R., Oprime, P. C., & Lizarelli, F. L. (2020). Os fatores que devem ser considerados para uma efetiva implantação do controle estatístico de processo (CEP): uma revisão de literatura. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 15(1), 71. <https://doi.org/10.15675/gepros.v15i1.2259>
- Sousa, S., Rodrigues, N., & Nunes, E. (2017). Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement. *Procedia Manufacturing*, 11, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.247>
- Wu, C. W., Pearn, W. L., & Kotz, S. (2009). An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *International Journal of Production Economics*, 117(2), 338–359. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.11.008>

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P. PORTO.


Leonardo Moreira Tomazi

ISEP, Porto, 10 de setembro de 2025