



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Beatriz Cardoso Pereira

**Implementação de um Projeto de Melhoria
suportado na metodologia Seis Sigma numa
empresa de garrafas de gás**

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio

Outubro de 2019

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Universidade do Minho, 02 / 10 / 2019

Assinatura: Maria Beatriz Cardoso Pereira

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e à minha irmã, por todo o apoio, carinho, compreensão, incentivo e por tornarem possível a concretização de mais um objetivo.

Aos meus amigos, pelos conselhos, amizade, motivação e suporte.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Sampaio, por todas as oportunidades, pela orientação, disponibilidade e recomendações ao longo da dissertação, mas especialmente pela confiança nas minhas potencialidades.

À minha orientadora de empresa, Sandrina Matos, pela oportunidade de desenvolver este projeto no Departamento da Qualidade, na Amtrol-Alfa, S.A. Por todo o apoio fornecido e partilha de conhecimento. À Engenheira Carla Aguiar, pela disponibilidade e partilha de conhecimento.

A todos os restantes colaboradores da Amtrol-Alfa, S.A., pelo acolhimento, simpatia e disponibilidade durante o estágio.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 02 / 10 / 2019

Assinatura: Maria Beatriz Cardoso Pereira

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

RESUMO

A presente dissertação de Mestrado resultou do trabalho desenvolvido durante um estágio curricular na empresa Amtrol-Alfa, S.A.

O projeto incidiu sobre a aplicação do ciclo DMAIC, suportado na metodologia Seis Sigma, num processo de acabamento de uma garrafa de gás retornável, responsável pela roscagem da válvula à garrafa – o Processo de Montagem e Aperto da Válvula. Até ao momento inicial deste projeto, a empresa observou uma diminuição do binário de aperto em garrafas referentes a lotes de dois modelos retornáveis distintos, projetados com diferentes tipos de rosca, fabricados para dois clientes distintos. Esta diminuição foi detetada 48 horas após a conclusão do fabrico, tendo sido registados valores de binário inferiores ao requisito especificado pelo cliente.

Através da aplicação do Seis Sigma, e em conjunto com a utilização de ferramentas e técnicas de qualidade em cada fase do ciclo DMAIC, foi possível identificar as variáveis que influenciavam o problema em questão e delinear possíveis ações de melhoria. Para tal, procedeu-se ao estudo do estado inicial, ao mapeamento do processo, a análises estatísticas, à construção de um diagrama *Fishbone*, à análise dos potenciais problemas e nível de risco associado, à construção de uma Matriz XY, de um diagrama *Mind Map* e à execução de dois Planeamentos de Experiências.

Na avaliação do impacto e eficácia das ações de melhoria propostas, houve a possibilidade de se proceder ao fabrico de uma encomenda referente a um dos modelos em estudo, dado que o planeamento do fabrico do lote coincidiu com o período do estágio. Uma vez que o *feedback* do cliente às propostas apresentadas foi positivo, e dado que este aceitou a sua implementação na encomenda efetuada, foi possível verificar o impacto das melhorias no fabrico. Após a conclusão do processo observou-se a superação dos objetivos propostos na fase de Definição do Projeto, uma vez que não foi detetado nenhum valor de binário abaixo do especificado e dado o aumento do Nível Sigma para 4,82.

PALAVRAS-CHAVE

Seis Sigma; DMAIC; Processo Montagem e Aperto da Válvula; Binário de aperto.

Implementation of an Improvement Project based on Six Sigma methodology in a gas cylinder company

ABSTRACT

This Master's dissertation presents results from the study developed during an internship at Amtrol-Alfa, S.A.

The study focuses on the application of the DMAIC cycle, supported by the Six Sigma methodology, in the finishing process of a returnable gas cylinder, responsible for threading the valve to the cylinder – the Valve Assembly and Tightening Process. Until the initial moment of this project, the company has observed a decrease in the cylinder tightening torque for batches of two different returnable cylinder models, designed with different thread types, manufactured for two different customers. This decrease was detected 48 hours after completion of manufacture, where torque values lower than the requirement specified by the customer were recorded.

Through the application of Six Sigma, and together with the use of quality tools and techniques in each phase of the DMAIC cycle, it was possible to identify the variables that influence the problem in question and outline possible improvement actions. For this purpose, the initial state was studied, the process mapped, a statistical analysis was made, a Fishbone diagram was constructed, there was also the analysis of potential problems and associated risk level, the construction of an XY Matrix, a Mind Map diagram and the execution of two Designs of Experiments.

In assessing the impact and effectiveness of proposed improvement actions, it was possible to manufacture an order for one of the models under study, as the planning of the batch manufacturing coincided with the period of the internship. Given the positive feedback from the customer feedback on the proposals made, and acceptance of their implementation in the order placed, it was possible to verify the impact of the manufacturing improvements. Upon completion, the objectives proposed in the project definition phase were exceeded, since no torque value was detected below the specified, and the sigma level increased to 4.82.

KEYWORDS

Six Sigma; DMAIC; Valve Assembly and Tightening Process; Torque.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos da Investigação	2
1.3. Metodologia de Investigação.....	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão da literatura	6
2.1. Seis Sigma.....	6
2.2. A origem do Seis Sigma	7
2.3. Definição de Seis Sigma	7
2.3.1. Conceito Seis Sigma: Perspetiva Estatística	8
2.3.1.1. Capacidade do processo.....	13
2.4. Seis Sigma como Metodologia: Ciclo DMAIC	14
2.4.1. Fase Definir	16
2.4.2. Fase Medir	17
2.4.3. Fase Analisar	17
2.4.4. Fase Melhorar	18
2.4.5. Fase Controlar	19
2.5. Responsabilidade dos intervenientes na metodologia Seis Sigma	19
2.6. Fatores críticos para o sucesso de Projetos Seis Sigma.....	20
3. Apresentação da empresa	22
3.1. A Amtrol-Alfa, S.A.	22
3.2. Complexo Industrial.....	23
3.3. Família de produtos Amtrol-Alfa, S.A.	24
3.3.1. Garrafas retornáveis ou tradicionais	25
3.3.2. Garrafas descartáveis.....	25
3.3.3. Garrafas <i>Comet</i>	26
3.3.4. Garrafas de Alta Pressão.....	27
3.3.5. Garrafas <i>X-Lite</i>	28
3.4. Mercado	29
4. Projeto de melhoria Seis Sigma	30
4.1. Fase Definir.....	30
4.1.1. Descrição do produto: Garrafa retornável e seus componentes	33
4.1.2. Descrição do problema	34
4.1.3. Estratificação do problema.....	37
4.1.4. Localização do problema	39

4.1.5.	Análise do histórico dos lotes: análise exploratória de dados	41
4.1.5.1.	Caracterização das amostras	41
4.1.5.2.	Análise da Capacidade.....	44
4.1.5.3.	Cálculo do Nível Sigma atual e definição do objetivo	46
4.2.	Fase Medir.....	47
4.2.1.	Processo de Montagem e Aperto da Válvula	47
4.2.2.	Diagrama <i>Fishbone</i>	52
4.2.3.	Análise de Risco	53
4.3.	Fase Analisar	55
4.3.1.	Matriz XY	55
4.3.2.	Causas-raiz.....	56
4.3.3.	Observação do Processo.....	57
4.3.4.	Formulação de hipóteses	62
4.4.	Fase Melhorar	63
4.4.1.	Aplicação do Método de Taguchi ao Processo de Montagem e Aperto da Válvula	63
4.4.2.	Propostas de melhoria	86
4.5.	Fase Controlar	95
5.	Conclusão	100
5.1.	Limitações do trabalho	101
5.2.	Trabalho futuro	102
	Referências Bibliográficas	103
	Anexo I – Política de Gestão e Política da Qualidade da Amtrol-Alfa, S.A.....	107
	Anexo II – Estrutura organizacional da Amtrol-Alfa, S.A.....	109
	Anexo III – Estudo Perfis de rosca 25E e $\frac{3}{4}$ 14'' NGT.....	110
	Anexo IV – Estudo das características dos materiais vedantes	115
	Anexo V – Processo produtivo de uma garrafa de gás.....	116
	Anexo VI – <i>Deployment Diagram</i>	123
	Anexo VII – <i>Potencial Problem Analysis (PPA)</i>	124
	Anexo VIII – Matriz XY.....	125
	Anexo IX – <i>Mind Map</i>	126
	Anexo X – Consentimento para a utilização de dados da empresa	127
	Anexo XI – Consentimento para a utilização de dados pessoais	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Entradas e saídas de um processo. Adaptado de D. C. Montgomery & Woodall (2008).....	9
Figura 2: Distribuição normal centrada no valor médio, μ . Adaptado de Koch, Yang, & Gu (2004).	10
Figura 3: Distribuição normal com média desviada $\pm 1,5\sigma$ do valor alvo, μ . Adaptado de Koch, Yang, & Gu (2004).	12
Figura 4: Ciclo DMAIC. Adaptado de D. C. Montgomery & Woodall (2008).	15
Figura 5: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Definir. Adaptado de Besunder & Super (2012).	16
Figura 6: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Medir. Adaptado de Besunder & Super (2012).	17
Figura 7: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Analisar. Adaptado de Besunder & Super (2012).	18
Figura 8: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Melhorar. Adaptado de Besunder & Super (2012).	18
Figura 9: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Controlar. Adaptado de Besunder & Super (2012).....	19
Figura 10: Logótipo da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.....	22
Figura 11: Instalações da Amtrol-Alfa, S.A., Brito, Portugal. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.....	23
Figura 12: Planta geral da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	24
Figura 13: Modelos de garrafas de gás retornáveis. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	25
Figura 14: Modelo de garrafa de gás descartável. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	26
Figura 15: Modelos de garrafas de gás <i>Comet</i> . Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.....	26
Figura 16: Componentes de um modelo de garrafa <i>Comet</i> . Adaptado de Vieira et al. (2010)).	27
Figura 17: Modelo de garrafa de gás de alta pressão - Modelo <i>Genie</i> . Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	27
Figura 18: Ecrã <i>Digital Intelligence Unit</i> . Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	28
Figura 19: Modelo de garrafa de gás <i>X-Lite</i> . Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	28
Figura 20: Mercado de atuação da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	29

Figura 21: <i>Project Charter</i> . Adaptação própria.....	32
Figura 22: Componentes de uma garrafa de gás retornável de três e duas peças. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	33
Figura 23: Exemplo de um modelo de uma bolacha. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	33
Figura 24: Exemplo de um modelo de uma válvula tipicamente utilizada em garrafas do tipo retornáveis. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.	34
Figura 25: Descrição do Problema, com recurso à ferramenta 5W2H. Adaptação própria.	36
Figura 26: Diagrama SIPOC. Adaptação própria.	40
Figura 27: Diagrama <i>boxplot</i> dos valores de binário registados para os Lotes do Modelo A. Obtido do <i>software</i> Minitab.	43
Figura 28: Diagrama <i>boxplot</i> dos valores de binário registados para os Lotes do Modelo B. Obtido do <i>software</i> Minitab.	43
Figura 29: Análise de capacidade para o Lote 4A. Obtido do <i>software</i> Minitab.	45
Figura 30: Análise de capacidade para o Lote 4A. Obtido do <i>software</i> Minitab.	45
Figura 31: Fluxograma do processo de Montagem e Aperto da Válvula.	47
Figura 32: Posto do processo Limpeza Passa Macho.	48
Figura 33: Máquina de Aperto.....	49
Figura 34: Ensaio de Fugacidade (tanque com água onde as garrafas são mergulhadas).....	51
Figura 35: Medição manual do binário de aperto.....	51
Figura 36: Diagrama Fishbone. Adaptação própria.	53
Figura 37: Diagrama de Pareto. Obtido do <i>software</i> Minitab.	56
Figura 38: Calibres liso e roscado.	60
Figura 39: Matriz esforço versus benefício - análise para ambas as experiências. Adaptação própria. .	64
Figura 40: Exemplo de identificação de uma válvula para a Experiência 1.....	68
Figura 41: Fluxograma da execução da Experiência 1. Adaptação própria.....	69
Figura 42: Medição do binário com chave.....	71
Figura 43: Gráfico de controlo – resultados (valores médios) conseguidos da Experiência 1. Adaptação própria.	73
Figura 44: Gráficos S/R – Experiência 1. Obtido do <i>software</i> Minitab.....	74
Figura 45: Gráficos médias – Experiência 1. Obtido do <i>software</i> Minitab.....	75
Figura 46: Exemplo de identificação de uma válvula para a Experiência 2.....	79

Figura 47: Fluxograma da execução da Experiência 2. Adaptação própria.....	80
Figura 48: Medição do binário com chave.....	81
Figura 49: Gráfico de controlo – resultados (valores médios) conseguidos da Experiência 2. Adaptação própria.....	83
Figura 50: Gráficos S/R – Experiência 2. Obtido do <i>software</i> Minitab.....	84
Figura 51: Gráficos médias – Experiência 2. Obtido do software Minitab.....	84
Figura 52: Proposta de Melhoria - Medida nº1: Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto. Adaptação própria.....	86
Figura 53: Proposta de Melhoria - Medida nº2: Alteração do plano da manutenção preventiva. Adaptação própria.....	87
Figura 54: Proposta de Melhoria - Medida nº3: Ajuste do valor de especificação do binário de aperto. Adaptação própria.....	88
Figura 55: Proposta de Melhoria - Medida nº4: Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto. Adaptação própria.....	89
Figura 56: Proposta de Melhoria - Medida nº5: Alteração do procedimento de cliente utilizado pelo Modelo A para o procedimento interno, no processo Aplicação do Material Vedante. Adaptação própria.....	90
Figura 57: Proposta de Melhoria - Medida nº6: Alteração da dimensão da Fita Teflon para o Modelo A. Adaptação própria.....	91
Figura 58: Proposta de Melhoria - Medida nº7: Despiste da ovalização da bolacha. Adaptação própria.....	92
Figura 59: Proposta de Melhoria - Medida nº8: Ação de sensibilização para a correta utilização da massa Nural 14. Adaptação própria.....	93
Figura 60: Proposta de Melhoria - Medida nº9: Ações de sensibilização para o processo Limpeza Passa Macho. Adaptação própria.....	94
Figura 61: Diagrama <i>boxplot</i> – fabrico do Modelo A após melhorias. Obtido do <i>software</i> Minitab.....	97
Figura 62: Análise de capacidade – fabrico do Modelo A após melhorias. Obtido do <i>software</i> Minitab.....	98
Figura 63: Organigrama geral. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.....	109
Figura 64: Organigrama da Secção de Operações e Tecnologia. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.....	109
Figura 65: Representação da rosca interna e externa. Adaptação própria.....	110
Figura 66: Tipos de rosca. Adaptação própria.....	110
Figura 67: Perfil da rosca 25E. Adaptado de ISO 11363-1.....	112

Figura 68: Perfil da rosca $\frac{3}{4}$ 14" NGT. Retirado de Norma CGA V-1 2013.....	113
Figura 69: Fluxograma do processo Corte de Chapa. Adaptação própria.....	116
Figura 70: Fluxograma do processo Fabrico de Acessórios. Adaptação própria.	117
Figura 71: Fluxograma do processo de fabrico de uma garrafa de gás retornável. Adaptação própria.	118
Figura 72: Fluxograma da Fase de Acabamento. Adaptação própria.	119
Figura 73: <i>Deployment Diagram</i> . Adaptação própria.....	123
Figura 74: Diagrama <i>Mind Map</i> . Adaptação própria.....	126

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Nível Sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão de partes.	11
Tabela 2: Estratificação do Problema.	38
Tabela 3: Caracterização das amostras.	42
Tabela 4: Cálculo do Nível Sigma.	46
Tabela 5: Cálculo do Nível Sigma - definição do objetivo.	47
Tabela 6: Nível de risco.	55
Tabela 7: Formulação de hipóteses.	62
Tabela 8: Fatores de controlo considerados na Experiência 1.	65
Tabela 9: Níveis definidos para os fatores de controlo a considerar na Experiência 1.	66
Tabela 10: Plano de experiência a considerar na Experiência 1.	66
Tabela 11: Resultados obtidos para o Planeamento de Experiências – Experiência 1.	71
Tabela 12: Caracterização das medições da Experiência 1.	72
Tabela 13: Combinação ótima de fatores - Experiência 1.	75
Tabela 14: Teste de confirmação - Experiência 1.	76
Tabela 15: Fatores de controlo considerados na Experiência 2.	76
Tabela 16: Níveis definidos para os fatores de controlo a considerar na Experiência 2.	77
Tabela 17: Plano de experiências a considerar para a Experiência 2.	78
Tabela 18: Resultados obtidos do planeamento de experiências – Experiência 2.	81
Tabela 19: Caracterização das medições da Experiência 2.	82
Tabela 20: Combinação ótima de fatores - Experiência 2.	85
Tabela 21: Teste de confirmação - Experiência 2.	85
Tabela 22: Quadro resumo do estado de implementação das propostas de melhoria.	95
Tabela 23: Caracterização da amostra – Fabrico do Modelo A após implementação das melhorias propostas.	96
Tabela 24: Cálculo do Nível Sigma - fabrico do Modelo A após melhorias.	99
Tabela 25: Requisitos da Norma ISO 11363-1.	111
Tabela 26: Dimensões e tolerâncias para a haste da válvula (rosca externa).	112
Tabela 27: Dimensões e tolerâncias para a haste da bolacha (rosca interna).	112
Tabela 28: Requisitos da Norma ISO 11363-1.	114
Tabela 29: Dimensões, em milímetros, para a haste da válvula (rosca externa).	114
Tabela 30: Dimensões, em milímetros, para a haste da bolacha (rosca interna).	114

Tabela 31: Estudo das características dos materiais vedantes	115
Tabela 32: <i>Potencial Problem Analysis</i>	124
Tabela 33: Matriz XY.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

DMAIC – Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar

DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades

GPL – Gases Liquefeitos de Petróleo

MAG – *Metal Active Gas*

MV – Marketing e Vendas

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSE – Limite Superior de Especificação

PDCA - Planear-Fazer-Verificar-Atuar

PFP – Plano de Fabrico do Produto

PP – Planeamento de Produção

PPA – *Potencial Problem Analysis*

PPM – Partes por Milhão

SIPOC – *Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers*

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação surge no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação em Engenharia e Gestão da Qualidade, que compõe o plano de estudos do Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade, da Universidade do Minho.

O desenvolvimento deste projeto decorreu em ambiente industrial na empresa Amtrol-Alfa, S.A., localizada em Brito, Guimarães, sob a orientação da Diretora do Departamento da Qualidade, Sandrina Matos.

1.1. Enquadramento

A utilização pouco moderada de combustíveis fósseis não renováveis, o aumento da população, do desenvolvimento tecnológico e do consumo de energia, são fatores que acentuaram os problemas relacionados com a poluição ambiental e com a crise energética (Zheng et al., 2012). Estes impulsionaram o aumento de estudos sobre o tema das energias limpas, investigações estas que incluem pesquisas sobre o tipo de armazenamento e esquema de transporte mais adequado a cada aplicação, como é o caso das garrafas de gás (Jin, Li, Gao, Yin, & Ma, 2018).

A garrafa de gás é a forma de transporte de bens perigosos mais utilizada, nomeadamente, materiais gasosos inflamáveis. É um recipiente que surge para responder a aplicações que precisam de uma fonte que armazene químicos de elevada combustão (Zheng et al., 2012). Dada a sua finalidade, as garrafas de gás surgem como objetos altamente regulamentados cujas falhas, de um ponto de vista qualitativo, podem trazer consequências graves para a sociedade.

De uma forma geral, as garrafas de gás têm de ser capazes de suportar pressões de gases de petróleo liquefeitos (GPL), de gases técnicos e de gases refrigerantes no seu interior, para além das condições ambientais envolventes e os processos associados ao seu transporte. No decorrer do seu fluxo produtivo, o controlo da qualidade é uma atividade imperativa, de modo a serem produzidos apenas produtos conformes. Devido a todas as condicionantes impostas ao processo produtivo de uma garrafa de gás, e devido a todos os requisitos associados à sua construção, existe uma grande necessidade de inovar as técnicas aplicadas às garrafas, de modo a melhorar os processos de controlo e de rastreabilidade.

Nas últimas décadas, a qualidade dos serviços, o aumento da produtividade e a redução de custos tornaram-se áreas relevantes para os gestores e investigadores devido ao seu forte impacto na satisfação e fidelização dos clientes, na eficiência e qualidade dos serviços prestados e no aumento do lucro (Seth,

Deshmukh, & Vrat, 2005). Estes benefícios podem ser conseguidos através da monitorização e registo do histórico de todos os passos do processo de produção, em conjunto com técnicas da Gestão da Qualidade, como é o caso da metodologia Seis Sigma.

O Seis Sigma é uma metodologia organizada e sistemática utilizada para melhorar o desempenho dos processos ou produtos e a qualidade dos serviços, baseando-se em métodos estatísticos e científicos (M. Kumar, Antony, Antony, & Madu, 2007).

Um projeto típico Seis Sigma para melhoria da qualidade segue uma metodologia estruturada de resolução de problemas, o ciclo Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar, ou ciclo DMAIC¹, que consiste em definir e medir o problema, analisar os dados para descobrir as causas-raiz e melhorar o processo, de modo a remover as causas identificadas e a monitorizar o processo para prevenir o reaparecimento dos defeitos (Pepper & Spedding, 2010). Em cada fase é utilizado um conjunto de ferramentas e técnicas da qualidade com o propósito de tornar todo o processo objetivo e mensurável, permitindo analisar o desempenho do sistema atual, propor melhorias, analisar o impacto e manter o sistema sob controlo. O êxito da utilização do DMAIC está na metodologia estruturada, sendo a lógica que liga as diferentes fases a chave para o sucesso.

Devido ao mercado competitivo, as empresas construtoras de garrafas de gás têm de transparecer a qualidade associada ao seu produto, de maneira a dar confiança e segurança de utilização aos seus clientes, sabendo que, de outro modo, não seria possível ocupar espaço no setor. A utilização de metodologias de melhoria da qualidade enquadra-se no ambiente competitivo onde atua a Amtrol-Alfa, S.A., empresa onde se irá desenvolver o projeto.

Sediada em Brito, Guimarães, a Amtrol-Alfa, S.A., especializada no mercado GPL, gases técnicos e gases refrigerantes, é hoje a maior produtora europeia e a maior exportadora do mundo de garrafas de gás transportáveis. Destaca-se não só pela qualidade, mas pela grande capacidade de produção e pela inovação, pois estuda e implementa novas tecnologias e materiais, com o fim de atingir um maior desempenho das garrafas e satisfazer o cliente.

1.2. Objetivos da Investigação

Até ao início desta dissertação, a empresa observou uma diminuição do binário de aperto em garrafas referentes a lotes de dois modelos retornáveis distintos, projetados com diferentes tipos de rosca. Esta

¹ Da expressão anglo-saxónica *Define – Measure – Analyse – Improve – Control*

diminuição foi detetada 48 horas após a conclusão do fabrico dos lotes, tendo sido registados valores abaixo do intervalo especificado.

Dado que o binário representa um parâmetro regulamentado e normativo, esta diminuição é considerada crítica, principalmente quando este diminui para valores abaixo do limite inferior de especificação. Para além disso, a perda de binário pode traduzir-se em problemas como o desaperto da válvula, que por sua vez pode originar problemas como, a existência de fuga, a insatisfação do cliente, custos de não qualidade, entre outros.

Os objetivos da presente dissertação são identificar as variáveis com impacto negativo no binário, a definição dos parâmetros ótimos para o processo de Montagem e Aperto da Válvula e o desenvolvimento de ações de melhoria e de medidas preventivas. Pretende-se atingir um processo mais estável com resultados aplicáveis aos restantes produtos Amtrol-Alfa, S.A., projetados com os mesmos modelos de rosca.

Como principais objetivos do projeto de investigação destacam-se:

- Definir e caracterizar o problema, identificar os processos e objetivos de melhoria;
- Medir o desempenho atual do processo;
- Analisar os dados do processo com recurso às ferramentas de qualidade, de modo a identificar as causas dos problemas;
- Propor e implementar soluções para aumentar o desempenho do processo;
- Controlar a implementação das ações de melhoria e avaliar o sucesso do projeto.

Com a aplicação da metodologia Seis Sigma é esperado reduzir os custos da qualidade, provenientes do processo de retrabalho consequente da diminuição do binário, e garantir que as unidades produzidas mantêm o valor do binário aplicado, de forma a não comprometer o processo e a satisfação do cliente.

Procurar-se-á responder à seguinte pergunta de investigação: “Poderá a aplicação da abordagem estruturada DMAIC da metodologia Seis Sigma, aliada às ferramentas da qualidade, trazer vantagens significativas para o processo de Montagem e Aperto da Válvula?”.

1.3. Metodologia de Investigação

Para responder aos objetivos estabelecidos, e levando em consideração o problema em estudo, privilegiaram-se práticas como a observação dos processos a atuar, a recolha de dados, a análise exploratória dos dados recolhidos, a análise dos potenciais fatores e causas que influenciam a problemática em estudo, a dedução de hipóteses através de teorias previamente formuladas, a criação de um plano de ação para testar as mesmas, a análise dos resultados obtidos e a implementação de

melhorias. Desta forma, constatou-se que a metodologia de investigação que melhor se enquadra a estes mesmos objetivos é a metodologia Experimentação.

A metodologia Experimentação representa uma estratégia utilizada para responder a perguntas do género “como” e “porquê” (Saunders et al., 2009), onde são deduzidas hipóteses, a partir de teorias previamente formuladas, e planeados conjuntos de processos para verificar essas hipóteses. São criados dois grupos, isto é, um grupo experimental, que sofre manipulação para medir alterações da variável dependente, e um grupo de controlo, que não é sujeito a alterações. O objetivo é fazer uma comparação entre o antes e o depois da manipulação.

No início do projeto, de forma a aprofundar os conhecimentos relativos ao tema da dissertação, foi necessário proceder à revisão crítica da literatura através do recurso a fontes bibliográficas disponíveis. A recolha de dados foi baseada em entrevistas aos técnicos e colaboradores, na observação direta do processo e na consulta de documentação relacionada com o processo de controlo. Também foi efetuada uma pesquisa bibliográfica, com base em artigos científicos, dissertações e livros.

Após a recolha de dados seguiu-se a sua análise, e a posterior criação dos grupos destinados à verificação da veracidade das hipóteses formuladas. O grupo de controlo foi criado a partir da análise da situação atual. Após investigação de todas as variáveis capazes de influenciar a problemática em estudo, foi possível criar o grupo experimental. As amostras foram selecionadas a partir de uma população conhecida, que por sua vez foram associadas a diferentes condições experimentais. Foram introduzidas alterações planeadas em diversas variáveis e foram efetuadas medições de forma a compreender o seu comportamento. Posteriormente implementaram-se ações de melhoria e controlo do processo, de acordo com os resultados obtidos.

Esta dissertação de Mestrado rege-se pelo método DMAIC para a resolução de problemas, segundo a metodologia Seis Sigma. Ao longo do projeto, o autor foi parte ativa de uma equipa de especialistas do processo em questão, desde a fase de definição dos problemas até à fase de controlo das melhorias implementadas.

Assim, este estudo pretende dar a conhecer o contexto em que decorreu a investigação, assim como os métodos, as ferramentas e os procedimentos utilizados em cada fase do ciclo DMAIC para se obter melhorias na qualidade do processo de Montagem e Aperto da Válvula.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se disposta em cinco capítulos, nomeadamente, Introdução, Revisão da Literatura, Apresentação da Empresa, Projeto de melhoria Seis Sigma e Conclusão.

O presente capítulo tem como finalidade introduzir o tema de forma breve e apresentar os objetivos, proporcionando ao leitor um contacto inicial com a problemática em estudo. Mais ainda, neste capítulo é descrita a metodologia de investigação e é apresentada a estrutura do presente documento.

O segundo capítulo apresenta a revisão crítica da literatura sobre a metodologia Seis Sigma.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa onde o projeto de dissertação foi desenvolvido. Apresenta-se de forma detalhada a empresa Amtrol-Alfa, S.A., onde são divulgados alguns dados históricos, os principais produtos, entre outras informações.

No capítulo seguinte é descrito o projeto de melhoria suportado na metodologia Seis Sigma desenvolvido na empresa, a análise da informação recolhida, os resultados obtidos e a implementação das melhorias delineadas.

No capítulo final são apresentadas as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros, assim como as limitações do projeto.

As referências bibliográficas utilizadas são apresentadas num local próprio para o efeito, para suportar cientificamente o estudo realizado e para facultar ao leitor a possibilidade de aprofundar um determinado tema que considere relevante.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Tendo em consideração os objetivos da presente dissertação, neste capítulo são debatidos e relacionados os conceitos mais pertinentes referentes à metodologia implementada no projeto.

Primeiramente faz-se referência à metodologia Seis Sigma. De seguida, são apresentados os conceitos referentes ao método DMAIC, bem como o desenvolvimento de cada uma das suas etapas na estruturação do problema. É também feita referência à constituição e de uma equipa Seis Sigma e aos fatores críticos para o sucesso de um projeto suportado nesta metodologia.

2.1. Seis Sigma

A qualidade tornou-se parte essencial da estratégia de gestão de diversas organizações com diferentes âmbitos de atuação, devido à constante mudança das necessidades dos clientes, de novos mercados, da inovação, entre outros fatores externos (Salah, Rahim, & Carretero, 2010). Assim, a necessidade de melhorar a qualidade e acompanhar as metodologias e ferramentas utilizadas por empresas altamente produtivas e eficientes tornou-se prioritária dentro de grande parte das organizações mundiais (Seth et al., 2005).

Segundo Montgomery (2013), desde 1980 que se verifica uma melhoria global dos negócios e um crescimento do uso de métodos estatísticos na qualidade, responsáveis pela renovação da competitividade na indústria. Vários sistemas de gestão surgiram como estruturas base de implementação de estratégias de melhoria da qualidade, baseados em conceitos tradicionais, como a Gestão Total da Qualidade, o Controlo Estatístico do Processo e Zero Defeitos (De Mast & Lokkerbol, 2012), integrados e conjugados com outras técnicas e ferramentas como o Desdobramento da Função Qualidade, a Análise do Modo de Falhas e Efeitos, o Planeamento de Experiências, entre outras (M. Kumar et al., 2007).

O Seis Sigma é uma abordagem orientada para a melhoria da qualidade das organizações, com o intuito de reduzir a variabilidade, eliminar defeitos e desperdícios e de orientar as organizações para o foco no desenvolvimento e entrega de produtos e serviços quase perfeitos (Mi Dahlgaard-Park, Suárez-Barraza, Ramis-Pujol, & Estrada-Robles, 2012). A ideia central por detrás da metodologia Seis Sigma é: se é possível medir quantos defeitos existem num processo, então é possível compreender metodicamente como eliminá-los e atingir a situação “zero defeitos” (Goetsch & Davis, 2016)

2.2. A origem do Seis Sigma

Os primeiros desenvolvimentos da metodologia Seis Sigma surgiram nos finais da década de 1970, quando a empresa tecnológica japonesa Motorola verificou que se encontrava numa posição inferior, competitivamente, em comparação com outras empresas japonesas do mesmo setor, devido ao baixo nível de qualidade dos seus produtos, o que se retratava na insatisfação dos seus clientes.

De forma a tentar solucionar este problema, surgiu o conceito Seis Sigma, em 1986, pelo engenheiro Bill Smith, como resposta à necessidade de melhorar a qualidade e reduzir o nível de defeitos, em simultâneo com o aumento da produtividade e da satisfação dos clientes, através do balanceamento da relação custo-qualidade (Besunder & Super, 2012).

Para Bill Smith, a variação observada durante os processos de produção era a principal razão do aparecimento de defeitos. Ao eliminar essa variação, eliminar-se-iam os defeitos associados, o que acabaria por suprimir desperdícios, reduzir os custos e aumentar a satisfação dos clientes (D. C. Montgomery & Woodall, 2008). Smith explica que a variação pode ser medida em termos de níveis sigma ou patamares de defeitos, métricas relacionadas entre si. O patamar ideal determinado por Smith, e aprovado pela Motorola, é de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO²) (Knapp, 2015).

Dado o sucesso da implementação da metodologia Seis Sigma na Motorola, o conceito alastrou-se e tornou-se um programa de melhoria do desempenho utilizado por diversas organizações, por melhorar a qualidade e reduzir custos e expandir mercados para produtos e serviços. Para além da Motorola, outros casos de sucesso resultantes da adoção do método Seis Sigma são a General Electric, a Sony, a Honeywell, entre outros (Arnheiter & Maleyeff, 2005).

Os benefícios significativos desta metodologia fizeram com que o campo de atuação fosse alargado para a área dos serviços, para setores da saúde, educação, finanças, bancos, companhias aéreas, entre outros domínios de serviço público (Kuvvetli & Firuzan, 2019). Exemplos de casos de sucesso são o City Bank, a Zurich Financial Services e a American Express (M. Kumar et al., 2007).

2.3. Definição de Seis Sigma

Albliwi, Antony, & Lim (2015) definem Seis Sigma como sendo uma abordagem bem estabelecida que procura identificar e eliminar defeitos, erros e falhas nos sistemas ou processos de negócio, através

² Da expressão anglo-saxónica *Defects Per Million Opportunities*

do foco nas características chave de desempenho desses processos, críticas para a satisfação dos clientes.

Segundo Hess & Benjamin (2015), o Seis Sigma é um modelo de melhoria de processo pensado para abordar quatro conceitos-chave – qualidade, produtividade, custo e rentabilidade. Mais especificamente, definem Seis Sigma como uma metodologia que pretende encontrar e eliminar causas de defeitos e erros, reduzir tempos de ciclo e custos de operação e melhorar a produtividade, de forma a atingir as expectativas dos clientes.

Por sua vez, Pande, Neuman & Cavanagh (2001) definem Seis Sigma como uma metodologia sistemática e organizada, orientada para o cliente, cujo foco é alcançar a excelência organizacional através da melhoria contínua dos processos, através da aplicação de técnicas estatísticas e do método científico para analisar dados e tomar decisões.

Segundo Kumar et al (2007), apesar de o método Seis Sigma ser empregue numa perspetiva estatística para a medição da variação e a redução de defeitos, também pode ser aplicado segundo uma perspetiva de negócio. Possui uma flexibilidade tal que permite ser aplicado como estratégia operacional na redução do número de defeitos, assim como estratégia bem definida capaz de atingir a excelência organizacional, melhorar os processos existentes e desenvolver novos negócios.

Do ponto de vista estatístico, a metodologia representa a capacidade de um processo produzir conforme as especificações, ao quantificar a variação do processo em torno do seu valor médio (McAdam & Lafferty, 2004; Breyfogle III, F. W., 2003). Do ponto de vista dos negócios, representa uma estratégia utilizada para responder à forte necessidade das empresas de alcançarem a excelência organizacional e se destacarem competitivamente no mercado, através da oferta de produtos e serviços com qualidade elevada a um baixo custo (Albliwi et al., 2015; McAdam & Lafferty, 2004).

Numa outra abordagem à definição de Seis Sigma, Antony & Banuelas (2002) consideram que esta representa uma metodologia estruturada para a resolução de problemas, com foco na melhoria dos processos existentes, através da redução da variabilidade dos processos e da redução dos defeitos ou falhas capazes de surgir em qualquer produto ou serviço.

2.3.1. Conceito Seis Sigma: Perspetiva Estatística

D. C. Montgomery & Woodall (2008) definem processo produtivo como um sistema que, através de um conjunto de atividades, é capaz de transformar entradas (variáveis independentes de entrada) em saídas (variáveis dependentes de saída), ou seja, em produto acabado, com várias características de qualidade associadas.

Segundo Besunder & Super (2012), o objetivo do conceito Seis Sigma é ganhar conhecimento sobre a função transferência do processo, isto é, perceber a relação entre as variáveis de entrada independentes – que representam os possíveis fatores com impacto no processo – e a variável dependente de saída – que representa a variável que se pretende medir (Figura 1).

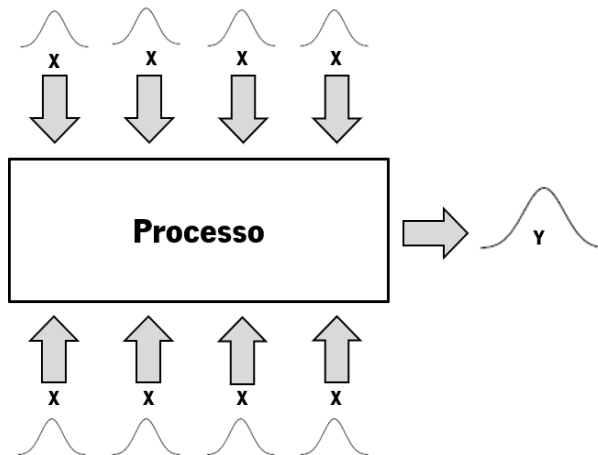


Figura 1: Entradas e saídas de um processo. Adaptado de D. C. Montgomery & Woodall (2008).

Nota. X – Variáveis independentes de entrada; Y – Variável dependente de saída.

Atribuindo a designação de X às variáveis independentes de entrada e Y à variável dependente de saída, se o processo for modelado como uma equação matemática, onde Y é uma função de X, então a variável de saída Y pode ser controlada através da gestão das variáveis de entrada X's, como representado na Equação 1.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \quad (\text{Equação 1})$$

Segundo Kumar et al. (2007), o método reúne as saídas cujo foco está centrado no que é importante para o cliente ao ouvir a sua opinião, a voz do cliente (VOC³), e ao traduzir as suas necessidades em requisitos mensuráveis, designados por características críticas para a qualidade (CTQ⁴). A identificação de indicadores para estes requisitos e a definição de um sistema de medição adequado tornam possível a comparação do estado atual do processo com as especificações do cliente, que pode ser descrita através de uma distribuição estatística (Schroeder, Linderman, Liedtke, & Choo, 2008).

Estatisticamente, o termo “Sigma”, representado pela letra do alfabeto grego σ , surge da medida estatística de quantificação da variabilidade, designada por desvio-padrão. O desvio-padrão, ou variância, é uma medida de dispersão de um conjunto de dados em torno do valor médio desse conjunto,

³ Da expressão anglo-saxónica *Voice of the Customer*

⁴ Da expressão anglo-saxónica *Critical To Quality*

representado pela letra do alfabeto grego μ (Borrór, 2009). Esta propriedade pode ser usada para descrever a variabilidade de fatores conhecidos que influenciam o sistema. Segundo D. C. Montgomery & Woodall (2008), quanto menor for o desvio-padrão, menor será a variabilidade, o que reflete uma menor quantidade de defeitos produzidos.

A partir da tradução dos requisitos do cliente, é possível saber quais as especificações do processo, definidas como um valor nominal, ou valor alvo, e respectivos limites – limite inferior de especificação (LIE) e limite superior de especificação (LSE) (Zhang, Wang, Goh, & He, 2015).

A métrica Nível Sigma descreve então a capacidade de um processo cumprir as especificações e produzir produtos conformes (Breyfogle III, F. W., 2003). A Figura 2 representa a curva de distribuição normal como modelo para uma característica da qualidade com limites de especificação a três desvios-padrão do valor médio.

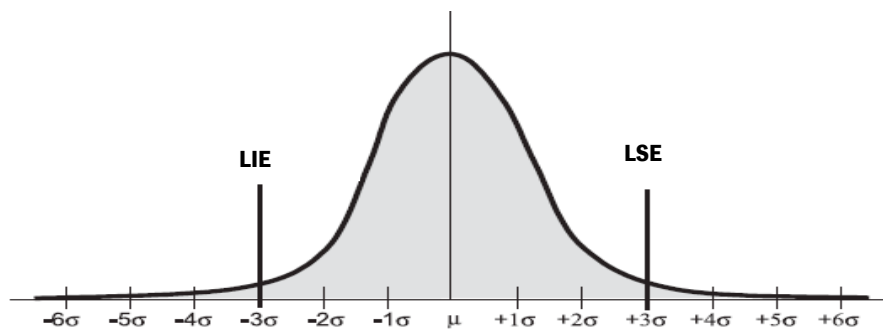


Figura 2: Distribuição normal centrada no valor médio, μ . Adaptado de Koch, Yang, & Gu (2004).

Nota. μ - Valor médio; LIE – Limite inferior de especificação; LSE – Limite superior de especificação.

Na Figura 2, as áreas sob a curva de distribuição normal estão associadas a um Nível Sigma, diretamente relacionadas com a probabilidade de o desempenho do sistema estar compreendido nesse intervalo específico. Uma das características desta distribuição é: 68,26% da área corresponde ao intervalo entre -1σ e $+1\sigma$ para cada lado da média. De igual modo, 2σ para cada lado da média cobre uma área de 95,46% e uma medida de 3σ uma área de 99,73%.

Quanto mais estreita for a curva da distribuição normal, menor é a variação do processo e maior é a sua capacidade. Já uma curva mais larga representa uma menor capacidade e uma maior variação (Besunder & Super, 2012; Borrór, 2009).

Para sintetizar, as probabilidades associadas a cada Nível Sigma estão representadas na Tabela 1, como percentagem da variação e número de peças defeituosas por milhão de oportunidades.

Tabela 1: Nível Sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão de partes.

Nível Sigma	Percentagem de variação (%)	Defeitos por milhão	
		(curto prazo)	(longo prazo – <i>shift</i> de $1,5\sigma$)
$\pm 1\sigma$	68,26	317 400	697 700
$\pm 2\sigma$	95,46	45 400	608 733
$\pm 3\sigma$	99,73	2700	66 803
$\pm 4\sigma$	99,9937	63	6200
$\pm 5\sigma$	99,999943	0,57	233
$\pm 6\sigma$	99,9999998	0,002	3,4

Nota. Adaptado de Koch, Yang, & Gu (2004).

A métrica Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) ou partes por milhão (PPM⁵) são métricas utilizadas para definir a qualidade dos processos (Koch, Yang, & Gu, 2004). Compreende-se por oportunidade qualquer possibilidade de não conformidade ou não cumprimento das especificações requeridas. Quanto mais baixo o DPMO, maior é o Nível Sigma, ou seja, menos defeitos e melhor qualidade dos produtos ou serviços. Para o cálculo dos DPMO considera-se o número de defeitos, o número de unidades inspecionadas e o número total de oportunidades de ocorrência de defeitos. Na Equação 2 encontra-se a fórmula para o cálculo dos DPMO.

$$\text{DPMO} = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número total de unidades inspecionadas} * \text{Número total de oportunidades}} * 10^6 \quad (\text{Equação 2})$$

No cálculo dos PPM apenas é considerado o número de defeitos e a quantidade inspecionada. Na Equação 3 encontra-se a fórmula para o cálculo dos PPM. Quanto menor o valor dos PPM melhor é a qualidade dos produtos, pelo que o objetivo para qualquer processo é atingir o valor zero (Koch, Yang, & Gu, 2004).

$$\text{PPM} = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número total de unidades inspecionadas}} * 10^6 \quad (\text{Equação 3})$$

Tradicionalmente, uma variação no desempenho do sistema de $\pm 3\sigma$ é considerada aceitável. Neste caso, de acordo com a Tabela 1, a probabilidade de se obterem produtos conformes dentro dos limites de especificação é de 99,73%, o que corresponde a 2700 DPMO a curto prazo e a 66803 DPMO a longo prazo (Koch, Yang, & Gu, 2004).

⁵ Da expressão anglo-saxónica *Parts Per Million*

A definição de DPMO para curto e longo prazo deve-se ao facto de que, na realidade, nenhum processo é realmente estável. Ao longo do tempo, podem ocorrer perturbações que resultem no desvio da média do processo ou no aumento do desvio-padrão, ou até ambos em simultâneo (Montgomery, D., 2008). Numa análise a curto prazo, como é realizada num intervalo de tempo reduzido, causas especiais de variação podem passar despercebidas. Contudo, numa análise a longo prazo é possível estudar o efeito destas causas na variação do processo (Borror, 2009; Pugna, Negrea, & Miclea, 2016).

Dadas estas condições, o Nível Sigma considera que a média do processo pode sofrer uma variação de $1,5\sigma$ em cada direção, designada por *shift* do processo (D. C. Montgomery & Woodall, 2008), como se observa na Figura 3.

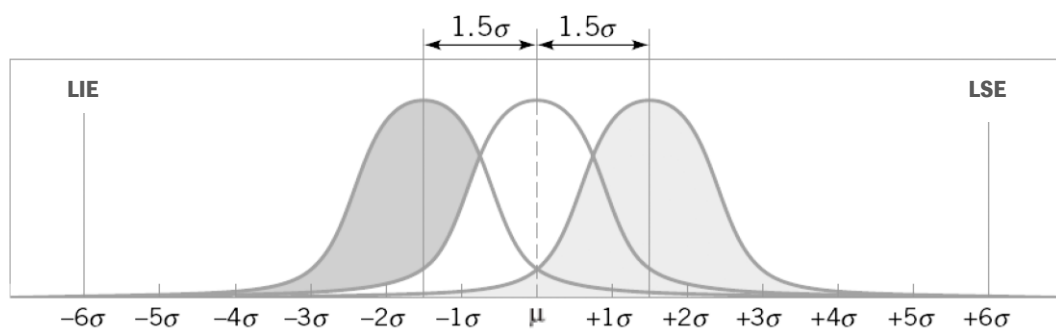


Figura 3: Distribuição normal com média desviada $\pm 1,5\sigma$ do valor alvo, μ . Adaptado de Koch, Yang, & Gu (2004).

Nota. LIE – Limite inferior de especificação; LSE – Limite superior de especificação; σ – Desvio-padrão; μ – Valor médio.

Este *shift* é utilizado para definir a qualidade sigma do processo a longo prazo, o que explica a última coluna da Tabela 1. Enquanto que os DPMO, a curto prazo, correspondem diretamente à percentagem de variação para um dado Nível Sigma, a longo prazo, estes consideram a variação de $1,5\sigma$ do valor médio. Para um Nível Sigma $\pm 3\sigma$, 66803 DPMO não corresponde ao valor de desempenho inicialmente desejado.

Consequentemente, o objetivo de desempenho de qualidade de $\pm 6\sigma$ foi definido. O conceito Motorola de desempenho Seis Sigma é reduzir a variabilidade do processo, de maneira a que os limites de especificação estejam a $\pm 6\sigma$ do valor médio do processo. O termo “Seis”, representado pelo algarismo 6, advém do grau de variação que o conceito Seis Sigma Motorola pretende alcançar (Knapp, 2015).

Assim, Seis Sigma corresponde, para um processo centrado que segue uma distribuição normal, a ocorrência de seis desvios-padrão entre a média do processo e os limites de especificação do produto (Besunder & Super, 2012). O nível de desempenho Seis Sigma requer que o processo opere de tal forma que, a longo prazo, a taxa de defeitos seja de 3,4 DPMO, o que corresponde a uma percentagem de 99,9999998% de produtos conforme as especificações (McAdam & Lafferty, 2004).

2.3.1.1. Capacidade do processo

Na metodologia Seis Sigma é possível determinar o desempenho de um processo através do nível de Qualidade Sigma. Compreende-se que quanto menor for a variabilidade, maior será a qualidade e, por sua vez, mais capaz é o processo (Breyfogle III, F. W., 2003).

Segundo McAdam & Lafferty (2004), a capacidade de um processo é definida como a probabilidade de um produto ou serviço ir ao encontro dos requisitos do cliente. Permite perceber de que forma é possível reduzir a variação de um processo e prever se o processo é capaz de operar de acordo com as especificações impostas pelo cliente.

Montgomery D. (2008) considera que a análise da capacidade de um processo mede os parâmetros funcionais das características críticas da qualidade de um produto e não do processo em si.

Matematicamente, a mensuração da capacidade de um processo baseia-se na comparação entre a variação real do mesmo e a variação desejada. Para o cálculo da capacidade, o método Seis Sigma destaca o uso de índices, nomeadamente, o índice C_p e o índice C_{pk} (McAdam & Lafferty, 2004).

A Equação 4 apresenta a representação matemática para o cálculo do índice de capacidade do processo, C_p , que permite calcular a taxa entre a variação admitida pela especificação e a variação total que existe no processo. Representa o potencial do processo, isto é, permite saber quão dentro dos limites está o mesmo (Besunder & Super, 2012).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (\text{Equação 4})$$

Caso o valor de C_p seja igual a 1, a variação do processo é igual aos limites de especificação. Um valor de C_p inferior a 1 significa que o processo não está dentro dos limites de especificação. É comum o uso do valor de referência $C_p = 1,33$, sendo que um valor compreendido entre 1 e 1,33 significa que o processo é capaz de cumprir os limites de especificação estabelecidos. Contudo, ainda assim, é imperativo um controlo sistemático do mesmo. Por fim, se $C_p > 1,33$, então o processo é totalmente capaz de cumprir as especificações estabelecidas (Besunder & Super, 2012; Koch et al., 2004; D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

O nível de desempenho Seis Sigma requer que o processo opere de tal forma que, a longo prazo, a taxa de defeitos seja de 3,4 DPMO, o que corresponde a um índice de capacidade do processo C_p igual a 2 (D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

A Equação 5 apresenta a representação matemática para o cálculo do índice de desempenho do processo, C_{pk} , que permite saber qual é o posicionamento da média do processo em relação aos limites de especificação e ao valor alvo. Caso o valor C_{pk} seja igual ou superior a 1, o processo aproxima-se do

valor alvo definido. De notar que, se a variação do processo for centrada, o valor de C_p é igual ao valor de C_{pk} .

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

2.4. Seis Sigma como Metodologia: Ciclo DMAIC

De modo a atingir o Nível Sigma ideal de 3,4 DPMO, a Motorola desenvolveu uma abordagem estruturada de melhoria dividida em cinco fases designadas por Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar, ou ciclo DMAIC (Besunder & Super, 2012).

Esta segue uma metodologia estruturada de resolução de problemas, ou seja, fornece as diretrizes que as equipas devem seguir desde a definição do problema até à implementação das propostas de melhoria (Boon Sin, Zailani, Iranmanesh, & Ramayah, 2015).

Grande parte dos projetos Seis Sigma implementados utilizam o processo DMAIC para gerir e realizar projetos de melhoria de processos. Contudo, o DMAIC não está necessariamente ligado ao Seis Sigma. É um processo generalizado que pode ser utilizado pelas organizações sem estar acoplado à implementação desta metodologia (De Mast & Lokkerbol, 2012; Uluskan, 2016).

O DMAIC é usualmente visto como uma generalização do ciclo PDCA⁶ (Planear-Fazer-Verificar-Atuar), de Walter Shewhart, que providencia um mapa referência para ajudar as organizações a perceber como integrar várias ferramentas na abordagem global de melhoria da qualidade dos processos (De Mast & Lokkerbol, 2012).

As fases da metodologia DMAIC estão ilustradas graficamente na Figura 4.

⁶ Da expressão anglo-saxónica *Plan-Do-Check-Act*

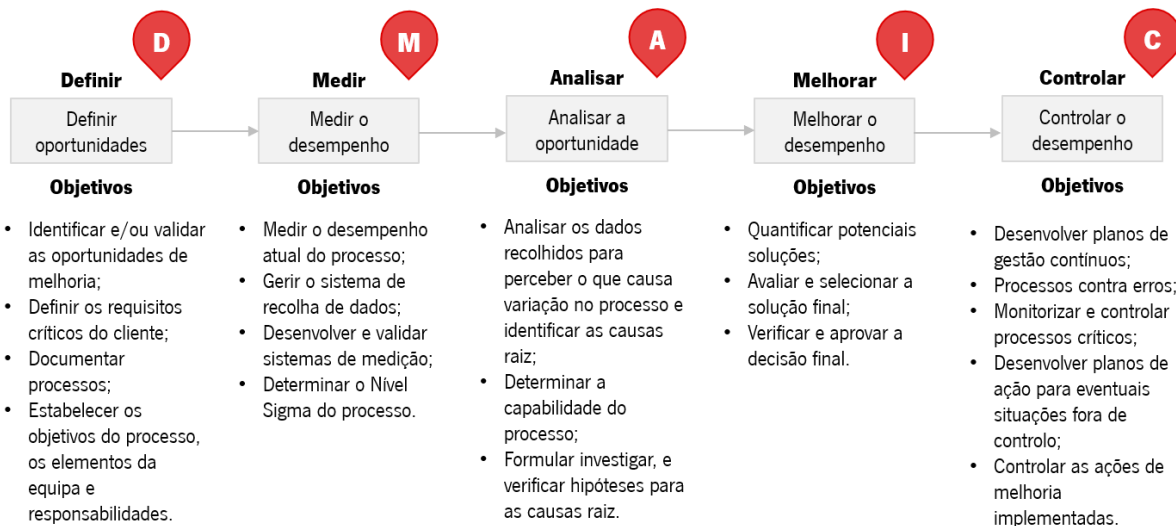


Figura 4: Ciclo DMAIC. Adaptado de D. C. Montgomery & Woodall (2008).

A estrutura do processo DMAIC incentiva os membros envolvidos a pensar criativamente nos problemas encontrados e possíveis soluções, de acordo com a definição do produto, processo ou serviço inicial (McAdam & Lafferty, 2004). Foca-se na utilização eficaz de diferentes ferramentas estatísticas e técnicas da qualidade, de modo a tornar o processo objetivo e mensurável, propor melhorias, monitorizar e controlar o processo. No final de cada fase, a equipa destacada para o projeto deve realizar reuniões para apresentar as suas conclusões aos gestores e responsáveis do projeto.

Como a metodologia DMAIC está estruturada segundo uma lógica, é fundamental avaliar o progresso do processo, o desempenho dos membros da equipa destacada, organizar e solucionar possíveis obstáculos e delinear estratégias, ou seja, confirmar se os objetivos estabelecidos para cada fase foram cumpridos. Apesar da estrutura faseada, a meio do processo é possível voltar às fases anteriores, caso seja necessário efetuar alguma alteração para benefício do resultado do projeto (De Mast & Lokkerbol, 2012; McAdam & Lafferty, 2004; D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

Um aspeto essencial para a melhoria da qualidade dos processos é a seleção do projeto. Selecionar, gerir e completar projetos com sucesso representam passos críticos para o desenvolvimento de qualquer esforço sistemático de melhoria de negócio, e não apenas em projetos Seis Sigma (Coronado & Antony, 2002; Maneesh Kumar, Antony, & Cho, 2009). A implementação de um projeto Seis Sigma implica o reconhecimento do problema em termos de custos, qualidade e satisfação do cliente e o envolvimento de toda a organização (Antony, Gijo, & Childe, 2012). Outro aspeto importante é a definição de objetivos sucintos, mensuráveis e possíveis de alcançar e ainda a definição cronológica do projeto (Tjahjono et al., 2010).

De seguida, apresentam-se as diferentes fases do ciclo DMAIC.

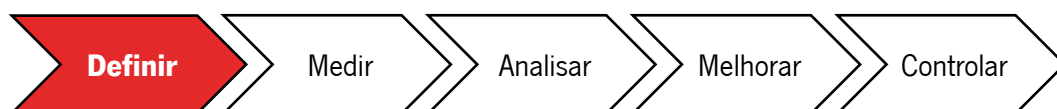
2.4.1. Fase Definir

A primeira fase de um projeto Seis Sigma, baseado no ciclo DMAIC, é a fase Definir. Esta fase consiste na definição do foco do projeto e dos objetivos de melhoria expectáveis, em termos dos requisitos e expectativas do cliente, e no desenvolvimento de um processo capaz de cumprir esses requisitos (M. Kumar et al., 2007).

Os principais objetivos desta fase são a definição do problema fundamental, a definição do foco do projeto, a identificação da voz do cliente, o mapeamento do processo (identificação das entradas e saídas do processo), a seleção da equipa de trabalho. Mais ainda, esta fase contempla a determinação da viabilidade e do impacto do projeto, em termos de custos *versus* benefícios, a estipulação das metas a atingir e a identificação de toda a informação e requisitos necessários para o desenvolvimento do mesmo (De Mast & Lokkerbol, 2012; Jirasukprasert, Garza-Reyes, Kumar, & Lim, 2015).

Nesta etapa é feita a definição cronológica do projeto e a definição da equipa de trabalho e respetivas funções, de acordo com a área em que o projeto vai ser desenvolvido. Com o objetivo de avaliar qual o ponto da situação da fase Definir, a equipa destacada para seu desenvolvimento deve elaborar um plano de ação para rever e responder a certas questões, de modo a prosseguir para a fase seguinte (Uluskan, 2016).

Para a realização destes passos procede-se à implementação de algumas ferramentas e técnicas. Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Figura 5.



Ferramentas e técnicas:

- *Project Charter*;
- Diagrama SIPOC;
- Fluxograma do processo;
- Análise dos requisitos de cliente;
- 5W2H;
- Análise exploratória de dados;
- *Benchmarking*;
- Análise custo *versus* benefício;
- Análise estratificada do problema;
- Desdobramento da Função Qualidade;
- Entre outras.

Figura 5: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Definir. Adaptado de Besunder & Super (2012).

A declaração do problema e a definição do âmbito e das fronteiras do projeto fazem parte da ferramenta *Project Charter* (Besunder & Super, 2012). Esta inclui ainda os benefícios fundamentais, os recursos requeridos, a definição da equipa e respetivas responsabilidades, e ainda a identificação dos resultados do projeto.

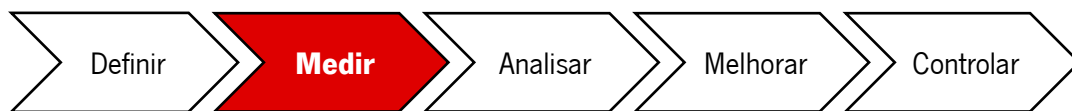
De forma a definir as fronteiras do projeto e identificar a localização do problema é utilizada a ferramenta SIPOC⁷. Permite identificar as atividades-chave do processo, as saídas do processo e quais os clientes, além das entradas e dos respetivos fornecedores (M. Kumar et al., 2007).

2.4.2. Fase Medir

O propósito da fase Medir é avaliar e perceber o fluxo de passos do processo. Esta fase envolve a recolha de dados do mesmo em tempo real, de modo a medir o desempenho atual (Kuvvetli & Firuzan, 2019). É importante para identificar as potenciais causas do problema, através das variáveis de entrada e de saída de processos-chave, e quais as áreas problemáticas de foco (M. Kumar, Antony, Singh, Tiwari, & Perry, 2006). Consiste em estabelecer métricas fiáveis de modo a monitorizar o progresso rumo ao foco principal.

Os objetivos desta fase são a estratificação do problema, a identificação das características críticas para a qualidade, o estabelecimento de um sistema de medição, a comparação do desempenho do processo através de *benchmarking*, entre outros.

Para a realização destes passos procede-se à implementação de algumas ferramentas e técnicas. Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Figura 6.



Ferramentas e técnicas:

- Plano de recolha de dados;
- Mapa do processo;
- *Deployment Diagram*;
- Análise do sistema de medição;
- Análise dos potenciais problemas;
- Diagrama *Fishbone*;
- Análise da capacidade do processo;
- Estudos de repetibilidade e reprodutibilidade;
- Gráficos de controlo;
- Diagrama de Pareto;
- Diagrama *Boxplot*;
- Entre outras.

Figura 6: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Medir. Adaptado de Besunder & Super (2012).

2.4.3. Fase Analisar

O principal objetivo desta fase é a utilização dos dados recolhidos na fase anterior de forma a decompor o problema e identificar as diferentes fontes de variabilidade (D. C. Montgomery & Woodall, 2008). Através desta identificação e localização é possível determinar um conjunto de potenciais causas e determinar as relações causa-efeito que estas têm no processo, através do desenvolvimento de

⁷ Da expressão anglo-saxónica *Suppliers – Inputs – Process – Outputs – Customers*

hipóteses (Uluskan, 2016). Estas hipóteses devem ser suportadas, se possível, com o recurso a dados, de forma a sustentar a identificação posterior das causas-raiz do problema.

Para a realização destes passos procede-se à implementação de algumas ferramentas e técnicas. Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Figura 7.



Ferramentas e técnicas:

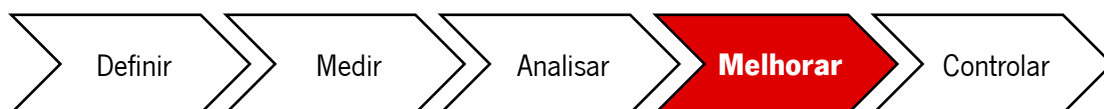
- Diagrama causa-efeito;
 - Matriz XY;
 - Análise dos 5 Porquês;
 - Teste de hipóteses;
 - Análise da variação;
 - Análise das causas-raiz;
 - Análise de regressão;
 - Análise FMEA;
 - Controlo estatístico do processo;
 - Diagrama *Mind Map*.
- Entre outras.

Figura 7: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Analisar. Adaptado de Besunder & Super (2012).

2.4.4. Fase Melhorar

Após a realização das etapas anteriores é possível identificar, implementar e testar potenciais soluções, de modo a eliminar as causas identificadas (D. C. Montgomery & Woodall, 2008). As questões a responder nesta fase passam pela identificação dos critérios que serão utilizados para avaliar as potenciais soluções, a definição do plano de teste dessas soluções, avaliar quais os riscos e o impacto da implementação e identificar os recursos necessários (capital, esforço, tempo) para executar as soluções (Jirasukprasert et al., 2015).

Para a realização destes passos procede-se à implementação de algumas ferramentas e técnicas. Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Figura 8.



Ferramentas e técnicas:

- Análise custo/benefício;
 - Planeamento de Experiências;
 - *Brainstorming*;
 - Método 5S;
 - *Kaizen Blitz*;
 - Análise FMEA;
 - Análise dos *Stakeholders*;
 - Diagrama de Afinidade;
- Entre outras.

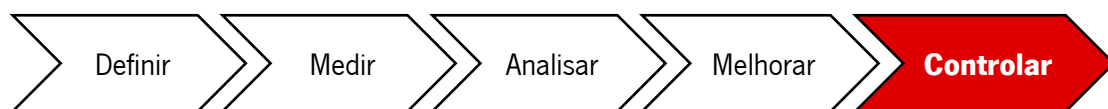
Figura 8: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Melhorar. Adaptado de Besunder & Super (2012).

2.4.5. Fase Controlar

A fase de controlo é uma parte crítica do ciclo DMAIC, uma vez que permite garantir que as melhorias e as soluções implementadas serão parte integrante do futuro e que não são esquecidas ou subvalorizadas (M. Kumar et al., 2007).

Esta fase tem como objetivo definir mecanismos de controlo e de medição, manter as melhorias alcançadas e ainda desenvolver, documentar e implementar um plano de monitorização e padronização do processo, de modo a evitar a reincidência do problema. Esta etapa envolve a possibilidade de testar a metodologia noutros processos na empresa, de forma a aproveitar o conhecimento adquirido (D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

Para a realização destes passos procede-se à implementação de algumas ferramentas e técnicas. Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Figura 9.



Ferramentas e técnicas:

- Plano de controlo;
 - Monitorização e padronização dos processos;
 - Plano de implementação;
 - Controlo estatístico do processo;
 - Manutenção preventiva;
- Entre outras.

Figura 9: Técnicas e ferramentas geralmente utilizadas na Fase Controlar. Adaptado de Besunder & Super (2012).

2.5. Responsabilidade dos intervenientes na metodologia Seis Sigma

A gestão de projetos Seis Sigma numa organização requer a constituição de uma equipa multidisciplinar representada por elementos com diferentes papéis e responsabilidades, consoante o grau de conhecimento da metodologia e da área de atuação do projeto, de forma a assegurar a implementação da metodologia na organização (D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

Segundo Coronado & Antony (2002), Voehl, Harrington, Mignosa, & Charron (2013) e York et al., (2003), os principais intervenientes num projeto Seis Sigma são:

Champion: Corresponde ao nível hierárquico mais elevado. Estes elementos são responsáveis por remover barreiras, por implementar a mudança, por desenvolver programas de incentivo. São ainda responsáveis por aprovar ou rejeitar recomendações de melhoria, por traduzir a visão, missão, metas e

métricas da organização, com o intuito de identificar projetos-chave e criar um plano de implementação, e por atribuir os recursos necessários para assegurar o sucesso do projeto.

Master Black Belts: São elementos com formação completa sobre a metodologia Seis Sigma. Dedicam-se à gestão da qualidade e ao desenvolvimento das principais métricas, ao apoio na seleção de projetos que se adequam à estratégia da organização e à melhoria da eficiência de execução do projeto. São responsáveis por formular estratégias com o gestor de topo e por partilham o seu conhecimento sobre o Seis Sigma, através da formação e treino dos elementos *Green Belt*, de modo a assegurar que estes são capazes de aplicar as técnicas e ferramentas adequadamente. Podem ainda participar em vários projetos em simultâneo.

Black Belts: Estes elementos são selecionados tendo em conta os seus níveis de experiência e conhecimento do processo de negócio, o seu conhecimento da metodologia Seis Sigma e as suas capacidades de liderança. Devem conhecer e saber utilizar as ferramentas estatísticas que são úteis no processo de tomada de decisão, ser capazes de comunicar com a gestão de topo em várias questões e cooperar com eles para superar as barreiras e facilitar a implementação. Os *Black Belts* são considerados agentes de mudança.

Green Belts: São elementos treinados em Seis Sigma dedicados a meio termo a um projeto de cada vez, nos quais desenvolvem tarefas operacionais e auxiliam o elemento *Black Belt* na implementação do projeto.

2.6. Fatores críticos para o sucesso de Projetos Seis Sigma

Os fatores críticos de sucesso são essenciais para o êxito de qualquer organização, no sentido em que, se os objetivos associados a esses fatores não forem atingidos, o projeto não será bem sucedido (Marzagão & Carvalho, 2016). No contexto de Projetos Seis Sigma, estes fatores representam o ingrediente essencial para o sucesso (Maneesh Kumar et al., 2009).

Maneesh Kumar et al. (2009), Laureani & Antony (2012) e Antony, (2006) identificaram os seguintes fatores críticos para o sucesso da implementação de um Projeto Seis Sigma:

Compromisso e envolvimento da gestão de topo: A implementação de projetos Seis Sigma depende do compromisso e do envolvimento da gestão de topo, de forma a suportar todos os participantes e de modo a obter os recursos, o tempo e o dinheiro necessários para a realização do respetivo projeto.

Mudança cultural: A implementação de um projeto Seis Sigma envolve uma mudança na estrutura da organização. Assim, antes da sua implementação, as organizações devem compreender os desafios

associados à mudança cultural, tal como, a resistência dos funcionários, gestores de topo e clientes. A implementação da metodologia deve ser capaz de proporcionar um ambiente seguro, de potenciar as capacidades dos colaboradores e permitir que estes tomem as suas próprias decisões, consoante as responsabilidades atribuídas.

Compreensão das ferramentas e técnicas da metodologia Seis Sigma: A compreensão das ferramentas e técnicas é importante no sentido em que os colaboradores envolvidos no projeto devem ser capazes de adotar e desenvolver a metodologia na organização. Uma vez que não existe um padrão para a implementação da metodologia, os intervenientes devem ter a capacidade de decidir quais as técnicas e ferramentas mais adequadas para o projeto selecionado.

Alinhamento do projeto com a estratégia organizacional: Em cada projeto Seis Sigma deve existir uma ligação com a estratégia da organização. Estes devem ser projetados para a melhoria dos produtos e processos, onde o impacto financeiro e operacional é claro. Esta metodologia não deve ser vista como uma atividade isolada, apenas focada na implementação de técnicas e ferramentas de melhoria da qualidade.

Alinhamento do projeto com os clientes: O Seis Sigma deve identificar o que é importante para a satisfação do cliente, de a forma estar de acordo com os seus requisitos e expectativas.

Alinhamento do projeto com os recursos humanos: Os objetivos do projeto Seis Sigma devem ser adotados individualmente. O comportamento e o compromisso dos recursos humanos ao longo do tempo podem mudar o curso do projeto e ter efeitos no resultado esperado.

Formação e treino dos membros da equipa: Permite que os colaboradores envolvidos possam executar melhor as suas funções, com mais segurança, ao aplicarem as técnicas Seis Sigma, suportados pelos conhecimentos adquiridos.

Gestão das *skills* do projeto: Os líderes do projeto devem ter uma base sólida na gestão de projetos. Os elementos chave para a gestão de projetos são: tempo, custos e qualidade. A definição destes elementos permitirá que a organização tenha o foco e recursos necessários para conseguir apresentar resultados e melhorias que vão de encontro às necessidades e requisitos dos clientes, num curto espaço de tempo, a um custo reduzido.

Seleção, priorização e acompanhamento do projeto: A seleção e a prioridade dos projetos Seis Sigma é definida essencialmente no sentido de maximizar os benefícios financeiros para a organização. Os projetos devem ser selecionados de acordo com as metas e objetivos de negócio da organização, e devem conter a definição dos limites de atuação, para que toda a equipa esteja de acordo com o foco e o rumo a ser seguido.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O presente projeto de dissertação foi desenvolvido na Amtrol-Alfa, S.A. Metalomecânica, S.A.

Neste capítulo apresenta-se informação relevante referente à empresa, como a sua história, as diferentes unidades fabris e as distintas famílias de produtos.

3.1. A Amtrol-Alfa, S.A.

A Amtrol-Alfa, S.A. é uma empresa do setor da metalomecânica, direcionada para a conceção, produção e comercialização de garrafas de aço soldadas para GPL, gases refrigerantes e gases técnicos. Destaca-se não só pela qualidade, grande capacidade de produção e curtos prazos de entrega, mas também pela inovação. A empresa aposta no estudo e na implementação de novas tecnologias e materiais, com o fim de conseguir produzir garrafas com um elevado desempenho e superar as expectativas dos seus clientes.

Na Figura 10 é possível observar o mais recente logótipo da empresa. Esta está situada no Lugar de Pontilhões, freguesia de Brito, concelho de Guimarães.



Figura 10: Logótipo da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

A empresa iniciou a sua atividade em 1962, com a denominação social Petróleo Mecânica Alfa, S.A., dedicando-se à produção de bombas auto-medidoras de combustíveis líquidos Alfa-Schwelm.

Em 1990, a Comanor (Companhia de Manufaturas Metálicas do Norte) adquire a Petróleo Mecânica Alfa, criando-se assim a maior produtora nacional de garrafas de gás, a Alfa-Comanor.

Em 1997, o grupo Alfa-Comanor foi adquirido pela empresa norte americana Amtrol Incorporated, passando a designar-se, a partir dessa data, por Amtrol-Alfa, S.A. Em 1998 arrancou com uma nova unidade fabril dedicada ao fabrico de garrafas descartáveis para gases técnicos. Em 2005 abriu uma nova unidade dedicada ao fabrico de reservatórios sob pressão com enrolamento filamentar de materiais compósitos termoplásticos, as garrafas *Comet*. Em 2007 desenvolveram-se as garrafas *Extra-Light* (também conhecidas por *X-Lite*) e em 2011 iniciou o fabrico de um produto inovador, as garrafas de alta pressão. Em 2017, o grupo Amtrol Incorporated foi adquirido pelo grupo norte americano Worthington

Industries, líder mundial no processamento diversificado de metais. Entre outras competências, a Worthington Industries é o principal transformador de aço com valor acrescentado da América do Norte e líder global na produção de reservatórios de pressão para gás industrial e aplicações criogênicas, armazenamento de gás natural comprimido (CNG⁸) e gás natural liquefeito (LNG⁹). Destaca-se também no transporte e armazenamento criogênico, tanques de combustível alternativo, equipamentos associados à utilização de gás e petróleo, e produtos de consumo incluindo tochas manuais e acessórios, e kits de hélio para balões.

A Política de Gestão e a Política da Qualidade da empresa encontram-se no [Anexo I](#). No [Anexo II](#), encontra-se explicada a estrutura organizacional da empresa.

3.2. Complexo Industrial

A empresa está instalada numa área de 79.194 m², dispendo de uma área coberta de 29.705 m², distribuída por cinco pavilhões fabris, um armazém de matérias-primas, um edifício para serviços administrativos e técnicos e dois edifícios de âmbito social, onde funcionam a cantina, os serviços de saúde e sala de formação.

A Amtrol-Alfa, S.A. também possui uma estação de tratamento de águas residuais e um local onde armazena os resíduos químicos resultantes do processo de produção, para posterior recolha por uma empresa competente. Na Figura 11 é possível observar as instalações da Amtrol-Alfa, S.A.



Figura 11: Instalações da Amtrol-Alfa, S.A., Brito, Portugal. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

Os cinco pavilhões fabris existentes contam, ao todo, com seis unidades fabris. Estas unidades dedicam-se à produção de diferentes produtos, que a empresa utiliza e consome internamente. Possui um sistema de alimentação interno, isto é, os produtos produzidos numa das fábricas são utilizados para alimentar a produção nas restantes.

⁸ Da expressão anglo-saxónica *Compressed Natural Gas*

⁹ Da expressão anglo-saxónica *Liquefied Natural Gas*

Cada fábrica é responsável pela produção de diferentes tipos de produtos. A planta geral da empresa é apresentada na Figura 12.

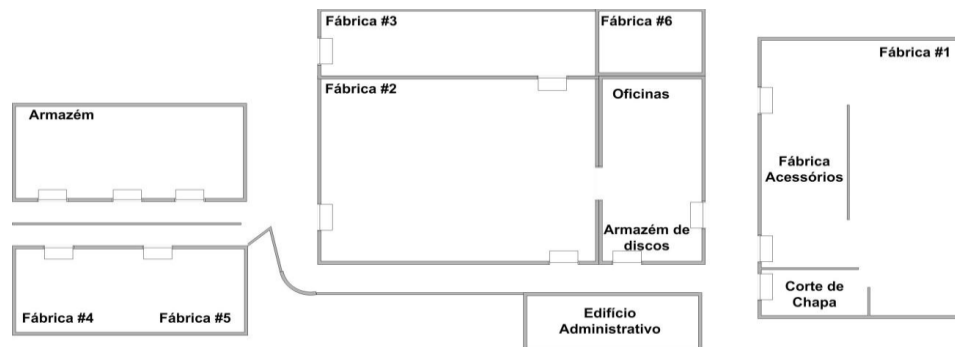


Figura 12: Planta geral da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

De seguida apresenta-se cada fábrica:

Fábrica 1: Processo Corte de Chapa; Fabrico de Acessórios; Linha de Montagem de garrafas de três peças; Linha de Montagem de garrafas de duas peças; Linha de Acabamento.

Fábrica 2: Linha de Montagem e Linha de Acabamento de garrafas de duas peças;

Fábrica 3: Linha de Montagem e Linha de Acabamento de garrafas descartáveis; Fabrico de *liner's* para a Fábrica 4;

Fábrica 4: Linha de Enrolamento e Linha de Acabamento de garrafas *Comet*;

Fábrica 5: Linha de Enrolamento e Linha de Acabamento de garrafas de alta pressão;

Fábrica 6: Linha de Montagem e Acabamento de garrafas *X-Lite*; Fabrico de *liner's* para as Fábricas 5 e 6.

3.3. Família de produtos Amtrol-Alfa, S.A.

A Amtrol-Alfa, S.A. segue uma filosofia baseada na constante inovação, focada na conceção de produtos inovadores, diferenciados e personalizados, com o objetivo de satisfazer as necessidades e superar as expectativas dos seus clientes.

De uma maneira resumida, a gama de produtos da Amtrol-Alfa, S.A. pode ser dividida em cinco tipos, diferenciando-se, entre eles, pela sua geometria, finalidade e composição:

1. Garrafas retornáveis ou garrafas tradicionais;
2. Garrafas descartáveis;
3. Garrafas *Comet*;
4. Garrafas de alta pressão;
5. Garrafas *X-Lite*.

De seguida apresenta-se cada tipo de produto produzido na Amtrol-Alfa, S.A.

3.3.1. Garrafas retornáveis ou tradicionais

As garrafas retornáveis, também conhecidas como garrafas tradicionais, são garrafas de aço soldadas transportáveis e recarregáveis. São as garrafas de utilização mais comum e podem ter uma capacidade compreendida entre três e cento e trinta e quatro litros.

Estas podem ser divididas em dois tipos: garrafas retornáveis de duas peças (Figura 13 – (a)) e garrafas retornáveis de três peças (Figura 13 – (b)).



Figura 13: Modelos de garrafas de gás retornáveis. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

3.3.2. Garrafas descartáveis

As garrafas soldadas de aço descartáveis permitem o armazenamento de gases refrigerantes, hélio e material adesivo. Têm inúmeras utilizações diferentes, tais como, o enchimento de balões de hélio, o carregamento de ar condicionado, equipamentos médicos, entre outros.

Tal como o nome indica, este tipo de garrafas só pode ser utilizado uma vez. Estas são equipadas com um tipo de válvula específica, munidas de um mecanismo preparado para não permitir o reenchimento, que preserva ao mesmo tempo a integridade do produto. Um disco de segurança é soldado à coquilha superior, como mecanismo adicional de segurança, que abre em caso de aumento de pressão, o que evita a rotura da garrafa.

Na Figura 14 é possível observar um exemplo de uma garrafa de gás descartável, fabricada para armazenar gás hélio, para o enchimento de balões.



Figura 14: Modelo de garrafa de gás descartável. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

3.3.3. Garrafas *Comet*

As garrafas de aço *Comet*, abreviatura de *Composite Metal Cylinder*, são garrafas híbridas, desenvolvidas com o objetivo de reduzir o seu peso sem comprometer a sua capacidade, resistência e segurança. À família deste tipo de garrafas pertence o modelo Pluma, da Galp Gás (Figura 15 – (a)), e o modelo K6, da Repsol (Figura 15 – (b)). O corpo deste tipo de garrafas é equivalente ao das garrafas tradicionais, mas produzido com um aço mais fino.



(a) Modelo Pluma, da Galp Gás



(b) Modelo K6, da Repsol

Figura 15: Modelos de garrafas de gás *Comet*. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

O conceito de garrafa híbrida advém do facto de o corpo ser enrolado através de um processo automatizado em fibra de vidro. Esta compartilha com o *liner* metálico a resistência da garrafa e reduz o peso da mesma. Este tipo de fibra compósita apresenta uma baixa condutividade térmica, o que se reflete nas perdas térmicas reduzidas, funcionando como um isolante térmico.

Posteriormente, o corpo da garrafa enrolado é inserido no interior de um invólucro de plástico de duas partes, designado por *jacket*, em que a parte inferior contém um *padding* de amortecimento no seu

interior, para um melhor acondicionamento (Vieira, Tenreiro, & Oliveira, 2010). Na Figura 16 é possível observar todos os componentes de uma garrafa *Comet*.

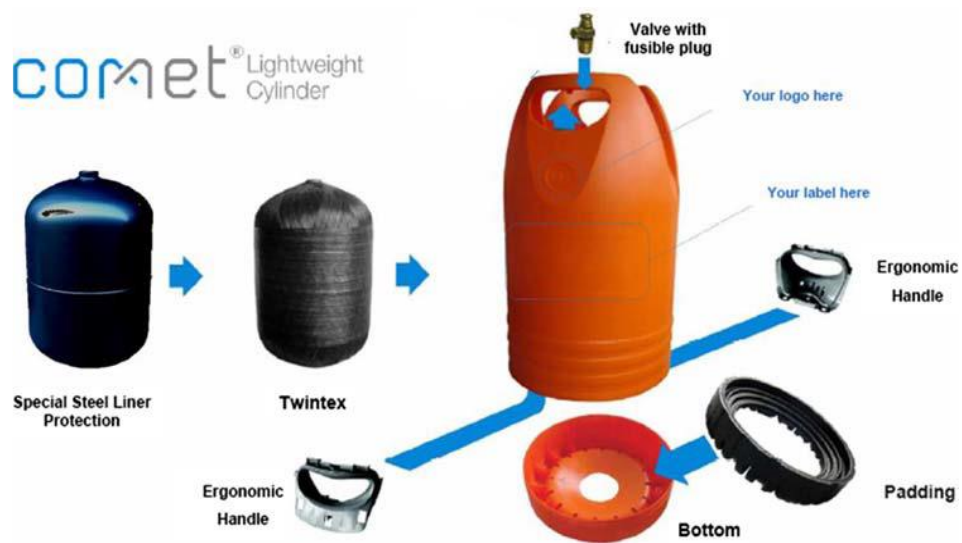


Figura 16: Componentes de um modelo de garrafa *Comet*. Adaptado de Vieira et al. (2010).

Ao contrário das garrafas tradicionais, as *Comet* possuem um *chip* eletrónico, designado por *Tag*, onde é registada toda a informação relevante sobre a garrafa, tal como o número de série, a tara da garrafa com e sem válvula, o nome do fabricante, a data de requalificação, a data de fabrico da garrafa e da válvula, entre outras informações.

3.3.4. Garrafas de Alta Pressão

As garrafas de alta pressão, representadas na Figura 17, são preparadas para o transporte de gases industriais, normalmente com pressão de trabalho de 300 bar, comparativamente às garrafas tradicionais, sujeitas a valores próximos dos 20 bar.



Figura 17: Modelo de garrafa de gás de alta pressão - Modelo *Genie*. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

O produto representado na Figura 17, designado por *Genie*, foi desenvolvido em parceria com a empresa Linde AG, líder no mercado de gases industriais. É composto por um corpo de duas peças enrolado em fibra de carbono, através de um processo automático. A fibra de carbono confere resistência à garrafa e estabilidade dimensional.

Posteriormente, o corpo enrolado é introduzido num invólucro de plástico próprio, com dois *padding*s para um melhor acondicionamento.

Um conceito inovador ligado a este produto é a instalação de um ecrã eletrónico chamado de *Digital Intelligence Unit*, como é apresentado na Figura 18. Este ecrã permite o acesso do utilizador a informações variadas sobre a garrafa, como o tipo de gás que contém, a pressão de trabalho, para além de avisar o utilizador quando a quantidade de gás na garrafa atinge os 25% e 10%, através de um aviso sonoro e uma luz intermitente.



Figura 18: Ecrã *Digital Intelligence Unit*. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

3.3.5. Garrafas *X-Lite*

As garrafas *Extra-Light*, também designadas por *X-Lite*, são garrafas extraleves, com cerca de metade do peso de uma garrafa tradicional, produzidas sem comprometer a capacidade das mesmas (Figura 19).



Figura 19: Modelo de garrafa de gás *X-Lite*. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

Esta leveza é conseguida através da utilização de um aço de elevado limite elástico que, por sua vez, é mais resistente, com uma espessura de disco de chapa muito inferior (mais ou menos de 1 mm) em comparação com as garrafas tradicionais, incorporando um enrolamento filamentar de materiais compósitos termoendurecíveis.

A gola é feita de um polímero e é moldada de forma a facilitar a sua utilização. No entanto, tem de ser montada uma gola de metal para permitir o encaixe e a fixação da gola de plástico ao corpo da garrafa. Este tipo de asas são ergonómicas e não escorregadias, desenvolvidas para proporcionar conforto e segurança ao utilizador. A válvula deste tipo de garrafas contém um mecanismo de segurança, que liberta pressão quando a pressão interna atinge uma determinada referência.

3.4. Mercado

Com mais de 110 milhões de garrafas fabricadas e com mais 800 modelos diferentes, a Amtrol-Alfa, S.A., é a maior produtora da Europa e a maior exportadora do mundo de garrafas de aço para gases liquefeitos, técnicos e refrigerantes, estando presente em todos os continentes. Exporta para mais de 100 países, com especial destaque para os da Europa e da África (Figura 20).

Dos maiores clientes da Amtrol destacam-se marcas conceituadas, tais como, a Repsol (Portugal/Espanha/França), a Cepsa (Espanha), o Grupo Linde AG, a Sonagás (Angola), a Galp (Espanha/Portugal), a Disa (Espanha) e a Calor (Reino Unido/Irlanda/Polónia).



Figura 20: Mercado de atuação da Amtrol-Alfa, S.A. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

4. PROJETO DE MELHORIA SEIS SIGMA

Neste capítulo é apresentado o projeto de melhoria Seis Sigma selecionado, estruturado segundo a metodologia DMAIC, implementado na Amtrol-Alfa, S.A., no processo de Montagem e Aperto da Válvula. São apresentadas as diferentes fases, como a definição do problema, o mapeamento do processo, a análise da situação atual, as propostas de melhoria e a análise da eficácia das soluções implementadas.

4.1. Fase Definir

A fase Definir do ciclo DMAIC foca-se na seleção e definição do projeto a desenvolver. Assim, em conjunto com a Diretora do Departamento da Qualidade da Amtrol-Alfa, S.A., Sandrina Matos, foi possível entender as necessidades da empresa e selecionar um projeto interessante para ambas as partes.

A análise direcionou-se para o estudo da variação do binário de aperto da válvula, devido à diminuição do mesmo verificada em garrafas de lotes produzidos para dois clientes Amtrol-Alfa, S.A., projetados com diferentes tipos de rosca. Esta diminuição foi detetada, ainda na área de produção, 48 horas após a conclusão do processo de fabrico. Foram registados valores abaixo do limite inferior de especificação, ou seja, valores não conformes com os requisitos impostos pelo cliente.

Os lotes em questão representam o fabrico de dois modelos de garrafa com diferentes tipos de rosca, o Modelo A e o Modelo B, para o Cliente A e o Cliente B, respetivamente. Dentro da gama de produtos da Amtrol-Alfa, S.A., ambos os modelos são do tipo Garrafas Retornáveis – o Modelo A é do tipo retornável de três peças, com tipo de rosca 25E, fabricado na Fábrica 1; o Modelo B é do tipo retornável de duas peças, com tipo de rosca $\frac{3}{4}$ 14'' NGT, fabricado na Fábrica 2. Dos componentes que constituem este tipo de produto, o estudo focou-se nos componentes bolacha¹⁰ e válvula.

A equipa do projeto é constituída pelo Líder de Equipa, Beatriz Pereira (autor), pela Diretora do Departamento da Qualidade, Sandrina Matos; pela responsável do Departamento de Operações, Carla Aguiar; pelo responsável do Laboratório de Metrologia e Ensaios, Joaquim Jorge; e pelo Controlador de Qualidade da Linha de Acabamento da Fábrica 1, Hélder Caldas.

Dentro do complexo industrial da Amtrol-Alfa, S.A., o projeto decorreu nas Fábricas 1 e 2 e no Laboratório de Metrologia e Ensaios, localizado no edifício Administrativo. Contou com o principal envolvimento do Departamento da Qualidade, em parceria com os Departamentos de Fabricação, de Engenharia de Processo, de Engenharia de Produto, de Aprovisionamentos e de Marketing e Vendas.

¹⁰ Componente que permite o acoplamento da válvula à garrafa.

De entre as expectativas definidas, a equipa considerou a definição dos parâmetros ótimos para o processo de Montagem e Aperto da Válvula e o desenvolvimento de medidas preventivas como principais focos, visando a redução da ocorrência do problema em estudo. Mais ainda, pretendeu-se também atingir um processo mais estável e reproduzível, com resultados transversais aos restantes produtos projetados com os mesmos tipos de rosca, reduzir a quantidade de unidades retrabalhadas e os custos da não qualidade associados.

O presente estudo não representa um projeto típico Seis Sigma (estável e sistemático), uma vez que as Fábricas 1 e 2 não se restringem ao fabrico dos modelos em estudo mas a uma enorme variedade de modelos de garrafas. Apesar disso, seguiu-se o ciclo DMAIC, devido a ser uma metodologia de melhoria contínua bem estruturada e organizada que utiliza técnicas e ferramentas estatísticas para reduzir a variabilidade e os desperdícios associados aos processos (D. C. Montgomery & Woodall, 2008).

Na Figura 21 é apresentado o *Project Charter*.

Project Charter

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Problem Statement	A empresa observou uma diminuição do binário de aperto, para valores inferiores ao especificado, em lotes de dois modelos de garrafas retornáveis projetados com diferentes tipos de rosca. Esta diminuição foi detetada 48 horas após a conclusão do fabrico, ainda na área de produção.
--------------------------	---

Business Case	A diminuição do binário é um problema quando o valor obtido da medição com chave durante o Processo Validação do Binário é abaixo do limite inferior de especificação (LIE), que se traduz numa não conformidade, segundo o requisito imposto pelo cliente e pela regulamentação normativa aplicada. Esta diminuição pode causar outros problemas como: (i) o desaperto da válvula; (ii) a existência de fuga; (iii) a insatisfação do cliente; (iv) custos da não qualidade, associada ao retrabalho das unidades; entre outros. Deste modo, adotou-se o método DMAIC da metodologia Seis Sigma, aplicado ao processo de Montagem e Aperto da Válvula, com o intuito de compreender e colmatar a problemática em estudo.
----------------------	--

Project Scope	<i>No âmbito:</i> Binário de aperto; Válvula, Bolacha; Perfil de rosca 25E e ¾ 14" NGT; Materiais Vedantes (Massa Nural 14 e Fita Teflon); Garrafa Retornável; Processos: (i) Limpeza de Rosca, (ii) Montagem e Aperto da Válvula, (iii) Controlo de Qualidade (Ensaio Fugacidade e Validação do Binário); Fábricas 1 e 2. <i>Fora do âmbito:</i> Restantes componentes de uma garrafa retornável; Restante gama de produtos Amtrol-Alfa, S.A.; Linha de Montagem; Fábricas 3, 4, 5 e 6.
----------------------	---

Goals Statement	Os principais objetivos deste projeto são: (i) identificar as variáveis com impacto negativo no binário; (ii) definir dos parâmetros ótimos para o Processo de Montagem e Aperto da Válvula; (iii) desenvolver ações de melhoria e de medidas preventivas, que visem a redução da ocorrência desta situação. Pretende-se também atingir um processo mais estável e reproduzível com resultados à restante família de produtos, projetados com os mesmos perfis de rosca. Mais ainda, a equipa estipulou como objetivo que, finalizado o projeto, o processo opere a um Nível Sigma igual ou superior a 4. É do interesse da equipa que o número de defeitos seja reduzido para zero, de modo a garantir que o lote cumpre com os requisitos legais e de cliente impostos.
------------------------	--

Leveraging opportunities	<ul style="list-style-type: none"> - Planos de processo de fabrico dos modelos em estudo; - Planos de processo de fabrico de modelos semelhantes, com os mesmos perfis de rosca; - Relatórios de controlo de produto dos modelos em estudo; - Relatórios de controlo de produto de outros modelos semelhantes, com os mesmos perfis de rosca; - Instruções específicas, aplicadas aos processos em estudo; - Normas legais; - Fichas técnicas dos produtos.
---------------------------------	--

Deliverables	<ul style="list-style-type: none"> - Propostas de melhoria; - Combinação ótima dos fatores a ser considerados no Processo de Montagem e Aperto da Válvula; - Organização de ações de sensibilização.
---------------------	---

Timeline		Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar
	<i>Início</i>	Janeiro	Fevereiro	Março	Maio	Agosto
	<i>Fim</i>	Fevereiro	Março	Maio	Agosto	Setembro

Project Team	Nome	Departamento	Papel	Compromisso
	Beatriz Pereira	QA - Qualidade e Ambiente	<i>Leader</i>	Alto
	Sandrina Matos	QA - Qualidade e Ambiente	<i>Project Sponsor</i>	Médio
	Carla Aguiar	OPER - Operações	<i>Executive Sponsor</i>	Médio
	Joaquim Oliveira	QA - Qualidade e Ambiente	<i>Support</i>	Baixo
Hélder Caldas	QA - Qualidade e Ambiente	<i>Process Owner</i>	Baixo	

Figura 21: Project Charter. Adaptação própria.

4.1.1. Descrição do produto: Garrafa retornável e seus componentes

Nas fábricas onde decorreu o projeto que deu origem a esta dissertação, Fábrica 1 e Fábrica 2, a produção de garrafas de gás restringe-se a garrafas retornáveis de três e de duas peças, para GPL, gases técnicos e gases refrigerantes.

Uma garrafa de gás retornável é uma garrafa de aço soldada, transportável e recarregável. Esta é constituída por dois elementos principais – *liner* e bolacha – e por três acessórios – válvula, gola e pé. A Figura 22 identifica os diferentes componentes de uma garrafa retornável, segundo a terminologia utilizada na empresa, baseada na Norma ISO 10286 (2015): *Gas Cylinders – Terminology*.

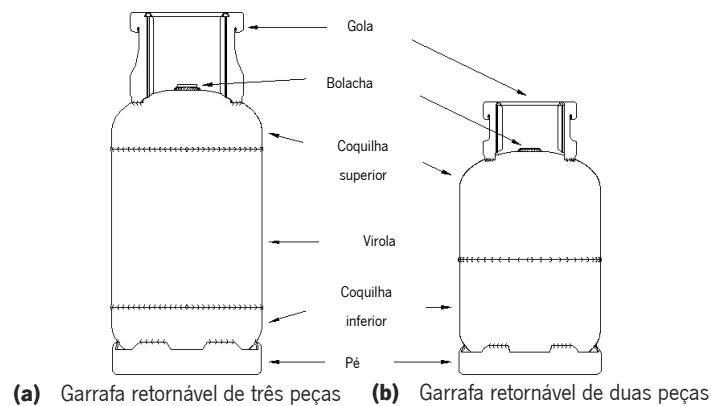


Figura 22: Componentes de uma garrafa de gás retornável de três e duas peças. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

A Norma ISO 10286 (2015) especifica a terminologia *standard* utilizada em garrafas de gás transportáveis de produtos perigosos, segundo a regulamentação definida pelo UN Model Regulations.

Identificados os componentes, seguem-se as definições de cada um:

Gola: acessório soldado à coquilha superior; tem como funções servir de pega para o transporte da garrafa e proteger a válvula contra danos.

Bolacha: acessório soldado à coquilha superior; é o elemento utilizado como elo entre a válvula e a garrafa, sendo o interior da válvula roscado e cujo perfil varia consoante a aplicação (Figura 23).

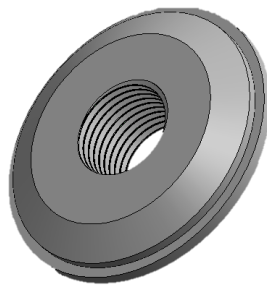


Figura 23: Exemplo de um modelo de uma bolacha. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

Liner: corpo da garrafa; pode ser constituído por duas ou por três peças, consoante a capacidade para a qual a garrafa é projetada; um corpo de duas peças é constituído por duas coquilhas – superior e inferior; um corpo de três peças é constituído por duas coquilhas e pela virola.

Pé: acessório soldado à coquilha inferior; tem como função dar estabilidade à garrafa.

Válvula: acessório acoplado à bolacha por roscagem; tem como principal objetivo permitir, ou não, a libertação de gás no momento da utilização da garrafa (Figura 24); a parte inferior da válvula é roscada e o perfil de rosca vai ao encontro do perfil de rosca da bolacha.



Figura 24: Exemplo de um modelo de uma válvula tipicamente utilizada em garrafas do tipo retornáveis. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

4.1.2. Descrição do problema

Dentro do complexo industrial da Amtrol-Alfa, S.A., as garrafas retornáveis podem ser fabricadas na Fábrica 1 ou na Fábrica 2, dependendo das características do modelo da garrafa. A Fábrica 1 está equipada com uma Linha de Acabamento de garrafas de três e de duas peças, enquanto que a Fábrica 2 apenas está equipada com uma Linha de Acabamento de garrafas de duas peças.

Na Linha de Acabamento, um dos processos principais é o de Montagem e Aperto da Válvula. Este processo é responsável pela ligação entre a garrafa e a válvula, através da bolacha. No posto de Montagem e Aperto da Válvula, a garrafa chega semiacabada – com todas as operações de montagem (montada com os componentes *liner*, bolacha, gola e pé) e de pintura já realizadas. Nesta etapa é adicionada a válvula e, de seguida, esta é apertada através de um equipamento pneumático, designado por máquina de aperto. O efeito do aperto realizado é a roscagem da válvula na bolacha, de que resulta a garrafa acabada.

Para que seja possível executar o aperto, deve ser aplicada uma força à válvula, por intermédio da máquina de aperto, com um binário de aperto especificado. Esta força provoca a rotação da válvula em torno de um eixo, o que permite a roscagem deste acessório à bolacha.

O binário de aperto é a força limite com que o aperto da válvula deve ser executado, num determinado deslocamento. Representa um requisito normativo, cuja especificação deve garantir a correta execução do aperto da válvula, sem danificar nenhum componente e de forma a garantir a estanquidade do gás.

De modo a garantir a estanquidade do gás e a conformidade do binário, as garrafas acabadas passam por dois processos de controlo de qualidade, designados por Ensaio de Fugacidade e Validação do Binário.

O processo Validação do Binário consiste na medição do binário de aperto por amostragem do lote concluído. É um processo executado manualmente, pelo que exige a presença de um operador e a utilização de um instrumento de medição calibrado e indicado para o efeito desejado, designado por chave dinamométrica. É realizado em duas fases:

- Primeira fase: efetuada logo após a conclusão do fabrico, designada neste trabalho por Momento 0 horas;
- Segunda fase: realizada 48 horas após a conclusão do fabrico, designada neste trabalho por Momento 48 horas.

O objetivo da medição do binário em duas fases é garantir que, durante o período em que as garrafas se encontram nas instalações da empresa, antes de serem expedidas para o cliente (período entre 48 e 72 horas após a conclusão do fabrico), o mesmo se manteve estável e o lote cumpre com os requisitos impostos pelo cliente e pela regulamentação normativa aplicada.

O problema identificado incide sobre a diminuição do binário de aperto, verificada durante a segunda fase do processo de Validação do Binário. No âmbito da sua descrição, considera-se defeito quando o valor de binário obtido da medição com chave está abaixo do limite inferior de especificação (LIE), que se traduz numa não conformidade, segundo os requisitos impostos. Para definir o problema de forma mais organizada utilizou-se a ferramenta 5W2H, como se pode observar na Figura 25.



QA - Qualidade e Ambiente

Descrição do Problema

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

5W	What	<i>Qual é o problema?</i> O problema identificado incide sobre a diminuição do binário de aperto para valores abaixo do limite inferior de especificação (LIE).
		<i>O que aconteceu?</i> Retrabalho de todas as unidades.
		<i>O que não aconteceu?</i> (i) fugas pela união roscada, durante ensaio de fugacidade efetuado às garrafas de gás; (ii) valores fora dos limites de especificação na primeira fase do processo Validação do Binário.
	Why	<i>Explicação do problema</i> A diminuição do binário é um problema quando o valor obtido na medição com chave no processo Validação do Binário é abaixo do limite inferior de especificação. Pode causar problemas como: (i) desaperto da válvula; (ii) fugas; (iii) insatisfação do cliente; (iv) custos da não qualidade associados ao retrabalho das unidades; entre outros.
		<i>Qual parte, produto, processo ou serviço está envolvido?</i> (i) bolacha e válvula; (ii) garrafas retornáveis; (iii) processo Montagem e Aperto da Válvula; (iv) processo Limpeza Passa Macho; (v) processo de controlo de qualidade (Ensaio de Fugacidade e Validação do Binário).
	Who	<i>Com quem aconteceu?</i> (i) lotes do Modelo A, fabricados para o Cliente A; (ii) lotes do Modelo B, fabricados para Cliente B.
<i>Com quem não aconteceu?</i> Restantes modelos fabricados pela empresa.		
When	<i>Quando é que ocorreu?</i> No período entre o momento de conclusão do fabrico (Momento 0 horas) e a validação do binário por amostragem, 48 horas depois (Momento 48 horas).	
	<i>Quando é que não ocorreu?</i> (i) após o processo de retrabalho das unidades; (ii) quando inspeccionadas pelo cliente no momento de receção; (iii) quando as garrafas estão no mercado.	
2H	How much	<i>Como é que o problema é detetado?</i> Este problema é detetado na área de produção, durante a segunda fase do processo Validação do Binário.
		<i>Em quantas unidades foi detetado o problema?</i> (i) 5 lotes do Modelo A (500 unidades cada lote); (ii) 3 lotes do Modelo B (980 unidades cada lote).

Figura 25: Descrição do Problema, com recurso à ferramenta 5W2H. Adaptação própria.

O projeto incidirá apenas sobre a problemática da diminuição do binário de aperto, que consiste na medição de valores no processo Validação do Binário, 48 horas após a conclusão do fabrico dos lotes inferiores ao valor nominal e, em casos de defeito, inferiores ao limite inferior de especificação.

4.1.3. Estratificação do problema

Os modelos de garrafa de gás produzidos na Amtrol-Alfa, S.A. diferem de cliente para cliente. Isto significa que cada modelo de garrafa possui características distintas e individuais.

Quando um modelo de garrafa é projetado, é da responsabilidade do Departamento de Engenharia de Produto o desenvolvimento do Processo de Fabrico do Produto (PFP). Este consiste num documento onde estão descritas todas as informações relativas à produção da encomenda, como o nome do cliente, os materiais necessários à produção, os desenhos técnicos de cada componente e respetivas dimensões, entre outras informações. É o documento que serve de base ao processo produtivo, à logística e à expedição das garrafas de gás para o cliente. Quando finalizado, este é disponibilizado na plataforma interna da empresa para facilitar o acesso e a consulta de todos os colaboradores, salvaguardando-se a não existência de ambiguidades sobre o produto.

É no PFP que está indicado qual o valor do binário de aperto que deve ser aplicado. Este valor é definido em Newton-metro (N.m) e pode ser descrito de duas formas:

- Valor nominal com uma tolerância associada, por exemplo, 100 ± 10 N.m. Isto significa que o binário a ser aplicado no aperto deve ser de 100 N.m, com uma tolerância compreendida entre os 90 N.m e os 110 N.m.
- Valor mínimo mais uma referência de posição, por exemplo, 100 N.m + direita. Isto significa que o binário a ser aplicado deve ser, no mínimo, de 100 N.m e que, quando este valor é atingido se deve continuar o aperto até a abertura da válvula estar apontada para o lado direito do operador.

Para a definição do valor de binário a ser aplicado no aperto, deve-se ter em consideração dois parâmetros do modelo de garrafa, nomeadamente, a qualidade do material e o tipo de rosca da válvula e da bolacha. Mais ainda, deve-se considerar o que está definido na regulamentação normativa aplicada:

- Segundo a Norma ISO 13341:2010 – *Gas Cylinders – Fitting of Valves to Gas Cylinders*, para uma rosca 25E o valor mínimo a ser aplicado deve ser de 110 N.m e o valor máximo 250 N.m.
- A gama de valores para uma rosca $\frac{3}{4}$ 14'' NGT é definida pela empresa, segundo as diretivas da Norma CGA V-1:2005 – *Standard for Compressed Gas Cylinders Valve Outlet and Inlet Connections*. O intervalo definido é de 110 N.m, mínimo, e de 300 N.m, máximo.

No PFP está ainda definido o tipo de material vedante que deve ser aplicado na válvula antes do aperto. O vedante é um produto cujo objetivo de aplicação na válvula é facilitar o aperto e prevenir micro fugas. Este varia consoante o tipo de gás para o qual a garrafa é projetada.

Outra informação descrita no PFP relevante para o processo é o método que deve ser seguido na aplicação do material vedante. Este pode ser definido pelo cliente como um requisito ou pode remeter para o procedimento definido internamente pela empresa.

Através da análise da Tabela 2 é possível compreender, para os dois modelos em análise, todas estas informações, retiradas dos respetivos PFP. A Tabela 2 faz referência a outras características importantes de cada modelo, como a qualidade do aço e a espessura do disco da chapa da coquilha superior, uma vez que é o elemento em contacto com a bolacha. Ainda na Tabela 2 é possível ver se os parâmetros definidos são requisitos impostos pelo cliente ou definidos pela empresa.

Tabela 2: Estratificação do Problema.

	Modelo A		Modelo B	
	Informação	Tipo de requisito	Informação	Tipo de requisito
Características do Produto:				
<i>Tipo</i>	Retornável de 3 peças	Cliente	Retornável de 2 peças	Cliente
<i>Qualidade do aço</i>	P265NB	Empresa	P310NB	Empresa
<i>Espessura do disco de chapa (mm)</i>	2,45	Empresa	2,25	Empresa
Características da Bolacha:				
<i>Tipo (código interno)</i>	BLM085	Empresa	BLM145	Empresa
<i>Qualidade do aço</i>	C22E	Cliente	C22E	Cliente
<i>Tipo de rosca</i>	25E	Cliente	¾ 14" NGT	Cliente
Características da Válvula:				
<i>Qualidade do material</i>	Latão niquelado	Cliente	Latão	Cliente
<i>Tipo de rosca</i>	25E	Cliente	¾ 14" NGT	Cliente
Características do Processo de Montagem e Aperto da Válvula:				
<i>Binário (N.m)</i>	160±20	Cliente	170±20	Cliente
<i>Material Vedante</i>	Fita Teflon 12 mm x 0,1 mm	Cliente	Plastinol Nural 14	Cliente
<i>Método de trabalho</i>	Procedimento específico	Cliente	Procedimento interno	Empresa
Fabricao:				
<i>Fábrica</i>	1	Empresa	2	Empresa
<i>Turno</i>	1º	Empresa	1º	Empresa

Nota. Adaptação própria.

De forma a compreender melhor as características dos tipos de rosca dos modelos em análise, procedeu-se ao estudo dos perfis, apresentado no [Anexo III](#). No [Anexo IV](#) faz-se referência às características químicas e físicas dos materiais vedantes referidos.

4.1.4. Localização do problema

De forma a validar o problema relativamente à sua localização, recorreu-se ao diagrama SIPOC, Figura 26, onde é possível obter uma visão de alto nível do processo de Montagem e Aperto da Válvula. Através deste diagrama é possível identificar as etapas do processo, as principais entradas e saídas e os principais fornecedores e clientes, relevantes para o processo e para a problemática em estudo.

Este diagrama é aplicado para as linhas de acabamento de ambas as fábricas, uma vez que o processo de Montagem e Aperto da Válvula é executado de forma idêntica.

Através da análise do SIPOC desenvolvido é possível identificar blocos destacados com diferentes cores. As etapas destacadas com a cor azul referem-se às etapas do processo de Montagem e Aperto da Válvula. Como complemento, considerou-se importante perceber, de um modo geral, os processos inerentes à Linha de Acabamento com relevância no processo de Montagem e Aperto da Válvula, de forma a incluir o que vem a montante e a jusante deste processo.

Assim, o bloco representado com cor vermelha faz referência a um processo anterior, Processo Limpeza Passa Macho, que representa uma etapa crítica para que o aperto da válvula seja executado sem qualquer inconveniente. Os blocos destacados a verde referem-se aos dois processos de controlo de qualidade, responsáveis por garantir a estanquidade do gás e a conformidade do valor do binário.

Ainda no diagrama da Figura 26 é possível observar duas colunas destacadas a cinzento. Estas colunas fazem referência a que requisitos as entradas e as saídas de cada etapa do processo devem obedecer.



Figura 26: Diagrama SIPOC. Adaptação própria.

Nota. Bloco de cor vermelha – Processo Limpeza Passa Macho; Blocos cor azul – Processo Montagem e Aperto da Válvula; Blocos cor verde – Processos de Controlo de Qualidade, nomeadamente Ensaio de Fugacidade e Validação do Binário.

4.1.5. Análise do histórico dos lotes: análise exploratória de dados

Primeiramente, procurou-se perceber quando é que o problema surgiu e em quantos lotes. Relativamente ao Modelo A, esta situação verificou-se em cinco lotes produzidos para o Cliente A, entre 2017 e 2018 – designados neste projeto por Lote 1A, Lote 2A, Lote 3A, Lote 4A e Lote 5A; relativamente ao Modelo B, a diminuição de binário foi registada em três lotes, fabricados para o Cliente B durante o ano 2018 – designados neste projeto por Lote 1B, Lote 2B e Lote 3B.

Numa análise primária da situação, recorreu-se à consulta do Relatório de Controlo de Produto, documento publicado na plataforma interna da empresa onde estão registadas todas as informações relativas ao controlo de qualidade de cada lote produzido, de forma a extrair os dados dos valores de binário medidos no processo Validação do Binário.

Como os lotes são verificados por amostragem, do Relatório de Controlo de Produto de cada lote apenas foi possível extrair os dados relativos às unidades submetidas à inspeção de validação. No caso do Modelo A, o total de unidades fabricadas, em todos os lotes, é igual a 500, mas apenas foram inspecionadas 125; no caso do Modelo B, o total de unidades fabricadas é igual a 980, tendo sido inspecionadas 250. De notar que a quantidade de unidades que devem ser retiradas por amostragem para o processo de Validação do Binário está definida internamente na instrução do Plano de Controlo de Qualidade, baseada na norma de construção que é aplicada no fabrico da garrafa.

4.1.5.1. Caracterização das amostras

Na Tabela 3 encontram-se algumas características amostrais obtidas para os lotes dos modelos em estudo.

Da análise da Tabela 3 pode-se verificar que os valores de binário do Lote 1A variam entre 141 N.m e 174 N.m, no Momento 0 horas, e entre 125 N.m e 154 N.m, no Momento 48 horas. De acordo com a especificação de binário estabelecida para o Modelo A – 160 ± 20 N.m –, no Momento 48 horas o Lote 1A apresenta valores abaixo do limite inferior de especificação (LIE = 140 N.m). O mesmo se verifica no Lote 2A, cujos valores de binário variam entre 143 N.m e 179 N.m, no Momento 0 horas, e entre 125 N.m e 160 N.m, no Momento 48 horas; No Lote 3A, os valores de binário variam entre 145 N.m e 179 N.m, no Momento 0 horas, e entre 118 N.m e 153 N.m, no Momento 48 horas; No Lote 4A, os valores de binário variam entre 147 N.m e 179 N.m, no Momento 0 horas, e entre 119 N.m e 151 N.m, no Momento 48 horas; No Lote 5A, os valores de binário variam entre 158 N.m e 180 N.m, no Momento 0 horas, e entre 132 N.m e 161 N.m, no Momento 48 horas.

Tabela 3: Caracterização das amostras.

	Lotes	Momento	Média	Desvio Padrão	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Modelo A	1A	0 horas	151	7,32	150	146	155	141	174
		48 horas	133	6,36	131	128	136	125	154
	2A	0 horas	162	8,89	163	156	170	143	179
		48 horas	141	8,53	143	137	147	125	160
	3A	0 horas	160	8,90	139	153	168	145	179
		48 horas	133	8,79	133	127	139	118	153
	4A	0 horas	164	7,19	166	159	169	147	179
		48 horas	136	7,41	136	142	141	119	151
	5A	0 horas	171	4,97	171	168	175	158	180
		48 horas	145	5,74	145	142	150	132	161
Modelo B	1B	0 horas	176	7,78	175	169	183	161	189
		48 horas	151	8,05	149	145	157	137	172
	2B	0 horas	180	6,89	181	174	186	165	190
		48 horas	151	8,05	149	145	157	137	172
	3B	0 horas	174	7,07	173	169	179	161	190
		48 horas	163	8,12	163	159	169	143	179

Nota. Média, Desvio-padrão, Mediana, 1º e 3º Quartis, valor Mínimo e valor Máximo obtidos dos valores de binário registados no processo de Validação do Binário dos Lotes do Modelo A e dos Lotes do Modelo B. Adaptação própria.

No caso dos lotes do Modelo B, os valores de binário do Lote 1B variam entre 161 N.m e 189 N.m, no Momento 0 horas, e entre 137 N.m e 172 N.m, no Momento 48 horas. De acordo com a especificação de binário estabelecida para o Modelo B – 170 ± 20 N.m –, no Momento 48 horas o Lote 1B apresenta valores abaixo do limite inferior de especificação (LIE = 150 N.m). O mesmo se verifica no Lote 2B, cujos valores de binário variam entre 165 N.m e 190 N.m, no Momento 0 horas, e entre 137 N.m e 172 N.m, no Momento 48 horas; No Lote 3B, os valores de binário variam entre 161 N.m e 190 N.m, no Momento 0 horas, e entre 143 N.m e 179 N.m, no Momento 48 horas.

Os diagramas *boxplot* das Figuras 27 e 28 representam, graficamente, a informação detalhada na Tabela 3. A análise dos diagramas *boxplot* permite comparar os valores de binário medidos nos dois momentos de medição para cada lote. Pode-se verificar a problemática em estudo, pois é possível observar que os valores de binário medidos no Momento 48 horas são inferiores aos valores medidos no Momento 0 horas. Mais ainda, é possível concluir que existem valores abaixo dos limites inferiores de especificação (LIE).

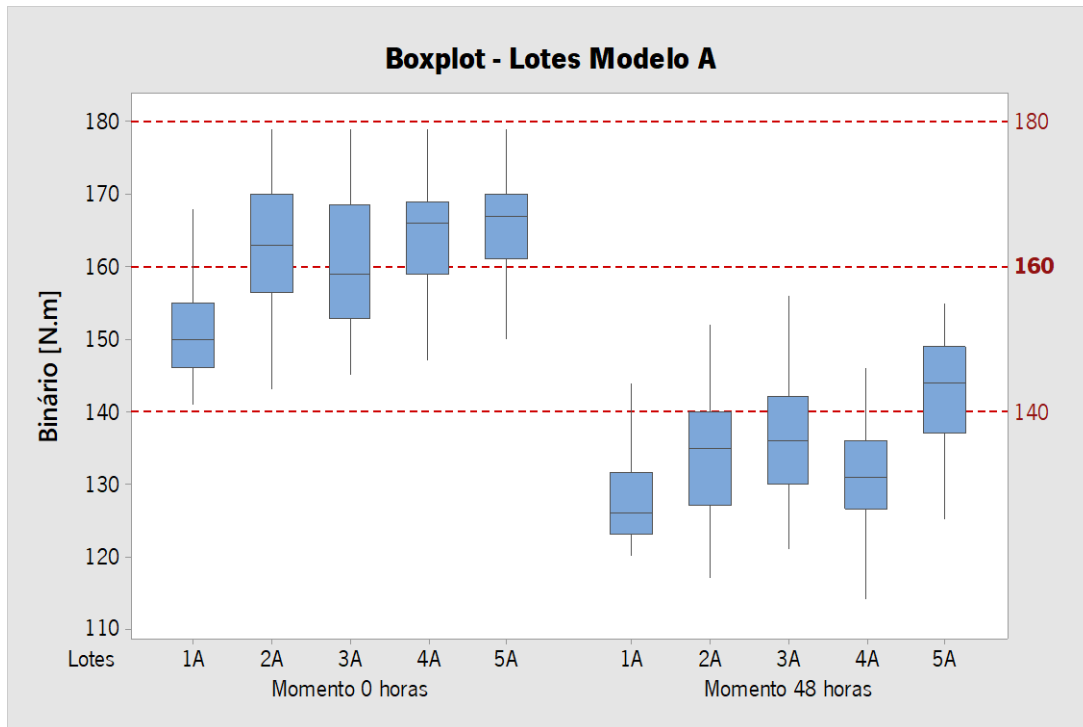


Figura 27: Diagrama *boxplot* dos valores de binário registados para os Lotes do Modelo A. Obtido do *software* Minitab.

Nota. Limites de especificação: LIE = 140 N.m; Valor alvo = 160 N.m; LSE = 180 N.m. O diagrama engloba os valores obtidos das duas fases de medição do processo Validação do Binário (Fase 1 – Momento 0 horas; Fase 2 – Momento 48 horas) para o Lote 1A, o Lote 2A, o Lote 3A, o Lote 4A e o Lote 5A.

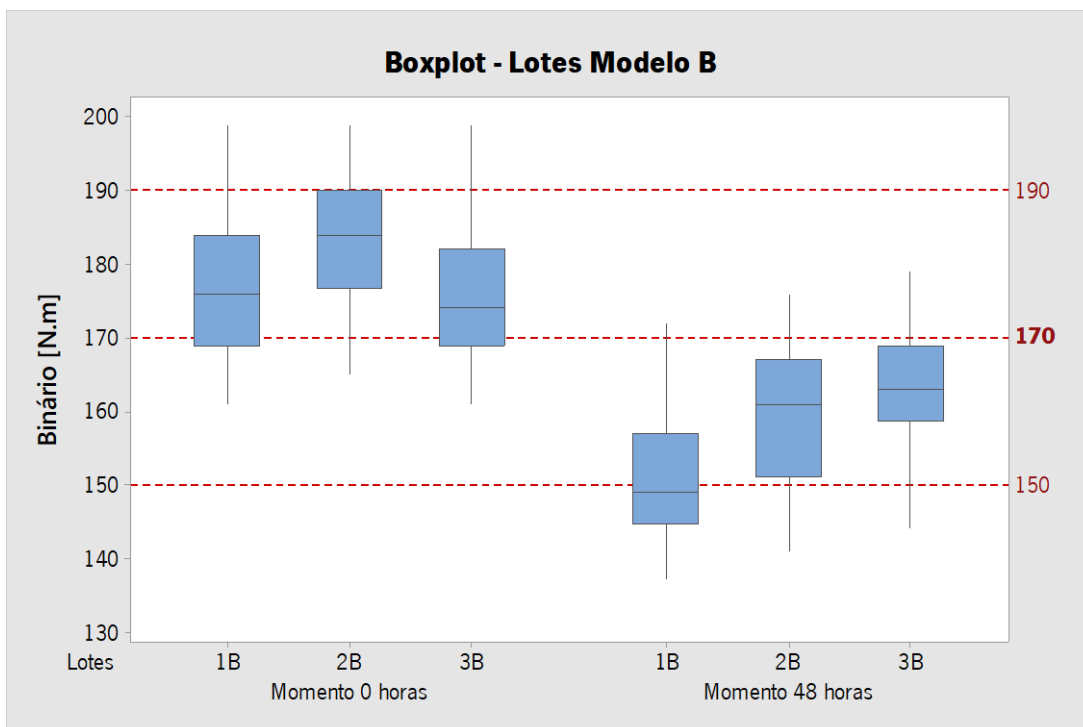


Figura 28: Diagrama *boxplot* dos valores de binário registados para os Lotes do Modelo B. Obtido do *software* Minitab.

Nota. Limites de especificação: LIE = 150 N.m; Valor alvo = 170 N.m; LSE = 190 N.m. O diagrama engloba os valores obtidos das duas fases de medição do processo Validação do Binário (Fase 1 – Momento 0 horas; Fase 2 – Momento 48 horas), para o Lote 1B, o Lote 2B e o Lote 3B.

4.1.5.2. Análise da Capacidade

Com vista a análise de capacidade do processo, procedeu-se à realização de um teste de normalidade através do *software* Minitab, através da utilização dos menus *Estat > Basic Statistics > Normality Test >*.

A realização do teste de normalidade pressupõe vários requisitos, tais como os dados serem numéricos, aleatórios e o tamanho amostral superior a cinquenta. Whetherill (1986) demonstrou que o teste de Shapiro-Wilks é mais poderoso para amostras menores ou iguais a cinquenta, enquanto que o teste de Anderson-Darling é mais poderoso para amostras superiores a cinquenta.

No caso dos lotes em análise, como o processo de Validação de Binário é feito por amostragem, em que as garrafas são retiradas aleatoriamente para se efetuar a medição e o tamanho da amostra nos lotes do Modelo A é de 125 unidades e no Modelo B de 250 unidades, realizou-se um teste de Anderson-Darling, com um nível de significância de 0,05. O teste pressupõe que, quando o valor *p-value* é inferior ao nível de significância, a hipótese nula é rejeitada.

Para o teste de normalidade, as hipóteses consideradas foram as seguintes:

- *H0*: os dados seguem uma distribuição normal;
- *H1*: os dados não seguem uma distribuição normal.

Após análise dos resultados obtidos, no caso dos Lotes 1A, 2A, 3A, 5A, 1B, e 2B, o valor *p-value* obtido foi inferior ao nível de significância estabelecido, pelo que se rejeita a hipótese nula. Para os dados do Lote 4A e do Lote 3B o valor *p-value* for superior ao nível de significância, pelo que se aceita a hipótese nula. Assim, os dados dos Lotes 1A, 2A, 3A, 5A, 1B e 2B não seguem uma distribuição normal, ao contrário dos dados do Lote 4A e do Lote 3B.

A partir dos resultados, foi efetuada uma análise de capacidade normal para os dados do Lote 4A – Momento 48 horas (Figura 29) –, e para os dados do Lote 3B – Momento 48 horas (Figura 30) –, através da utilização dos menus *Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Normal >*.

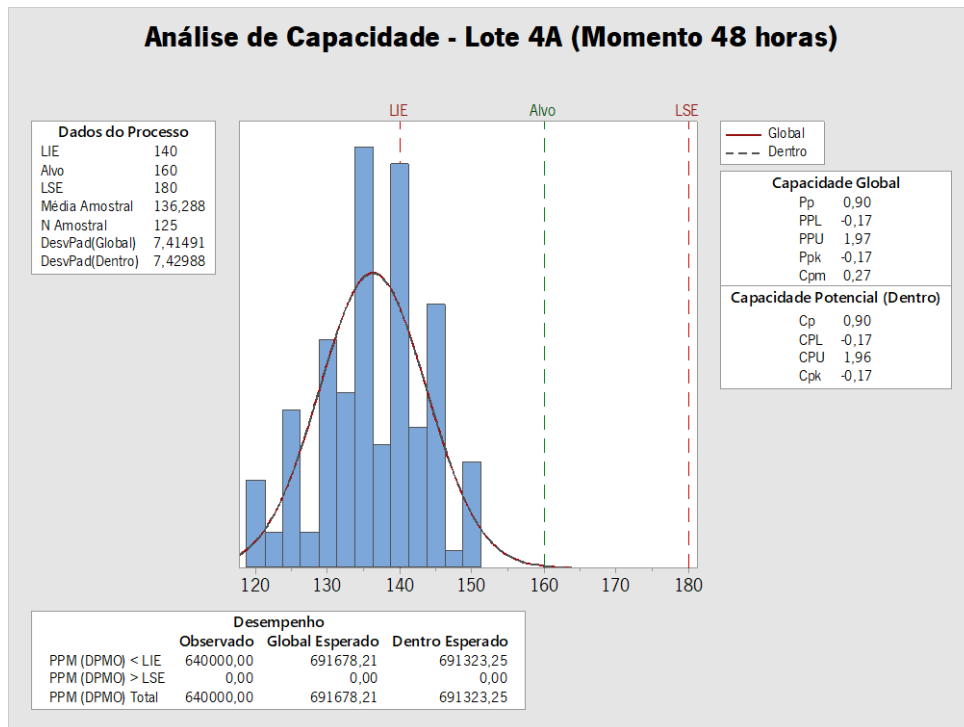


Figura 29: Análise de capacidade para o Lote 4A. Obtido do *software* Minitab.

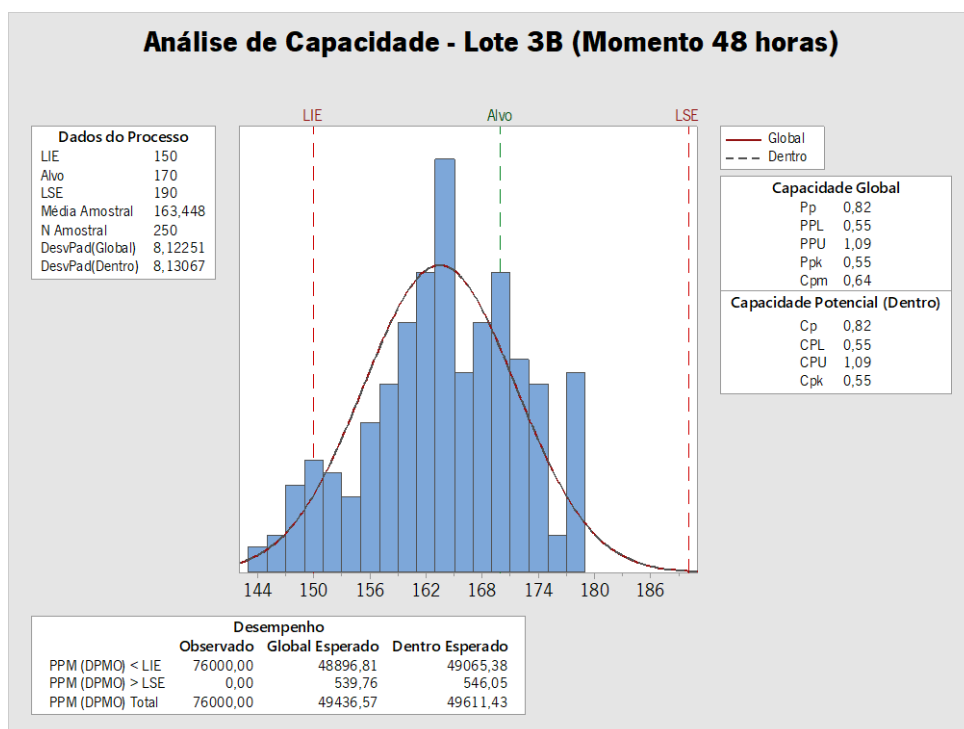


Figura 30: Análise de capacidade para o Lote 4A. Obtido do *software* Minitab.

Após verificação dos dados no software estatístico, verifica-se que os índices Cp e Cpk são inferiores a 1 para ambos os casos. Deste modo, é possível concluir que tanto o processo executado na Fábrica 1 como o processo executado na Fábrica 2 não atingem os requisitos necessários para cumprir os objetivos internos da empresa.

4.1.5.3. Cálculo do Nível Sigma atual e definição do objetivo

Com recurso a uma calculadora do Nível Sigma, disponibilizada *online*, e à informação obtida após a análise de capacidade efetuada (Figura 29 e Figura 30), foi possível calcular o Nível Sigma associado ao processo em ambas as fábricas. Para tal, foram utilizados dois valores: a quantidade de oportunidades (por defeito por milhão) e o número de defeitos dado pelo valor de DPMO esperado. A Tabela 4 mostra o resultado obtido do Nível Sigma para o Lote 4A, fabricado na Fábrica 1, e para o Lote 3B, fabricado na Fábrica 2.

Tabela 4: Cálculo do Nível Sigma.

Cálculo do Nível Sigma							
Lote 4A				Lote 3B			
Unidades	125	Defeitos (%)	69,17	Unidades	250	Defeitos (%)	4,94
Oportunidades	1	Yield (%)	30,83	Oportunidades	1	Yield (%)	95,06
Total de Oportunidades	125	DPMO	Nível Sigma	Total de Oportunidades	250	DPMO	Nível Sigma
		691678	1			49436	3,15

Nota. Valores dos Níveis Sigma obtidos através da calculadora *online*: <https://www.isixsigma.com/process-sigma-calculator/>. Adaptação própria.

O Nível Sigma atual para o Lote 4A é de 1, o que representa um desempenho de 30,83% e uma taxa de defeitos de 69,17%. No caso do Lote 3B, o Nível Sigma atual é de 3,15, o que representa um desempenho de 95,06% e uma taxa de defeitos de 4,94%.

Ambicionando o aumento do valor do Nível Sigma e a melhoria do desempenho do processo de Montagem e Aperto da Válvula, em ambas as Fábricas, e considerando que o binário representa um requisito de cliente e um requisito normativo, o objetivo da equipa é que o valor de defeitos seja zero. Isto significa fabricar lotes onde nenhuma unidade apresente valor de binário abaixo do limite inferior de especificação.

Como este resultado representa um objetivo ambicioso, a equipa estimou a meta para uma redução do número de unidades com binário abaixo do limite de especificação para, pelo menos, 90%. Isto significa um valor de 69167 DPMO, no caso no processo executado na Fábrica 1, e de 4944 DPMO, no caso do processo da Fábrica 2. Recorrendo novamente à calculadora do Nível Sigma *online*, foi possível

estimar o objetivo pretendido para o Nível Sigma, estabelecido então para um valor de 2,98 e 4,08, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5: Cálculo do Nível Sigma - definição do objetivo.

Definição do objetivo para o Nível Sigma							
Processo executado na Fábrica 1				Processo executado na Fábrica 2			
Unidades	125	Defeitos (%)	6,92	Unidades	250	Defeitos (%)	4,94
Oportunidades	1	Yield (%)	93,08	Oportunidades	1	Yield (%)	99,51
Total de Oportunidades	125	DPMO	Nível Sigma	Total de Oportunidades	250	DPMO	Nível Sigma
		69167	2,98			4944	4,08

Nota. Valores dos Níveis Sigma obtidos através da calculadora *online*: <https://www.isixsigma.com/process-sigma-calculator/>. Adaptação própria.

4.2. Fase Medir

Na fase Medir do ciclo DMAIC, pretende-se conhecer o processo produtivo de uma garrafa retornável, com especial foco para o processo de Montagem e Aperto da Válvula. Pretende-se identificar os fatores com possível impacto no Processo de Montagem e Aperto da Válvula, avaliar os problemas que esses fatores podem causar e qual o nível de risco associado.

4.2.1. Processo de Montagem e Aperto da Válvula

Nas Fábricas 1 e 2, a sequência de eventos das linhas de acabamento é idêntica e o processo de Montagem e Aperto da Válvula é executado de igual forma. De uma forma simplificada, este não é mais do que o processo de união entre os componentes bolacha e válvula, por roscagem. A Figura 31 corresponde ao fluxograma que possibilita observar todas as etapas inerentes ao processo de Montagem e Aperto da Válvula, tornando mais intuitiva a explicação do mesmo.

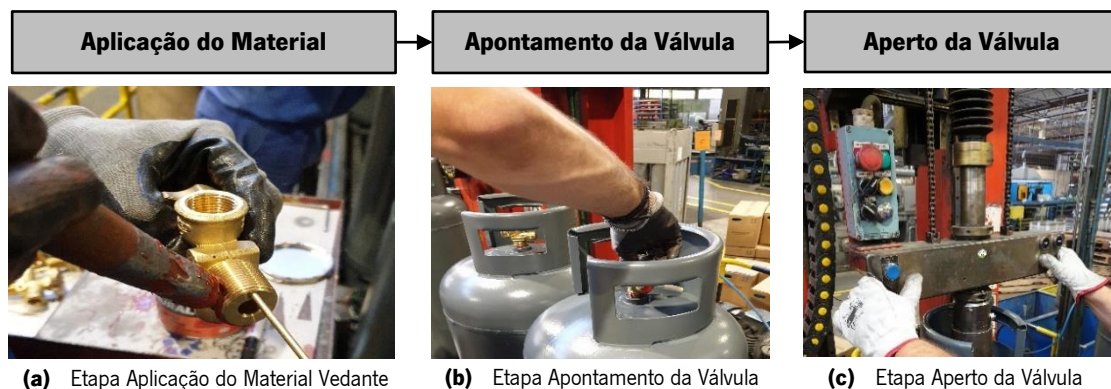


Figura 31: Fluxograma do processo de Montagem e Aperto da Válvula.

Como complemento, considerou-se relevante perceber cada processo da linha de produção de uma garrafa retornável, de forma a incluir o que vem a jusante do processo de Montagem e Aperto da Válvula. Assim, no [Anexo V](#), e como o processo de fabrico é idêntico para ambos os tipos de produto, encontra-se descrito o processo de fabrico de uma garrafa de gás retornável de duas peças, na Fábrica 2. Para além do processo de fabrico, o Anexo V faz referência ao planeamento da produção, aos processos geradores de abastecimento da linha de produção e ao controlo de qualidade às garrafas produzidas.

Antes do processo de Montagem e Aperto da Válvula, existem alguns requisitos gerais que devem ser considerados. Um desses requisitos é a limpeza e a verificação da rosca das bolachas, que deve estar limpa antes da montagem. Qualquer resíduo de vedante, pintura ou outros contaminantes devem ser removidos. O processo de limpeza da rosca é designado por Limpeza Passa Macho (Figura 32).

Apesar de não estar representado no fluxograma da Figura 31, uma vez que não faz parte do processo de Montagem e Aperto da Válvula, é um processo importante para que o aperto seja executado sem qualquer inconveniente.



Figura 32: Posto do processo Limpeza Passa Macho.

Caso os filetes de rosca da bolacha se encontrem com sujidade, devido à força executada durante o aperto, esta pode causar a destruição dos filetes de rosca, comprometer a integridade dos componentes envolvidos e, conseqüentemente, comprometer a estanquidade do gás. Assim, após o processo Limpeza Passa Macho, existe um posto onde é efetuada a inspeção visual a 100% do interior das garrafas e do corpo da bolacha para garantir que o processo de limpeza foi executado corretamente.

O fluxo do processo de Montagem e Aperto da Válvula inicia-se com a etapa Aplicação do Material Vedante (Figura 31 – (a)). O material vedante é um produto que é aplicado sobre a rosca da válvula, responsável por prevenir microfugas e facilitar a roscagem. É uma ação executada manualmente, pelo

que exige um operador. Para que o processo seja uniforme, o procedimento de aplicação é normalizado e está descrito numa instrução específica, acessível a todos os colaboradores da empresa.

Dependendo do tipo de vedante a ser aplicado, esta etapa pode ser executada fora da linha, em paralelo com os restantes processos – no caso da Fita Teflon –, ou imediatamente antes da válvula ser apontada – no caso da massa Nural 14. No caso de válvulas com Fita Teflon aplicada, estas são colocadas em *containers* e encaminhadas para o posto da etapa seguinte; no caso de válvulas aplicadas com Nural, estas são diretamente apontadas na garrafa após a aplicação.

No posto Apontamento da Válvula (Figura 31 – (b)) é executada a montagem da válvula, que consiste em colocá-la no furo da coquilha superior da garrafa, em contacto com a bolacha. É uma ação executada manualmente, pelo que exige um operador.

As garrafas seguem para o posto de Aperto da Válvula (Figura 31 – (c)). É nesta etapa que se realiza a roscagem da válvula, através da máquina de aperto (Figura 33). Apesar de o aperto ser automático, a máquina é manuseada por um operador por questões de segurança. Antes do aperto, a máquina deve ser regulada para o tipo de aperto desejado, de acordo com os parâmetros a seguir elencados:

- Binário de referência, *Bset* (Figura 33 – (a)): corresponde ao valor nominal, ou valor mínimo, de especificação do binário de aperto da válvula; representa a força limite com que deve ser executado o aperto; a máquina pára quando o valor *Bset* é atingido. De notar que este valor é meramente indicativo, e pode ser alterado consoante as necessidades do processo.

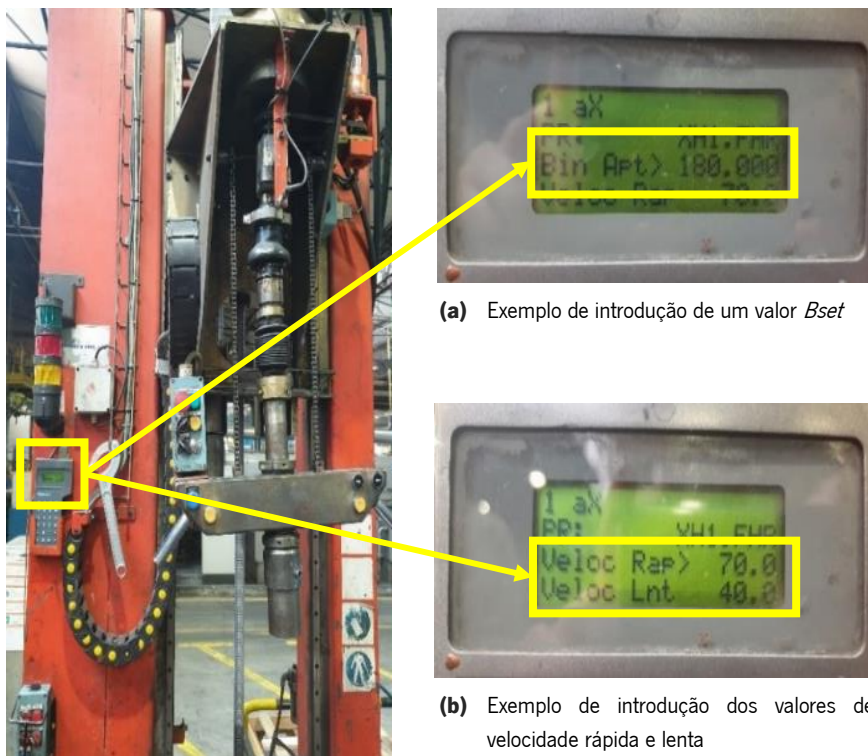


Figura 33: Máquina de Aperto.

- Percentagem do binário: percentagem a partir da qual se dá a comutação da velocidade rápida para a velocidade lenta, tipificada entre 45% a 55% do valor *Bset*.
- Velocidade rápida (Figura 33 – (b)): valor de velocidade, definido em rotações por minuto, com que é iniciado o aperto.
- Velocidade lenta (Figura 33 – (b)): valor de velocidade, definido em rotações por minuto, para que a máquina comute quando a percentagem do binário é atingida.

A máquina inicia o aperto com a velocidade rápida. Em função da força aplicada e da distância percorrida pela válvula (número de voltas a que a válvula é sujeita), a máquina calcula o binário com que está a ser efetuado o aperto – parâmetro *Bfm*. Quando este valor atinge a percentagem de binário definida, a máquina comuta da velocidade rápida para a velocidade lenta. Quando o valor *Bfm* atinge o valor *Bset*, a máquina de aperto pára automaticamente e o aperto é concluído.

Após o aperto, a máquina dá o parâmetro *Bfm* final, que corresponde ao valor de binário com que o aperto foi finalizado. Este deve ser igual, ou próximo, do valor *Bset*. Caso o valor *Bfm* dado pela máquina dispare para valores superiores ao valor *Bset*, pode ser um fator indicativo de deformação dos filetes de rosca, responsável pelo descontrolo do aperto da válvula.

É ainda feita a medição com chave à primeira garrafa apertada, de modo a verificar a conformidade da chave dinamométrica com a máquina de aperto. Como a chave é um instrumento calibrado, caso o valor de binário dado pela chave não corresponda ao valor *Bset* definido e ao valor *Bfm* obtido, deve-se regular a máquina segundo o valor obtido pela chave, mesmo que isso signifique aumentar ou diminuir o valor *Bset* relativamente ao valor de especificação.

Dado que o processo de Montagem e Aperto da Válvula deve garantir a estanquidade do gás, a conformidade com o valor de binário especificado e a integridade dos componentes envolvidos, após este processo são executados dois processos de controlo de qualidade, designados por Ensaio de Fugacidade e Validação do Binário:

Ensaio de Fugacidade: o objetivo deste ensaio é o despiste de fugas pela união roscada.

É uma inspeção feita a 100%¹¹ em que as garrafas são pressurizadas e mergulhadas num tanque com água (Figura 34).

Através de controlo visual, é possível despistar o aparecimento de bolhas de ar na área envolvente da união roscada da válvula com a bolacha, que significam a existência de fuga; caso não seja detetada

¹¹ Todas as unidades do lote são inspeccionadas.

fuga, as garrafas seguem para o posto seguinte; caso seja detetada a existência de fuga, as garrafas são rejeitadas.



Figura 34: Ensaio de Fugacidade (tanque com água onde as garrafas são mergulhadas)

Validação do Binário: consiste no processo de verificação manual do lote por amostragem, em duas fases, no momento de fabrico (Momento 0 horas) e 48 horas após a sua conclusão (Momento 48 horas). É importante para garantir que os valores estão conformes com o especificado.

Nesta etapa é efetuada a medição manual do binário de aperto da válvula (Figura 35), com recurso a uma chave dinamométrica calibrada (Figura 35 – (a)). É um processo executado manualmente pelo que exige a presença de um operador (Figura 35 – (b)).



(a) Chave dinamométrica



(b) Medição manual do binário com chave

Figura 35: Medição manual do binário de aperto.

Na primeira fase de medição, os valores obtidos podem ser ligeiramente superiores aos valores dados pela máquina (parâmetro *Bfm*). Isto acontece devido à força que é aplicada pelo operador no momento da medição através da chave, que pode provocar a rotação da válvula e a consequente subida do binário.

Na segunda fase, os valores obtidos podem ser ligeiramente inferiores, devido à estabilização do aperto ao longo do tempo.

Caso existam valores fora do especificado, quer na primeira fase do processo de validação quer na segunda, as garrafas são retrabalhadas. O processo de retrabalho consiste no desaperto da válvula, na substituição da válvula, e na repetição de todos os passos anteriormente descritos desde o processo Limpeza Passa Macho, à exceção do aperto que, em vez de ser feito na máquina, é feito manualmente com chave.

Com o objetivo de compreender como está feita a alocação dos recursos ao longo do processo de Montagem e Aperto da válvula, foi realizado um *Deployment Diagram*, representado no [Anexo VI](#), Figura 73.

4.2.2. Diagrama *Fishbone*

Com intuito de identificar os possíveis fatores capazes de influenciar o processo de Montagem e Aperto da Válvula e, conseqüentemente, o binário de aperto, a equipa deslocou-se à Linha de Acabamento de ambas as fábricas para obter dados e discutir soluções à medida que os processos seguiam a sua normal ordem de trabalhos. Foi possível conversar também com os operadores de linha de cada etapa, com o objetivo de recolher a opinião dos mesmos sobre o problema, uma vez que trabalham direta e diariamente no processo.

Posteriormente, a equipa reuniu-se novamente para avaliar a visita realizada e a informação recolhida. Através da realização de um exercício de *brainstorming*, onde cada membro destacou fatores com possível influência no binário de aperto, foi possível construir o diagrama *Fishbone* da Figura 36, onde cada fator foi alocado pelas seguintes categorias: medição, material, mão-de-obra, máquina, método e ambiente de trabalho.

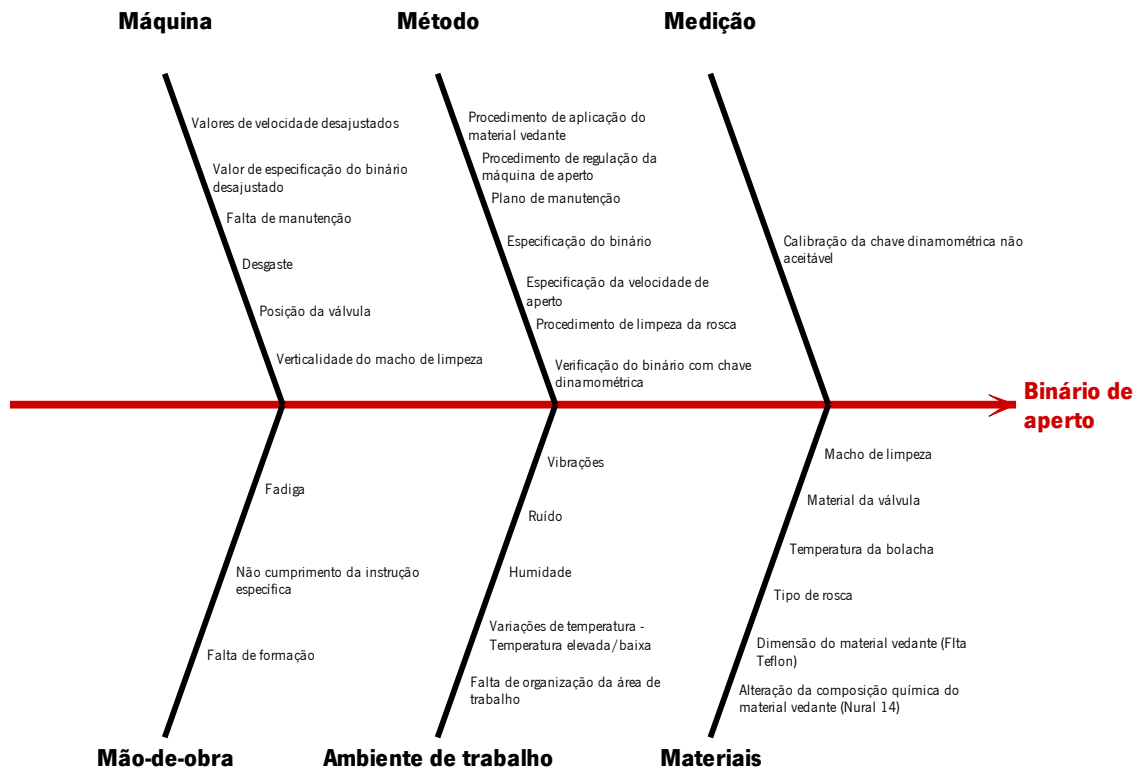


Figura 36: Diagrama Fishbone. Adaptação própria.

4.2.3. Análise de Risco

Após a conclusão do diagrama *Fishbone*, foi realizada uma análise dos potenciais riscos associados a cada etapa destacada no diagrama SIPOC construído (Figura 26). Para tal utilizou-se a ferramenta *Potencial Problem Analysis* (PPA). O objetivo foi priorizar os riscos identificados através do nível de risco dos potenciais problemas que podem advir de cada etapa e comprometer o binário de aperto.

Como a equipa destacada para o projeto conta com membros que possuem o *know-how* do processo, a construção do PPA contou com a participação de todos os elementos. Os testemunhos dos colaboradores recolhidos durante as visitas às fábricas foram tidos em consideração como complemento para a construção do PPA.

A Tabela 32, [Anexo VII](#), descreve o PPA desenvolvido. Primeiramente, foram identificadas as atividades do processo, os problemas associados a cada etapa, as possíveis causas dos mesmos e os potenciais efeitos.

Em seguida, a cada situação foi atribuído um grau de severidade (S) e outro de ocorrência (O), de modo a priorizar os riscos identificados por categorias.

Com o intuito de facilitar a atribuição de cada grau, foram elaboradas duas escalas.

- Grau de Severidade (S): escala associada à consequência do risco.
 - (1) Insignificante: não coloca em causa o desempenho do processo de Montagem e Aperto da Válvula.
 - (2) Baixo: o processo pode ter falhas, mas não põe em causa o valor do binário, característica crítica para a satisfação do cliente.
 - (3) Moderado: as falhas do processo são detetadas e corrigidas ainda na área de produção, sem gerar processo de retrabalho.
 - (4) Grave: as falhas do processo são detetadas ainda na área de produção e corrigidas por processo de retrabalho.
 - (5) Muito grave: as falhas do processo provocam dano na otimização do desempenho, conduzem ao incumprimento de requisitos legais e têm impacto na satisfação do cliente.

- Grau de Ocorrência (O): associada à frequência com que o problema ocorre.
 - (1) Muito baixa: uma vez em cada dois anos.
 - (2) Baixa: uma vez por ano.
 - (3) Média: ocorre mensalmente.
 - (4) Alta: ocorre semanalmente.
 - (5) Muito alta: ocorre diariamente.

Após a atribuição de cada grau, o grau S foi multiplicado pelo grau O da situação correspondente, cujo resultado representa o nível do risco, fator designado por NR. De modo a priorizar cada nível obtido, utilizou-se a seguinte escala, de acordo com a Tabela 6.

- Se $0 < NR \leq 6$, o risco é classificado como Menor e não é necessário desenvolver ações de controlo adicionais. Na Tabela 32 foi utilizada a cor verde para destacar este nível de risco.
- Se $8 < NR \leq 12$, o risco é classificado como Moderado e recomenda-se o desenvolvimento e a implementação de ações que reduzam o valor do risco. Na Tabela 32 foi utilizada a cor amarela para destacar este nível de risco.
- Se $15 < NR \leq 25$, o risco é classificado como Elevado e recomenda-se o desenvolvimento e a implementação urgentes de ações que minimizem o valor do risco. Na Tabela 32 foi utilizada a cor vermelha para destacar este nível de risco.

Tabela 6: Nível de risco.

		Frequência de Ocorrência				
		Muito Baixa (1)	Baixa (2)	Média (3)	Alta (4)	Muito Alta (5)
Gravidade de Ocorrência	Insignificante (1)	1	2	3	4	5
	Baixa (2)	2	4	6	8	10
	Moderada (3)	3	6	9	12	15
	Grave (4)	4	8	12	16	20
	Muito Grave (5)	5	10	15	20	25

Nota. Frequência de Ocorrência – refere-se ao Grau de Ocorrência; Gravidade de Ocorrência – refere-se ao Grau de Severidade. Adaptação própria.

Por último, para cada situação de risco foi elaborado um plano de ação, onde foram identificadas ações preventivas e de contingência e ainda ações *trigger* para os problemas identificados.

4.3. Fase Analisar

Na terceira fase do ciclo DMAIC, pretende-se analisar toda a informação recolhida sobre o processo em estudo e identificar as causas raiz com impacto no problema em questão.

Este capítulo apresenta ainda as hipóteses formuladas pela equipa sobre como cada causa-raiz identificada pode estar relacionada com a problemática em estudo.

4.3.1. Matriz XY

Atendendo à dimensão da lista dos fatores identificados no diagrama *Fishbone* e não sendo possível abordar todos durante o decorrer deste projeto, tornou-se fundamental selecionar aqueles com maior impacto no problema. Assim, a equipa elaborou uma Matriz XY, que se encontra no [Anexo VIII](#), Tabela 33.

Primeiramente, foram identificados os diferentes *outputs*, com base nos requisitos de saída identificados previamente no diagrama SIPOC (Figura 26). Para cada *output* foi discutido um grau de importância, de modo a classificar quão crítico cada fator é para o cliente. A escala do grau de importância dos *outputs* foi definida pela equipa com os valores 4, 5, 8 e 9, sendo o nível mais baixo de importância o valor 4 e o nível máximo de importância o valor 9.

Em seguida, a cada fator identificado no diagrama *Fishbone* foi atribuído um grau de relevância, de modo a classificar o impacto que este tem em cada *output* identificado. A escala do grau de relevância foi definida com os valores 1, 3, 6 e 9, sendo à inexistência de relação atribuído o valor 1, a uma relação fraca o valor 3, a uma relação significativa o valor 6 e a uma relação elevada o valor 9.

Cada valor de relevância atribuído foi multiplicado pelo grau de importância correspondente, cujo resultado representa o peso de cada fator. De forma a organizar cada fator pelo respetivo peso calculado, selecionaram-se, através da regra de Pareto, os fatores que representam cerca de 80% da totalidade de cada peso calculado (Figura 37). Estes estão sublinhados a cor amarela na Tabela 33, Anexo VIII.

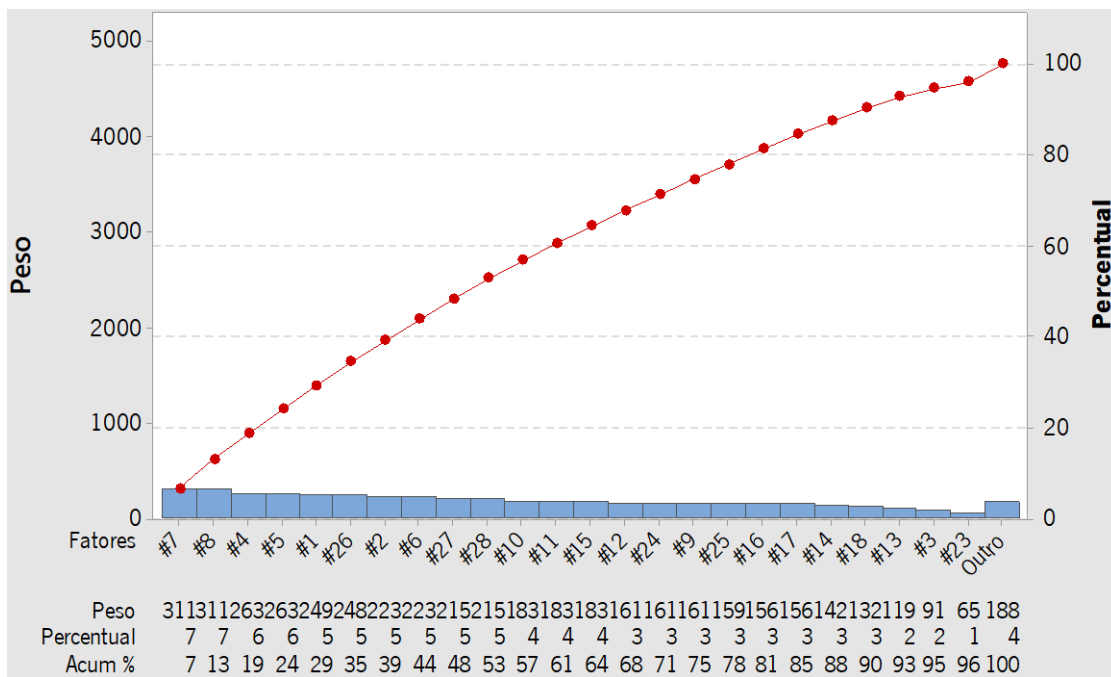


Figura 37: Diagrama de Pareto. Obtido do *software* Minitab.

Nota. Fatores – Descritos na Matriz XY, Tabela 33, Anexo VII; Peso – Retirado da Tabela 33, Anexo VII.

4.3.2. Causas-raiz

De forma a identificar as causas-raiz com destaque na problemática em estudo, foi realizado um novo exercício de *brainstorming*, que contou com o envolvimento da equipa destacada para o projeto.

Em primeiro lugar, as causas identificadas resultantes das análises feitas através da construção do PPA e da Matriz XY, quer durante o processo de recolha de dados quer nas entrevistas realizadas aos colaboradores, foram agrupadas em quatro grupos – equipamentos, materiais, mão-de-obra e método.

De seguida, os membros da equipa foram convidados a pensar em causas que não estivessem descritas nos grupos construídos. Após discussão das ideias geradas, as causas identificadas foram acrescentadas aos grupos existentes. No final, foi desenvolvido um diagrama *Mind Map*, apresentado no

[Anexo IX](#) (Figura 74), de acordo com as categorias definidas. No centro do diagrama é destacado o processo de Montagem e Aperto da Válvula, onde se enquadra o problema em estudo.

De forma a priorizar as causas identificadas no diagrama *Mind Map*, a equipa definiu uma escala com os valores 1, 2 e 3. O valor 3 foi atribuído a causas com prioridade baixa, o valor 2 a causas com prioridade média e o valor 1 a causas com prioridade elevada.

4.3.3. Observação do Processo.

Com base nas causas identificadas com nível de prioridade 1 no *Mind Map* elaborado, procedeu-se à análise da situação atual desses fatores no processo de Montagem e Aperto da Válvula, uma vez que foi necessário compreender em que medida cada uma delas poderia, ou não, afetar a qualidade do aperto.

Causa método: Especificação do binário e Especificação da velocidade

Um dos pontos relevantes associado às causas analisadas era a especificação do binário de aperto. Este fator surgiu principalmente da opinião formada pela equipa que o binário de aperto definido para cada modelo era elevado, considerando o perfil de rosca das bolachas/válvulas em questão. Esta opinião foi defendida, porque é comum, em alguns fabricos de modelos com o mesmo tipo de rosca, o ajuste do parâmetro *Bset* por parte dos operadores para valores inferiores a 140 N.m, no caso da rosca 25E, e 150 N.m, no caso da rosca $\frac{3}{4}$ 14''NGT, devido à possível gripagem dos filetes de rosca durante o aperto.

Durante a conversa com o controlador de qualidade da Fábrica 1 e membro da equipa, percebeu-se que em situações onde acontece gripagem, procedia-se ao retrabalho e ao aperto das válvulas manualmente com chave, de forma a garantir o controlo do aperto.

As garrafas dos modelos em questão foram apertadas com binários de 160 N.m (Modelo A, rosca 25E) e 170 N.m (Modelo B, rosca $\frac{3}{4}$ 14'' NGT). No entanto, não existe registo, nos Relatórios de Controlo de Produto dos lotes em estudo, sobre o ajuste do parâmetro *Bset*.

Em relação ao ponto de velocidade de aperto, verificou-se que, pela consulta da instrução específica aplicada à regulação da máquina, esta é definida entre 5/5 rotações por minuto e 7/5 rotações por minuto no caso de roscas 25E e entre 100/20 rotações por minuto e 120/20 rotações por minuto no caso de roscas $\frac{3}{4}$ 14''NGT.

As garrafas dos modelos em questão foram apertadas com velocidades de 7/5 rotações por minuto (Modelo A, rosca 25E) e 120/20 rotações por minuto (Modelo B, rosca $\frac{3}{4}$ 14'' NGT). A equipa considera

que a velocidade de aperto definida pode não garantir o aperto, pois atinge mais depressa a percentagem de binário definida e o ponto de comutação de velocidade. Esta opinião está defendida nas notas inseridas nos relatórios de controlo de fabrico de modelos com perfis de rosca semelhantes, onde as velocidades eram ajustadas às velocidades mínimas pelos operadores.

Após conversa com o operador responsável pelo posto de aperto da válvula, percebeu-se que este ajuste era feito para garantir que a comutação das velocidades fosse feita mais tarde, de forma a estabilizar o aperto.

Causa método: Procedimento de Aplicação do Material Vedante

No processo de Montagem e Aperto da Válvula, a etapa Aplicação do Material Vedante é normalizada, estando o seu procedimento descrito numa instrução específica, e disponibilizada na plataforma interna da empresa para consulta por parte de todos os colaboradores. Este procedimento está definido para a aplicação de vedantes do tipo massa – como é o caso da massa Plastinol Nural 14, utilizada pelo Modelo B –, e segundo diferentes larguras da Fita Teflon – utilizada pelo Modelo A.

No caso do Modelo A, o procedimento de aplicação do vedante Fita Teflon representa um requisito de cliente, que difere do procedimento interno normalmente seguido pelos colaboradores.

A esta causa pode ser associado o fator humano. Este é sempre importante nos sistemas de trabalho. Neste caso em concreto, acredita-se que o operador alocado no posto de aplicação do vedante tem formação e está familiarizado com o procedimento interno da empresa. Assim, é opinião da equipa que, em situações em que este modelo é fabricado, a mudança de procedimento pode, porventura, causar confusão do operador e dar margem para a existência de erros cometidos durante a aplicação.

Após conversar com o operador do posto de aplicação do material vedante, percebeu-se que este se sente mais confortável com o procedimento definido pela empresa, pois afirma que é mais simples e intuitivo, para além de que é uma ação para a qual tem formação e está especializado.

Após análise dos dois procedimentos, as diferenças verificaram-se nos seguintes pontos:

- Sentido de aplicação: O procedimento interno começa com a aplicação no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, enquanto que o procedimento externo inicia a aplicação no sentido dos ponteiros do relógio;
- Número de camadas: no procedimento interno estão definidas quatro camadas e meia de fita, enquanto que no procedimento externo estão definidas apenas quatro;
- Quantidade de informação: o procedimento interno está descrito numa instrução específica com três páginas, que contêm o fluxograma do procedimento e tabelas indicativas; o procedimento

externo está descrito num documento com sete páginas, a informação está apresentada por pontos e em texto corrido;

- Quantidade de filetes de rosca preenchidos: o procedimento interno indica que os filetes de rosca devem estar todos preenchidos, à exceção do primeiro e do último, enquanto que o procedimento externo indica que apenas os três primeiros e o último não devem estar preenchidos.

É opinião da equipa que o procedimento externo não está adequado ao processo, uma vez que o procedimento interno é mais visual e mais direto, o que facilita a compreensão por parte do operador. Para além disso, o procedimento interno está pensado para o processo, enquanto que o procedimento externo é um procedimento genérico.

Causa material: Ovalização da bolacha

Na Linha de Acabamento, a garrafa é submetida a dois processos de acabamento, que resultam no aumento da temperatura da garrafa, nomeadamente, o Tratamento Térmico e Estufagem. No processo Tratamento Térmico as garrafas são submetidas a um ciclo de aquecimento seguidas por um ciclo de arrefecimento, cujo objetivo é libertar o aço das tensões que este adquire nos processos anteriores. O processo de Estufagem, posterior ao processo Pintura, é responsável por permitir que a tinta cure.

A gama de temperatura a que a garrafa está sujeita durante estes dois processos depende da especificação da forma como o cliente pretende que a garrafa seja pintada – se com recurso a pintura líquida ou a pintura a pó. À saída do Tratamento Térmico, a temperatura da garrafa ronda os 650°C. No processo de Estufagem, a gama de temperatura de cura da garrafa está entre os 180°C e os 220°C, consoante o tipo de acabamento.

Ao submeter a garrafa a duas situações de aquecimento, o calor é transferido para os restantes elementos, nomeadamente, para a bolacha. Apesar de o tipo de aço da garrafa e da bolacha ser o mesmo, a espessura da chapa da coquilha superior difere da espessura da bolacha, o que influencia a dissipação de calor da garrafa para a bolacha. Outro fator que influencia a dissipação de calor é a diferente massa entre a bolacha e a coquilha superior.

Em conversa com os controladores da qualidade da Fábrica 1 e da Fábrica 2, percebeu-se que a ovalização da bolacha não é controlada no fluxo da linha de produção. Também não é efetuado um registo da temperatura a que a bolacha se encontra quando é efetuado o aperto.

É opinião da equipa que a ovalização da bolacha pode causar um impacto negativo no aperto da válvula, uma vez que altera a conicidade e a forma do perfil de rosca da bolacha. Mais ainda, a equipa acredita que a temperatura a que bolacha se encontra quando é executado o aperto seguido do arrefecimento durante o período de 48 horas representa uma situação que influencia negativamente o binário.

A ovalização da bolacha pode ser verificada através de um controlo de qualidade com calibres – liso e roscado (Figura 38). O calibre liso verifica a conicidade do perfil de rosca e o calibre roscado é usado para verificar a conformidade da rosca relativamente à especificação técnica. De notar que cada perfil de rosca tem um conjunto de calibres próprio, como é o caso da rosca 25E (Figura 38 –(a)) e da rosca $\frac{3}{4}$ 14" NGT (Figura 38 –(b)), cujas especificações vão ao encontro do descrito no estudo apresentado no Anexo III.



(a) Calibres para uma rosca 25E



(b) Calibres para uma rosca $\frac{3}{4}$ 14" NGT

Figura 38: Calibres liso e roscado.

Causa material: Dimensão da Fita Teflon

A dimensão da Fita Teflon utilizada no Modelo A é de 12 mm x 0,1 mm. A largura de 12 mm é um requisito de cliente, imposto no momento da encomenda.

Este fator surgiu principalmente da conclusão da equipa de que 12 mm não é a largura mais adequada para este tipo de modelo com rosca 25E, opinião esta suportada pela execução de fabricos idênticos – com o mesmo tipo de bolacha e perfil de rosca, onde a largura de Fita Teflon utilizada é de 19 mm.

Após o estudo do histórico dos lotes de fabrico de modelos de garrafa com rosca 25E, verificou-se que apenas o Cliente A impõe a largura de 12 mm. Mais ainda, verificou-se que não há registo nos Relatórios de Controlo de Produto de diminuição do binário no período entre fases de medição, nos fabricos com vedante Fita Teflon 19 mm x 0,1 mm.

Causa material: Alteração das características químicas do Nural 14

Este fator surgiu a partir da observação do processo e da conversa com os operadores das Fábricas 1 e 2, responsáveis pela aplicação do material vedante. Devido ao índice de viscosidade do Nural, este material é espesso e de difícil aplicação. Assim, percebeu-se que os operadores aquecem a lata onde este material está armazenado, de modo a torná-lo mais líquido e facilitar a sua aplicação.

Verificou-se ainda que este aquecimento é feito sem controlo, ou seja, sem ter em consideração a gama de temperatura a que a massa pode estar sujeita, sem alterar as suas características (Anexo VI, Tabela 31). Verificou-se também que a mesma lata de massa era aquecida várias vezes, uma vez que era reutilizada de fabrico para fabrico.

Assim, após a aplicação da massa nestas condições, o arrefecimento faz com que esta cole aos filetes de rosca da válvula e forme uma espécie de barreira, interferindo com a roscagem deste acessório com a bolacha e provocando uma situação de falso aperto – o aperto é efetuado, mas, devido à barreira criada entre os componentes, estes não ficam roscados. Mais ainda, dado que as características químicas são alteradas, o vedante deixa de fazer o efeito desejado e pode reagir com o material da válvula e/ou com o gás com o qual a garrafa é pressurizada.

É opinião da equipa que, com o Nural nestas condições, o binário medido a curto prazo seja elevado, mas que, a longo prazo, seja responsável pela instabilidade da válvula e consequente diminuição do binário. Isto porque, na segunda fase de medição, devido à colagem do vedante, o operador, ao efetuar a medição com chave, provoca a descolagem dos componentes e, devido à força aplicada, a válvula pode girar e aumentar o binário. Com a descolagem dos componentes, como estes não estão roscados entre si, a válvula perde força ao longo do tempo e, conseqüentemente, binário.

4.3.4. Formulação de hipóteses

Dada a informação recolhida, as hipóteses formuladas pela equipa para a problemática em estudo são as que constam na Tabela 7.

Tabela 7: Formulação de hipóteses.

#	Causa-raiz	Hipótese	Teoria		Verificação
			Modelo A	Modelo B	
1	Especificação do binário	O valor nominal do binário definido para ambos os modelos é elevado. A opinião da equipa é que o binário deve ser de 140 N.m, para o Modelo A, e 150 N.m, para o Modelo B, para garantir a estabilidade do binário durante o tempo de vida da garrafa.	<i>Verdadeiro</i>	<i>Verdadeiro</i>	Aplicação do Método de Taguchi; medição com chave.
2	Especificação da velocidade	O valor de velocidade deve ser ajustado para o mínimo, em ambos os casos. A equipa acredita que, a uma velocidade mais baixa, é possível ter um maior controlo sobre o aperto e garantir o binário.	<i>Verdadeiro</i>	<i>Falso</i>	Aplicação do Método de Taguchi.
3	Procedimento de aplicação	É opinião da equipa que o procedimento externo não é adequado ao processo.	<i>Verdadeiro</i>	<i>Não aplicável</i>	Aplicação do Método de Taguchi.
4	Temperatura da bolacha	A ovalização da bolacha causa a deformação do corpo da bolacha, o que põe em causa a roscagem.	<i>Verdadeiro</i>	<i>Verdadeiro</i>	Aplicação do Método de Taguchi; controlo de qualidade com calibres (liso e roscado).
5	Dimensão da Fita Teflon	A largura da Fita Teflon não é a mais indicada para garantir o binário. É opinião da equipa que esta deveria ser de 19 mm, e não de 12 mm.	<i>Verdadeiro</i>	<i>Não aplicável</i>	Aplicação do Método de Taguchi.
6	Estado do Nural 14	O processo de aquecimento feito pelos operadores altera as características químicas do Nural 14. A opinião da equipa é que este provoca a subida do binário no Momento 48 horas, mas provoca a sua diminuição ao longo do tempo.	<i>Não aplicável</i>	<i>Verdadeiro</i>	Aplicação do Método de Taguchi.

Nota. Adaptação própria.

4.4. Fase Melhorar

Nesta fase do projeto, e considerando a análise efetuada na Fase Analisar, pretende-se desenvolver e implementar soluções que permitam reduzir ou se possível eliminar as causas que contribuem para a diminuição do binário de aperto.

Primeiramente, foi executado um Planeamento de Experiências para cada modelo em estudo, baseado nas hipóteses identificadas na fase anterior. O objetivo foi perceber quais os parâmetros ótimos a ser aplicados ao Processo de Montagem e Aperto da Válvula, assim como as características ótimas a serem tidas em consideração quando se projeta um modelo de garrafa semelhante aos modelos em estudo. Esta secção apresenta ainda as sugestões de melhoria propostas e a análise da eficácia da sua implementação.

4.4.1. Aplicação do Método de Taguchi ao Processo de Montagem e Aperto da Válvula

De modo a verificar a veracidade das hipóteses identificadas, e tendo em conta que uma das ações presentes nos objetivos dos projetos é a definição dos parâmetros ótimos para o Processo de Montagem e Aperto da Válvula, foi elaborado um Planeamento de Experiências, baseado no Método Taguchi.

Para alcançar os objetivos desta fase, foram realizadas duas experiências, designadas por Experiência 1 e Experiência 2, relativas aos modelos de garrafa em análise, Modelo A e Modelo B, respetivamente. A Experiência 1 foi realizada na Fábrica 1 e a Experiência B na Fábrica 2, ambas no primeiro turno de produção.

Segundo Fernandes & Sousa (2014) e Yang & El-haik (2003), para a aplicação do Método de Taguchi devem ser percorridas as seguintes etapas:

- Etapa 1: Definição da característica de resposta;
- Etapa 2: Identificação dos fatores de controlo;
- Etapa 3: Escolha dos níveis;
- Etapa 4: Seleção da matriz ortogonal – Plano de Experiência;
- Etapa 5: Realização da experiência;
- Etapa 6: Análise dos resultados;
- Etapa 7: Teste de confirmação.

Inicialmente, a equipa definiu que se iria proceder à produção integral dos modelos de garrafa em análise, com o propósito de se atingir os objetivos de cada experiência. Porém, ao fazer uma avaliação

da realização das experiências em termos de esforço/benefício (Figura 39), a equipa concordou que não seria possível produzir as garrafas na íntegra, devido a questões de tempo, de mão-de-obra e de orçamento. Mais ainda, uma vez que cada modelo em questão utiliza válvulas específicas de cliente, e a empresa não possuía unidades em stock, o tempo de envio esperado das válvulas era superior a 14 semanas, período não viável para a duração do projeto.

Assim, a solução passou por selecionar, dos modelos de garrafa e de válvulas em stock, modelos semelhantes com as mesmas características dos modelos em análise, segundo o especificado na Tabela 2. As experiências foram realizadas com as garrafas selecionadas. Uma vez que as garrafas já estavam montadas – sem válvula roscada, apenas foi necessário utilizar a Linha de Acabamento de ambas as fábricas, o que facilitou a realização da experiência.

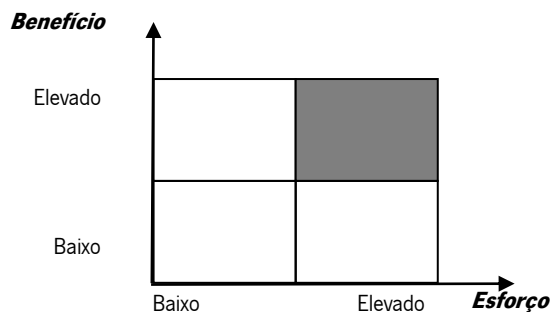


Figura 39: Matriz esforço *versus* benefício - análise para ambas as experiências. Adaptação própria.

Apesar de a problemática em estudo recair sobre a perda de binário 48 horas após a conclusão do fabrico dos lotes, a equipa considerou relevante adicionar uma terceira fase de medição, designada por Momento 1 Mês. Como o nome indica, esta terceira fase consiste na medição do binário de aperto das unidades em teste 1 mês após a conclusão da experiência. O objetivo da adição desta fase baseia-se no facto de o binário representar um parâmetro que se deve manter estável durante todo o tempo de vida da garrafa. Como 1 mês após a conclusão do fabrico as garrafas já se encontram no cliente e/ou no mercado, a equipa considerou importante analisar o comportamento do binário durante este período.

4.4.1.1. Experiência 1

1) Definição da característica de resposta

A característica de resposta é a base do problema em estudo – valor de binário de aperto da válvula, cujas especificações técnicas são as de binário de aperto do Modelo A, 160 ± 20 N.m.

Como se está perante uma situação em que o binário de aperto tem um valor nominal desejado, e como qualquer variação em torno do mesmo é considerada indesejada, a característica de resposta é do tipo nominal-é-melhor.

2) Identificação dos fatores de controlo

Os fatores de controlo desta experiência são as possíveis causas-raiz identificadas previamente, aplicáveis ao Modelo A. Constituem parâmetros da máquina que podem ser alterados por um operador, estando estes relacionados com o processo e com o método de trabalho.

Assim, a Tabela 8 resume os fatores de controlo considerados para a Experiência 1.

Tabela 8: Fatores de controlo considerados na Experiência 1.

Nome do fator	Código do fator	Descrição	Unidade
Especificação do binário	A	Define o valor introduzido na máquina de aperto, referência B_{ref} .	Newton-metro [N.m]
Especificação da velocidade	B	Define a velocidade de aperto (rápida e lenta).	Rotações por minuto [rot/min]
Temperatura da bolacha	C	Define a temperatura a que, teoricamente, a bolacha se encontra no momento de aperto.	Grau Celsius [°C]
Largura da Fita Teflon	D	Define a largura da Fita Teflon utilizada.	Milímetro [mm]
Método de aplicação do material vedante	E	Define o método a ser seguido quando aplicado o material vedante.	Não aplicado

Nota. Adaptação própria.

Os fatores de ruído influenciam a característica de reposta, mas não se conseguem reduzir ou eliminar de forma economicamente justificável (Fernandes & Sousa, 2014). Por exemplo, pequenas variações nas dimensões do perfil de rosca da válvula e a da bolacha, a humidade da área de trabalho, a existência de ruído, as vibrações, entre outras.

Neste problema poderia estudar-se também a eventual existência, e respetivo efeito, de interações entre os fatores. No entanto, não havia forma de selecionar uma interação como sendo mais significativa que outra. Sendo baixa a expectativa da relevância destas interações e visto que o seu estudo aumentaria o número de experiências a realizar, estas não foram alvo de estudo.

3) Escolha dos níveis

Foram definidos dois níveis para cada fator de controlo, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Níveis definidos para os fatores de controlo a considerar na Experiência 1.

Nome do fator	Código do fator	Níveis		Código dos níveis	
		1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
Especificação do binário	A	140	180	1	2
Especificação da velocidade	B	5/5	7/5	1	2
Temperatura da bolacha	C	≤ 50	≥ 60	1	2
Largura da Fita Teflon	D	Tipo 1 ^(a)	Tipo 2 ^(b)	1	2
Método de aplicação do material vedante	E	Procedimento 1 ^(c)	Procedimento 2 ^(d)	1	2

Nota. ^(a) Fita Teflon 19 mm x 0,1 mm; ^(b) Fita Teflon 12 mm x 0,1 mm; ^(c) Procedimento de aplicação interno (definido pela Amtrol-Alfa, S.A.); ^(d) Procedimento de aplicação externo (definido pelo cliente). Adaptação própria.

De forma a interpretar a Tabela 9, por exemplo, no fator A, o nível 1 refere-se a um valor Bset de 140 N.m introduzido na máquina de aperto; no fator B, o nível 1 consiste em ajustar o parâmetro velocidade da máquina de aperto para 5/5 rotações por minuto; o fator C, nível 1, refere que, no momento de aperto, a bolacha deverá estar a uma temperatura igual ou inferior a 50°C; o fator D, nível 2, refere que a Fita Teflon utilizada tem uma dimensão de 12 mm x 0,1 mm; no fator E, o nível 1 refere-se ao método de aplicação, que, neste caso, é o procedimento interno definido pela empresa.

Uma vez que a experiência foi realizada em *shop floor*¹², pressupôs-se que os fatores de ruído se manifestariam de forma aleatória durante a realização da experiência. A sua execução contou com o envolvimento da equipa definida para o projeto, de diferentes operadores e de componentes distintos provenientes de diversos fornecedores, pelo que não se forçou o valor de nenhum fator de ruído.

4) Seleção da matriz ortogonal – Plano de experiência

Uma vez definidos os fatores de controlo e os níveis a considerar, a matriz ortogonal selecionada foi a matriz L8, uma vez que esta permite estudar até sete fatores com dois níveis, a realização de oito testes distintos (Fernandes & Sousa, 2014).

Face a estes dados, a matriz ortogonal selecionada é a da Tabela 10. Para cada teste, a cada fator é atribuído o número 1 ou 2, conforme o nível considerado.

Tabela 10: Plano de experiência a considerar na Experiência 1.

¹² Chão de fábrica.

Teste	Bset (A)	Velocidade (B)	Temperatura (C)	Largura (D)	Método (E)
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	2	2	1	1
4	1	2	2	2	2
5	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1
7	2	2	1	1	2
8	2	2	1	2	1

Nota. Bset – Corresponde ao Fator A, intitulado de Especificação do binário; Velocidade – Corresponde ao Fator B, intitulado de Especificação da velocidade; Temperatura – Corresponde ao Fator C, intitulado de Temperatura da bolacha; Largura – Corresponde ao Fator D, intitulado de Largura da Fita Teflon; Método – Corresponde ao Fator E, intitulado por Método de aplicação do material vedante. Adaptação própria.

5) Realização da experiência

Após gerar o plano de experiência, e dado o número de garrafas e válvulas disponíveis com as características pretendidas (um total de cinquenta garrafas e setenta válvulas), a equipa decidiu realizar cinco repetições por teste, que contaram com a utilização de um total de quarenta e cinco garrafas e quarenta e cinco válvulas, visando já a Etapa 7 (Teste de Confirmação) da experiência.

A experiência foi realizada considerando que o instrumento de medição (chave dinamométrica) teria capacidade para medir o processo, que a máquina de aperto estaria em condições normais e que os operadores estariam a laborar de forma estável. Se estas condições não fossem verificadas, os resultados poderiam ter sido influenciados por algum tipo de enviesamento.

De seguida apresenta-se cada fase de execução da experiência.

i) Fase 1: Seleção das garrafas e válvulas

Dentro do conjunto de garrafas previamente fabricadas e armazenadas em *stock*, selecionou-se o modelo mais semelhante ao modelo em análise. Os critérios de seleção foram o tipo de produto, o modelo da bolacha, a qualidade de aço e a espessura do disco de chapa, de acordo com a Tabela 2.

Após a seleção do modelo em *stock* mais adequado, todas as garrafas foram submetidas a um controlo de qualidade para avaliar o estado da rosca das bolachas. Para tal, foram utilizados dois calibres – liso e roscado (Figura 38 – (a)), para avaliar a conicidade e a conformidade da rosca relativamente à especificação técnica, respetivamente. Todas as garrafas passaram no teste realizado.

O mesmo procedimento foi aplicado à escolha do modelo de válvula. Neste caso, os critérios de seleção foram o perfil de rosca e o material. Como controlo de qualidade, procedeu-se também à avaliação da conicidade e da conformidade das válvulas. Para tal, foram selecionadas oito válvulas, de

forma aleatória, e utilizou-se o projetor de perfis do Laboratório de Metrologia e Ensaios. Verificou-se que as válvulas estavam em condições aceitáveis.

ii) Fase 2: Identificação das garrafas e das válvulas

De modo a organizar a experiência, recorreu-se à identificação das garrafas e das válvulas selecionadas. As garrafas foram identificadas com os números de 1 a 40, de modo a atribuir um número de série a cada uma.

Para a identificação das válvulas, e tendo em conta os fatores de controlo D, Largura da Fita Teflon, e E, Método de aplicação do material vedante, procedeu-se à separação das válvulas por conjuntos, de acordo com o nível destes fatores. As válvulas foram agrupadas em quatro conjuntos distintos e identificadas com um código. Os conjuntos foram organizados segundo o tipo de Fita Teflon e o método de trabalho da seguinte forma:

- Conjunto 1 (código identificativo: C1): Fita Teflon – tipo 1 e Procedimento 1;
- Conjunto 2 (código identificativo: C2): Fita Teflon – tipo 1 e Procedimento 2;
- Conjunto 3 (código identificativo: C3): Fita Teflon – tipo 2 e Procedimento 1;
- Conjunto 4 (código identificativo: C4): Fita Teflon – tipo 2 e Procedimento 2.

Mais ainda, as válvulas foram identificadas com a letra T, representativa de teste, e com o número do teste correspondente. De forma a interpretar o que foi feito, a Figura 40 apresenta uma das válvulas já com a respetiva identificação. Na imagem é possível ver que a válvula foi identificada com dois códigos distintos, nomeadamente, T1 e C1, o que significa que esta válvula corresponde ao Teste 1 e pertence ao Conjunto 1.



Figura 40: Exemplo de identificação de uma válvula para a Experiência 1.

iii) Fase 3: Definição da ordem de execução da experiência

O critério de decisão da ordem da experiência baseou-se nos níveis definidos para o fator C – Temperatura da bolacha. Os primeiros testes realizados foram os testes com o fator C no nível 2, pelo que a ordem foi a seguinte: Teste 3 – Teste 4 – Teste 5 – Teste 6 – Teste 1 – Teste 2 – Teste 7 – Teste 8.

iv) Fase 4: Execução da experiência

Para além do autor e do membro da equipa Hélder Caldas, a realização da experiência contou com a participação de dez operadores da Linha de Acabamento da Fábrica 1. O fluxograma da Figura 41 apresenta as etapas seguidas nesta experiência, tornando mais intuitiva a explicação da mesma.

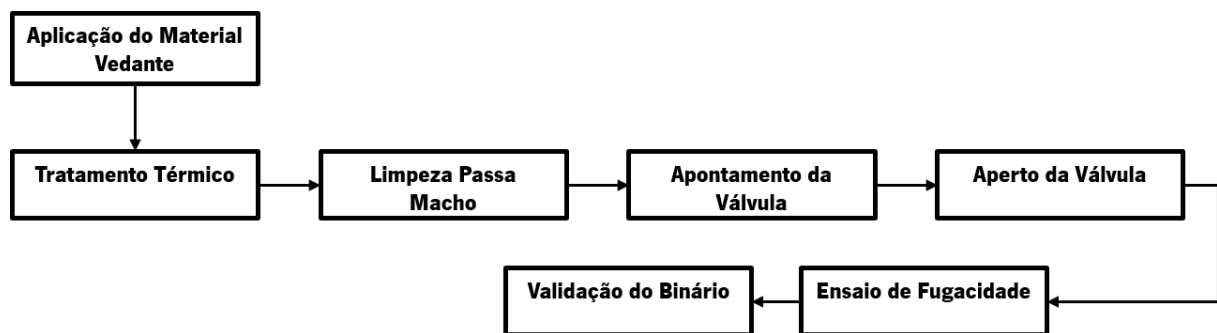


Figura 41: Fluxograma da execução da Experiência 1. Adaptação própria.

Como a Fita Teflon não perde propriedades quando exposta à temperatura ambiente, a aplicação do material vedante foi feita no dia anterior à realização da experiência. Este processo foi efetuado pelo operador do posto do processo Aplicação do Material Vedante da Linha de Acabamento da Fábrica 1. Para a realização desta etapa, o operador teve acesso às quatro caixas relativas aos quatro conjuntos de válvulas previamente separados. Cada caixa tinha ainda o rolo do tipo de Fita Teflon a ser utilizado e o procedimento a ser seguido.

Após a aplicação do material vedante, as válvulas foram novamente divididas, desta vez por oito caixas distintas, de acordo com o teste a que se referiam. Estas foram colocadas no posto do processo Apontamento da Válvula pela ordem de execução definida na Fase 3.

À entrada da estufa, antes do processo Tratamento Térmico, as garrafas foram penduradas nos pendurais do transportador aéreo, por ordem crescente do número de série com que previamente foram identificadas. Como as garrafas não foram fabricadas de raiz, estas já se encontravam pintadas, pelo que não foi possível submeter as garrafas novamente ao processo de Estufagem. Assim, para tentar manter as garrafas a uma temperatura elevada, após o Tratamento Térmico, as primeiras vinte garrafas

foram retiradas dos pendurais e transportadas diretamente para o posto Limpeza Passa Macho. As restantes vinte percorram o trajeto produtivo normal. Procedeu-se desta forma devido aos primeiros quatro testes a serem executados, com o fator C no nível 2, onde se pretende que a bolacha esteja à temperatura mais elevada possível no momento do aperto.

Após o processo Limpeza Passa Macho, todas as garrafas foram inspecionadas de modo a despistar sujidade na rosca da válvula e outras irregularidades. Neste posto, foi ainda efetuado um controlo de qualidade semelhante ao efetuado na Fase 1 – voltou-se a verificar a conicidade e a conformidade da rosca das bolachas com recurso a dois calibres, para despistar a ovalização da bolacha.

Juntamente com este procedimento foi ainda medida e registada a temperatura da bolacha. As primeiras vinte garrafas registaram uma temperatura compreendida entre os 60°C e os 80°C; as últimas vinte registaram uma temperatura entre os 30°C e os 40°C. Verificou-se, pela utilização dos calibres, a ovalização da bolacha das garrafas em teste, ovalização esta mais acentuada nas primeiras vinte garrafas testadas.

De seguida, procedeu-se ao apontamento das válvulas e ao aperto das mesmas. No posto Aperto da Válvula, o autor trabalhou em conjunto com o operador do posto, de forma a garantir a regulação correta da máquina de aperto, conforme o teste a realizar.

À medida que as válvulas foram apertadas, foi registado o valor *Bfm* dado pela máquina para cada garrafa. De forma a verificar a conformidade entre a chave dinamométrica e a máquina de aperto, verificou-se manualmente o binário da primeira garrafa de cada teste, de modo a confirmar que o valor medido pelo operador ia ao encontro do valor *Bfm* obtido e ao valor *Bset* definido.

Após o aperto, foi realizado o Ensaio de Fugacidade às garrafas, para o despiste de fugas pela união roscada. Não se verificou a existência de fuga em nenhuma garrafa, pelo que se pode inferir que não ocorreu deformação dos filetes de rosca durante o aperto.

Por fim, as garrafas foram colocadas em paletes para a posterior medição dos valores de binário.

v) Fase 5: Medição do valor de binário de aperto

Após a conclusão da experiência, procedeu-se ao processo Validação do Binário.

As garrafas foram medidas manualmente pelo controlador da qualidade da Linha de Acabamento da Fábrica 1 e membro da equipa, com recurso a uma chave dinamométrica (Figura 42).

Os valores foram registados e comparados com os valores *Bfm* dados pela máquina no momento do aperto. Verificou-se um aumento dos valores medidos com chave comparativamente aos valores *Bfm* registados – entre 10 N.m e 20 N.m. Esta diferença pode estar relacionada com a força que o operador

executa no processo de medição manual com chave, que provoca a ligeira rotação da válvula e o aumento do binário. Como nenhum valor disparou para valores de binário muito distantes, nem se verificaram fugas no Ensaio de Fugacidade, pode-se inferir que não houve deformação do corpo da válvula.



Figura 42: Medição do binário com chave.

Passadas 48 horas, procedeu-se novamente à medição dos valores de binário de aperto, com recurso ao mesmo operador e à mesma chave. As garrafas foram novamente medidas 1 mês após a conclusão da experiência.

Os resultados obtidos nas medições efetuadas na experiência são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados obtidos para o Planamento de Experiências – Experiência 1.

Teste	Momento 0 horas (N.m)					Momento 48 horas (N.m)					Momento 1 mês				
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
1	155	159	152	153	155	164	160	159	167	167	157	162	145	160	161
2	153	157	157	160	158	147	144	149	149	147	144	142	149	145	144
3	157	152	153	160	156	163	158	184	156	166	156	154	156	162	160
4	153	154	158	156	157	145	145	140	148	146	132	136	132	136	138
5	181	189	183	185	186	188	180	170	169	177	179	179	179	176	179
6	187	180	183	183	181	177	170	168	164	155	176	177	171	179	179
7	183	183	187	185	180	163	181	166	164	179	179	184	175	178	185
8	188	182	184	182	185	184	172	171	172	170	183	187	187	171	183

Nota. Adaptação própria.

6) Análise dos resultados

Na Tabela 12 é possível observar a caracterização das medições efetuadas.

Tabela 12: Caracterização das medições da Experiência 1.

Teste	Momento	Média	Desvio Padrão	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Mínimo	Máximo
1	0 horas	155	2,68	155	153	155	152	159
	48 horas	157	2,55	157	157	158	153	160
	1 mês	156	3,21	156	153	157	152	160
2	0 horas	156	2,07	156	154	157	153	158
	48 horas	185	3,03	185	183	186	181	189
	1 mês	183	2,68	183	181	183	180	187
3	0 horas	184	2,61	183	183	185	180	187
	48 horas	184	2,49	184	182	185	182	188
	1 mês	163	3,78	164	160	167	159	167
4	0 horas	147	2,05	147	147	149	144	149
	48 horas	165	11,13	163	158	166	156	184
	1 mês	145	2,95	145	145	146	140	148
5	0 horas	177	7,79	177	170	180	169	188
	48 horas	167	8,11	168	164	170	155	177
	1 mês	171	8,68	166	164	179	163	181
6	0 horas	174	5,76	172	171	172	170	184
	48 horas	157	6,96	160	157	161	145	162
	1 mês	145	2,59	144	144	145	142	149
7	0 horas	158	3,29	156	156	160	154	162
	48 horas	135	2,68	136	132	136	132	138
	1 mês	178	1,34	179	179	179	176	179
8	0 horas	176	3,29	177	176	179	171	179
	48 horas	180	4,21	179	178	184	175	185
	1 mês	182	6,57	183	183	187	171	187

Nota. Adaptação própria.

Na Figura 43 é possível observar o gráfico de controlo construído com os valores das médias de cada momento de medição apresentadas na Tabela 10.

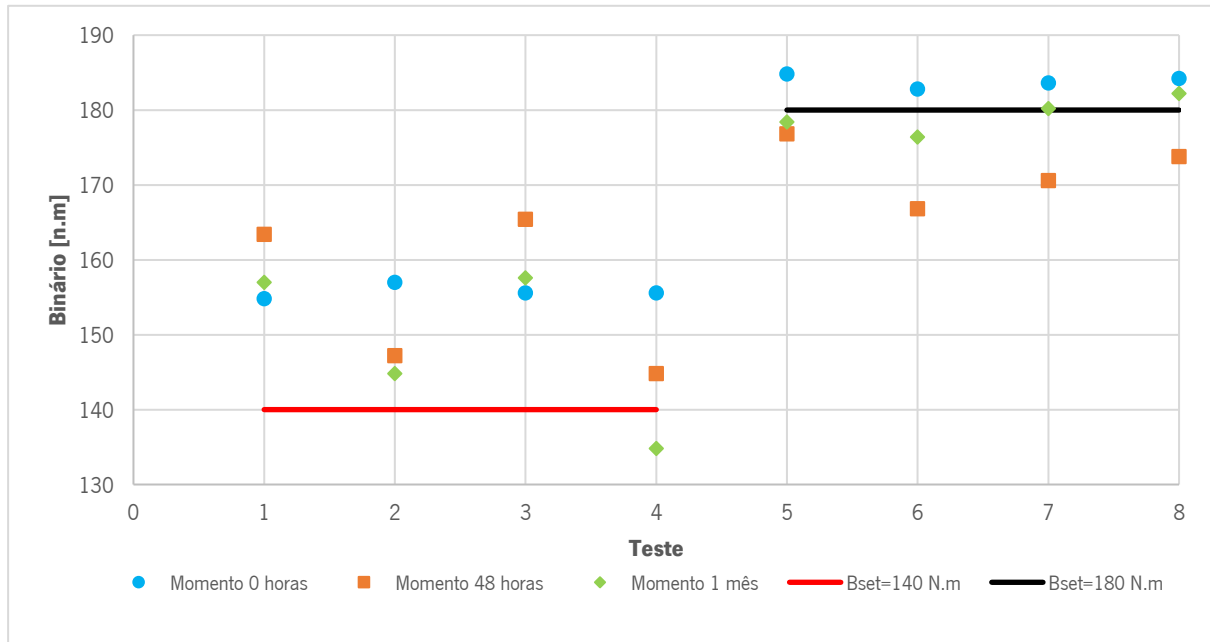


Figura 43: Gráfico de controlo – resultados (valores médios) conseguidos da Experiência 1. Adaptação própria.

Através da análise da Figura 43, é possível observar que:

- Existe diminuição do binário no Momento 48 horas nos testes 2, 4, 5, 6, 7 e 8;
- Todos os testes com o parâmetro $Bset$ mais elevado (180 N.m) apresentam diminuição de binário – esta diminuição confirma a teoria formulada pela equipa (Teoria #1, Tabela 7) de que o binário especificado deveria ser mais baixo;
- Apesar de o Teste 2 ter como $Bset$ o valor 140 N.m, este apresenta como fatores D e E o tipo 2 de Fita Teflon (12 mm de largura) e o procedimento 2 de aplicação do vedante (procedimento externo) – a diminuição de binário registada no Momento 48 horas e no Momento 1 mês confirma as teorias formuladas pela equipa (Teorias #5 e #3, Tabela 7) relativamente à largura da Fita Teflon e do procedimento de aplicação do material vedante;
- O Teste 4 apresenta diminuição no período de 48 horas e de 1 mês após a conclusão da experiência; também o valor médio obtido nas medições efetuadas 1 mês após a conclusão da experiência é inferior ao valor $Bset$ – apesar de ter como $Bset$ o valor 140 N.m, este teste foi realizado com a velocidade de aperto mais elevada, a temperatura mais elevada, com a largura de Fita Teflon de 12 mm e procedimento externo, o que confirma as teorias formuladas pela equipa (Teorias #2, #4, #5 e #3, Tabela 7).

De seguida, procedeu-se à análise e interpretação dos resultados através do *software* estatístico Minitab, através da utilização dos menus *Stat > DOE > Taguchi >*.

O primeiro passo foi selecionar o índice sinal ruído mais apropriado – nominal-é-melhor –, uma vez que o objetivo da combinação de fatores foi alcançar o valor nominal especificado. Selecionado o índice S/R, procedeu-se ao cálculo das médias e índices S/R de cada teste e ao cálculo dos efeitos na média e índice S/R. A Figura 44 apresenta o efeito dos fatores de controlo no índice S/R.

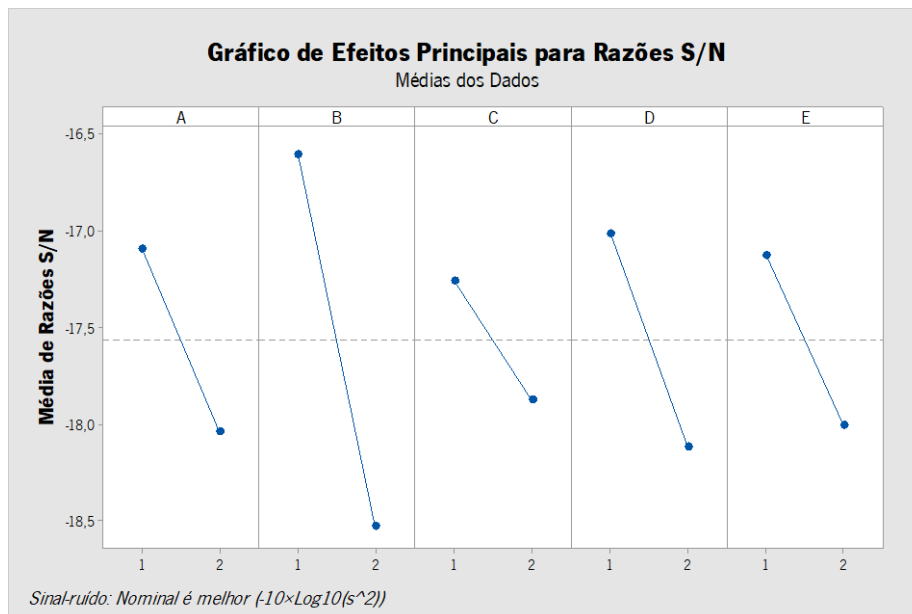


Figura 44: Gráficos S/R – Experiência 1. Obtido do *software* Minitab.

Nota. A – Fator Especificação do binário; B – Fator Especificação da velocidade; C – Fator Temperatura da bolacha; D- Fator Largura da Fita Teflon; E – Fator Método de aplicação do material vedante.

Através da análise da Figura 44, é possível observar que quando os fatores se encontram no nível 2, existe uma grande redução do valor S/R, significando que nestas condições o processo apresenta mais variabilidade ou que é menos robusto ao ruído. Assim, os fatores devem ser colocados no nível 1 para maximizar o índice S/R.

Ainda através da observação do gráfico S/R, foi possível concluir que a combinação ótima para reduzir a variação da característica de resposta é: A1; B1; C1; D1; E1.

Analisando agora o gráfico que representa o efeito na média da variação dos níveis dos fatores de controlo (Figura 45), constata-se que o fator A é o que provoca mais efeito. No entanto, da análise do índice S/R, o fator A teria de ficar fixo no nível 1 para reduzir a variabilidade da característica de resposta.

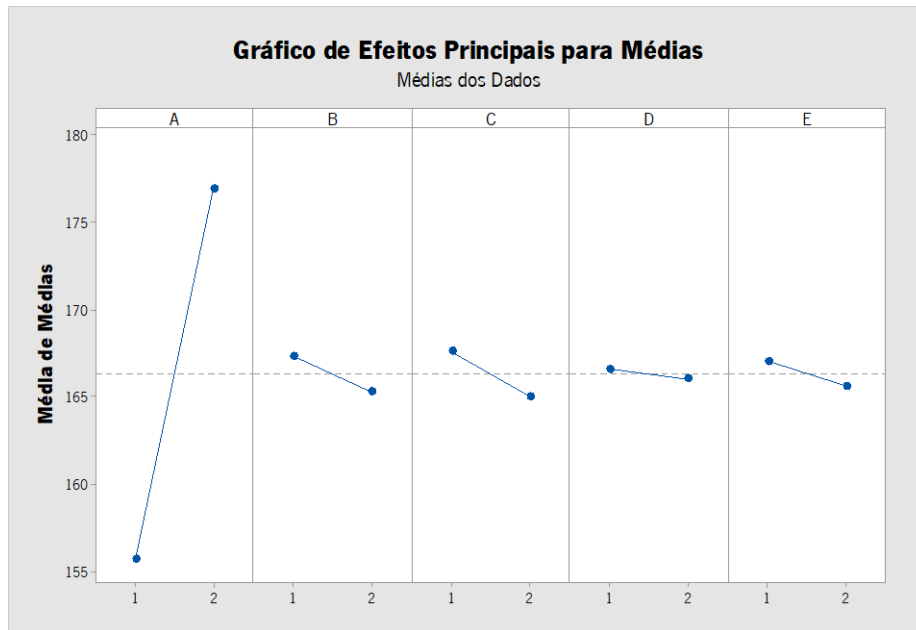


Figura 45: Gráficos médias – Experiência 1. Obtido do *software* Minitab.

Nota. A – Fator Especificação do binário; B – Fator Especificação da velocidade; C – Fator Temperatura da bolacha; D- Fator Largura da Fita Teflon; E – Fator Método de aplicação do material vedante.

Esta análise sugeriu a utilização da combinação de fatores apresentada na Tabela 13.

Tabela 13: Combinação ótima de fatores - Experiência 1.

Bset (A)	Velocidade (B)	Temperatura (C)	Largura (D)	Método (E)
A1	B1	C1	D1	E1
O valor de especificação deve ser de 140 N.m.	A velocidade de aperto deve ser definida para 5/5 rotações por minuto.	A temperatura da bolacha deve ser igual ou inferior a 50°C.	O tipo de Fita Teflon a ser utilizado deve ter dimensões 19 mm x 0,1 mm.	O método a ser seguido no processo Aplicação do Material Vedante deve ser o procedimento interno definido pela empresa.

Nota. Bset – Corresponde ao Fator A, intitulado de Especificação do binário; Velocidade – Corresponde ao Fator B, intitulado de Especificação da velocidade; Temperatura – Corresponde ao Fator C, intitulado de Temperatura da bolacha; Largura – Corresponde ao Fator D, intitulado de Largura da Fita Teflon; Método – Corresponde ao Fator E, intitulado por Método de aplicação do material vedante. Adaptação própria.

7) Teste de confirmação

Após a obtenção da combinação ótima de fatores, efetuou-se um teste de confirmação. Para tal, repetiram-se as Fases 2, 3, 4 e 5 descritas na Etapa 5, Realização da Experiência.

A medição dos valores de binário foi realizada novamente em três fases – Momento 0 horas, Momento 48 horas e Momento 1 mês. Os resultados obtidos (valores médios) são apresentados na Tabela 14.

Da análise da Tabela 14, é possível observar que os valores obtidos estão próximos do valor nominal definido, pelo que os resultados alcançados foram bastante satisfatórios.

Dado o sucesso da experiência, sugeriu-se a implementação destes parâmetros para futuros fabricos deste modelo.

Tabela 14: Teste de confirmação - Experiência 1.

Combinação	Momento 0 horas	Momento 48 horas	Momento 1 mês	Média	Desvio- padrão	Amplitude
A1						
B1						
C1	151	147	146	148	2,65	5
D1						
E1						

Nota. Adaptação própria.

4.4.1.2. Experiência 2

As etapas de execução da Experiência 2 são idênticas às da Experiência 1.

1) Etapas 1 – Definição da característica de resposta

A característica de resposta é 170 ± 20 N.m. Está-se novamente perante uma situação em que a característica de resposta é do tipo nominal-é-melhor.

2) Identificação dos fatores de controlo

A Tabela 15 resume os fatores de controlo considerados para a Experiência 2.

Tabela 15: Fatores de controlo considerados na Experiência 2.

Nome do fator	Código do fator	Descrição	Unidade
Especificação do binário	A	Define o valor introduzido na máquina de aperto, referência <i>Bset</i> .	Newton-metro [N.m]
Especificação da velocidade	B	Define a velocidade de aperto (rápida e lenta).	Rotações por minuto [rot/min]
Temperatura da bolacha	C	Define a temperatura a que, teoricamente, a bolacha se encontra no momento de aperto.	Grau Celsius [°C]
Estado do material vedante	D	Define o estado da massa Plastinol Nural 14.	Não aplicável

Nota. Adaptação própria.

Os fatores de ruído passam por pequenas variações nas dimensões do perfil de rosca da válvula e da bolacha, a humidade da área de trabalho, o ruído, vibrações, entre outras. Comparativamente com a Experiência 1, também não se fez o estudo de interações.

3) Escolha dos níveis

Foram definidos dois níveis para cada fator de controlo, que são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Níveis definidos para os fatores de controlo a considerar na Experiência 2.

Nome do fator	Código do fator	Níveis		Código dos níveis	
		1º	2º	1º	2º
Especificação do binário	A	150	190	1	2
Especificação da velocidade	B	100/20	120/20	1	2
Temperatura da bolacha	C	≤40	≥60	1	2
Estado do material vedante	D	Utilização	Envelhecido	1	2

Nota. Adaptação própria.

De forma a interpretar a Tabela 16, por exemplo, no fator A, o nível 1 refere-se a um valor *Bset* de 150 N.m introduzido na máquina de aperto; no fator B, o nível 1 consiste em ajustar o parâmetro velocidade da máquina de aperto para 100/20 rotações por minuto; o fator C, nível 1, refere que, no momento de aperto, a temperatura da bolacha deverá ser igual ou inferior a 40°C; o fator D, nível 2, refere que o Nural 14 utilizado está num estado envelhecido.

Uma vez que a experiência foi realizada em *shop floor*, pressupôs-se que os fatores de ruído se manifestariam de forma aleatória durante a realização da experiência. A mesma contou com o envolvimento da equipa definida para o projeto, de diferentes operadores e de diversos componentes provenientes de vários fornecedores, pelo que não se forçou o valor de nenhum fator de ruído.

4) Seleção da matriz ortogonal – Plano de experiência

A matriz ortogonal selecionada foi a L8, que se encontra na Tabela 17. Para cada teste, a cada fator é atribuído o número 1 ou 2, consoante o nível considerado.

Tabela 17: Plano de experiências a considerar para a Experiência 2.

Teste	Bset (A)	Velocidade (B)	Temperatura (C)	Vedante (D)
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	2	2	1
4	1	2	2	2
5	2	1	2	1
6	2	1	2	2
7	2	2	1	1
8	2	2	1	2

Nota. Bset – Corresponde ao Fator A, intitulado de Especificação do binário; Velocidade – Corresponde ao Fator B, intitulado de Especificação da velocidade; Temperatura – Corresponde ao Fator C, intitulado de Temperatura da bolacha; Vedante – Corresponde ao Fator D, intitulado de Estado do material vedante. Adaptação própria.

5) Realização da experiência

Após gerar o plano de experiência, e dado o número de garrafas e válvulas disponíveis com as características pretendidas (um total de sessenta garrafas e cinquenta válvulas), a equipa decidiu realizar cinco repetições por teste, que contaram com um total de quarenta e cinco garrafas e quarenta e cinco válvulas, apontando já para a Etapa 7 (Teste de Confirmação) da experiência.

A experiência foi realizada considerando que o instrumento de medição (chave dinamométrica) teria capacidade para medir o processo, que a máquina de aperto estaria em condições normais e que os operadores estariam a laborar de forma estável. Se estas condições não fossem verificadas, os resultados poderiam ter sido influenciados por algum tipo de enviesamento.

A realização da experiência contou com as seguintes fases:

- i) Fase 1: Seleção das garrafas e válvulas

Nesta fase, procedeu-se do mesmo modo que na Experiência 1.

- ii) Fase 2: Envelhecimento de uma lata de Plastinol Nural 14

Como referido na Fase Analisar, o Nural é uma massa com um índice de viscosidade elevado. Na Linha de Acabamento, os operadores procedem ao aquecimento das latas de Nural para facilitar a sua aplicação. Como uma lata de Nural é conservada para vários processos de fabrico, sempre que é utilizada esta sofre um novo processo de aquecimento.

Assim, simulou-se esta situação com uma lata de Nural, tendo esta sido submetida a ciclos de aquecimento e arrefecimento consecutivos durante um período de uma semana. Ao Nural, nestas condições, atribuiu-se a designação “Envelhecido”.

iii) Fase 3: Identificação das garrafas e das válvulas

De modo a organizar a experiência, recorreu-se à identificação das garrafas e das válvulas. As garrafas foram identificadas de 1 a 40, de modo a atribuir um número de série a cada uma.

Para a identificação das válvulas, estas foram distribuídas por oito caixas e identificadas com o código X, que representa o número do teste correspondente – definido de 1 a 8, inclusive –, e com o código representativo do estado do material vedante (fator D) – em cada válvula foram inscritas as letras U ou E, conforme o nível do fator D para cada teste. A Figura 46 apresenta um exemplo da identificação feita.



Figura 46: Exemplo de identificação de uma válvula para a Experiência 2.

iv) Fase 4: Ordem de execução da experiência

A ordem de execução de cada teste baseou-se no nível do fator C. Assim, os primeiros testes realizados foram aqueles com o fator C no nível 2, pelo que a ordem foi a seguinte: Teste 3 – Teste 4 – Teste 5 – Teste 6 – Teste 1 – Teste 2 – Teste 7 – Teste 8. As oito caixas com as válvulas foram colocadas no posto do processo Aplicação do Material Vedante por esta ordem.

v) Fase 5: Execução da experiência

Para além do autor e do controlador de qualidade da Fábrica 1 e membro da equipa, a realização da experiência contou com a participação de sete operadores da Linha de Acabamento da Fábrica 2. O fluxograma da Figura 47 apresenta as etapas seguidas nesta experiência, tornando mais intuitiva a explicação da mesma.

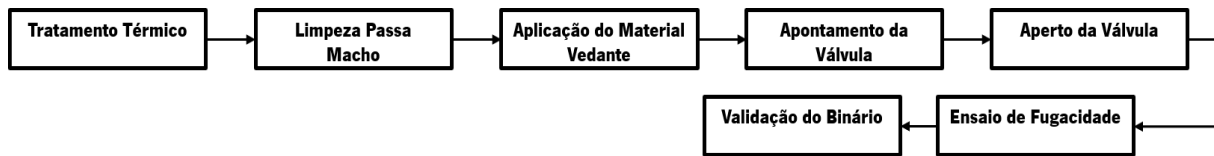


Figura 47: Fluxograma da execução da Experiência 2. Adaptação própria.

A realização da Experiência 2 iniciou-se com o processo Tratamento Térmico. As garrafas foram penduradas nos pendurais do transportador aéreo, por ordem crescente do número de série com que previamente foram identificadas. À saída do Tratamento Térmico, as primeiras vinte garrafas foram retiradas dos pendurais e transportadas diretamente para o posto Limpeza Passa Macho. As restantes vinte percorrem o trajeto produtivo normal.

Após o processo Limpeza Passa Macho, todas as garrafas foram inspecionadas de modo a despistar sujidade na rosca da válvula e outras irregularidades, foi efetuado um controlo de qualidade para se despistar a ovalização da bolacha e medida e registada a temperatura da mesma. Verificou-se ovalização e temperaturas entre os 30°C e os 40 °C nas primeiras vinte garrafas, e entre 50 °C os 60°C nas últimas vinte.

De seguida, procedeu-se à Aplicação do Material Vedante. No posto foram colocadas as oito caixas devidamente identificadas por teste e estado do material vedante. Foram ainda colocadas as duas latas de Nural 14, inscritas uma com a letra U e outra com a letra E. As instruções dadas ao operador foram que a letra inscrita na lata de vedante a aplicar devia coincidir com a letra inscrita na válvula de cada caixa e que este deveria seguir o procedimento interno de aplicação da empresa.

No posto Aperto da Válvula, o autor trabalhou em conjunto com o operador do mesmo, de forma a garantir a regulação correta da máquina de aperto, de acordo com o teste a realizar. À medida que as válvulas foram apertadas, foi registado o valor *Bfm* dado pela máquina para cada garrafa. A primeira garrafa de cada teste foi medida à saída do aperto com chave para verificar a conformidade da chave com a máquina de aperto.

Após o aperto, foi realizado o ensaio de fugacidade às garrafas para o despiste de fugas pela união roscada. Todas as garrafas passaram no ensaio. Após esta etapa, as garrafas foram colocadas em paletes para a posterior medição dos valores de binário.

vi) Fase 6: Medição do valor de binário de aperto

Após a conclusão da experiência, procedeu-se ao processo Validação do Binário. As garrafas foram medidas manualmente, pelo controlador da qualidade da Linha de Acabamento da Fábrica 1 e membro da equipa, com recurso a uma chave dinamométrica (Figura 48).

Os valores foram registados para posterior análise e comparados com os valores *Bfm* dados pela máquina no momento do aperto. Verificou-se um aumento significativo dos valores medidos com chave comparativamente aos valores *Bfm* registados – entre 10 N.m e 50 N.m. Este aumento poderá estar relacionado com a força executada pelo operador no momento da medição com chave.



Figura 48: Medição do binário com chave.

Passadas 48 horas, procedeu-se novamente à medição dos valores de binário de aperto, com recurso ao mesmo operador e à mesma chave. As garrafas foram novamente medidas 1 mês após a conclusão da experiência.

Os resultados obtidos nas medições efetuadas na experiência são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados obtidos do planeamento de experiências – Experiência 2.

Teste	Momento 0 horas (N.m)					Momento 48 horas (N.m)					Momento 1 mês (N.m)				
	b₁	b₂	b₃	b₄	b₅	B₁	B₂	B₃	B₄	B₅	B₁	B₂	B₃	B₄	B₅
1	151	165	175	162	158	168	173	184	175	176	182	167	191	181	191
2	207	214	199	218	197	210	238	206	230	202	160	162	164	170	174
3	172	193	164	180	175	178	171	186	189	179	237	207	204	208	207
4	210	200	201	195	208	197	218	193	204	207	181	182	181	178	168
5	196	197	206	191	194	203	202	204	209	206	250	237	255	230	201
6	202	216	239	205	202	220	229	251	215	201	186	176	173	169	163
7	192	191	199	197	200	195	197	209	174	195	203	232	201	215	239
8	209	214	221	224	211	204	214	225	236	208	189	179	178	170	182

Nota. Adaptação própria.

6) Análise dos resultados

Na Tabela 19 é possível observar a caracterização das medições efetuadas.

Tabela 19: Caracterização das medições da Experiência 2.

Teste	Momento	Média	Desvio Padrão	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Mínimo	Máximo
1	0 horas	162	8,87	162	158	165	151	175
	48 horas	207	9,14	207	199	214	197	218
	1 mês	177	10,76	175	172	180	164	193
2	0 horas	203	6,14	201	200	208	195	210
	48 horas	197	5,63	196	194	197	191	206
	1 mês	213	15,74	205	202	216	202	239
3	0 horas	196	4,09	197	192	199	191	200
	48 horas	216	6,46	214	211	221	209	224
	1 mês	175	5,81	175	173	176	168	184
4	0 horas	217	15,85	210	206	230	202	238
	48 horas	181	7,09	179	178	186	171	189
	1 mês	204	9,68	204	197	207	193	218
5	0 horas	205	2,77	204	203	206	202	209
	48 horas	223	18,55	220	215	229	201	251
	1 mês	194	12,61	195	195	197	174	209
6	0 horas	217	13,07	214	208	225	204	236
	48 horas	182	9,84	182	181	191	167	191
	1 mês	166	5,83	164	162	170	160	174
7	0 horas	213	13,72	207	207	208	204	237
	48 horas	178	5,79	181	178	181	168	182
	1 mês	235	21,27	237	230	250	201	255
8	0 horas	173	8,56	173	169	176	163	186
	48 horas	218	17,03	215	203	232	201	239
	1 mês	180	6,88	179	178	182	170	189

Nota. Adaptação própria.

Na Figura 49 é possível observar o gráfico de controlo construído com os valores das médias de cada momento de medição, apresentadas na Tabela 19.

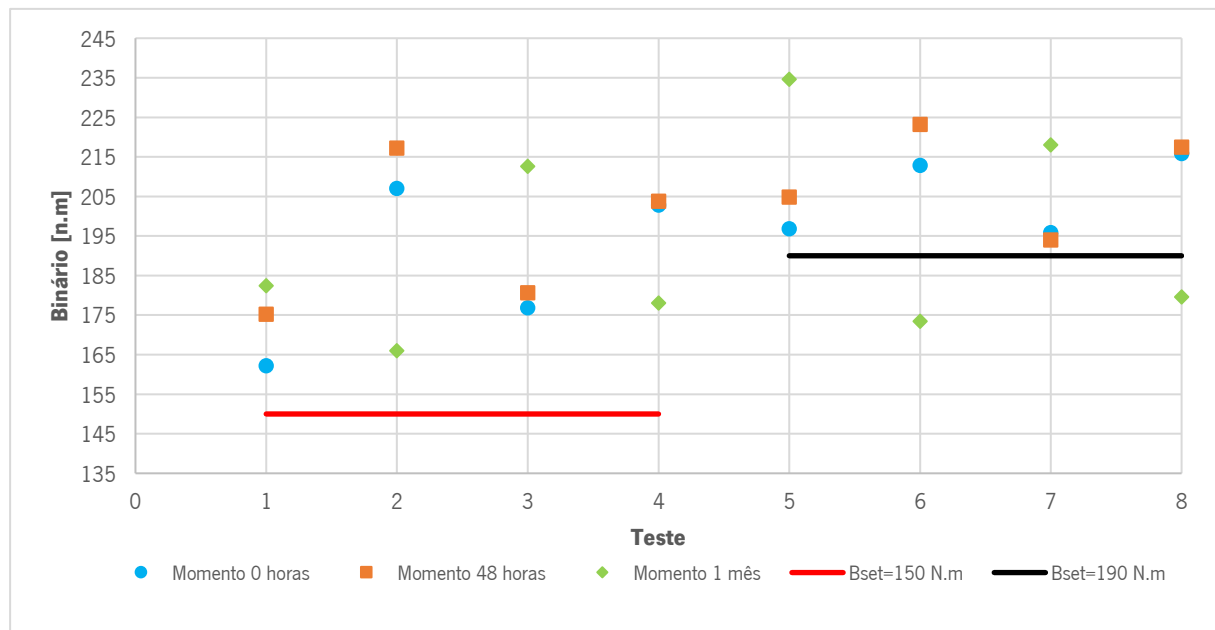


Figura 49: Gráfico de controlo – resultados (valores médios) conseguidos da Experiência 2. Adaptação própria.

Através da análise da Figura 49, é possível observar que os testes 2, 4, 6 e 8 apresentam diminuição do binário 1 mês após a conclusão da experiência – o fator comum a estes testes é a utilização da massa Nural Envelhecido. A partir desta análise, é possível confirmar a teoria formulada pela equipa (Teoria #6, Tabela 7) referente à alteração das características químicas da massa Nural 14 quando aquecida.

De seguida, procedeu-se à análise e interpretação dos resultados através do *software* estatístico Minitab, através da utilização dos menus *Stat > DOE > Taguchi >*.

O primeiro passo foi selecionar o índice sinal ruído mais apropriado – nominal-é-melhor, uma vez que o objetivo da combinação de fatores foi atingir o valor nominal especificado. Selecionado o índice S/R, procedeu-se ao cálculo das médias e índices S/R de cada teste e ao cálculo dos efeitos na média e índice S/R. A Figura 50 apresenta o efeito dos fatores de controlo no índice S/R.

Através da análise da Figura 50, é possível observar que quando os fatores A, C e D se encontram no nível 2 e o fator B no nível 1, existe uma grande redução do valor S/R, o que significa que nestas condições o processo apresenta mais variabilidade ou que é menos robusto ao ruído. Assim, o fator B deve ser colocado no nível 2 e os fatores A, C e D devem ser colocados no nível 1 para maximizar o índice S/R.

Ainda através da observação do gráfico S/R, foi possível concluir que a combinação ótima para reduzir a variação da característica de resposta é: A₁; B₂; C₁; D₁.

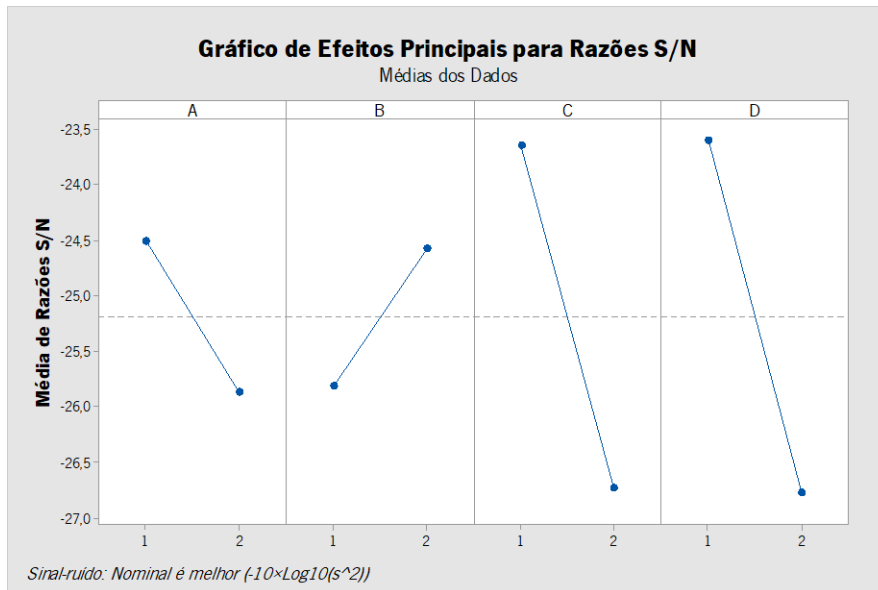


Figura 50: Gráficos S/R – Experiência 2. Obtido do *software* Minitab.

Nota. A – Fator Especificação do binário; B – Fator Especificação da velocidade; C – Fator Temperatura da bolacha; D- Fator Estado do material vedante.

Analisando agora o gráfico que representa o efeito na média da variação dos níveis dos fatores de controlo (Figura 51), constata-se que os fatores A, C e D são os que provocam mais efeito. No entanto, da análise efetuada ao índice S/R, estes fatores teriam de ficar fixos no nível 1 para reduzir a variabilidade da característica de resposta.

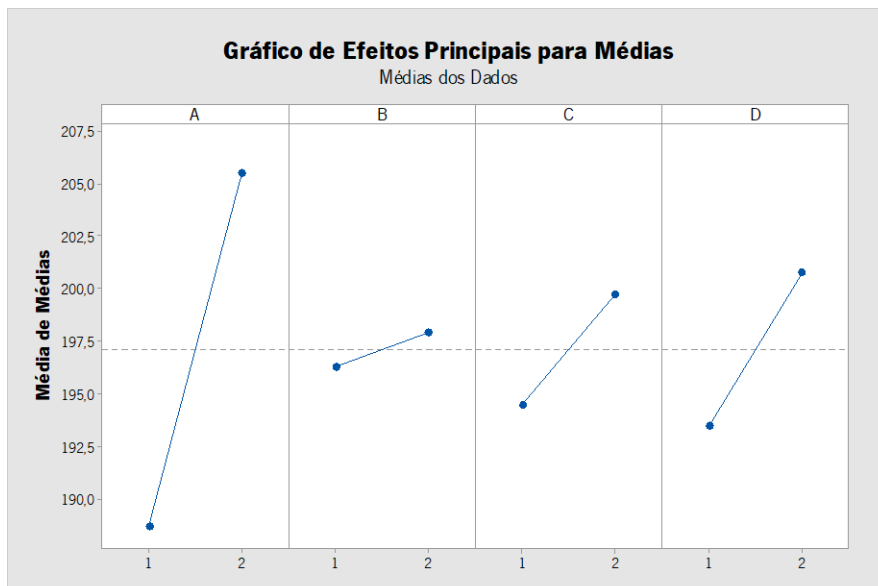


Figura 51: Gráficos médias – Experiência 2. Obtido do *software* Minitab.

Nota. A – Fator Especificação do binário; B – Fator Especificação da velocidade; C – Fator Temperatura da bolacha; D- Fator Estado do material vedante.

Esta análise sugeriu a utilização da combinação de fatores apresentada na Tabela 20.

Tabela 20: Combinação ótima de fatores - Experiência 2.

Bset (A)	Velocidade (B)	Temperatura (C)	Vedante (D)
A1	B2	C1	D1
O valor de especificação deve ser de 150 N.m.	A velocidade de aperto deve ser definida para 120/20 rotações por minuto.	A temperatura da bolacha deve ser igual ou inferior a 40°C.	O Nural não deve sofrer qualquer tipo de aquecimento.

Nota. Bset – Corresponde ao Fator A, intitulado de Especificação do binário; Velocidade – Corresponde ao Fator B, intitulado de Especificação da velocidade; Temperatura – Corresponde ao Fator C, intitulado de Temperatura da bolacha; Vedante – Corresponde ao Fator D, intitulado de Estado do material vedante. Adaptação própria.

7) Teste de confirmação

Após a obtenção da combinação ótima de fatores, efetuou-se um teste de confirmação. Para tal, repetiram-se as Fases 2, 3, 4 e 5 descritas na Etapa 5, Realização da Experiência.

A medição dos valores de binário foi realizada novamente em três fases – Momento 0 horas, Momento 48 horas e Momento 1 mês. Os resultados obtidos (valores médios) são apresentados na Tabela 21.

Da análise da Tabela 21, é possível observar que os valores obtidos estão próximos do valor nominal definido, pelo que os resultados conseguidos foram bastante satisfatórios, tendo-se sugerido a implementação destes parâmetros em futuros fabricos deste modelo.

Tabela 21: Teste de confirmação - Experiência 2.

Combinação	Momento 0 horas	Momento 48 horas	Momento 1 mês	Média	Desvio-padrão	Amplitude
A1						
B2	158	162	163	161	2,65	5
C1						
D1						

Nota. Adaptação própria.

4.4.2. Propostas de melhoria

Excluindo a substituição da máquina de aperto de ambas as fábricas, devido a custos excessivos de investimento, optou-se por pensar em medidas que possam melhorar a situação e reduzir a incidência da problemática em estudo. Assim, foram analisados os problemas relativos ao processo de Montagem e Aperto da Válvula identificados no PPA e no diagrama *Mind Map* desenvolvidos, tendo em conta os resultados conseguidos dos Planeamentos de Experiências executados.

4.4.2.1. Equipamento

O equipamento é uma das possíveis causas de falha da operação. Com estas propostas pretende-se reduzir ao máximo erros provenientes da máquina de aperto.

Medida nº1: Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto

Esta medida consistiu na proposta de alteração da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto. Propõe-se que esta tarefa comece a ser realizada tendo em conta a quantidade de garrafas apertadas (Figura 52), em vez de semestralmente, como está estipulado.


Pág 1/1

Proposta de Melhoria

QA - Qualidade e Ambiente

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Nome: Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto
Categoria: Equipamento
Data: ago/19 **Responsabilidade:** Manutenção

Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
<i>Equipamento:</i> Máquina de Aperto <i>Fábrica:</i> #1, #2	Atualmente a manutenção preventiva à máquina de aperto é realizada semestralmente.	Com a definição da manutenção preventiva à máquina de aperto baseada no número de garrafas apertadas, é possível garantir que todo o sistema pneumático funciona na perfeição, o que contribui para a execução correta do aperto.

Mudança:	Plano de Ação:	
Periodicidade da manutenção preventiva à máquina de aperto com base no número de garrafas apertadas (a avaliar o número de garrafas consoante o estado da máquina, três meses após a manutenção realizada).	#	Atividade
	1	Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto.
	2	Definição dos parâmetros a considerar na avaliação do desgaste considerável dos componentes.

Estado: Aprovada
Data de implementação: nov/19


Figura 52: Proposta de Melhoria - Medida nº1: Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto. Adaptação própria.

Como se trata de uma manutenção que envolve a paragem da linha de pelo menos 2 horas, a disponibilidade de recursos humanos e componentes, cuja substituição requer um investimento considerável, propõe-se que o número de garrafas seja definido tendo em conta o desgaste dos componentes, três meses após a última manutenção anual realizada.

Caso os componentes não apresentem desgaste considerável ao fim dos três meses, será realizada uma outra verificação com um intervalo de tempo a definir e recolhidos os dados da quantidade de garrafas apertadas, de forma a definir o período ótimo de manutenção.

Medida nº2: Alteração da plano de manutenção preventiva

No seguimento da Medida nº1, verificou-se junto da equipa de manutenção que o plano da manutenção preventiva para este tipo de equipamento é generalizado. Assim, esta medida consistiu na alteração do plano da manutenção preventiva existente, de forma a que esta esteja focada no equipamento máquina de aperto de cada fábrica. A ideia é que o novo plano detalhe as partes do equipamento a serem verificadas e a respetiva ordem (Figura 53).


Pág 1/1

Proposta de Melhoria

QA - Qualidade e Ambiente

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Nome: Atualização do plano da manutenção preventiva
Categoria: Equipamento
Data: ago/19 **Responsabilidade:** Manutenção

Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
<i>Equipamento:</i> Máquina de Aperto <i>Fábrica:</i> #1, #2	Atualmente existe um plano de manutenção genérico para todos os equipamentos deste género.	Plano de manutenção próprio para a máquina de aperto. As vantagens são: (i) segurança: focada para detetar falhas do equipamento específico; (ii) eficiência: tornar a tarefa de manutenção mais rápida e eficiente; (iii) exatidão: melhorar a exatidão do procedimento de manutenção; (iv) foco: a adoção de uma <i>check list</i> própria permite o foco no equipamento em questão, sem a adoção de passos desnecessários; entre outros.

Mudança:	Plano de Ação:	
	#	Atividade
Adaptação do plano de manutenção existente para um plano próprio para o equipamento máquina de aperto.	1	Levantamento de todas as partes do equipamento que requerem intervenção de manutenção.
	2	Adaptação do plano existente.
	3	Definição da periodicidade de cada tarefa, para possíveis casos de necessidade.
	4	Disponibilização do plano de manutenção na plataforma interna.
	5	Sensibilização dos operadores, controladores da qualidade, chefes de linha e engenheiros responsáveis para a sua correta utilização.

Estado: Aprovada
Data de implementação: nov/19

Figura 53: Proposta de Melhoria - Medida nº2: Alteração do plano da manutenção preventiva. Adaptação própria.

4.4.2.2. Método

Medida nº3: Ajuste do valor de especificação do binário de aperto

Um dos parâmetros mais relevantes quando se projeta um modelo de garrafa de gás é a definição do valor de binário a ser aplicado à válvula no momento de aperto.

Esta medida consistiu na proposta para o ajuste dos valores de binário de aperto para 140 ± 20 N.m, para o Modelo A, e 150 ± 20 N.m, para o Modelo B (Figura 54).

Este ajuste requer a discussão desta proposta com os clientes A e B. No entanto, como esta beneficia ambas as partes, a equipa vê uma solução viável e de fácil aceitação por parte de cada cliente, visto que se encontra dentro do requisito imposto pela norma legal.


		Pág 1/1
QA - Qualidade e Ambiente		Proposta de Melhoria
Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás		
Nome:	Ajuste do valor de especificação do binário de aperto	
Categoria:	Método	
Data:	ago/19	Responsabilidade: Marketing e Vendas Engenharia de Produto
Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Plano de Fabrico do Produto	Valor de binário definido para: - 160 ± 20 N.m, para o Modelo A; - 170 ± 20 N.m para o Modelo B.	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.
Mudança:	Plano de Ação:	
Ajuste do valor de especificação do binário de aperto.	#	Atividade
	1	Negociação com o Cliente A, por parte do Departamento de Marketing e Vendas, a proposta de ajuste do valor de especificação do binário de 160 ± 20 N.m para 140 ± 20 N.m.
	2	Negociação com o Cliente B, por parte do Departamento de Marketing e Vendas, a proposta de ajuste do valor de especificação do binário de 170 ± 20 N.m para 150 ± 20 N.m.
	3	Em caso de aceitação por parte do Cliente, atualização do valor de especificação para 140 ± 20 N.m. no respetivo Plano de Fabrico do Produto, por parte do Departamento de Engenharia de Produto.
	4	Em caso de aceitação por parte do Cliente, atualização do valor de especificação para 150 ± 20 N.m. no respetivo Plano de Fabrico do Produto, por parte do Departamento de Engenharia de Produto.
Estado:	#1 - Aprovada #2 - Aguarda resposta do cliente	Data de implementação: #3 - Implementada em set/19

Figura 54: Proposta de Melhoria - Medida nº3: Ajuste do valor de especificação do binário de aperto. Adaptação própria.

Medida nº4: Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto para o Modelo A

Após a realização da Experiência 1, propôs-se o ajuste do parâmetro velocidade de aperto para 5/5 rotações por minuto, em oposição ao valor de 7/5 rotações por minuto definido inicialmente (Figura 55).

Esta alteração não só permite garantir a conformidade do valor de binário como o aperto da válvula e a estanquidade do gás.


Pág 1/1

Proposta de Melhoria

QA - Qualidade e Ambiente

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Nome: Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto
Categoria: Método
Data: ago/19 **Responsabilidade:** Qualidade

Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Plano de Fabrico do Produto	Valor de velocidade definido para 7/5 rotações por minuto para modelos com perfil de rosca 25E, como é o caso do Modelo A. .	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.

Mudança:	Plano de Ação:	
	#	Atividade
Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto, para modelos de garrafa com perfil de rosca 25E.	1	Alteração do valor de especificação da velocidade de aperto de 7/5 rotações por minuto para 5/5 rotações por minuto para modelos com perfil de rosca 25E, pelo Departamento de Qualidade.


Estado: Aprovada
Data de implementação: set/19

Figura 55: Proposta de Melhoria - Medida nº4: Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto. Adaptação própria.

Medida nº5: Alteração do procedimento de cliente utilizado pelo Modelo A para o procedimento interno

Neste caso, e como verificado com a realização da Experiência 1, e dado que se obtiveram melhores resultados com o procedimento interno, propôs-se efetuar o fabrico do Modelo A, seguindo o procedimento interno da empresa no processo de Aplicação do Material Vedante, em vez do procedimento definido pelo cliente (Figura 56).

Esta alteração requer a discussão com o Cliente A. Como a proposta beneficia ambas as partes, a equipa vê uma solução viável e de fácil aceitação por parte do cliente.


Pág 1/1

Proposta de Melhoria

QA - Qualidade e Ambiente

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Nome: Alteração do procedimento de cliente utilizado pelo Modelo A para o procedimento interno
Categoria: Método
Data: ago/19 **Responsabilidade:** Marketing e Vendas
Engenharia de Produto

Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Plano de fabrico do produto; Procedimento de aplicação do material vedante.	O procedimento seguido na etapa Aplicação do Material Vedante é o procedimento imposto pelo cliente.	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.

Mudança:	Plano de Ação:	
	#	Atividade
Seguir o procedimento interno, definido pela empresa, na etapa Aplicação do Material Vedante, quando é fabricado o Modelo A para o Cliente A.	1	Negociação com o Cliente A, por parte do Departamento de Marketing e Vendas, da proposta de, nos próximos fabricos, se utilizar o procedimento interno da empresa no processo Aplicação do Material Vedante.
	2	Em caso de aceitação por parte do Cliente A, atualização da indicação do procedimento no respetivo plano de fabrico, pelo Departamento de Engenharia de Produto.

Estado: Aprovada
Data de implementação: set/19

Figura 56: Proposta de Melhoria - Medida nº5: Alteração do procedimento de cliente utilizado pelo Modelo A para o procedimento interno, no processo Aplicação do Material Vedante. Adaptação própria.

4.4.2.3. Material

Medida nº6: Alteração da dimensão da Fita Teflon para o Modelo A

Esta medida consistiu na proposta de alteração da dimensão da Fita Teflon utilizada no Modelo A de 12 mm x 0,1 mm para 19 mm x 0,1 mm (Figura 57). Após a realização da Experiência 1, os resultados obtidos com a utilização da Fita Teflon com largura 19 mm foram mais satisfatórios que com 12 mm. Mais ainda, a utilização desta largura em fabricos semelhantes, onde não foi registada diminuição do binário para valores abaixo do limite inferior de especificação, também levou a equipa a propor esta medida.

Esta alteração passa também pela discussão com o Cliente A. A equipa vê uma solução viável e de fácil aceitação por parte do mesmo, uma vez que, para além da melhoria do processo, a aquisição deste produto é da responsabilidade da empresa.

		Pág 1/1
QA - Qualidade e Ambiente		Proposta de Melhoria
Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás		
Nome:	Alteração da dimensão da Fita Teflon	
Categoria:	Material	
Data:	ago/19	Responsabilidade: Marketing e Vendas Engenharia de Produto
Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Plano de fabrico do produto; Aplicação do Material Vedante	A dimensão da Fita Teflon utilizada para o Modelo A é de 12 mm x 0,1 mm.	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.
Mudança:	Plano de Ação:	
Alteração da largura da Fita Teflon.	#	Atividade
	1	Negociação com o Cliente A, por parte do Departamento de Marketing e Vendas, da proposta de alterar a dimensão da Fita Teflon de 12 mm x 0,1 mm para 19 mm x 0,1 mm.
	2	Em caso de aceitação por parte do Cliente A, efetuar a atualização da dimensão no respetivo plano de fabrico, por parte do Departamento de Engenharia de Produto.
Estado:	Aprovada	Data de implementação: set/19

Figura 57: Proposta de Melhoria - Medida nº6: Alteração da dimensão da Fita Teflon para o Modelo A. Adaptação própria.

Medida nº7: Despiste da ovalização da bolacha

Esta medida consistiu na proposta de adição de um posto de controlo na Linha de Acabamento para a inspeção das bolachas no que diz respeito à conicidade e à conformidade, através dos calibres liso e roscado, e ainda no registo desta inspeção no Relatório de Controlo do Produto (Figura 58).

Como se trata de uma medida que pode ser aplicada nas fábricas onde os processos Tratamento Térmico e/ou Estufagem são executados (Fábricas 1, 2 e 3), esta proposta requer o estudo mais aprofundado do *layout* de cada fábrica, de forma a definir onde seria introduzido o posto, qual o procedimento a ser seguido, onde se guardaria o material necessário, se a inspeção seria feita por amostragem ou a 100%, entre outros fatores.

		Pág 1/1
		Proposta de Melhoria
QA - Qualidade e Ambiente		
Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás		
Nome:	Despiste da ovalização da bolacha	
Categoria:	Material	
Data:	ago/19	Responsabilidade: Qualidade Fabricação
Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Linha de Acabamento - Fábricas 1 e 2	Não é efetuado o controlo da ovalização da bolacha nas linhas de acabamento.	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.
Mudança:	Plano de Ação:	
Acréscimo de um processo de controlo de qualidade nas Linhas de Acabamento das Fábricas 1 e 2 - processo executado pelo operador responsável pela inspeção visual do interior das garrafas e das rosas das bolachas.	#	Atividade
	1	Elaboração de uma instrução específica para este procedimento.
	2	Formação do operador para a execução desta tarefa.
	3	Adaptação (apetrachamento) do posto de trabalho com todo o material necessário para a execução desta tarefa.
	4	Criação de uma nova entrada no Relatório de Controlo de Produto para o operador proceder ao registo da inspeção.
Estado:	Aguarda aprovação	Data de implementação: -

Figura 58: Proposta de Melhoria - Medida nº7: Despiste da ovalização da bolacha. Adaptação própria.

De forma a não interferir no *layout* da linha nem no número de operadores, propôs-se que esta ação fosse realizada pelo mesmo operador alocado ao posto do processo Limpeza Passa Macho.

4.4.2.4. Mão-de-obra

Medida nº8: Ação de sensibilização para a correta utilização da massa Nural 14

Esta medida consistiu na realização de ações de sensibilização para os operadores das Linhas de Acabamento de ambas as fábricas, controladores da qualidade e chefes de linha, para a utilização da massa Nural 14 sem proceder ao seu aquecimento prévio (Figura 59).

		Pág 1/1
QA - Qualidade e Ambiente		Proposta de Melhoria
Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás		
Nome:	Ação de sensibilização para a correta utilização da massa Nural 14	
Categoria:	Mão-de-obra	
Data:	ago/19	Responsabilidade: Qualidade Fabricação
Localização:	Estado Atual:	Melhorias:
Aplicação do Material Vedante	Aquecimento da massa Nural 14 por parte do operador responsável do posto Aplicação do Material Vedante	Estabilidade do valor de binário durante o período de 48 horas após o fabrico e durante o restante tempo de vida da garrafa.
Mudança:	Plano de Ação:	
Mudança de comportamento por parte dos operadores no que diz respeito ao aquecimento da massa Nural 14.	#	Atividade
	1	Sensibilização dos operadores das Linhas de Acabamento das Fábricas 1 e 2, controladores de qualidade e chefes de linha para a utilização da massa Nural 14 sem o aquecimento prévio, de forma a conservar as características deste produto.
Estado:	Aprovada	Data de implementação: out/19

Figura 59: Proposta de Melhoria - Medida nº8: Ação de sensibilização para a correta utilização da massa Nural 14. Adaptação própria.

Medida nº9: Ação de sensibilização relacionada com o processo Limpeza Passa Macho

Um dos problemas identificados no PPA desenvolvido, onde o nível de risco é elevado, foi a possibilidade de se danificar a rosca da bolacha durante o processo Limpeza Passa Macho.

Esta medida (Figura 60) consistiu na realização de ações de sensibilização para os operadores das Linhas de Acabamento de ambas as fábricas, controladores da qualidade e chefes de linha para que a verticalidade do macho em relação à bolacha, durante o processo Limpeza Passa Macho, seja mantida durante todo o fabrico.

Estas ações contaram ainda para sensibilizar para a verificação do tipo de macho correto, quando se muda de fabrico, ou seja, verificar sempre se o macho que está na máquina de limpeza corresponde ao perfil de rosca do fabrico em questão.


Pág 1/1

Proposta de Melhoria

QA - Qualidade e Ambiente

Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás

Nome: Ação de sensibilização relacionada com o processo Limpeza Passa Macho
Categoria: Mão de obra
Data: ago/19 **Responsabilidade:** Qualidade
Fabricação

Localização:	Estado Atual:	Melhorias
Limpeza Passa Macho	O nível de risco de danificar a rosca da bolacha durante este processo é elevado.	Limpeza da rosca da bolacha efetuada com sucesso, sem comprometer a integridade dos componentes.

Mudança:	Plano de Ação:	
Garantia da verticalidade do macho; verificação da correta utilização do tipo de macho.	#	Atividade
	1	Sensibilização dos operadores das Linhas de Acabamento das Fábricas 1 e 2, controladores de qualidade e chefes de linha para manterem a verticalidade do macho durante o processo de limpeza.
	2	Sensibilização dos operadores das Linhas de Acabamento das Fábricas 1 e 2, controladores de qualidade e chefes de linha para a verificação do tipo de macho - se o macho que está a ser utilizado corresponde ao tipo de rosca do fabrico em questão.

Estado: Aprovada
Data de implementação: out/19

Figura 60: Proposta de Melhoria - Medida nº9: Ações de sensibilização para o processo Limpeza Passa Macho. Adaptação própria.

4.5. Fase Controlar

A presente fase tem como finalidade implementar e controlar as ações de melhoria propostas na fase anterior, de modo a assegurar que o processo não se desvia dos padrões definidos. Desta forma, tornou-se possível verificar se as medidas propostas permitiram a estabilidade do binário e, conseqüentemente, a redução das garrafas retrabalhadas e custos associados.

O quadro da Tabela 22 apresenta o resumo das melhorias propostas, segundo o seu estado de implementação.

Tabela 22: Quadro resumo do estado de implementação das propostas de melhoria.

#	Ação de melhoria	Estado	Data de implementação
1	Redefinição da periodicidade da manutenção preventiva da máquina de aperto.	Aprovada	Implementação agendada para novembro de 2019 (data da próxima intervenção de manutenção).
2	Alteração do plano da manutenção preventiva.	Aprovada	Reunião para a revisão e atualização do plano marcada para novembro de 2019.
3	Ajuste do valor de especificação do binário de aperto para ambos os modelos.	Aprovação por parte do Cliente A Aguarda aprovação por parte do Cliente B	Implementada (setembro 2019); -
4	Ajuste do valor de especificação da velocidade de aperto para o Modelo A.	Aprovada	Implementada em setembro 2019).
5	Alteração do procedimento de cliente utilizado pelo Modelo A para o procedimento interno, a ser seguido na etapa de Aplicação do Material Vedante.	Aprovada	Implementada em setembro 2019.
6	Alteração da dimensão da Fita Teflon para o Modelo A.	Aprovada	Implementada em setembro 2019.
7	Despiste da ovalização da bolacha.	Aguarda aprovação	-
8	Ação de sensibilização para a correta utilização da massa Nural 14	Aprovada	Implementação agendada para outubro de 2019.
9	Ações de sensibilização para o processo Limpeza Passa Macho	Aprovada	Implementação agendada para outubro de 2019.

Nota. Adaptação própria.

De seguida, foi analisado o impacto e a eficácia das ações de melhoria então propostas. Esta é efetuada pela medição novamente do processo e comparação com os dados iniciais (M. Kumar et al., 2007).

Embora algumas das datas previstas para a implementação das várias ações de melhoria apontem para um período que vai além do previsto para a duração do presente estágio, conforme representado no quadro resumo da Tabela 22, a equipa definida para este projeto comprometeu-se a dar seguimento às melhorias que aguardam aprovação.

No que diz respeito à Medida nº1, referente à redefinição da periodicidade da manutenção preventiva das máquinas de aperto, esta foi aprovada pela equipa de manutenção. Como a manutenção das máquinas de aperto é feita semestralmente, e como a próxima está agendada para outubro de 2019, a equipa destacada para o projeto comprometeu-se a agendar uma reunião com a equipa de manutenção para a definição ótima da periodicidade da manutenção preventiva. Esta reunião irá contar ainda com a revisão e alteração do plano de manutenção.

Relativamente às medidas cuja implementação precisa da aprovação de cliente, apenas não se obteve resposta do Cliente B relativamente ao ajuste do valor de especificação do binário de aperto (Medida nº3). O Cliente A foi recetivo a todas as medidas propostas e autorizou a sua implementação numa encomenda realizada em agosto, com fabrico agendado no planeamento de produção para o final de setembro. Assim, foi possível implementar as medidas ligadas a este modelo no fabrico (Medidas nº3, nº4, nº5 e nº6) e analisar qual o impacto provocado.

O fabrico contou com todas as informações descritas na Tabela 2, à exceção dos parâmetros relacionados com a especificação do binário, com o tipo de material vedante e com o procedimento. Todas estas informações foram atualizadas no plano de fabrico do produto para os ajustes propostos, nomeadamente, a especificação do binário foi alterada para 140 ± 20 N.m e a largura da Fita Teflon para 19 mm, colocando-se a indicação que deveria ser seguido o procedimento interno de aplicação. Como a empresa possuía em *stock* o produto Fita Teflon com largura 19 mm, não foi necessário fazer a encomenda deste produto ao fornecedor, o que facilitou a implementação desta medida. Mais ainda, a velocidade de aperto foi alterada para a velocidade mínima de 5/5 rotações por minuto.

Para o processo de Validação do Binário foi retirada uma amostra de 125 unidades, como nos lotes iniciais. A Tabela 23 reflete as características da amostra inspecionada no processo Validação do Binário.

Tabela 23: Caracterização da amostra – Fabrico do Modelo A após implementação das melhorias propostas.

Momento	Média	Desvio Padrão	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Mínimo	Máximo
0 horas	151	4,66	151	148	154	140	159
48 horas	143	4,99	144	140	146	132	156

Nota. Adaptação própria.

Da análise da Tabela 23, pode-se verificar que os valores de binário medidos variam entre 140 N.m e 159 N.m, no Momento 0 horas, e entre 132 N.m e 156 N.m, no momento 48 horas. De acordo com a especificação de binário estabelecida para este fabrico - 140 ± 20 N.m –, não se verificam valores abaixo do limite inferior de especificação (LIE = 120 N.m).

De forma a retratar graficamente os valores de binário obtidos do processo de medição, estes foram reunidos num diagrama *boxplot*, apresentado na Figura 61.

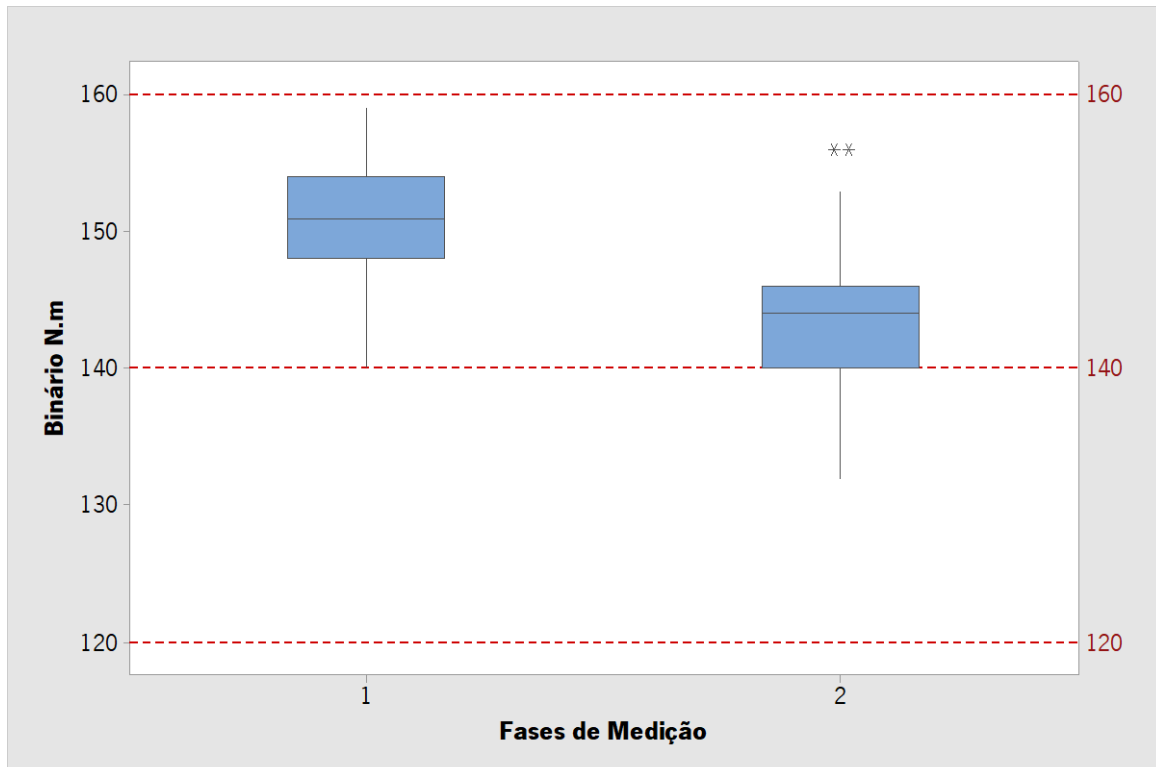


Figura 61: Diagrama *boxplot* – fabrico do Modelo A após melhorias. Obtido do *software* Minitab.

É possível confirmar que nenhum valor obtido ficou abaixo da especificação. Apesar da ligeira diminuição verificada, associada à estabilidade da garrafa após a conclusão do fabrico, observa-se que os valores na segunda fase de medição se aproximam do valor nominal estabelecido.

Em comparação com o diagrama *boxplot* inicialmente construído (Figura 27), conclui-se que foi possível atingir os objetivos delineados e garantir a estabilidade do binário entre as fases de medição.

De seguida, com recurso ao *software* Minitab, através da utilização dos menus *Stat > Basic Statistics > Normality Test >*, foi efetuado um teste de normalidade de Anderson-Darling, onde foram consideradas as seguintes hipóteses (para um nível de significância de 0,05):

- H0: os dados seguem uma distribuição normal;
- H1: os dados não seguem uma distribuição normal.

No Momento 0 horas, o valor p -value obtido foi inferior ao nível de significância estabelecido, enquanto que no Momento 48 horas, o valor p -value obtido foi superior. Assim, os dados relativos ao Momento 0 horas não seguem uma distribuição normal, ao contrário dos dados referentes ao Momento 48 horas.

De acordo com estes resultados, foi realizada uma análise de capacidade apenas para o Momento 48 horas (Figura 62), com recurso aos menus *Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Normal >*, do *software* Minitab.

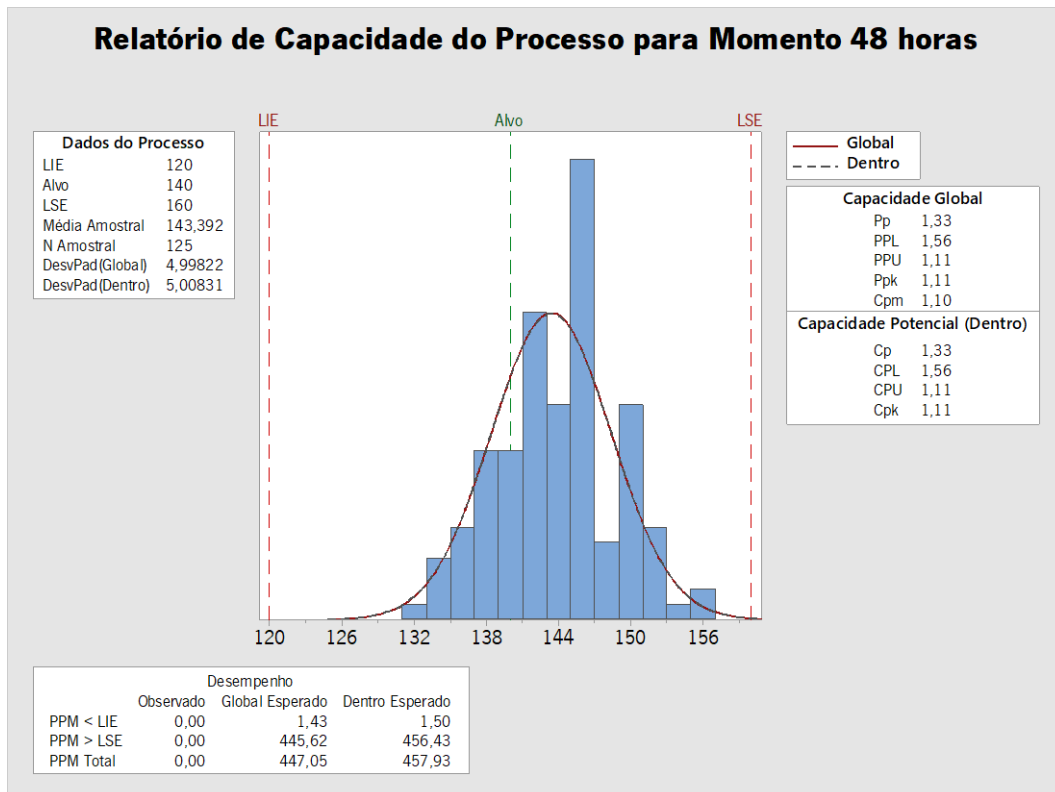


Figura 62: Análise de capacidade – fabrico do Modelo A após melhorias. Obtido do *software* Minitab.

Após verificação dos dados no *software* estatístico, os índices C_p e C_{pk} obtidos são superiores a 1, concretamente 1,33 e 1,11, respetivamente. Logo, é possível concluir que o processo tem capacidade e é capaz de cumprir os limites de especificação estabelecidos. Comparativamente com a análise de capacidade inicialmente executada (Figura 29), observa-se que os índices C_p e C_{pk} melhoraram, pelo que o processo tem viabilidade para cumprir com os requisitos, logo foi possível atingir os objetivos.

Com o conjunto de melhorias implementadas tornou-se possível, elevar os níveis de qualidade. Estas permitiram reduzir para zero o número de unidades fabricadas com binário abaixo do limite inferior de especificação e, conseqüentemente, a redução dos DPMO para um valor de 447, o que corresponde a um Nível Sigma de 4,82 (Tabela 24). A Tabela 24 faz ainda referência os valores dos DPMO e Nível Sigma inicialmente obtidos para o processo executado na Fábrica 1, antes das melhorias implementadas.

Tabela 24: Cálculo do Nível Sigma - fabrico do Modelo A após melhorias.

Cálculo do Nível Sigma							
Processo executado na Fábrica 1 - Antes das melhorias implementadas				Processo executado na Fábrica 1 - Após as melhorias implementadas			
Unidades	125	Defeitos (%)	69,17	Unidades	125	Defeitos (%)	0,04
Oportunidades	1	Yield (%)	30,83	Oportunidades	1	Yield (%)	99,96
Total de Oportunidades	125	DPMO	Nível Sigma	Total de Oportunidades	125	DPMO	Nível Sigma
		691678	1			447	4,82
Objetivo						69167	2,98

Nota. Valores dos Níveis Sigma obtidos através da calculadora *online*: <https://www.isixsigma.com/process-sigma-calculator/>. Adaptação própria.

Relativamente à medida nº7 não foi possível obter aprovação da mesma no período estabelecido para o estágio. Contudo, a equipa comprometeu-se a implementar esta ação quando possível.

Por fim, as ações de sensibilização propostas nas medidas nº8 e nº9 estão agendadas para o final do mês de outubro.

5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido na Amtrol-Alfa, S.A. teve como principais objetivos a identificação das variáveis com impacto negativo no valor do binário de aperto, a definição dos parâmetros ótimos para o processo de Montagem e Aperto da Válvula e o desenvolvimento de ações de melhoria e de medidas preventivas, que visem a redução da ocorrência da situação de diminuição do binário para valores abaixo do limite de especificação.

Durante a fase de Definição, foi possível estudar e caracterizar a situação atual da problemática em estudo. De seguida, na fase de Medição, foram identificadas todas as etapas que compõe o processo Montagem e Aperto da Válvula e parâmetros associados. Ainda nesta fase, foram identificados os fatores com possível impacto no problema e realizada uma avaliação do nível de risco dos potenciais problemas que podem advir das diferentes etapas associadas à montagem e ao aperto da válvula.

Na fase Analisar, através da realização de uma Matriz XY e de sessões de *brainstorming*, que contaram com o envolvimento de toda a equipa, detetaram-se possíveis causas-raiz do problema, que foram agrupadas e organizadas num diagrama *Mind Map*, juntamente com a formulação de hipóteses. Esta etapa contou ainda com visitas às Fábricas 1 e 2 e com a recolha dos testemunhos dos operadores relativamente ao problema em estudo, em que se notou o grande interesse e o início da sensibilização dos colaboradores pelo projeto e a satisfação dos mesmos em darem o seu contributo para a resolução do problema.

Selecionadas as causas prioritárias, na fase de Melhoria, foram realizados dois Planeamentos de Experiência, onde foi possível encontrar a combinação ótima de fatores a aplicar no processo de Montagem e Aperto da Válvula. Do Planeamento de Experiências realizado foi ainda possível confirmar a veracidade das teorias apresentadas. O resultado da aplicação desta ferramenta foi bastante positivo, pois permitiu à equipa perceber de que forma se comporta o processo quando exposto a diferentes combinações de parâmetros. Nesta fase destaca-se ainda, para além do dinamismo de toda a equipa, o envolvimento dos operadores das Linhas de Acabamento das Fábricas 1 e 2, que contribuíram para o sucesso das experiências realizadas.

Posteriormente, foram propostas soluções para as causas identificadas. Algumas das ações não conseguiram ser aprovadas e implementadas durante o período de duração do projeto, o que acabou por comprometer alguns dos resultados. As principais ações aprovadas passaram pela aceitação por parte do Cliente A, das propostas relativas aos ajustes dos parâmetros e do fabrico de um lote do Modelo A já com as ações implementadas. Como resultado da implementação dos ajustes, e após análise dos

dados extraídos relativos à medição do binário, foi possível concluir que as ações permitiram reduzir os DPMOs para um valor de 447 e, conseqüentemente, aumentar o Nível Sigma para 4,92. Desta forma, superaram-se os objetivos propostos na fase de definição do projeto. Mais ainda, estas medidas permitiram garantir que o processo tem capacidade para cumprir com os limites estabelecidos e que o lote cumpre com os requisitos legais impostos.

Tendo em conta todas as formalidades, limitações e obstáculos, característicos de uma empresa com a dimensão da Amtrol-Alfa, S.A., os objetivos da investigação foram cumpridos com sucesso. A utilização da metodologia Seis Sigma, em conjunto com algumas das ferramentas da qualidade revelou-se um instrumento positivo, na medida em que a sua aplicação permitiu desenvolver um conhecimento aprofundado do processo sujeito a melhoria, criando aptidões para a resolução de problemas futuros. O projeto contribuiu também para impulsionar o início de mais projetos, que irão, certamente, permitir continuar a investigação e aumentar os níveis de qualidade da Amtrol-Alfa, S.A.

Do ponto de vista do autor, em termos de aprendizagem destacam-se ganhos e mais-valias, como a aquisição de um maior conhecimento e experiência na utilização da metodologia Seis Sigma e desenvolvimento pessoal e profissional conseguidos através da realização do estágio em ambiente prático e industrial.

5.1. Limitações do trabalho

Ao longo do projeto foram sentidas algumas dificuldades, principalmente pelo facto de o processo, nas condições em que foi desenvolvido, não ser repetitivo e sistemático, isto é, o fabrico dos dois modelos estudados não está a ser executado sistemática e repetitivamente, uma vez que as fábricas funcionam durante 24 horas, procedendo-se ao fabrico de diferentes modelos com diversos parâmetros, o que impossibilitou a observação do problema em tempo real. Esta dificuldade originou outras relacionadas, por exemplo, com a identificação e a análise das potenciais causas do problema.

Surgiram ainda alguns obstáculos, como a falta de disponibilidade de alguns elementos de outros departamentos para colaborar no desenvolvimento do projeto, quer pelo *know-how* que poderiam acrescentar, quer pela discussão de possíveis causas e das ações de melhoria.

A duração do projeto dentro da empresa também foi um obstáculo, uma vez que não houve tempo para analisar algumas das variáveis externas ao processo, para receber a resposta da negociação com o Cliente B e presenciar um fabrico do Modelo B com os ajustes implementados e para conseguir a aprovação e a implementação de algumas ações de melhoria.

Outro contratempo foi não ter sido possível realizar um estudo de reprodutibilidade e de reprodutibilidade (R&R), de forma a avaliar a precisão do sistema de medição. Apesar de os modelos em questão apenas terem sido fabricados no 1º turno e as experiências terem sido realizadas também durante o mesmo e sempre com recurso ao mesmo operador durante o processo de Validação do Binário, a fábrica trabalha em três turnos e, ocasionalmente, com um quarto e quinto.

Apesar de o estudo se ter focado em dois modelos de garrafa específicos, a equipa tentou que a análise e a identificação de ações de melhoria fossem transversais a produtos com características semelhantes, de modo a cobrir o maior espectro onde o problema pode ocorrer.

5.2. Trabalho futuro

Apesar de não ter sido possível verificar o impacto de todas as ações de melhoria propostas, o desenvolvimento do projeto e as conclusões obtidas foram positivas, uma vez que se concretizaram as expectativas delineadas na fase de Definição do Projeto. Além disso, a realização deste projeto “abriu portas” para outros estudos que permitirão o crescimento da empresa. Assim, propõe-se, no âmbito de melhoria contínua futura, a elaboração e acompanhamento de um plano de controlo, de forma a registar o crescimento do projeto realizado.

O estudo efetuado pode ser alargado para produtos semelhantes, com outros modelos de rosca e com outros parâmetros de aperto associados. Assim, propõe-se a realização de um estudo com foco nos perfis de rosca associados a diferentes materiais da válvula. A ideia é perceber de que forma se comporta o processo, tendo em conta o mesmo perfil de rosca, mas diferentes materiais, ou seja, perceber, por exemplo, se uma válvula de latão com rosca 25E tem o mesmo comportamento no decorrer do processo de aperto que uma válvula de aço inox, também com rosca 25E, aplicando a mesma lógica para uma rosca $\frac{3}{4}$ 14'' NGT. O objetivo é perceber de que forma o material utilizado pode influenciar o binário de aperto, independentemente do perfil da rosca. Propõe-se ainda, após a conclusão deste estudo, o cruzamento de informação, no sentido de se compreender se uma válvula com o mesmo material, mas perfil de rosca diferente, se comporta de igual forma. Propõe-se ainda estudar o comportamento de diferentes roscas quando sujeitas a tipos distintos de materiais vedantes, analisando de que modo estas ações podem afetar o binário de aperto.

Uma vez que apenas foi possível analisar a linha de produção de uma garrafa de gás retornável a partir da Linha de Acabamento, outra proposta de trabalho futuro é a análise de todas as causas com impacto no binário que podem surgir desde o início até ao final do processo de fabrico. Ou seja, realizar um estudo transversal à linha de produção completa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albliwi, S. A., Antony, J., & Lim, S. A. H. (2015). A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. *Business Process Management Journal*, 21(3). <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2014-0019>
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234–248. <https://doi.org/10.1108/14637150610657558>
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, 6(4), 20–27. <https://doi.org/10.1108/13683040210451679>
- Antony, J., Gijo, E. V., & Childe, S. J. (2012). Case study in Six Sigma methodology: Manufacturing quality improvement and guidance for managers. *Production Planning and Control*, 23(8), 624–640. <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.576404>
- Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of Lean Management and Six Sigma. *The TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780510573020>
- Besunder, J. B., & Super, D. M. (2012). Lean Six Sigma. *Critical Care Medicine*. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182372bd4>
- Boon Sin, A., Zailani, S., Iranmanesh, M., & Ramayah, T. (2015). Structural equation modelling on knowledge creation in Six Sigma DMAIC project and its impact on organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 168, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.007>
- Borrer, C. M. (Ed. . (2009). *The certified quality engineer handbook (9th ed.)*. ASQ Quality Press. Retrieved from <http://www.asq.org/quality-press>.
- Coronado, R. B., & Antony, F. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780210416702>
- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Fernandes, F. A., & Sousa, S. D. (2014). Aplicação dos métodos de Taguchi numa empresa de marroquinaria. *Qualidade em Ação: Casos de Aplicação de Ferramentas e Metodologias Da Qualidade*, 121–138.
- Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2016). *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. Pearson. <https://doi.org/British Library Cataloguing- In Publication data>

- Hess, J. D., & Benjamin, B. A. (2015). Applying Lean Six Sigma within the university: Opportunities for process improvement and cultural change. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(3). <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2014-0036>
- Jin, W., Li, Y., Gao, Z., Yin, X., & Ma, X. (2018). Reliability analysis of integral hot deep drawing and cold flow forming process for large-diameter seamless steel gas cylinders. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1–4), 189–197. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1914-0>
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Lim, M. K. (2015). A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2013-0020>
- Knapp, S. (2015). Lean Six Sigma implementation and organizational culture. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 28(8). <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-06-2015-0079>
- Koch, P. N., Yang, R. J., & Gu, L. (2004). Design for six sigma through robust optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0337-0>
- Kumar, M., Antony, J., Antony, F. J., & Madu, C. N. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: A case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 23(7), 849–866. <https://doi.org/10.1002/qre.840>
- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: A case study. *Production Planning and Control*, 17(4), 407–423. <https://doi.org/10.1080/09537280500483350>
- Kumar, Maneesh, Antony, J., & Cho, B. R. (2009). Project selection and its impact on the successful deployment of Six Sigma. *Business Process Management Journal*, 15(5), 669–686. <https://doi.org/10.1108/14637150910987900>
- Kuvvetli, Ü., & Firuzan, A. R. (2019). Applying Six Sigma in urban public transportation to reduce traffic accidents involving municipality buses. *Total Quality Management and Business Excellence*, 30(1–2), 82–107. <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1297198>
- Laureani, A., & Antony, J. (2012). Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4). <https://doi.org/10.1108/20401461211284743>
- Marzagão, D. S. L., & Carvalho, M. M. (2016). Critical success factors for Six Sigma projects. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1505–1518. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.08.005>
- McAdam, R., & Lafferty, B. (2004). A multilevel case study critique of six sigma: Statistical control or strategic change? *International Journal of Operations and Production Management*. <https://doi.org/10.1108/01443570410532579>

- mi Dahlgaard-Park, S., Suárez-Barraza, M. F., Ramis-Pujol, J., & Estrada-Robles, M. (2012). Applying Gemba-Kaizen in a multinational food company: A process innovation framework. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 4(1), 27–50. <https://doi.org/10.1108/17566691211219715>
- Montgomery, D. (2013). Lean Six Sigma and quality management. *Quality and Reliability Engineering International*. <https://doi.org/10.1002/qre.1594>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of Six Sigma. *International Statistical Review*. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Pepper, M. P. J., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(2), 138–155. <https://doi.org/10.1108/02656711011014276>
- Pugna, A., Negrea, R., & Miclea, S. (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.120>
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 249–274. <https://doi.org/10.1108/20401461011075035>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students* (Fifth edit). Pearson Education, ISBN: 978-0-273-71686-0.
- Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007>
- Seth, N., Deshmukh, S. G., & Vrat, P. (2005). Service quality models: A review. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22(9), 913–949. <https://doi.org/10.1108/02656710510625211>
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V. I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., ... Yadav, A. (2010). Six sigma: A literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/20401461011075017>
- Uluskan, M. (2016). A comprehensive insight into the Six Sigma DMAIC toolbox. *International Journal of Lean Six Sigma*. Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2015-0040>
- Vieira, P., Tenreiro, A., & Oliveira, T. (2010). The increase of sustainability in cylinder manufacturing. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(1), 83–86. <https://doi.org/10.1007/s10098-009-0224-5>
- Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C., & Charron, R. (2013). *The lean six sigma black belt handbook: Tools and methods for process acceleration*. The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration. <https://doi.org/10.1201/b15163>

- Yang, K., & El-haik, B. (2003). Design for Six Sigma A Roadmap for Product Development. McGraw Hill Professional. <https://doi.org/10.1036/0071435999>
- York, M.-H. N., San, C., Lisbon, F., Madrid, L., City, M., New, M., ... Toronto, S. (2003). The Six Sigma Handbook A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels THOMAS PYZDEK. <https://doi.org/10.1036/0071415963>
- Zhang, M., Wang, W., Goh, T. N., & He, Z. (2015). Comprehensive Six Sigma application: A case study. Production Planning and Control. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.891058>
- Zheng, J., Liu, X., Xu, P., Liu, P., Zhao, Y., & Yang, J. (2012). Development of high pressure gaseous hydrogen storage technologies. International Journal of Hydrogen Energy, 37(1), 1048–1057. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.125>

ANEXO I – POLÍTICA DE GESTÃO E POLÍTICA DA QUALIDADE DA AMTROL-ALFA, S.A.

(continuar para o sub capítulo [3.2 Complexo Industrial](#))

Política de Gestão

A empresa Amtrol-Alfa, S.A. compromete-se a valorizar permanentemente a criação de valor para todas as partes interessadas, excedendo as expectativas dos seus clientes, através dos fatores:

- Ambiente;
- Diferenciação;
- Inovação;
- Liderança global;
- Qualidade das soluções.

A Amtrol-Alfa, S.A. compromete-se a comunicar a todos os colaboradores a Política de Gestão, contribuindo, assim, para a assunção de comportamentos de Qualidade, Ambientais e de Segurança corretos. A comunicação é transmitida através de informação afixada nos placares das áreas comuns, de ações de sensibilização, no site da empresa, entre outros.

Com o objetivo de atingir estas permissas, a empresa compromete-se a cumprir os requisitos legais, regulamentares e normativos, as especificações técnicas e outras condições definidas no projeto dos produtos. Assume promover a satisfação, a motivação contínua, a segurança e o bem-estar dos colaboradores, assim como a eficácia e a melhoria contínua do Sistema de Gestão. Compromete-se a fomentar a comunicação entre todas as partes interessadas através de todos os canais possíveis, a proteger o meio ambiente através de um desenvolvimento sustentado na melhoria contínua dos produtos, processos e procedimentos e a melhorar continuamente a sua prestação ambiental através da prevenção da poluição e da conservação dos recursos naturais. Aposta também no reconhecimento de todos os seus trabalhadores e no seu compromisso para com a organização.

Política da Qualidade

A Política da Qualidade da Amtrol-Alfa, S.A. tem como principal objetivo conceber, produzir e comercializar produtos que satisfaçam e superem as expectativas dos seus clientes e outras partes interessadas, sempre de acordo com os requisitos legais, regulamentares e normativos. Aposta na constante inovação, na grande capacidade de produção e implementação de novas tecnologias e materiais que visem o crescimento da empresa.

A Amtrol-Alfa, S.A. é certificada, desde 1993, pela Associação Portuguesa de Certificação (APCER), de acordo com o imposto pela Norma Portuguesa EN ISO 9001. Atualmente, tem em vigor as normas NP EN ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos; NP EN ISO 14001:2015 - Sistemas de Gestão Ambiental, Requisitos e Linhas de Orientação para a sua utilização; e ISO 45001:2018 – Sistemas de Gestão, Segurança e Saúde no Trabalho – Requisitos.

Em 2011, a empresa Amtrol-Alfa, S.A. foi reconhecida para a implementação do serviço de inspeção interna, designada por *In-House Inspection Service*, de acordo com a diretiva Europeia 2010/35/UE e

ADR2011. O *In-House Inspection Service* tem responsabilidade de inspeção e supervisão da produção. Este serviço é representante do organismo notificado e tem a responsabilidade de informar diretamente as autoridades respetivas sempre que se justifique.

A Amtrol-Alfa, S.A. possui, para além da Certificação de Qualidade da APCER, outras certificações atribuídas por diferentes organismos notificados, tais como: DOT – *Department of Transportation*, dos EUA; TC – *Transport Canada*; KGS – *Korea Gas Safety Corporation*; SONCAP – *Standard Organisation of Nigeria Conformity Assessment Programme*; SII – *Standard Institute of Israel*; SANS – Estrutura Normativa da África do Sul; WorkCover – Estrutura Normativa da Austrália; ANOR – Estrutura Normativa da República dos Camarões; CONVENIN – Estrutura Normativa da Venezuela, entre outras.

Em 2015, a empresa obteve a aprovação IMDG (*International Maritime Dangerous Goods Code*), com supervisão do organismo notificado *Bureau Veritas* e a autoridade portuguesa competente DGRM/IMT.

ANEXO II – ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA AMTROL-ALFA, S.A

(continuar para o sub capítulo [3.2 Complexo Industrial](#))

A estrutura organizacional da Amtrol-Alfa, S.A. é constituída por um Conselho Administrativo, uma Assistente Executiva, um Diretor Geral, um Departamento de Segurança e Higiene no Trabalho, Tranformation 2.0., e ainda pelos departamentos de Finanças e Controlo, Marketing e Vendas, Inovação e Desenvolvimento e Operações e Tecnologia (Figura 63).

O projeto foi desenvolvido em parceria com o Departamento de Operações e Tecnologia (Figura 64), com destaque para o subdepartamento de Qualidade e Segurança (QA).

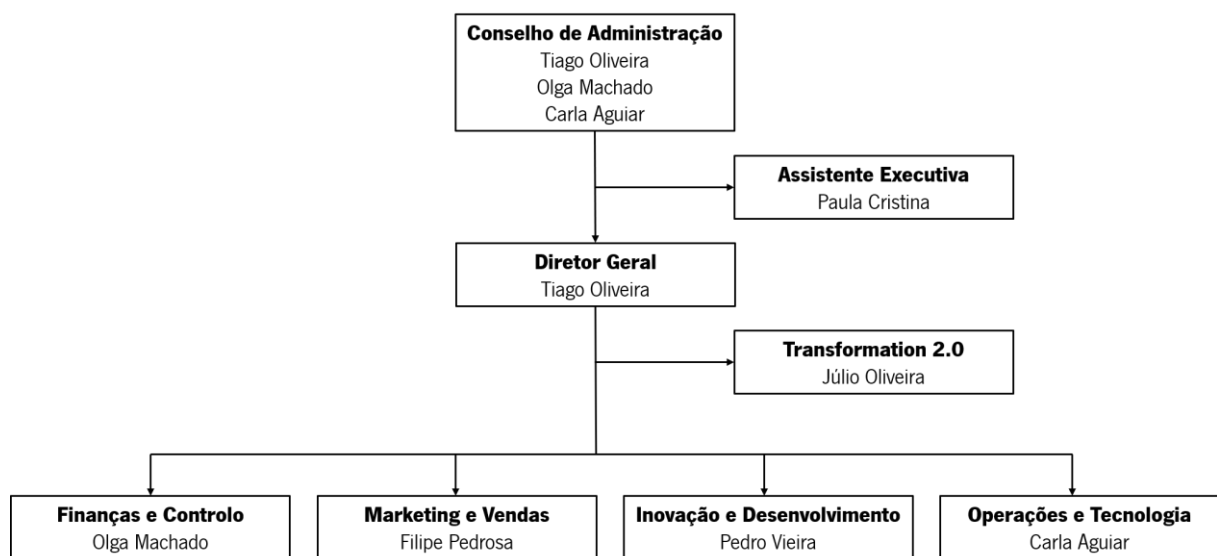


Figura 63: Organograma geral. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

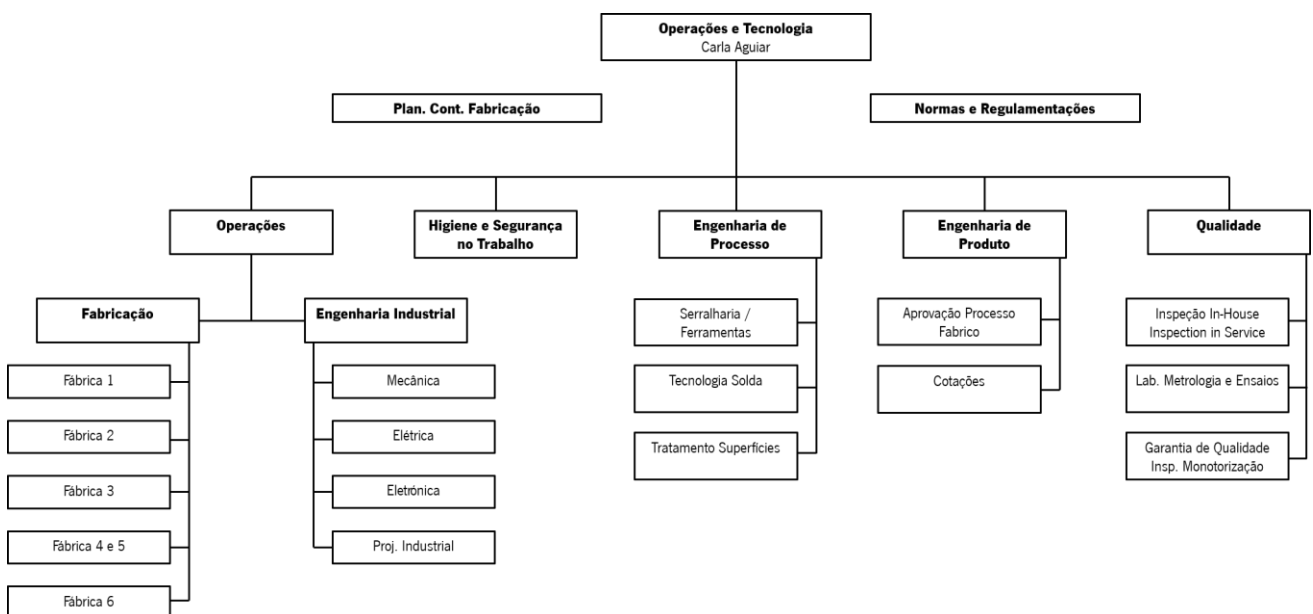


Figura 64: Organograma da Secção de Operações e Tecnologia. Retirado da plataforma interna da Amtrol-Alfa, S.A.

ANEXO III – ESTUDO PERFIS DE ROSCA 25E E 3/4 14” NGT

[continuar para o sub capítulo [4.1.4 Localização do Problema](#)]

De modo a compreender o mecanismo de roscagem entre a válvula e a bolacha, foi feito um estudo do perfil das roscas 25E e 3/4 14” NGT.

Uma rosca é uma saliência de perfil constante helicoidal, designada por filete, que se desenvolve de forma uniforme ao redor de uma superfície cilíndrica ou cônica, cujas formas e dimensões permitem que outro filete de rosca se encaixe na ranhura que forma o filete.

De seguida são apresentados os conceitos básicos associados às roscas, no que diz respeito ao género, à destreza e ao tipo.

Género: cada par compatível de roscas pode ser descrito como externa ou interna (Figura 65), ou ainda macho e fêmea. No caso das garrafas de gás, a rosca interna (Figura 65 – (a)) encontra-se na haste da bolacha (abertura axial roscada) e a rosca externa (Figura 65 – (b)) na haste da válvula (zona final roscada do corpo da válvula).

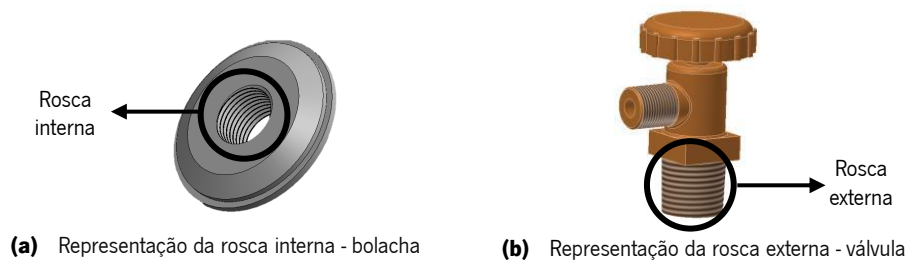


Figura 65: Representação da rosca interna e externa. Adaptação própria.

Destreza: a hélice da rosca pode girar em duas direções, direita ou esquerda. Como convenção normal, a regra utilizada é a da mão direita.

Tipos: as roscas podem ser identificadas como paralelas (Figura 66 – (a)) ou cónicas (Figura 66 – (b)).



Figura 66: Tipos de rosca. Adaptação própria.

Os conceitos básicos associados ao desenho de cada tipo de roscas são os seguintes:

- Perfil da rosca: a forma do perfil da rosca é obtida através da interseção;
- Filete: parte da rosca que se obtém no decorrer de uma volta completa do perfil;

- Passo, P: o passo da rosca é a distância compreendida entre dois filetes consecutivos, ou seja, é a distância entre a crista de um filete e a crista do filete seguinte;
- Ângulo do perfil: é o ângulo que se forma entre os flancos do filete da rosca;
- Conicidade.

As rosca são fabricadas de acordo com um modelo padronizado, para que seja garantido o acoplamento entre as duas peças.

Rosca 25E

A denominação 25E advém da indicação do diâmetro e do padrão de construção da rosca, ou seja, a rosca 25E é uma rosca cônica com diâmetro nominal de 25,8 mm, com padrão de construção *British Standard Whitworth*.

A análise do modelo da rosca 25E foi feita segundo a Norma ISO 11363 (2010): *Gas Cylinders – 17E and 25E taper threads for connection of valves gas cylinders*.

A Norma ISO 11363 (2010) está publicada em duas partes distintas:

- ISO 11363-1, *Gas Cylinders – 17E and 25E taper threads for connection of valves gas cylinders – Part 1: Specifications*,
- ISO 11363-2, *Gas Cylinders – 17E and 25E taper threads for connection of valves gas cylinders – Part 2: Inspection Gauges*.

A Parte 1 especifica as dimensões e as tolerâncias das rosca cônica de diâmetro nominal 17,4 mm (designadas por 17E) e 25,8 mm (designadas por 25E), utilizadas na conexão da válvula à garrafa de gás. A Parte 2 especifica o tipo, as dimensões e os princípios de utilização de medidores de pressão a serem utilizados juntamente com as rosca especificadas na Parte 1.

Na Tabela 25 apresentam-se os requisitos da Norma ISO 11363-1 referentes ao perfil da rosca, ao ângulo do perfil, ao passo e à conicidade. Na Tabela 26 apresentam-se as dimensões e as tolerâncias para a haste da válvula e na Tabela 27 as dimensões e tolerâncias para a haste da bolacha. A unidade SI das dimensões apresentadas é o milímetro.

Tabela 25: Requisitos da Norma ISO 11363-1.

Requisitos da Norma ISO 11363-1	
Perfil da Rosca	BSW (British Standard Whitworth)
Ângulo do perfil, α	55°
Passo, P	1,814 mm
Conicidade	12%

Nota. Adaptado de ISO 11363-1.

Tabela 26: Dimensões e tolerâncias para a haste da válvula (rosca externa).

	Diâmetro maior, d1e	Diâmetro médio, d1p	Diâmetro menor, d1i	Diâmetro médio, d2p	Comprimento de referência, l1	Comprimento da rosca exterior, l2
Dimensão	25,68	24,518	23,356	27,638	26	≥26
Tolerância	$d_{1e0}^{+0,12}$	$d_{1p0}^{+0,12}$	$d_{1i0}^{+0,12}$	$d_{2p0}^{+0,12}$	-	-

Nota. Adaptado de ISO 11363-1.

Tabela 27: Dimensões e tolerâncias para a haste da bolacha (rosca interna).

	Diâmetro maior, D1e	Diâmetro médio, D1p	Diâmetro menor, D1i	Diâmetro médio, D2p	Comprimento de referência, L1	Comprimento da rosca exterior, L2
Dimensão	25,16	23,998	22,836	26,638	22	≥22
Tolerância	D_{1e0}^0	D_{1p0}^0	D_{1i0}^0	D_{2p0}^0	-	-

Nota. Adaptado de ISO 11363-1.

A Figura 67 representa o perfil da rosca 25E:

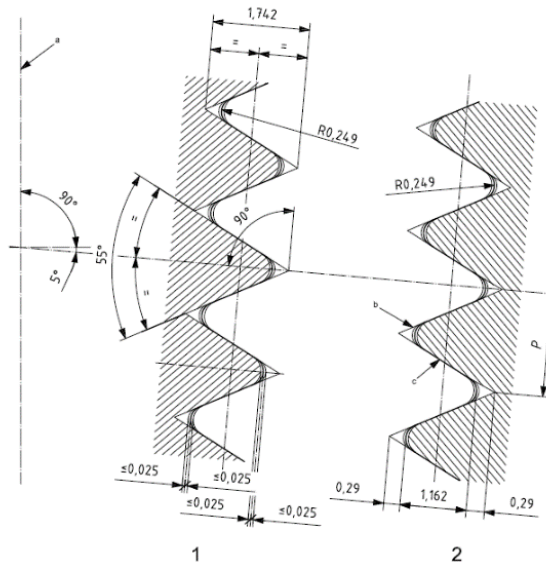


Figura 67: Perfil da rosca 25E. Adaptado de ISO 11363-1.

Nota. 1- Perfil da rosca externa; 2- Perfil da rosca interna; a – Eixo da rosca; b – Perfil teórico; c – Perfil de desenho; P – Passo.

Rosca 3/4 14'' NGT

As roscas NGT, *National Gas Taper*, baseam-se no padrão de construção americano de roscas para tubos cônicos. A denominação 3/4 14'' NGT advém da indicação do diâmetro, do número de fios e do padrão de construção da rosca.

A análise do modelo da rosca 3/4 14''NGT foi feita segundo a Norma CGA V-1 (2013): *Standard for Compressed Gas Cylinder Valve Outlet and Inlet Connections*. Esta norma especifica as dimensões e as tolerâncias de mais de 115 diferentes tipos de roscas cônicas e as regras de conexão entre a rosca inferior e exterior, segundo as especificações da *Compressed Gas Association* (CGA).

A Figura 68 apresenta o perfil da rosca 3/4 14'' NGT.

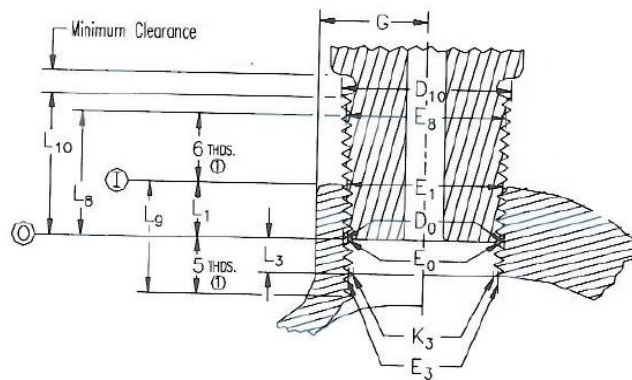


Figura 68: Perfil da rosca 3/4 14'' NGT. Retirado de Norma CGA V-1 2013.

Em que:

- *Minimum Clearance* representa a folga mínima, com ou sem rebaixo, que equivale a $2P$ (em que P é o passo da rosca);
- D – Diâmetro maior;
- E – Diâmetro médio;
- K_3 – Diâmetro máximo da abertura axial roscada da bolacha, antes da conexão válvula-bolacha;
- L_1 – Acoplamento nominal;
- O – Plano de referência para medição da rosca externa;
- I – Plano de referência para medição da rosca interna;
- P – Passo da rosca;

Na Tabela 28 apresentam-se os requisitos da Norma referentes ao perfil da rosca, ao ângulo do perfil, ao passo e à conicidade. Na Tabela 29 apresentam-se as especificações para rosca exterior e na Tabela 30 para a rosca interior. A unidade SI das dimensões apresentadas é o milímetro.

Tabela 28: Requisitos da Norma ISO 11363-1.

Requisitos da Norma	
Perfil da Rosca	NGT (National Gas Taper)
Ângulo do perfil, a	60°
Passo, P	1,814 mm
Conicidade	1/16
Acoplamento Nominal, L1	0,3390 mm

Nota. Adaptado de Norma CGA V-1 2013.

Tabela 29: Dimensões, em milímetros, para a haste da válvula (rosca externa).

Extremidade mais estreita			Rosca Total		Extremidade mais larga	
Diâmetro maior, D0	Diâmetro médio, E0	Chanfro (45°) x Diâmetro Mínimo	Diâmetro médio, E8	Comprimento, L8	Diâmetro maior, D10	Comprimento total, L10
1,0248	0,9677	0,9063	1,0157	0,7676	1,0795	0,8750

Nota. Adaptado de Norma CGA V-1 2013.

Tabela 30: Dimensões, em milímetros, para a haste da bolacha (rosca interna).

Raio mínimo, G	Diâmetro médio, E1	Rosca total			
		Diâmetro máximo, K3	Diâmetro médio, E3	Comprimento L1+L3	Comprimento mínimo raiz completo, L9
0,6875	0,9889	0,8972	0,9543	0,5533	0,6961

Nota. Adaptado de Norma CGA V-1 2013.

ANEXO IV – ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS VEDANTES

[continuar para o sub capítulo [4.1.4 Localização do Problema](#)]

Tabela 31: Estudo das características dos materiais vedantes

	Plasticol Nural 14	Fita Teflon
Identificação do produto		
<i>Fornecedor</i>	Henkel Adhesivos S.L UA	Guarnitex
<i>Âmbito de aplicação</i>	Produto formulado para vedar roscas em tubagens por onde circulem gases e líquidos corrosivos.	Fita PTFE, recomendada pela vedação de tubos de rosca.
Propriedades Físicas e Químicas		
<i>Aspeto</i>	Pasta	Fita
<i>Cor</i>	Vermelho	Branco
<i>Viscosidade [Pa.s]</i>	500-700 Pa.s (a 23°C)	NA
<i>Ponto de inflamação [°C]</i>	30°C	NA
<i>Vida útil</i>	3 anos	NE
<i>Gama temperatura [°C]</i>	-40°C a +150°C	-200°C a +280°C
<i>Densidade</i>	1,56 g/ml (a 20°C)	0,40 (±0,01) [gr/cm ³]
<i>Pressão [bar]</i>	NE	210
<i>pH</i>	NE	0-14
<i>Largura [mm]</i>	NA	12, 19 ou 25
<i>Comprimento [m]</i>	NA	12, 25 ou 50
<i>Espessura [mm]</i>	NA	0,1
Outras informações		
<i>Observações</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistência a líquidos e gases corrosivos; - Aplicável em roscas até 1 polegada de diâmetro; 	<ul style="list-style-type: none"> - Quimicamente inerte, exceto a materiais alcalinos; - Não endurece; - Resistente à água, ao ar, ao gás, a hidrocarbonetos.

Nota. NE – Não especificado; NA – Não aplicado. Adaptação própria.

ANEXO V – PROCESSO PRODUTIVO DE UMA GARRAFA DE GÁS

([voltar ao sub capítulo 4.2.1 Processo de Montagem e Aperto da Válvula](#))

Planeamento da Produção

O Planeamento da Produção (PP) inicia-se com a receção das encomendas de cada cliente, pelo Departamento de Marketing e Vendas (MV). A encomenda é analisada e, posteriormente, é enviada ao cliente uma proposta de encomenda que contém a informação sobre o orçamento, desenhos, entre outras. Após aprovação da proposta de encomenda por parte do cliente, o MV faz chegar aos restantes departamentos toda a informação necessária, para que cada secção consiga executar as suas tarefas adequada e atempadamente.

O PP deve garantir que estão reunidos todos os materiais necessários para que a produção das garrafas seja iniciada na data prevista e assegurar o seu abastecimento à linha de produção. Estes materiais incluem as bobinas de aço para o processo de corte de chapa, os *slittings* de aço para o fabrico de acessórios e outros componentes como tintas, paletes, bolachas, fios de soldadura, entre outros. Uma vez que existem componentes da garrafa que têm programas de PP próprios, nomeadamente, os discos de chapa e os acessórios, o PP também deve garantir que a produção e a preparação destes componentes são efetuadas antes do início do fabrico das garrafas.

O número de garrafas que devem ser produzidas não é apenas determinado pela quantidade encomendada pelo cliente. Existe a necessidade de somar a esse número a quantidade de garrafas necessárias para os ensaios destrutivos operados pelos controladores da qualidade. Assim, o número total de garrafas a serem produzidas é igual à soma das que serão entregues ao cliente com as que serão ensaiadas destrutivamente. Este processo é da responsabilidade do Departamento da Qualidade (QA).

O número de garrafas a ensaiar depende da norma pela qual se rege a construção da garrafa. As normas de construção mais utilizadas são as normas europeias EN 1442: *LPG Equipment and Accessories - Transportable Refillable Welded Steel Cylinders for LPG* e EN 13322: *Transportable Gas Cylinders - Refillable Welded Steel Gas Cylinders*.

Processos geradores de abastecimento da linha de produção

i) Processo corte de chapa (Figura 69)

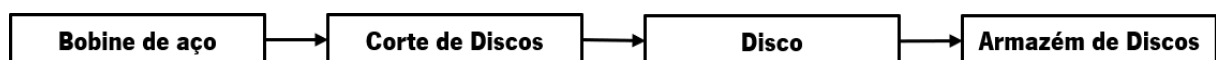


Figura 69: Fluxograma do processo Corte de Chapa. Adaptação própria.

A quantidade de discos a ser cortada está definida no plano de produção para cada encomenda. Esta é determinada sempre por excesso para garantir que, com o *setup* da linha e ensaios, se garanta a quantidade encomendada pelo cliente.

Após a entrega das bobinas de aço é feito o corte dos discos de chapa. Este processo tem um programa de produção diário e é realizado nas instalações da Fábrica 1, na secção de corte de chapa. Esta é constituída por duas prensas de corte, que executam o corte das bobinas de aço no disco com as dimensões pretendidas. Após o corte dos discos, estes são armazenados até à data prevista para o início da produção.

ii) Fabrico de acessórios (Figura 70)

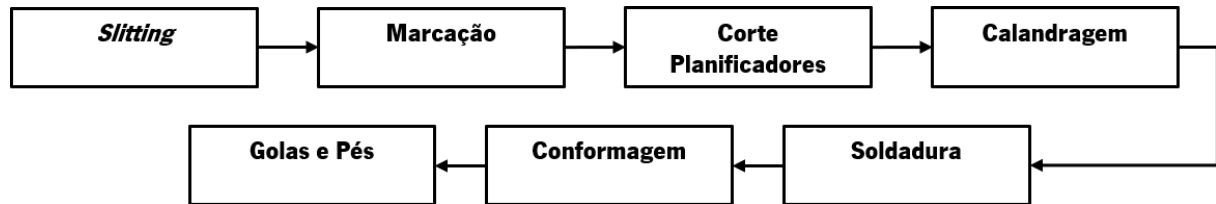


Figura 70: Fluxograma do processo Fabrico de Acessórios. Adaptação própria.

O fabrico dos acessórios, mais especificamente pés e golas, é efetuado na Fábrica 1, de forma automatizada, em duas linhas de produção paralelas.

As bobinas de aço utilizadas para o fabrico dos acessórios, designadas por *slittings* de aço, são inicialmente desenroladas e marcadas. A marcação é imperativa, uma vez que permite gravar informação importante relativa à garrafa para qual estes acessórios se destinam, como o número de série, o tipo de rosca, o nome da empresa fabricante, entre outras informações. Esta pode ser feita tanto nos pés, situação pouco frequente, como nas golas, situação mais recorrente.

Após a marcação dos acessórios, estes são cortados segundo as indicações do plano de fabrico da encomenda em questão. Este processo é designado por corte de planificadores. De seguida, os acessórios passam pelo processo de calandragem, processo que lhes dá a forma desejada, e pelo processo de soldadura.

Processo de Fabrico

Inicialmente, a linha de produção da Fábrica 2 é abastecida, pelo armazém, com a quantidade de discos de chapa, acessórios e restante material necessário para o fabrico das garrafas. Estes são colocados ao longo da linha produção.

Ao longo de todo o processo produtivo, o transporte do material é feito através de dois tipos de transportadores, de correntes e aéreo. Na Figura 71 encontra-se o fluxograma relativo ao processo de fabrico.

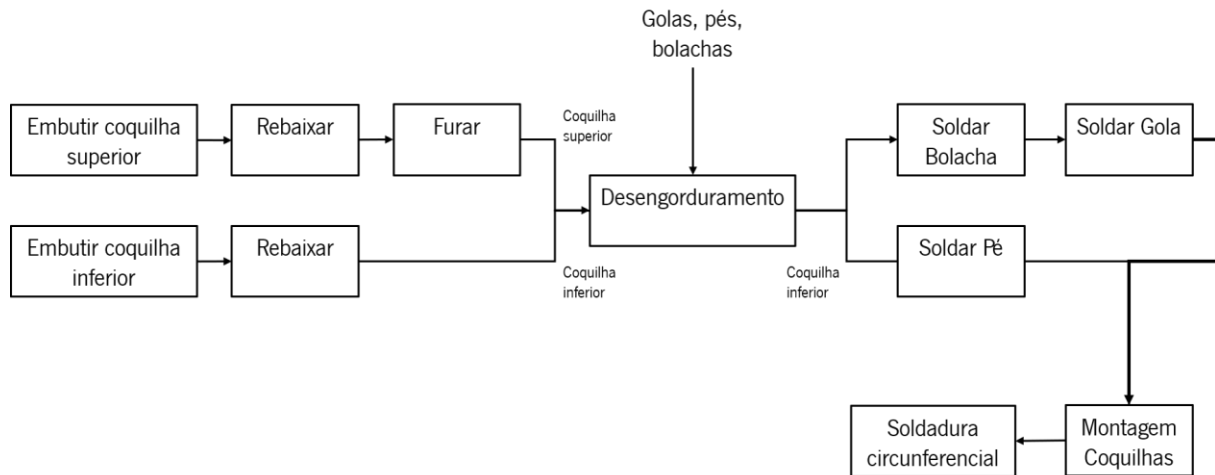


Figura 71: Fluxograma do processo de fabrico de uma garrafa de gás retornável. Adaptação própria.

Na fase inicial do processo de fabrico existem dois ramos de linha: linha das coquilhas inferiores e linha das coquilhas superiores. Este começa com o processo de embutissagem, responsável pela conformação plástica dos discos de chapa, onde se obtêm as coquilhas. Cada ramo de linha está equipado com uma prensa hidráulica, constituída por uma matriz, um punção e um serra chapas. Através de alimentares automáticos, o disco de chapa entra na prensa e é comprimido contra a matriz por ação do cerra chapas, para regular o estiramento da chapa e para evitar que este engelhe. De seguida, o punção, ferramenta móvel com a forma do produto final pretendido, exerce uma pressão na chapa na sua região central, dando forma ao interior da peça. A matriz, ferramenta fixa com diâmetro do exterior da peça, proporciona a conformação do lado exterior da coquilha. Devido às forças exercidas sobre a chapa, é necessário utilizar um óleo de embutir cujo o objetivo é proteger o material contra engelhos, riscos e rasgões.

De seguida, e mantendo os dois ramos de linha, a coquilha superior é furada, por ação de uma prensa hidráulica (para a posterior soldadura da bolacha), é aparada e sujeita a um processo de rebaixe, para permitir o encaixe da coquilha inferior. O processo de rebaixe é executado por rolos mecânicos que encostam na coquilha e empurram o material para o seu interior, enquanto que esta gira, criando assim a parte do encaixe. Em paralelo, a coquilha inferior é aparada através de um torno mecânico vertical, onde a coquilha gira e é aparada por uma lâmina. Esta operação é necessária para criar a parte exterior do encaixe.

Os transportadores de correntes de ambos os ramos seguem o percurso produtivo até ao tanque de desengorduramento. As coquilhas inferior e superior entram no tanque, assim como os pés e as golas, acessórios adicionados à linha por processo manual. Dentro do tanque é feita a lavagem das diferentes peças, através de uma mistura de água e desengordurante, essencial para eliminar o óleo aplicado no início da produção e para que as superfícies de soldadura fiquem limpas e livres de impurezas. Após o desengorduramento, existe um novo conjunto de operações que se desenvolvem em paralelo.

Na linha superior a primeira operação é a soldadura das bolachas. Este processo de soldadura designa-se soldadura por arco submerso, em que se usa um arco elétrico de arame coberto por uma

porção de fluxo. O operador coloca a bolacha no furo da coquilha superior e a soldadura é feita de forma automática. Fluxo é um produto granulado que suporta a elevada intensidade da corrente usada no processo de soldadura e que protege o metal de solda de contaminações. Durante a soldadura, o calor produzido pelo arco elétrico funde uma parte do fluxo com a ponta do eletrodo. Com o deslocamento do eletrodo ao longo da junta, o fluxo fundido sobrenada e separa-se do metal de solda líquido sob a forma de escória, que protege o metal de solda recém-solidificada do oxigénio e do azoto presentes na atmosfera. Após o arrefecimento, o fluxo não fundido é removido e a escória rapidamente se desprende do metal de solda. As vantagens deste processo são a rapidez de soldadura, a ausência de perda de material e o acabamento dos cordões de solda.

De seguida, é soldada a gola. Este processo de soldadura chama-se de soldadura MAG (*Metal Active Gas*). É um processo de soldadura a arco com utilização de um gás protetor, que cateteriza o processo. Entre o eletrodo e a peça cria-se um arco elétrico que funde o eletrodo de fio, criando um sólido cordão de soldadura. É utilizado um gás ativo de proteção, habitualmente o dióxido de carbono, que circula em redor do arco elétrico e protege o banho de fusão dos efeitos atmosféricos. As vantagens da soldadura MAG são a elevada segurança do processo e a capacidade de fusão, apresentando ainda bons indicadores de qualidade metalúrgica e baixa produção de escória ou salpicos.

Em paralelo com estas operações, na linha inferior é soldado, também por soldadura MAG, o pé à coquilha inferior. Ambas as coquilhas e respetivas soldaduras são inspecionadas a 100%, para assegurar a conformidade dos processos anteriores. Apesar de não fazer parte da linha de produção, existe um posto de reparação responsável pela reparação das coquilhas cujas soldaduras foram consideradas não conformes.

A linha de produção converge e é feito o encaixe das duas coquilhas semiacabadas. Através do processo de soldadura por arco submerso, as duas partes do corpo da garrafa são soldadas circunferencialmente, de modo a unir permanentemente o corpo da garrafa. É feita uma inspeção visual a 100% para assegurar a conformidade da soldadura, tanto em termos de qualidade e segurança, como também em termos de estrutura. Neste ponto da linha existe também um posto de reparação, caso seja necessária alguma intervenção. A partir deste ponto, começa a fase de acabamento (Figura 72).

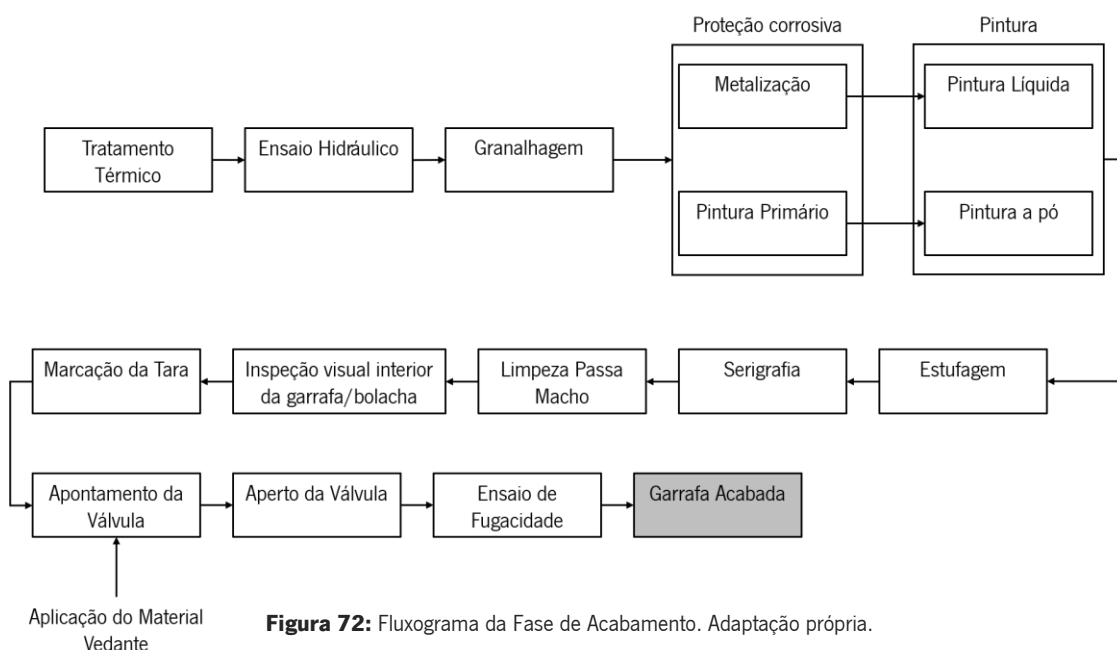


Figura 72: Fluxograma da Fase de Acabamento. Adaptação própria.

A fase de acabamento inicia-se com o processo Tratamento Térmico. Uma vez que os processos de embutissagem e soldadura influenciam a estrutura do aço da garrafa, pois alteram as tensões do material, é necessário submeter as garrafas a um processo de Tratamento Térmico. Este consiste na realização de um ciclo de aquecimento até uma determinada temperatura, que permanece fixa, seguida de um arrefecimento lento. Este processo assegura as propriedades físicas e mecânicas requeridas às garrafas e zonas soldadas, ao eliminar as tensões internas resultantes da soldadura, ao afinar o grão e ao homogeneizar a estrutura do aço. Para tal, é utilizado um forno, com temperatura fixa a cerca de 900°C. O tempo que a garrafa permanece dentro da estufa varia consoante as suas características. Este é controlado através da velocidade com que o transportador de corrente percorre o forno.

De seguida, é feito um controlo de qualidade a 100% através de um ensaio hidráulico. Neste ensaio, as garrafas são pressurizadas com água até à pressão definida para o mesmo, de acordo com o que é exigido pela regulamentação normativa aplicada à construção da garrafa. O objetivo é despistar fugas pela soldadura do corpo da garrafa. Caso seja visível, junto às zonas soldadas, perda de água ou formação de uma espécie de espuma, significa que existe fuga pelo corpo da garrafa e esta é rejeitada.

Após se retirar a água do interior das garrafas, é roscado às bolachas um pendural que permite que as garrafas sigam, a partir deste ponto, por um transportador aéreo. Estas são submetidas ao processo de granalhagem, processo de acabamento de limpeza abrasiva, que consiste na projeção de partículas abrasivas contra a garrafa.

Depois do processo de granalhagem, as garrafas estão prontas para as restantes operações de acabamento. Estas passam por um processo de proteção corrosiva, com o objetivo de proteger a garrafa da corrosão. Para tal, podem ser utilizados dois processos: a pintura com primário, quando se pretende fazer uma pintura eletrostática a pó, ou a metalização com zinco, quando o acabamento é feito com pintura líquida. A pintura com tinta em pó consiste na projeção de partículas de um polímero termoendurecível contra a garrafa, através de um jato de ar comprimido, enquanto que a pintura com tinta líquida consiste na projeção de tinta contra a garrafa.

As garrafas seguem para o processo de estufagem, onde adquirem um aspeto uniforme e brilhante. Este confere resistência à garrafa e permite que a pintura adira à sua superfície. De seguida, com o auxílio de um braço mecânico, as garrafas são retiradas do transportador aéreo e voltam a ser colocadas no transportador de correntes. Segue-se o processo de serigrafia, que consiste na impressão do que o cliente pretende ver gravado na garrafa, e o processo limpeza passa macho, onde é retirado o pendural para que se proceda à limpeza da rosca da bolacha, ao interior da garrafa e ao despiste de irregularidades.

O transportador de correntes segue para o posto de marcação de tara. Aqui, as garrafas são pesadas, é feito o coeficiente do peso da válvula e é feita a marcação desses valores na garrafa.

Após a marcação do valor da tara, as garrafas seguem então para o processo de montagem e aperto da válvula.

As garrafas conformes são colocadas em paletes e seguem para expedição.

Controlo da Qualidade

De modo a conhecer o comportamento e as propriedades mecânicas do material, uma vez que lhe foram aplicados determinados esforços durante o processo de fabrico, são feitos ensaios destrutivos às

garrafas, quer ao longo do processo produtivo quer às garrafas acabadas. Estes dependem da norma de construção aplicada.

Os ensaios destrutivos mais comuns são os ensaios de rutura sob pressão hidráulica, de fadiga, de tração, de dobragem, de radiografia, de micrografia e de macrografia.

No ensaio de rutura sob pressão hidráulica, a garrafa é pressurizada até à rutura. Este ensaio é efetuado com um equipamento que permite que a pressão seja monitorizada e aumentada gradualmente até ao rebentamento da garrafa. É possível registar a expansão volumétrica da garrafa tendo em conta o volume de fluido de ensaio utilizado entre o momento em que a pressão começa a aumentar e o momento de rutura e a diferença entre o volume da garrafa no início e no fim do ensaio. É feita uma inspeção visual, onde se deve verificar que a fratura causada pelo rebentamento ocorreu fora da zona de soldadura, que não causou defeitos visíveis no metal e que o efeito de rebentamento não causou a fragmentação da garrafa.

No ensaio de fadiga, o material é submetido a esforços dinâmicos durante um determinado número de ciclos de pressurização. O objetivo é obrigar o material a expandir para que este enfraqueça progressivamente até romper. O número de ciclos efetuado depende das especificações a que o produto deve obedecer. É possível verificar se o tempo de vida da garrafa antes da rutura está de acordo com os parâmetros exigidos.

Tanto para o ensaio de tração como para o ensaio de dobragem são retirados da garrafa provetes de teste, de acordo com o que está especificado na norma de construção aplicada. Para que se possam comparar resultados, os provetes são normalizados, isto é, as suas dimensões e geometria devem estar de acordo com essa mesma norma. Para além das dimensões, a norma também especifica o número de provetes a retirar para utilizar em cada ensaio.

No ensaio de tração, os provetes de teste são fixos na máquina de ensaios, onde lhes é aplicada uma força trativa uniaxial continuamente crescente até à rutura. O objetivo deste tipo de ensaio é avaliar o comportamento do material quando exposto a situações que envolvem esforços de tração e verificar se os valores de limite plástico, tensão de rutura e alongamento estão de acordo com os valores padronizados para o tipo de material em questão. A fratura do provete deve ocorrer fora da zona da junta de soldadura.

No ensaio de dobragem é aplicada uma força sobre o cordão de solda através de um punção, que provoca a dobragem do provete. O objetivo é verificar se, após a dobragem, o cordão de soldadura não apresenta fissuras ou poros. Este ensaio requer o teste de, no mínimo, dois provetes, para que seja possível analisar tanto a raiz como a face do cordão de soldadura.

No exame de radiografia, a garrafa é sujeita a um varrimento de uma máquina raio-x. Este permite verificar se o cordão de soldadura está conforme e despistar a existência de poros ou fissuras.

Nos ensaios de macrografia, a secção da peça a analisar é previamente polida e geralmente atacada por um reagente específico e apropriado, de modo a expor a macroestrutura da peça em análise. É importante para verificar a geometria e a organização dos cordões de solda depositados na junta em questão, a presença de defeitos associados ao processo de soldadura e observar a região de transição entre o metal de base e o metal de solda (zona termicamente afetada). O registo deste ensaio é feito através de fotografias.

Os ensaios de micrografia, imagens da estrutura do grão de aço, permitem obter informações importantes sobre as estruturas metalográficas dos diversos materiais. É importante para verificar o

tamanho do grão, a qualidade dos tratamentos térmicos de normalização, de recozimento, bem como também as inclusões não metálicas. São usados especialmente para verificar a uniformidade entre o metal base e os cordões de soldadura.

Os procedimentos a adotar em cada ensaio, os requisitos de examinação, os requisitos de aprovação, os requisitos para possíveis reensaio, as informações sobre o processo de certificação, entre outras informações importantes para a certificação do produto final, encontram-se descritas na norma de construção aplicada.

Após a realização destes ensaios, e juntamente com o controlo visual efetuado na linha de produção, é possível garantir que a garrafa cumpre todos os requisitos de qualidade e segurança presentes na regulamentação normativa.

ANEXO VI – DEPLOYMENT DIAGRAM

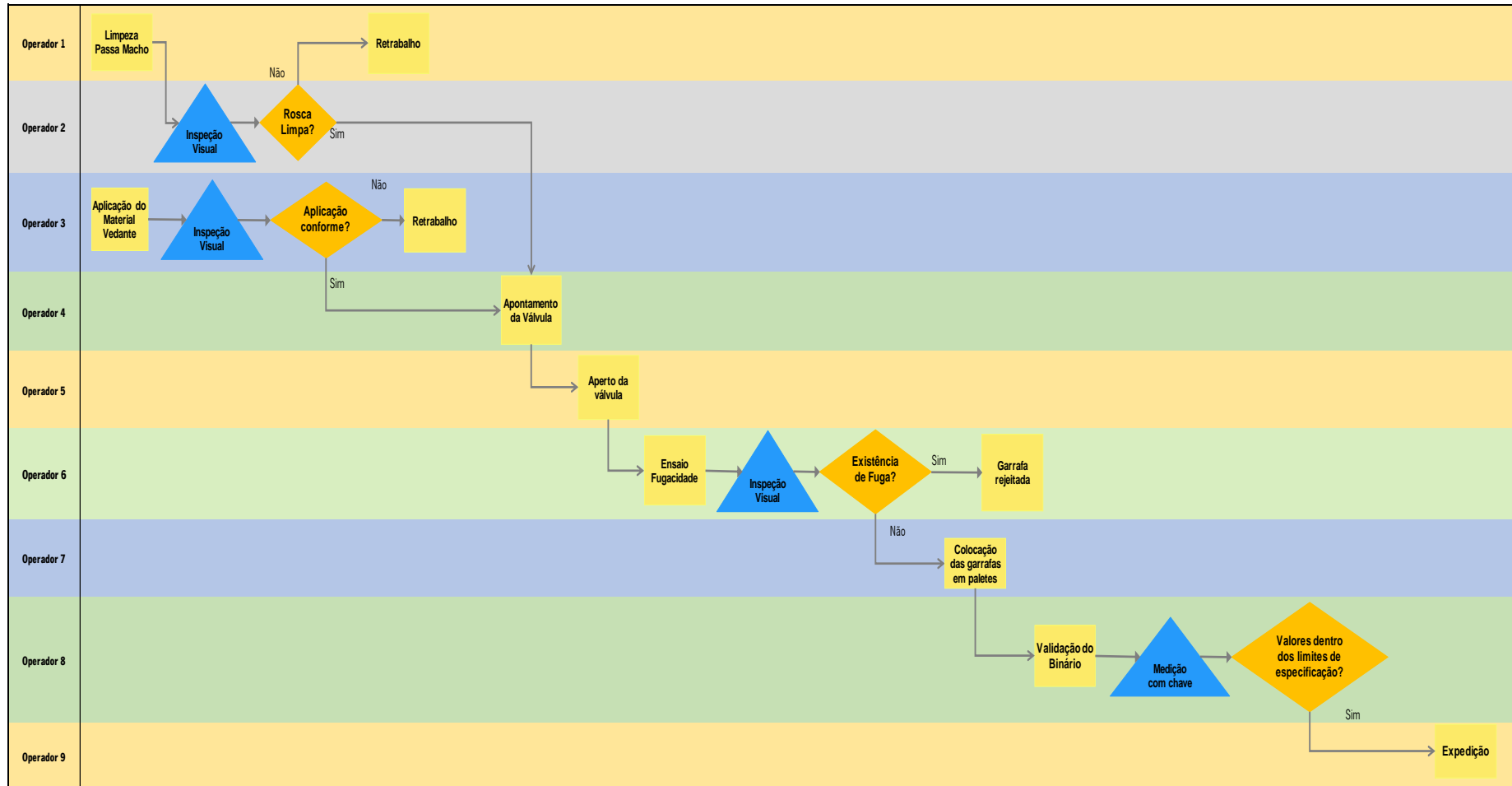


Figura 73: Deployment Diagram. Adaptação própria

(continuar para o sub capítulo [4.2.2 Diagrama Fishbone](#))

ANEXO VII – POTENCIAL PROBLEM ANALYSIS (PPA)

Tabela 32: Potencial Problem Analysis.

Atividade/Etapa	Problema	Efeito	Causas	Severidade	Ocorrência	Nível de risco	Ação Preventiva	Ação de Contingência	Ação de Trigger
Limpeza da Rosca	Danificar a rosca da bolacha	Fuga pela união roscada	Utilização do macho errado	5	4	20	Identificar os machos e do local de arrumação de acordo com o tipo de rosca	Verificar todas as garrafas sujeitas ao processo Limpeza Passa Macho	Inspeção por amostragem realizada pelo controlador de qualidade
		Dano na rosca da válvula	Entrada enviesada do macho na rosca				Sensibilizar o operador para que a verticalidade do macho em relação à garrafa seja garantida		
		Limpeza efetuada sem sucesso	Macho com defeito				Sensibilizar o operador responsável pelo processo de Inspeção/Receção		
		Influência no binário de aperto	Sujidade na rosca				Controlo com a utilização de calibres		
Aplicação do Material Vedante	Aplicação do material vedante não cumpre os requisitos impostos	Má vedação (microfugas)	Não cumprimento do procedimento de aplicação por parte do operador	4	3	12	Sensibilizar o operador para o cumprimento do procedimento	Retrabalhar	Inspeção por amostragem realizada pelo controlador de qualidade
		Influência no binário de aperto	Procedimento não é claro						
	Características químicas do vedante (Nural 14) alteradas	Massa vedante mais líquida	Aquecimento por parte dos operadores para facilitar a utilização	4	4	16	Sensibilização do operador para não aquecer o vedante e seguir o procedimento	Substituir o vedante por um novo	
Apontamento da Válvula	Válvula instável	Válvula danificada	Ação executada sem garantir a segurança da válvula	3	2	6	Sensibilizar o operador para o máximo cuidado quando executa esta ação	Substituir o válvula danificada	Válvula cair
Aperto da Válvula (com máquina)	Introdução errada dos parâmetros de aperto	Aperto da válvula é executado sob condições erradas	Erro pontual do operador	5	3	15	Sensibilizar o operador para a introdução correta dos parâmetros	Efetuar novamente a regulação da máquina	Fuga observada durante o Ensaio de Fugacidade
		Influência no binário de aperto	Especificações mal definidas				Sensibilizar o Departamento de Engenharia para o cuidado a ter na redação do Plano de Fabrico do Produto		
	Gripagem dos filetes de rosca	Deformação do corpo da válvula	Regulação errada da máquina de aperto	5	4	20	Garantir que os parâmetros de aperto estão corretamente definidos e que a máquina de aperto está regulada	Garrafa rejeitada	Valores B_{m} obtidos - grande discrepância em relação ao valor B_{set}
		Fuga							
Ensaio de Fugacidade	Fuga pela união roscada	Garrafa rejeitada	Vedação comprometida	5	3	15	Garantir que os processos anteriores ocorrem de maneira controlada e sem problemas	Garrafa rejeitada	Inspeção visual - aparecimento de bolhas na zona envolvente da união roscada
			Integridade dos componentes comprometida						
			Parâmetros de aperto errados						
			Válvula com "falso"aperto						
Validação do Binário	Valores de binário não conformes com o especificado	Retrabalho das garrafas	Aperto da válvula executado sob condições adversas	5	3	15	Garantir que os processos anteriores ocorrem de maneira controlada e sem problemas	Retrabalhar	Valores obtidos através do processo de medição manual com chave dinamométrica

Nota. Bloco de cor vermelha – Processo Limpeza Passa Macho; Blocos cor azul – Processo Montagem e Aperto da Válvula; Blocos cor verde – Processos de Controlo de Qualidade, nomeadamente Ensaio de Fugacidade e Validação do Binário. Adaptação própria.

(continuar para o capítulo 4.3 Fase Analisar)

ANEXO VIII – MATRIZ XY

(continuar para o sub capítulo 4.3.2 Causas raiz)

Tabela 33: Matriz XY.

#	Fatores	Avaliação da importância do output							Total
		5	5	8	4	8	8	9	
		Limpeza da rosca	Correta aplicação do material vedante	Correta regulação da máquina de aperto	Válvula estável	Integridade dos componentes	Não existência de fuga	Valor de binário de aperto final conforme as especificações (medido com chave dinamométrica)	
7	Especificação do binário	1	1	9	1	9	9	9	311
8	Especificação da velocidade	1	1	9	1	9	9	9	311
4	Procedimento de aplicação do material vedante	1	9	1	1	6	9	9	263
5	Procedimento de regulação da máquina de aperto	1	1	9	1	6	6	9	263
1	Falta de formação	9	9	9	3	3	3	3	249
26	Temperatura da bolacha	6	1	1	1	9	6	9	248
2	Não cumprimento da instrução específica	9	9	9	1	3	3	1	223
6	Plano de Manutenção	9	1	9	1	1	1	9	223
27	Dimensão do vedante (Fita Teflon)	1	9	1	1	3	6	9	215
28	Alteração das características químicas do vedante (Nural 14)	1	9	1	1	3	6	9	215
10	Validação do binário com chave	1	1	9	1	1	1	9	183
11	Calibração da chave dinamométrica não aceitável	1	1	9	1	1	1	9	183
15	Falta de manutenção	1	1	9	1	1	1	9	183
9	Procedimento de limpeza da rosca	9	1	1	1	6	3	3	161
12	Verticalidade do macho de limpeza	9	1	1	1	6	3	3	161
24	Macho de limpeza	9	1	1	1	6	3	3	161
16	Valor do binário desajustado	1	1	9	1	1	1	6	156
17	Valores de velocidade desajustados	1	1	9	1	1	1	6	156
25	Material da Válvula	1	1	1	1	6	1	9	159
14	Desgaste	3	1	6	1	1	1	6	142
18	Máquina de aperto não conforme com a chave dinamométrica	1	9	1	1	1	1	6	132
13	Posição da Válvula	1	1	1	9	6	1	1	119
3	Fadiga	3	3	3	3	1	1	1	91
19	Vibrações	1	1	1	1	1	1	1	47
20	Ruído	1	1	1	1	1	1	1	47
21	Humidade	1	1	1	1	1	1	1	47
22	Variações de temperatura	1	1	1	1	1	1	1	47
23	Falta de organização da área de trabalho	1	3	1	3	1	1	1	65
Total		85	80	123	42	95	82	152	4761

Nota. Adaptação própria.

ANEXO IX – MIND MAP

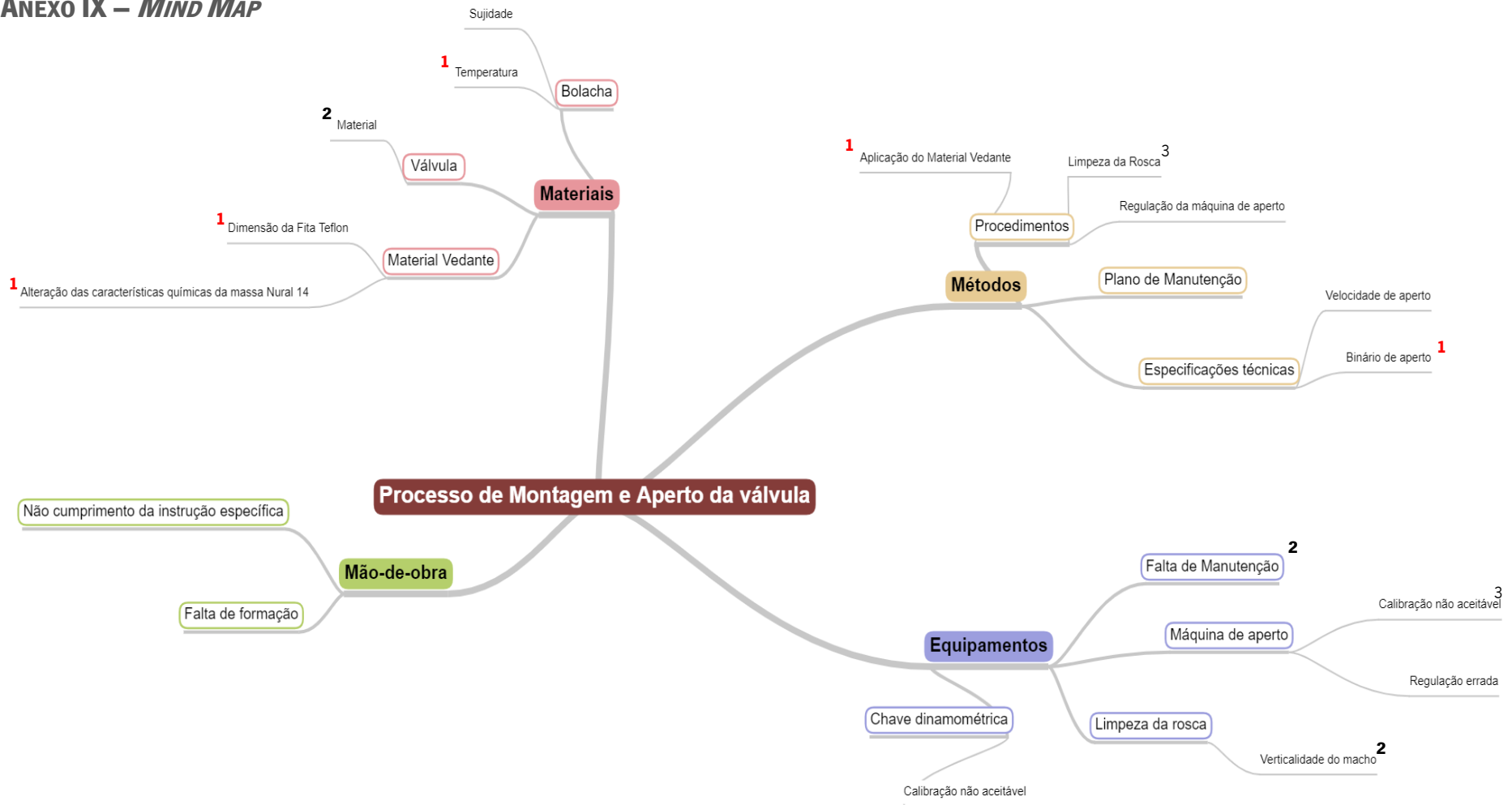


Figura 74: Diagrama *Mind Map*. Adaptação própria.

Nota. Escala de priorização das causas: 1- prioridade elevada; 2 – prioridade média; 3 – prioridade baixa.

(continuar para o sub capítulo [4.3.3 Observação do processo](#))

ANEXO X – CONSENTIMENTO PARA A UTILIZAÇÃO DE DADOS DA EMPRESA



Apartado 37 • 4801-909 Guimarães • Portugal
T: +351 253 540 200 • F: +351 253 540 222
amtrol-alfa@amtrol-alfa.com • www.amtrol-alfa.com

Consentimento para a utilização de dados

Amtrol-Alfa, S.A., vem por este meio autorizar a utilização dos dados na presente tese de mestrado intitulada "Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás" de Maria Beatriz Cardoso Pereira.

Declara ainda que esta opção é livre, informada e específica, tendo em consideração que:

- Foi(foram) utilizado(s) o(s) seguinte(s) dado(s) da empresa: nome da empresa, fotografias e outros;
- Este(s) dado(s) será(ao) utilizado(s) para a seguinte finalidade: justificação da utilização do dado;
- A referida tese será publicada no repositório institucional da UMinho (RepositoriUM) de forma aberta na Internet, com acesso mundial.

Guimarães, 04/10/2019

Assinatura:

ANEXO XI – CONSENTIMENTO PARA A UTILIZAÇÃO DE DADOS PESSOAIS

Consentimento para a utilização de dados pessoais

Eu, _____,
venho pelo presente meio declarar que autorizo a utilização dos meus dados pessoais, na presente tese de mestrado intitulada “Implementação de um Projeto de Melhoria suportado na metodologia Seis Sigma numa empresa de garrafas de gás”, de Maria Beatriz Cardoso Pereira.

Venho ainda declarar que esta opção é livre, informada e específica, tendo em consideração que:

- Foi(foram) utilizado(s) o(s) seguinte(s) dado(s) pessoal(ais): fotografias, nomes e outros;
- Este(s) dado(s) pessoal(ais) será(ão) utilizado(s) para a seguinte finalidade: justificação da utilização do dado;
- A referida tese será publicada no repositório institucional da UMinho (RepositoriUM), de forma aberta na Internet, com acesso mundial;
- Uma vez que este consentimento fará parte integrante da referida tese, o meu nome e assinatura estarão também públicos.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____