



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE
QUÍMICA

TIAGO FÉLIX

Licenciado em Ciências da Engenharia

OTIMIZAÇÃO DA TESTAGEM DE GARRAFAS ATRAVÉS MELHORIA CONTÍNUA

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA E BIOQUÍMICA

Universidade NOVA de Lisboa

Setembro, 2023



OTIMIZAÇÃO DA TESTAGEM DE GARRAFAS ATRAVÉS MELHORIA CONTÍNUA

TIAGO FÉLIX

Licenciado em Ciências da Engenharia

Orientador: Mário Eusébio

Professor Auxiliar, NOVA University Lisbon

Coorientador: Roberto Barata

Responsável do Centro de Arruda dos Vinhos, Air Liquide

Júri

Presidente: Rui Manuel Freitas Oliveira

Professor Associado com Agregação, FCT-NOVA

Arguente: Nuno José Correia Esteves

Engenheiro, Air Liquide

Vogal: Mário Fernando José Eusébio

Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Otimização da Testagem de Garrafas Através Melhoria Contínua

Copyright © Tiago Félix, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*À minha avó Luzia.
Conseguimos.*

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento ao orientador Roberto Barata, por todos os ensinamentos. A aprendizagem que obtive em muito ultrapassou os caracteres escritos neste documento. Foi uma tremenda honra conhecer um tão exemplar profissional, uma pessoa de uma integridade e força brutais. Um exemplo de engenheiro, colega, líder, pai, marido e irmão. Se fosse anglo-saxónico designar-te-ia por "role model".

Um agradecimento ao professor Mário Eusébio pela sua constante exigência. Ter as respostas para as suas perguntas na ponta da língua foi o meu combustível.

Aos professores João Paulo Crespo, Isabel Coelho, Isabel Fonseca, Pedro Simões, Teresa Casimiro, Teresa Silva e Alexandre Paiva pela simpatia, empatia, boa disposição e excelente pedagogia. Jamais dissociarei estes nomes dos termos "bom professor" e "boa pessoa".

A todos os restantes professores, auxiliares e funcionários que fizeram parte da minha jornada académica.

Aos pais, Nuno e Susana, e irmão, Tomás, pela companhia e apoio.

À Rita, pelo apoio constante e incondicional.

Ao Guilherme e Sofia, camaradas e companheiros de luta desde os tempos de projeto. À Rita Chagas, pela maturidade, ensinamentos e apoio transmitido. À Matilde pelo apoio e boa disposição. Ao João O'Neill, poeta disfarçado de engenheiro, e Jorge, com caráter de betão, pelos bons momentos.

À Susana, que me traduziu valores de humildade e empatia, que me empurrou de encontro ao vício da leitura. O meu crescimento intelectual começou com os nossos debates.

À Nádia, pelo exemplo de liderança e força. Ao Edilson, pelo exemplo de resiliência e perseverança. À Inês pelo afeto e carinho, pelas vergonhas em público e risadas.

To Marzena, Justyna and Krzystoff for the kindness, hospitality and welcoming characteristic of Polish people.

To Kasia, a lifevest disguised as a human being.

Aos restantes amigos, que, aqui anónimos, tornaram a viagem suportável.

A Albert Camus, Franz Kafka, Albert Caeiro e Fiodor Dostoievski e Cláudia R.Sampaio que, quando as luzes se apagaram, me fizeram companhia e reerguer.

Aos avós Augusto e Luzia, por tudo. Tenho para convosco uma eterna e impagável dívida.

«Il faut imaginer Sisyphe heureux.» (Albert Camus)

RESUMO

A atividade desenvolvida no *site* CMD de Arruda dos Vinhos da empresa Air Liquide, relaciona-se com a tarefa de testagem hidráulica de garrafas de ar comprimido, conforme a norma ISO 19016.3. Esta instalação, com funcionamento assente em trabalho de natureza excessivamente manual, para a realidade industrial observada atualmente, conta com bastantes ineficiências enraizadas no seu funcionamento, bem como em equipamentos desatualizados, com funcionalidades importantes em falta, quando comparado com o disponível comercialmente, pelos fornecedores. Adicionalmente, é patente a ausência de uma determinação de tempos de produção, bem como de duração de tarefas individuais para diferentes fatores de variação.

De modo a determinar correlações, significâncias, foram realizados, durante três meses, observações e medições de tempo de duração das diferentes tarefas. Com os dados recolhidos, procedeu-se a uma análise estatística da mesma e determinadas as relações de significância entre diferentes fatores e níveis, com recurso a testes de Kruskal-Wallis e Fischer. Não existiu a realização de um DoE (*Design of Experiments*) ou de uma ANOVA (*Analysis of Variance*), devido à impossibilidade de alterar o mapa de produção da instalação.

Analisando os dados, é possível concluir que o fator "Volume" é significativo em tarefas de todas as zonas do processo. Os fatores "Cliente" e "Capacete" são significantes estatisticamente em uma tarefa cada, nas zonas 2 e 4, respetivamente. O fator "prolongador" incrementa o número de tarefas na zona 4, sendo, por isso, uma agravante na duração do processo.

No fim do presente trabalho são propostas, de diferente impacto e envergadura, soluções que atenuam dificuldades dos trabalhadores, bem como reduzindo, expectativamente, durações médias de duração das tarefas, assim como atenuando os desvios-padrão das mesmas.

Palavras-chave: Cilindros de ar comprimido, Teste Hidráulico, Estudo Estatístico, Qualidade, Melhoria Industrial, DMAIC, Gestão Industrial

ABSTRACT

The activity taking place in Aruda's *Air Liquide* CMD site is related to hydraulic testing of compressed gas cylinders, obiding to the ISO norm 19016.3. this instalation, relying on work of excessively manual nature, for the current observed industrial reality, counts on a lot of ineficiencies rooted in the operation, unupdated equipments and with important functionalities missing, when compared to those comercialy available, by the manufacturers. Additionally, it's patent the absence of catalogued production times, as well as the duration of individual tasks for different factors of variation.

In order to develop correlations and significances, there were performed, during three months, observations and time measurements of the duration of different tasks. With the collected data, a statistical analysis took place and significance relations between different factors and levels were determined using the Kruskal-Wallis and Fischer test. Due to the impossibility of altering the site's production plan, no DoE took place.

Analyzing the data, one can conclude that the factor "Volume" is significant in tasks in every zone of the process. The factors "Client" and "Guard" are statistically significant for one task, each, in zones 2 and 4, respectively. The factor "collector" increases the number of tasks performed in zone 4, being, for that reason, an enhancer of the duration of the process as a whole.

At the end of this work, solutions of different size and impact are proposed. These, if applied, will battle co-worker difficulties, as well as reduce the durations of different tasks, as their standard-deviation.

Keywords: Compressed gas cylinders, Hydraulic Testing, Statistical Study, Qualidade, Industrial Improvment, DMAIC, Industrial Management

ÍNDICE

1	Estado da Arte	1
1.1	Nota Introdutória	1
1.2	Qualidade	1
1.2.1	Definições	1
1.2.2	O Papel do Cliente	3
1.2.3	Evolução Histórica	3
1.2.4	Elementos Básicos da Qualidade	4
1.3	Controlo e Gestão da Qualidade	4
1.4	Custos da Qualidade	5
1.5	Filosofias de Gestão de Qualidade	6
1.5.1	Inspeção	6
1.5.2	SPC: <i>Statistical Process Control</i>	7
1.5.3	TQM : <i>Total Quality Management</i>	10
1.5.4	TQC : <i>Total Quality Control</i>	15
1.5.5	<i>Six Sigma</i>	16
1.5.6	<i>Kaizen</i>	22
1.5.7	JIT: <i>Just In Time</i>	25
1.5.8	<i>Lean</i>	27
1.6	BPR: <i>Business Process Reengineering</i>	34
1.7	Ferramentas da Qualidade	44
1.7.1	7 Ferramentas Básicas da Qualidade	44
1.7.2	Fluxograma	44
1.7.3	Folha de Registo e Verificação	44
1.7.4	Histograma	45
1.7.5	Diagrama de Dispersão	46
1.7.6	Diagrama de Causa-Efeito	47
1.7.7	Diagrama de Pareto	48
1.7.8	Cartas de Controlo	49

1.7.9	Outras Ferramentas	52
1.7.10	Análise FMEA	52
1.8	DoE: <i>Design of Experiments</i>	56
1.8.1	Introdução	56
1.8.2	Planeamento Fatorial Completo 2^k	56
1.8.3	Planeamento Fatorial Fracionado 2^{k-p}	57
1.9	ANOVA: <i>Analysis of Variance</i>	59
1.10	Teste de Kruskal-Wallis	63
1.11	Teste de <i>Fischer</i>	64
1.12	Teste de Kolmogorov-Smirnov	65
1.13	Remoção de <i>Outliers</i>	66
2	Descrição do Processo	67
2.1	Introdução	67
2.2	Descrição de uma garrafa de gás comprimido	67
2.2.1	Ogiva	70
2.2.2	Gola	70
2.2.3	Corpo	70
2.2.4	Quadros	71
2.2.5	Válvula	71
2.3	Zona 1	73
2.3.1	Triagem	73
2.3.2	Remoção do Capacete e Válvula	74
2.3.3	Escovagem	76
2.4	Zona 2	77
2.4.1	Prova Hidráulica	77
2.4.2	Secagem	78
2.5	Zona 3	79
2.5.1	Cadeia de Pintura	79
2.5.2	Circuito das garrafas de alumínio	82
2.6	Zona 4	84
2.6.1	Montagem do Cilindro	84
2.7	Zona 5	86
3	Metodologia	87
3.1	Passo 1: Definição	87
3.1.1	Zona 1	87
3.1.2	Zona 2	88
3.1.3	Zona 3	89
3.1.4	Zona 4	89
3.1.5	Zona 5	91

3.2	Passo 2: Medição	91
3.2.1	Variáveis Consideradas	91
3.3	Passo 3: Análise	92
3.3.1	Medição à base de lotes	93
3.3.2	Medição à base de tarefas	94
3.3.3	Remoção de Outliers	94
3.3.4	Teste de Kruskal-Wallis	95
3.3.5	Teste de Fischer	96
3.4	Passo 4: Melhoria	98
3.5	Passo 5: Controlo	98
4	Apresentação e Discussão de Resultados	100
4.1	Zona 1	100
4.1.1	Cliente SPAL e diferentes volumes em análise	101
4.1.2	Volume de 50L e diferentes clientes em análise	103
4.1.3	Elações Finais	104
4.2	Zona 2	104
4.2.1	Análise do impacto dos volumes das garrafas na duração das tarefas da zona 2	105
4.2.2	Análise do impacto dos clientes na duração da tarefa 2.01	106
4.2.3	Elações Finais	106
4.3	Zona 3	111
4.4	Zona 4	112
4.4.1	Tarefa 4.01	113
4.4.2	Tarefa 4.02	113
4.4.3	Tarefa 4.05	114
4.4.4	Tarefa 4.06	114
4.4.5	Tarefa 4.08	115
4.4.6	Tarefa 4.10	115
4.4.7	Restantes tarefas	116
4.4.8	Resultados dos testes de Kruskal-Wallis	116
4.4.9	Elações Finais	117
4.5	Comentário Final sobre os resultados obtidos	119
5	Sugestões e Análises de Melhoria	121
5.1	Zona 1	121
5.2	Zona 2	122
5.3	Zona 3	124
5.4	Zona 4	124
5.5	Sistema de Transporte	125
5.6	Matriz de Decisão	126

6	Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro	128
6.1	Conclusões	128
6.2	Propostas de Trabalho Futuro	129
	Referências Bibliográficas	131

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Modelo de Custos Ótimos de Qualidade de Juran, adaptado de [16]	5
1.2	Exemplo de distribuição normal, adaptado de [13]	8
1.3	Processo com causa específica de variação, adaptado de [13]	9
1.4	Comparação entre os diferentes intervalos de σ , baseado em [34]	17
1.5	Elementos constituintes da metodologia <i>Kaizen</i> , adaptado de [13]	23
1.6	Exemplo de um CEDAC, adaptado de [42]	24
1.7	Passos envolvidos na criação de um CEDAC[13]	25
1.8	Organização Tradicional de um Processo, adaptado de [13]	26
1.9	Organização JIT de um Processo, adaptado de [13]	26
1.10	Exemplo de um processo com bottleneck[43]	29
1.11	Processo anterior, da figura 1.10, com bottleneck resolvido[43]	30
1.12	Complementaridade entre BPR e TQM, adaptado de [59]	35
1.13	Exemplo de um fluxograma[65]	45
1.14	Exemplo de Folha de Verificação e Registos, adaptado de [69]	45
1.15	Exemplo de um histograma usando dados arbitrários	47
1.16	Exemplos de correlações negativa, positiva e nula, entre duas variáveis hipotéticas X e Y	47
1.17	Exemplo de um diagrama de Causa-Efeito[73]	48
1.18	Exemplo de um diagrama de Pareto baseado em [74]	49
1.19	Carta de controlo com zonas A, B e C delineadas[77]	51
2.1	Cilindro de ar comprimido equipado com a válvula Taco	69
2.2	Estrutura de um quadro	72
2.3	Válvula Regular	73
2.4	Válvula Smartop	73
2.5	Válvula Exeltop	73
2.6	Fluxograma das tarefas constituintes da Zona 1	73
2.7	Ilustração metafórica da triagem efetuada na zona 1	74
2.8	Defeito infligido por ação de chama direta	75

2.9	Defeito infligido por ação de corte	75
2.10	Defeito infligido por ação de impacto mecânico	76
2.11	Retirada da pressão residual de uma garrafa	77
2.12	Fluxograma das tarefas constituintes da zona 2	78
2.13	Banco de prova com 6 garrafas	79
2.14	Banco de secagem contendo 6 garrafas	80
2.15	Fluxograma da zona 3	81
2.16	Garrafa após passagem na graneladora	82
2.17	Exterior da cabine de pintura do corpo	83
2.18	Pintura da ogiva	84
2.19	Fluxograma da zona 4	85
2.20	Válvula com <i>teflon</i> aplicado	85
2.21	Montagem da válvula numa garrafa de 20 litros	86
3.1	Valores Observados para os diferentes volumes contemplados em medições da tarefa 2.02 bem como as suas medianas (s)	94
3.2	Diferença absoluta entre os valores da figura 3.1 e as suas medianas, bem como a mediana das diferenças	95
3.3	Z-scores modificados dos valores averiguados para os diferentes volumes contemplados na tarefa 2.02 (s)	95
3.4	Valores corrigidos, sem outliers, para diferentes volumes contemplados em medições da tarefa 2.02, bem como média e desvio-padrão	95
3.5	Tabela de valores medidos para a tarefa 2.03	96
3.6	<i>Ranks</i> calculados usando a função RANK.AVG	97
3.7	Parâmetros úteis ao cálculo da estatística de teste, <i>H</i>	97
3.8	Parâmetros finais do teste de Kruskal-Wallis	98
3.9	Tabela contendo parâmetros úteis ao teste de Fischer	98
3.10	Tabela contendo as diferenças entre os valores médios de duração da tarefa para cada par de volumes de garrafa	98
3.11	Tabela contendo resultados úteis ao cálculo da estatística <i>t</i> e a própria	99
3.12	Tabela contendo as LSD para cada par de volumes de garrafa	99
3.13	Matriz relações de significância entre os diferentes volumes em estudo para a tarefa 2.03	99
4.1	Valores médios de tempo para cada volume e cliente SPAL	101
4.2	Valores médios de tempo para volume de 50 litros e clientes diferentes	103
4.3	Valores médios, para os clientes SPAL e ALMP, volume de 10 litros, da realização da tarefa 2.01	108
4.4	Valores médios, para os clientes SPAL e ALE, volume de 50 litros, da realização da tarefa 2.01	109
5.1	Matriz de decisão para as melhorias aplicáveis	127

ÍNDICE DE TABELAS

1.1	Percentagens de conformidade quando a quantidade de desvio-padrão é contida dentro dos limites de especificação [34]	16
1.2	Tabela com as diferentes ferramentas usadas em cada fase do ciclo DMAIC, adaptado de [8]	20
1.3	Taxonomia do sistema de produção segundo Casti[49]	32
1.4	Metodologia Hammer e Champy[28]	36
1.5	Metodologia de Davenport[28]	37
1.6	Papéis de maior relevância das IT no BPR[28]	39
1.7	Comparação entre TQM e BPR[28]	43
1.8	Exemplos de casos de sucesso advenientes da utilização de BPR	43
1.9	Simbologia principal de fluxogramas[13, 23, 63, 66]	46
1.10	Regras de cartas de controlo e o que indicam	52
1.11	Planeamento fatorial completo de experiências para $k = 2$ [89]	56
1.12	Efeitos em AB para $k = 2$ [89]	57
1.13	Planeamento fatorial completo de experiências para $k = 3$ [89]	57
1.14	Efeitos nas interações entre fatores para $k = 3$	58
1.15	Efeitos nas interações entre fatores para $k - p = 3 - 1$	58
1.16	Fatores gerados e respetivos geradores para exemplo $k - p = 5 - 2$	59
1.17	Graus de Liberdade para cada uma das variações, SS_T , SS_B e SS_W	61
1.18	Tabela ANOVA[23]	62
1.19	Tabela ANOVA para um desenho de experiências de fatorial completo com $k=3$	62
1.20	Condições para rejeitar a hipótese nula admitindo $\alpha = 5\%$	63
1.21	Condições para rejeitar a hipótese nula admitindo $\alpha = 5\%$	66
2.1	Diferentes tamanhos de garrafas existentes	69
2.2	Cores legisladas ao nível europeu para ogivas de garrafas de ar comprimido, de acordo com a norma EN 1089-3, de acordo com as propriedades	70
2.3	Cores legisladas ao nível europeu para ogivas de garrafas de ar comprimido, de acordo com a norma EN 1089-3, para gases específicos	72

3.1	Listagem das Diferentes Variáveis do Processo	92
4.1	Contagem das amostras recolhidas para a análise à base de ciclos na zona 1 para cada volume de cilindro	100
4.2	Valores médios obtidos para os diferentes volumes e clientes na Zona 1	101
4.3	Desvios-padrão obtidos para os diferentes volumes e clientes na Zona 1	101
4.4	Intervalos de Confiança para $\alpha=0.05$ para garrafas de cliente SPAL	102
4.5	Resultados associados ao Teste de Kruskal-Wallis para Zona 1 e volumes	102
4.6	Resultados associados ao cálculo da estatística t	102
4.7	Diferenças entre valores médios para os diferentes volumes e cliente SPAL	102
4.8	LSD para os diferentes volumes e cliente SPAL	103
4.9	Intervalos de Confiança para $\alpha=0.05$ para garrafas de cliente SPAL	103
4.10	Resultados associados ao Teste de Kruskal-Wallis para os diferentes volumes e cliente SPAL	104
4.11	Diferenças entre os valores médios para os diferentes clientes e volume de 50L	104
4.12	LSD para os diferentes clientes e volume de 50L	104
4.13	Número de observações efetuadas, para cada tarefa e volume, na zona 2	105
4.14	Valores médios de duração para as tarefas, em segundos, para 6 garrafas	105
4.15	Desvios-padrão para as tarefas, em segundos, para 6 garrafas, na zona 2	105
4.16	Valores de p-value associado ao teste de Kruskal-Wallis, para cada tarefa variando o volume, na zona 2	106
4.17	Resultados dos Testes de Fischer efetuados para as tarefas 2.01 a 2.07	107
4.18	Número de tarefas em que existem interações significantes para cada volume, na zona 2	107
4.19	Número de observações efetuadas, separadas por tamanho e por cliente, para a tarefa 2.01	108
4.20	Resultados obtidos para os testes de Kruskal-Wallis efetuados a cada um dos tamanhos, variando os clientes, para a tarefa 2.01	108
4.21	Resultados do teste LSD para a tarefa 2.09 variando os volumes das garrafas	111
4.22	Valores médios, desvios-padrão, contagem de amostras e intervalos de confiança 95% para as tarefas da zona 3 (circuito de garrafas de alumínio), por garrafa (s)	111
4.23	Número de observações efetuadas para tarefas da zona 4	113
4.24	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.01	113
4.25	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.02	114
4.26	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.05	114
4.27	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando apenas válvulas	114

4.28	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando válvulas e prolongadores	115
4.29	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando volumes	115
4.30	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.08, variando capacetes	115
4.31	Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.10, variando volumes	116
4.32	Valores médios, desvios-padrão, contagem de amostras e intervalos de confiança 95% para as tarefas da zona 4 que não foram alvo de testes de significância	116
4.33	Resultados dos testes de Kruskal-Wallis efetuados para tarefas na zona 4 . .	116

SIGLAS

ALE	Air Liquide Espanha (<i>p. 92</i>)
ALME	Air Liquide Medicinal Espanhola (<i>p. 92</i>)
ALMP	Air Liquide Medicinal Portuguesa (<i>p. 92</i>)
ANOVA	Analysis of Variance (<i>p. 20</i>)
ASQ	American Society for Quality (<i>p. 28</i>)
BPR	Business Process Reengineering (<i>p. 10</i>)
CEDAC	Cause and Effect Diagram with Addition of Cards (<i>p. 24</i>)
CFE	Critical Failure Factors (<i>p. 22</i>)
CSF	Critical Success Factors (<i>pp. 21, 22</i>)
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control (<i>p. 19</i>)
DoE	Design of Experiences (<i>p. 20</i>)
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis (<i>p. 19</i>)
FMECA	Failure Mode Effects and Criticality Analysis (<i>p. 54</i>)
ISO	International Organization for Standardization (<i>p. 2</i>)
LSD	Least Significance Difference (<i>p. 64</i>)
PCE	Process Cycle Efficiency (<i>p. 19</i>)
PCT	Process Cycle Time (<i>p. 19</i>)
PDCA	Plan, Do, Check, Act (<i>p. 19</i>)
ROI	Return of Investment (<i>p. 22</i>)
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (<i>p. 19</i>)

SPAL	Sociedade Portuguesa do Ar Líquido (<i>p. 92</i>)
SPC	Statistical Process Control (<i>p. 3</i>)
TPM	Total Preventive Maintenance (<i>p. 33</i>)
TQM	Total Quality Management (<i>p. 10</i>)
VAT	Value-Add Time (<i>p. 19</i>)

ESTADO DA ARTE

1.1 Nota Introdutória

Esta secção em que foi realizada uma investigação Qualidade, história, filosofias e ferramentas, revelou bastante discórdia, ainda que apenas de taxonomia, entre autores. É bastante difusa a fronteira entre filosofia, ferramenta e metodologia. Adicionalmente, existe discórdia, ainda que sem gravidade, sobre o que classificar certos constituintes da Qualidade. Nesta fase da dissertação, o objetivo foi rever extensamente a literatura, analisando as origens e aplicabilidades das ferramentas e filosofias de Gestão de Qualidade, as suas evoluções e novas vertentes, bem como aplicações mais recentes.

1.2 Qualidade

1.2.1 Definições

Existem diversas formas de definir o termo "qualidade". A primeira conhecida ao Homem será, possivelmente, a de Aristóteles, no seu livro "Metafísica": "Diferença entre indivíduos". No entanto, as definições atualmente usadas, bem como as mais referidas distanciaram-se bastante da do filósofo da Grécia Antiga[2].

Atualmente, são referenciados os engenheiros, ou gurus da Qualidade, Deming, Juran e Crosby, com as definições do termo:

- **Deming** - "*Good quality means a predictable degree of uniformity and dependability with a quality standard suited to the customer*", ou seja, capacidade de um produto satisfazer as necessidades do consumidor [3, 4];

Introduziu também o conceito do Triângulo da Qualidade, envolvendo o produto (testes laboratoriais e simulação), formação do cliente (instruções de utilização e manutenção, bem como substituição de peças) e modo de utilização por parte do cliente (como é instalado e como o mantém, querendo garantir utilização proveitosa a longo prazo);[5]

- **Juran** - "*Fitness for (Purpose of) Use*", ou seja, a capacidade de cumprir com o propósito da sua utilização[3, 4];
Define "Qualidade"no seu livro, como sendo as características de produtos que cumprem com as necessidades do cliente e, portanto, fornecem-lhe satisfação[6];
Apresentou o conceito da trilogia da Qualidade, compreendendo Planejamento de Qualidade, Controlo de Qualidade e Melhoria de Qualidade [6];
- **Crosby** - "*Conformance to requirements*", ou seja, conformidade com as necessidades do cliente a partir do ponto de vista do mesmo. Adicionalmente, Crosby realçou a importância dos "zero defeitos"e de "cumprir com as especificações do produto ou serviço a todo o tempo"[3, 4].

No entanto, o termo "qualidade"é bastante subjetivo, no sentido em que, para cada pessoa, existirá uma forma diferente de definir o termo. Pode-se dizer, ironicamente, que existe uma grande variância na definição deste termo tão basilar para a engenharia moderna. Desenvolver uma estratégia de qualidade eficiente é um fator no sucesso do negócio a longo prazo [4, 7, 8].

Na literatura, no entanto são apresentadas sete diferentes definições de qualidade, com alguma coincidência, mas suficientemente distintas [3]:

1. É a conformidade com os padrões e especificações de um produto ou serviço;
2. Zero defeitos ou cumprir com as especificações a 100%;
3. Significa que o produto ou serviço possui a capacidade de propósito de uso baseada nas suas funções;
4. Qualidade é a capacidade de um produto ou serviço cumprir com as necessidades e expectativas do cliente;
5. Qualidade é avaliada pelo cliente;
6. Qualidade é determinada pelo desvio de medidas de qualidade características de um produto;
7. Qualidade é a satisfação de um cliente.

A [International Organization for Standardization \(ISO\)](#), o corpo internacional de normalização define, na família 9000, requisitos a cumprir para garantir a qualidade. São mais de 300, estes, demasiados para listar [9, 10].

Adicionalmente, outras figuras contribuíram bastante para o desenvolvimento da Qualidade, do seu planeamento, melhoria e engenharia. É o caso de Taguchi. Introduziu a noção de robustez de *design*, que não tem significado *per si*, sendo mais um objetivo em mente quando se elabora um produto, processo ou serviço. Este objetivo é o de se ter um processo com mínima variabilidade possível [11].

Taguchi rompeu com a norma, também. A perspectiva dos gestores era que, apenas quando o produto era afinado, poderiam então as características de *output* ser alcançadas. Engenharia de qualidade define que se deve ajustar a uma função ou valor alvo, apenas depois de se reduzir a variabilidade. Ou seja, primeiro, é necessário proceder a um estudo do processo de modo a minimizar a variância do mesmo, em detrimento do valor objetivo em mente. Apenas quando se garantem resultados previsíveis (ainda que baixos) se pode "atacar" o processo no sentido de o fazer cumprir com o objetivo [11].

1.2.2 O Papel do Cliente

Juran define o cliente como "alguém que é afetado pelo produto ou pelo processo pelo qual se fabrica o produto, podendo os clientes ser internos ou externos"[6].

Juran define que a satisfação do cliente é um estado do mesmo em que os clientes sentem que as suas expectativas foram cumpridas pelas características do produto. Define insatisfação como um estado em que deficiências num produto resultam num aborrecer do cliente, em queixas e reclamações [6].

Deming realça a importância do cliente no processo de produção, bem como no produto final. Para além de ser o utilizador final e, por isso, o responsável pelo pagamento do valor criado do mesmo, é importante encorajar o *feedback* do mesmo. A pesquisa a ser efetuada deve sempre tomar o pulso às reações e exigências do cliente [5].

A pesquisa é um processo de comunicação entre o produtor, consumidor e potencial consumidor. Deming recomenda e elogia a prática fiável e económica de amostragem de produtos em conformidade para testagem por parte de clientes. A informação obtida de volta é extremamente valiosa e poderá ser usada para melhorar partes do produto, alterando o processo [5].

1.2.3 Evolução Histórica

Pode-se dizer que o termo 'Qualidade' começa a ser discutido e referido a, com maior frequência, a partir da revolução industrial. Com a maquinação dos processos, para longe dos produtos feitos à medida, de forma artesanal, e mais tarde, no início do séc.XX, com a implementação da linha de montagem, nas fábricas de Henry Ford, surgiu a necessidade de controlar a variância entre produtos confeccionados, de forma a garantir que eram iguais e que não continham defeitos. Assim, o termo, ganha uma ligação direta à noção de ausência de defeitos [6, 12].

Em 1900, Taylor introduz os princípios de gestão científica, enfatizando a divisão de trabalho com um foco no aumento de produtividade. Ford, inspirado pelo estudo de Taylor, implementa os ensinamentos do mesmo nas suas fábricas de produção automóvel, no ano de 1913. Em 1924, Shewhart introduz as ideias básicas de controlo estatístico do processo ([Statistical Process Control \(SPC\)](#)). Com o desenrolar da Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade de transpor estes conceitos para a indústria militar, bem como para dar

ainda mais importância aos mesmos. Assim, em 1946, surge a ASQ (*American Society for Quality*) [4, 6, 12].

Após a guerra, com um país arrasado, os japoneses tiveram a necessidade de se reinventarem, bem como de se distanciarem da reputação que tinham de "fabricantes sem qualidade". É, pelos gestores japoneses, dada grande atenção à noção de qualidade, bem como passada a necessidade aos trabalhadores a necessidade de garantir um produto com o mínimo de defeitos possível. Auxiliados por Deming, fundamentando-se no trabalho de Shewhart, revolucionaram a Gestão da Qualidade [4, 6, 13].

O sucesso é tremendo e os japoneses - gestores, gurus e empresas - tornam-se exemplares, líderes e a referência. Nos anos seguintes, no final do séc. XX surgem nomes incontornáveis da temática, tais como Ishikawa e Taguchi, responsáveis pela elaboração e implementação de ferramentas utilizadas no âmbito do Controlo e Gestão da Qualidade [6].

1.2.4 Elementos Básicos da Qualidade

Os elementos básicos da qualidade são: metrologia, normalização, acreditação e certificação. São subsistemas do sistema de Qualidade [2].

Em Portugal, existe o SPQ - Sistema Português da Qualidade, definido pelo Decreto-Lei Nº 140/2004 de 8 de Junho. Este é composto por três sistemas, abaixo explanados [14].

O subsistema de normalização enquadra as atividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, continental e internacional. Por outras palavras, trata da gestão da diversidade, reduzindo o número de formas diferentes para fazer a mesma coisa.

O subsistema de metrologia garante o rigor e a exatidão das medições, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade a nível nacional e internacional. Garante também a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida. Pode ser científica, aplicada ou legal.

O subsistema de qualificação enquadra as atividades de acreditação, certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação da conformidade, no âmbito do SPQ. Acreditação é o procedimento pelo qual o Organismo Nacional de Acreditação reconhece, formalmente, uma entidade é tecnicamente competente para efetuar uma função específica, de acordo com normas internacionais, europeias ou nacionais. Certificação é o procedimento pelo qual uma terceira parte acreditada dá uma garantia formal de que um produto, processo, serviço ou sistema está em conformidade com os requisitos especificados [gq].

1.3 Controlo e Gestão da Qualidade

Aliado à atenção dada à Qualidade, surgem estratégias, abordagens, filosofias e, conseqüentemente, ferramentas com o objetivo de maximizar a Qualidade do produto comercializado

ou do serviço prestado, com o intuito de ganhar uma vantagem competitiva, melhorar reputações, adquirir clientes, maximizar vendas e, conseqüentemente, melhorar os resultados financeiros, ou seja, o lucro. Então, ao longo das últimas décadas surgiram correntes de pensamento, métodos e filosofias que moldaram o que é, exatamente, a Gestão da Qualidade.

1.4 Custos da Qualidade

Os custos da qualidade podem-se dividir em três parcelas diferentes: custos de falha, custos de avaliação e custos de prevenção. Explicitando cada um [15]:

- Custos de falha - São causados por materiais e produtos defeituosos que não cumprem com os padrões estabelecidos pela organização;
São exemplos: sucata, produto estragado, produto retrabalhado, queixas de clientes, etc;
- Custos de avaliação - Despesas para manter os níveis de qualidade através de avaliações formais de qualidade de produto;
São exemplos: custos com inspeções, testes, auditorias de qualidade, exames de laboratório, entre outros;
- Custos de prevenção - Têm o propósito de impedir que defeitos aconteçam em primeiro lugar;
São exemplos: custos gastos com engenharia do controle de qualidade, treino de trabalhador de controle de qualidade e manutenção de qualidade dos padrões e ferramentas.

Teoricamente, o nível ótimo de custos de qualidade seria o que garante zero defeitos. No entanto, o objetivo de zero defeitos não passa de um resultado inalcançável. Assim, os custos de qualidade tenderiam para valores infinitos, não sendo assim, um modelo sustentável [16].

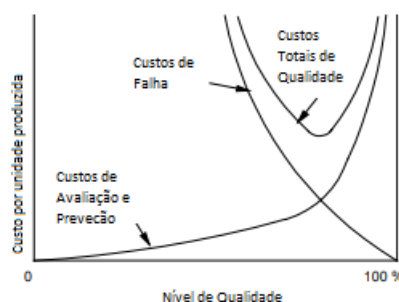


Figura 1.1: Modelo de Custos Ótimos de Qualidade de Juran, adaptado de [16]

Na figura 1.1 está presente o gráfico resultante do modelo matemático de Juran. Os custos totais são a soma entre custos de falhas, custos de avaliação e prevenção (aqui, estes últimos aparecem na mesma rubrica, adicionados). Por análise do gráfico, conclui-se que o nível ótimo de qualidade será inferior aos 100% (de produto conforme).

$$T(q) = f(q) + P(q) \frac{dT(q)}{dq} = 0 \frac{df(q)}{dq} + \frac{dP(q)}{dq} = 0 \frac{df(q)}{dq} = - \frac{dP(q)}{dq} \quad (1.1)$$

Em que:

- $f(q)$ são os custos totais da qualidade
- $p(q)$ são os custos totais de avaliação e prevenção
- $T(q)$ são os custos totais
- q é o nível de qualidade (variante entre 0 e 100%)

O ponto ótimo dos custos de qualidade surge, então, quando o custo total da qualidade derivado em ordem à percentagem de conformidade é nulo. Neste ponto, uma unidade monetária despendida na prevenção da qualidade levará exatamente, à redução dos custos de falha na dimensão dessa mesma unidade monetária [16].

1.5 Filosofias de Gestão de Qualidade

1.5.1 Inspeção

Esta foi a primeira forma de garantir a conformidade de produtos. No entanto, estava longe do ideal, bem como do agora praticado. Até às décadas de '50 e '60, esta ainda era a principal forma de Controlo de Qualidade.

No entanto, estas metodologia e *modus operandi*, apenas resultavam no descartar de produtos que eram catalogados como não cumprindo com os critérios estabelecidos. Assim, esta forma de proceder era bastante imperfeita, não tendo qualquer impacto no processo de produção do bem. Não se garante, então, que as não-conformidades não se voltem a repetir [2, 13].

Os engenheiros e gestores elaboravam uma lista das características mais importantes a monitorizar, bem como os valores entre os quais esta característica poderia estar (superior e inferior). Os inspetores realizavam a inspeção e verificavam se a característica observada estaria entre os valores previamente determinados [3].

Shewhart, no entanto, ainda advogava a realização de inspeção até que o processo estivesse estatisticamente controlado, eliminando causas específicas de variação [17].

Surgiu a necessidade de adaptação e de revolucionar as estratégias usadas, de modo a que a abordagem passasse pela prevenção e não pela remediação.

1.5.2 SPC: *Statistical Process Control*

Esta filosofia nasce, então, no seguimento da anteriormente detalhada. O SPC surge com Shewhart, em 1924. Esta abordagem revolucionária assenta na estatística, conceitos probabilísticos e no de distribuição normal. É uma distribuição simples, assente em dois conceitos, o centro, que reflete a *performance*; e o quão largamente se dispersam, refletindo a variabilidade dentro da amostra [3, 17, 18].

Shewhart teorizou que seria possível analisar apenas uma amostra dentro da população e, a partir da mesma, elaborar conclusões para a população. Assim, ao invés da perda imensa de tempo que seria analisar todas as unidades individualmente após a sua produção, é possível reduzir bastante a quantidade de tempo "perdida" no processo, melhorar produtividade, aumentar produção, vendas e lucro. Adicionalmente, é possível controlar estatisticamente o processo através de cartas de controlo. Esta poderosíssima ferramenta abordada na subsecção 1.7 permite, então, elaborar conclusões sobre a variância no produto e sugerir melhorias de modo a reduzir este parâmetro indesejado [3].

Shewhart foi então, conseqüentemente, a primeira pessoa a definir o termo "controlo" no âmbito da Qualidade. Segundo o autor, "um fenómeno diz-se controlado quando, pelo uso de experiência passada, se pode prever, dentro de limites, como o fenómeno se espera que varie no futuro." Acrescentou: "previsão dentro de limites significa que se pode constatar a probabilidade, pelo menos aproximada, do fenómeno observado cair dentro dos determinados limites"[17].

Adicionalmente, definiu que cada propriedade física é uma distribuição estatística. Ou seja, um conjunto observado de dados constitui uma amostra dos efeitos em causalidades desconhecidas. Apresenta provas, na sua obra, de que quando causas específicas de variação foram eliminadas, o produto pode ser considerado como estando controlado dentro de certos limites. Este estado de controlo, descrito assim pelo próprio, aparenta ser o caso-limite para o qual todo o processo deve caminhar sem que sofra grandes alterações [17].

Na sua obra, estabelece relações de causalidade entre a remoção de causas específicas de variação e um decréscimo no número de defeitos. Relaciona a qualidade do produto final com a qualidade da matéria-prima e a qualidade do processo, indicando que, controlando a qualidade dos últimos, diretamente se controla a qualidade do produto.

Como evidenciável na figura 1.2, a distribuição normal depende de duas grandezas processuais: média, μ e variância, σ^2 . A média pode ser calculada com recurso à equação 1.2, em que x_i se refere ao valor, x , da observação individual i e n se refere ao total de observações i realizadas [19–21].

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1.2)$$

A variância está relacionada com a diferença entre o valor médio determinado para a característica e as observações individuais dessa característica para cada elemento que

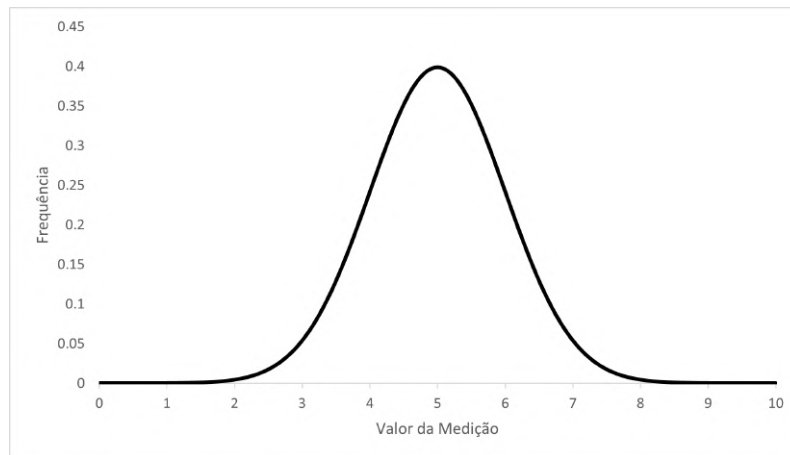


Figura 1.2: Exemplo de distribuição normal, adaptado de [13]

compõe a amostra. Este valor é particularmente importante no contexto de *SPC*, sendo extremamente importante proceder à sua minimização. A variância da amostra pode ser calculada com recurso à equação 1.3. A estimativa da variância do processo, calculada com recurso à variância amostral, é dada pela equação 1.5 [19–21].

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (1.3)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (1.4)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{n - 1}{n} s^2 \quad (1.5)$$

Esta filosofia tem a si adjacente o conceito de *three sigma*, ou seja, garantir que, num intervalo de três desvios-padrão, superior e inferior, se garanta um produto em conformidade. Assim, é possível garantir que 99.72% do produto está dentro de especificação, ou seja, 2800 defeitos por milhão [22].

Através da análise dos resultados, é possível averiguar quais são as causas de variação do sistema, bem como separá-las em duas categorias distintas [5, 13]:

- Causas naturais - São causas unicamente relacionadas com o processo e a sua remoção implica proceder a uma alteração direta no processo. É estimado que causem 80 a 85% dos problemas e a variação que causam no processo é diminuta [13, 22, 23];
- Causas específicas - Indicativo de que o processo está fora de controlo estatístico e sujeito a influências externas, não relacionadas consigo. Estas influências são provenientes de diferentes possíveis fatores, tais como o ambiente e os cinco M's (*Money, Manpower, Material, Machines e Methods*) [24];

A remoção de uma causa específica não implica uma alteração direta no processo, apenas na causa em si. É estimado que causem 15 a 20% dos problemas. A variação que causam no processo é grande e pode, inclusivamente, anular a distribuição normal do processo [13, 22, 23].

As causas, podem, por vezes ser confundidas umas com as outras, levando a frustração por parte dos trabalhadores, bem como a maiores variabilidade e custos[5].

Quando existem causas específicas de variação no processo, o mesmo não apresenta uma distribuição normal. O aspeto da curva de frequência em função da medida poderá ser diferente consoante a causa, mas, na literatura é apontada uma distribuição bimodal, conforme observável na figura 1.3. Deming, foi pioneiro, indicando que um processo que apresente causas especiais de variação não se encontra sob controlo estatístico e que, por esse motivo, do mesmo não se podem tirar qualquer tipo de conclusões válidas [5].

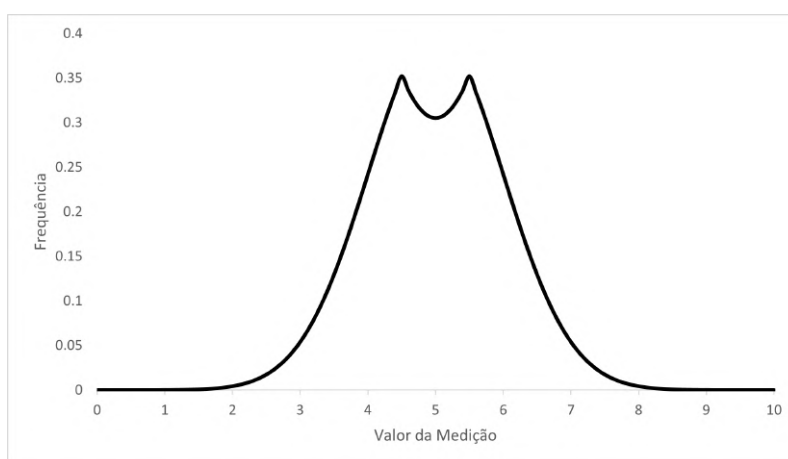


Figura 1.3: Processo com causa específica de variação, adaptado de [13]

A causa específica de variação levará a um aumento de variância do processo e, portanto, a uma maior incidência de não-conformidade, ou seja, observações estatísticas de característica fora dos valores estabelecidos como limite (inferior e superior).

O SPC pode, também, ser útil de modo a realizar uma melhoria contínua, visto que a aplicação de SPC se baseia em duas fases. Uma primeira de análise e averiguação de causas de variação, comuns e especiais, e uma segunda de monitorização. Uma vez concluída a primeira fase, é possível observar o processo em andamento, no seu estado natural, livre de causas especiais de variação, sob controlo estatístico. Nesta fase, é possível rastrear os valores da característica monitorizada e detetar mais facilmente desvios e situações de não-conformidade. Com recurso às cartas de controlo, fácil e visualmente se identificam situações irregulares e, portanto, se averiguam e sugerem ações de melhoria. Anteriormente, as ações de melhoria surgiam com base em abordagens de tentativa e erro. Portanto, SPC permitiu aumentar o sucesso das ações de melhoria sugeridas e, consequentemente, deu às organizações a capacidade de continuamente monitorizar e melhorar os seus processos [13].

O *SPC* é também uma ferramenta com capacidade de tornar os processos previsíveis. Conhecendo-se a média do mesmo, a sua variância e garantido-se a eliminação das causas especiais de variação, é possível antecipar e preparar para lidar com as causas comuns de variação. Um processo robusto e previsível é o sonho de qualquer organização. Torna possível à gestão realizar compromissos com clientes, quer ao nível de número de unidades produzidas, bem como à qualidade das mesmas [13].

A natureza preditiva do *SPC* permite também minimizar a quantidade de resíduo físico, lixo, originado via produção de material não-conforme que tem que ser descartado ou retrabalhado, poupando material e tempo, ou seja, dinheiro.

Por fim, o *SPC* permite reduzir a quantidade de produto a ser inspecionado. A garantia providenciada por esta filosofia de que o processo se torna previsível e controlado, permite reduzir o número de inspeções a realizar e, por isso, diminuir os custos desta tarefa. Serão necessários menos trabalhadores ou máquinas. De qualquer das formas, sem prejuízo na garantia da qualidade, é possível poupar capital.

1.5.3 TQM : *Total Quality Management*

Contextualização

Total Quality Management (TQM) é uma abordagem de gestão para atingir o sucesso a longo prazo através da satisfação do cliente. Inclui todos os membros de uma organização com o objetivo de melhorar processos, produtos, serviços e a cultura da organização. Tem como objetivo melhorar competitividade, flexibilidade e eficiência através de planeamento e organização de cada atividade. Começou a ser mencionada no início dos anos '80. Surgiu no mundo ocidental como reação ao avanço galopante que as indústrias japonesas levavam em aspeto de gestão de qualidade. Empresas japonesas facilmente estavam a penetrar em mercados ocidentais, com produtos mais baratos e melhor qualidade, rapidamente esvaziando os bolsos de gestores e empresas ocidentais. A TQM nasce, então, enquanto mecanismo reacionário à invasão japonesa dos mercados. Nos anos '90, no entanto, com o nascimento e aparecimento da filosofia **Business Process Reengineering (BPR)** (*Business Process Reengineering*), esta filosofia perdeu adeptos e vigor, devido à promessa de "melhorias radicais" encontrada na outra filosofia [3, 8, 25–28].

Assenta em 8 pilares. Estes são encontrados em muitas filosofias de gestão de qualidade atuais. São eles [26]:

- **Foco no cliente** - O cliente determina o nível de qualidade do produto, processo ou serviço; Determina também se os esforços realizados por uma organização valeram a pena;
- **Envolvimento total do trabalhador** - Participação total de todos os trabalhadores; Tem que ser instaurada uma cultura livre de medo em que o trabalhador não receia dar *feedback* e apontar defeitos e oportunidades de melhoria;

- **Orientação de processo (*Process-Centered*)** - Processo é uma série de passos e tarefas que transformam *inputs* em *outputs*; É assim que tem que ser percebido qualquer mecanismo alvo de ação de melhoria no âmbito da TQM;
- **Sistema Integrado** - Para que TQM aconteça é necessário que todos os processos, de vários departamentos, que tomam lugar dentro da organização estejam integrados e em cooperação total, especialmente os que asseguram ligações entre departamentos;
- **Abordagem Estratégica e Sistemática** - É imperativo ter um plano e visão estratégica de modo a assegurar o sucesso da TQM;
- **Melhoria Contínua** - Leva a organização a ser criativa e analítica de modo a encontrar novas e melhores formas de ser competitiva e mais eficiente;
- **Tomada de Decisão Baseada em Factos** - É imperativo haver uma recolha, análise, tratamento e apresentação de dados excepcionais, de modo a que a tomada de decisão tenha o mínimo de risco e imprevisibilidade possível;
- **Comunicação** - É fulcral para manter a moral e motivação dos trabalhadores; Comunicação envolve estratégia, método e cronologias;

Um dos pontos mais importantes ensinados pela filosofia é a de que uma reparação não constitui uma melhoria. Se um equipamento deixa de funcionar, ou funciona mal, aquando da sua reparação ou substituição, se o nível de qualidade for restaurado, esta ação não é vista como uma melhoria, mas sim como um voltar à situação original. Uma melhoria seria, sim, a substituição do equipamento por um com melhores características [13].

A TQM, no entanto, como mencionado anteriormente, deixou de ter tanto destaque nos anos '90. As razões citadas como principais do seu insucesso são [8]:

- Falta de compromisso e envolvimento por parte da gestão;
- Uso inadequado de métodos estatísticos e reconhecimento insuficiente da redução de variabilidade como principal objetivo;
- Objetivos gerais, em vez de específicos e orientados para resultados do negócio;
- Demasiado ênfase dado em treino generalizado em vez de educação técnica mais focada.

14 Pontos de Deming

Deming, como mencionado anteriormente na secção 1.2.3, foi um dos "gurus" da Qualidade e uma personagem com grande relevo. Elaborou 14 pontos que considera fulcrais para que aconteça uma correta e completa TQM, presentes na figura ??.

De acordo com o autor, os problemas da organização são responsabilidade da gestão e podem, facilmente ser rastreados e analisados com recurso a ferramentas e métodos estatísticos. Com os mesmos métodos pode-se chegar à raiz dos problemas [29].

Os 14 pontos de Deming, por extenso [27, 28, 30]:

1. Criar consistência de propósito com melhoria de produto e serviço em mente;
2. Adotar a nova filosofia (e não aceitar níveis comumente aceites de atrasos, defeitos e erros);
3. Acabar com a dependência na inspeção em massa. Requerir, sim, evidência estatística de que o processo tem qualidade;
4. Terminar a prática de recompensar negócios com base na *price tag* (preço);
5. Encontrar problemas; É responsabilidade da gestão trabalhar continuamente o sistema;
6. Instituir métodos modernos de *training on the job* (formação em local de trabalho);
7. Instituir métodos modernos de supervisão de trabalhadores de produção; A responsabilidade do capataz tem que mudar de números para qualidade;
8. Afugentar o medo de modo a que todos trabalhem eficientemente;
9. Desconstruir barreiras entre departamentos;
10. Eliminar objetivos numéricos, *posters* e *slogans* para os trabalhadores sem que se providenciem métodos de produção;
11. Eliminar padrões de trabalho que prescrevem quotas numéricas;
12. Remover barreiras que existem entre o trabalhador e o seu direito ao orgulho no acabamento;
13. Instituir um programa vigoroso de educação e re formação;
14. Criar uma estrutura na gestão de topo que se vai esforçar diariamente em concretizar os 13 pontos anteriores.

Estes 14 pontos são um dos aspetos fundamentais da TQM. São produto de uma vida inteira dedicada a uma vida de consultoria, ensinamento e audição [31].

10 Passos de Juran para Melhoria de Qualidade

Juran deu grande atenção e projeção ao ponto de vista do cliente. Considerava particularmente o *fitness for use or purpose*, ou seja, a aptidão para uso pelo cliente [29].

Elaborou uma lista contendo 10 passos para melhoria de qualidade [29]:

1. Construir conhecimento das necessidade e oportunidade para melhoria;
2. Estabelecer objetivos para melhoria;
3. Organizar de modo a alcançar os objetivos (estabelecer um "concelho"de qualidade, identificar problemas, selecionar projetos, nomear equipas e designar facilitadores);
4. Providenciar treino;
5. Realizar projetos para resolver problemas;
6. Reportar no progresso;
7. Dar reconhecimento;
8. Comunicar resultados;
9. Registrar eventos e observações;
10. Manter o andamento fazendo com que a melhoria anual seja parte dos sistemas e processos regulares da empresa.

Os 4 Absolutos de Crosby

Os 4 absolutos são, sem dúvida, o maior contributo de Phillip Crosby para a gestão da qualidade. As frases abaixo descritas, não só se enraizaram no vocabulário relacionado com a qualidade, mas também no vocabulário dos gestores. Distanciam-se dos anteriormente mencionados de Deming e Juran, devido ao seu alheamento de conceitos estatísticos. De acordo com Crosby, qualidade é a conformidade com especificação e a única maneira de ser medida é pelo custo da inconformidade [29, 32, 33].

Os 4 Absolutos de Crosby são, então [13, 26, 29, 32, 33]:

- Definição - Conformidade com os requerimentos;
- Sistema - Prevenção;
- Padrão de performance - Zero defeitos;
- Medição - Preço da inconformidade.

À semelhança dos 14 Pontos de Deming, os 4 Absolutos de Crosby têm grande relevância devido à história profissional de quem os elaborou. Estas quatro muito sucintas, no entanto bastante abrangentes, frases são o culminar de uma carreira dedicada à Gestão de Qualidade, servindo como mandamentos para gestores [32, 33].

Metodologia PDCA

PDCA é uma sigla para *Plan, Do, Check, Adjust*. Basicamente, é um ciclo extremamente útil para praticar a melhoria contínua. Os quatro passos, explanados [8, 13, 28, 34]:

1. *Plan* - Esta fase compreende as tarefas de definição do problema, recolha de informação, identificação da causa-raiz do problema e desenvolvimento e consideração de possíveis resoluções do problema; Esta fase deverá ser sempre realizada com pessoas experientes, habituadas a manusear o processo, cuidadosamente escolhidas;
2. *Do* - Nesta fase almeja-se implementar a "melhor" solução, tendo em conta que "melhor" apenas significa "mais provável de produzir o resultado desejado";
3. *Check* - Nesta fase implementa-se a monitorização da solução implementada, é realizada uma recolha de dados relevantes ao problema original e outras áreas de preocupação, por exemplo, preocupações sobre consequências não intencionais da solução; É também importante analisar os dados para determinar se a solução implementada eliminou o problema;
4. *Act* - Nesta fase, existem dois caminhos alternativos:
 - a) Se na fase anterior se determinar que o problema foi eliminado e que não se voltará a repetir, então ciclo fechou e será apenas seguido para propósitos de melhoria contínua;
 - b) Se na fase anterior se determinar que o problema não foi eliminado, então terá que se "ajustar" a solução implementada; Pode, no entanto, ser necessário descartar por completo a solução implementada e tentar uma nova abordagem. Começar-se-á um novo ciclo PDCA.

Sucesso da TQM

Segundo Jabloski, as três características necessárias para a TQM alcançar sucesso são: uma gestão participativa, melhoria de processo contínua e a utilização de equipas. Uma gestão participativa é de extrema importância. Aceitam o *feedback* e guia dos subordinados que têm a responsabilidade de implementar as diretivas e estabelecer políticas de forma concordante. Tem dois grandes benefícios, que são o facto de a gestão ficar familiarizada com detalhes operacionais, bem como os trabalhadores, que desenvolvem um sentido de pertença ao processo e uma sensação de controlo [28].

A melhoria contínua de processos necessita de reconhecer como benéficos os ganhos pequenos e incrementais em direção ao objetivo da qualidade total. Ganhos grandes são atingidos por melhorias pequenas, sustentáveis ao longo de um extenso período de tempo.[28]

Trabalho de equipa, por fim, é de máxima importância. Envolve a organização de equipas multifuncionais. A multidisciplinaridade serve como ajuda aos trabalhadores para partilharem conhecimento, identificarem os problemas e oportunidades. Permite

também que os trabalhadores alinhem os seus objetivos laborais com os da organização [28].

1.5.4 TQC : *Total Quality Control*

Origem

Esta filosofia surgiu nos anos '50 com grande crédito a ser atribuído a Feigenbaum. Surgiu devido a várias conjunturas que se verificaram, tais como o aumento dos requisitos de qualidade por parte de clientes industriais, a maior procura por parte dos clientes de produtos com maior qualidade e custos elevados de qualidade [15].

Representou um grande salto a partir da tradicional forma de controlo de qualidade: inspeção. A amostragem de peças ainda durante o processo permitiu detetar erros de qualidade antes que lotes inteiros fossem produzidos, minimizando prejuízos e desperdício de tempo. Esta é a filosofia mais teórica que teve no SPC a sua componente prática, já discutida em 1.5.2 [15].

Mecanismos

Pela TQC, Feigenbaum defendeu uma reestruturação das ações de controlo e monitorização de qualidade [15]:

- Novo controlo de *design* ou o planeamento de controlos para os produtos novos ou modificados antes do começo da produção;
- Controlo de material a chegar e de peças compradas;
- Controlo de produto, ou seja, controlo no chão de fábrica de materiais, partes e *batches* de máquinas, processos e linhas de montagem;
- Estudos especiais de processos, ou seja, condução de análises especiais de problemas de fábrica e processamento.

O núcleo desta filosofia aliada ao SPC é a substituição da inspeção em massa no final da linha de produção por controlos ao longo do processo baseados na recolha de amostras de uma população e consequente elaboração de conclusões recorrendo a métodos probabilísticos [15].

Consequências da Implementação

São expectáveis resultados bastante positivos:

- Corte substancial nos custos de falhas, que têm o maior potencial corte de custos devido ao reduzido número de defeitos, consequência de implementação do programa;
- Menos defeitos implica menores necessidades de inspeção e teste de rotina, causando uma redução nos custos de avaliação;

Tabela 1.1: Percentagens de conformidade quando a quantidade de desvio-padrão é contida dentro dos limites de especificação [34]

Desvio-Padrão	1	2	3	4	5	6
Conformidade	68.25%	95.44%	99.73%	99.9937%	99.999943%	99.9999998%

- Melhores práticas de inspeção e equipamento de teste, bem como a substituição de inspetores de rotina por auditores menos numerosos e mais eficientes;
- Visto que as novas inspeções e testes são mais eficientes na prevenção de defeitos, dinheiro gasto em avaliação terá agora um efeito negativo nos custos totais (ou seja, uma redução de custos);

1.5.5 Six Sigma

Contextualização

Seis Sigma é uma abordagem baseada em estatísticas, disciplinada e orientada para projetos com o objetivo de reduzir defeitos e eliminar desperdícios dos produtos, processos e transações. É, também, apontada como uma extensão da *TQM*. É vista como um método de resolução de problemas que usa ferramentas estatísticas e de qualidade para melhorias de processo. Pode também ser vista como a abordagem de melhoria de negócio para aumentar qualidade, acelerar entregas e reduzir custo caracterizada como multifacetada, orientada para o cliente, estruturada, sistemática, proativa e quantitativa. É considerada como uma metodologia de melhoria contínua bem-estruturada para reduzir variabilidade de processo e remover desperdício dentro dos processos de negócio, sendo descrita como uma metodologia de análise baseada em métodos científicos [8, 35].

Conforme visualizável na tabela 1.1, uma abordagem teórica Seis Sigma realizada com sucesso permite uma taxa de conformidade do produto que garante uma peça defeituosa a cada cinco milhões de peças produzidas, ou seja, 0.2 ppm. Este valor, no entanto, é meramente teórico e inalcançável, conforme constatado pela empresa que primeiramente instaurou Seis Sigma: a Motorola [13, 36].

Os valores previamente enunciados apenas são atingíveis no domínio teórico, não tendo reflexão plausível nos mundos dos serviços ou produção. A própria pioneira Motorola aplicou um fator que contabiliza mudanças ligeiras nas condições meteorológicas, operadores diferentes, entre outros. Este fator, na prática, consiste em admitir que, mesmo estando controlado e estável, a média do processo poderá, ao longo do tempo, sofrer desvios de até 1.5σ . A empresa considera esta abordagem válida porque os valores de média e variância de qualquer processo são derivados de uma amostra de processo de operação estatisticamente válida, tirada, necessariamente, dum curto intervalo de tempo. A empresa acrescenta que os resultados originais apenas são válidos para curto prazo. A longo prazo, esta adaptação faz ainda mais sentido [13].

Em coerência com a informação presente na literatura, o fator de 1.5σ ainda assim permite produzir excelentes resultados, garantido valores de defeitos tão baixos como 3.4

ppm. Este valor é mais de 10x superior que os 0.2 ppm originais, mas, representa também uma redução de 823x quando comparado com a metodologia original de TQM consistente em 3σ . Na figura 1.4, encontra-se uma comparação entre os diferentes intervalos de σ e os efeitos que têm na quantidade de defeitos, bem como na percentagem de produto conforme.

Sigma	Curto prazo sem o fator 1.5sigma		Longo prazo com o fator 1.5sigma	
	Defeitos (ppm)	Produto conforme	Defeitos (ppm)	Produto conforme
1σ	317311	68,26%	697672	30,9%
2σ	45500	95,44%	308770	69,1%
3σ	2700	99,73%	66811	93,3%
4σ	63,57	99,9937%	6210	99,4%
5σ	0,574	99,999943%	233	99,98%
6σ	0,002	99,9999998%	3,4	99,9997%

Figura 1.4: Comparação entre os diferentes intervalos de σ , baseado em [34]

Evolução do Six Sigma

Foi abordado e implementado pela primeira vez no fim séc. XX, na empresa da Motorola e tem, em anos seguintes, vindo a ser adaptado a várias realidades diferentes. Como tal, é possível dividir o *Six Sigma* em três gerações diferentes:

1. Foco na eliminação de defeitos e redução de variabilidade básica, principalmente na manufaturação;
2. Esforço significativo em aliar estes esforços a projetos e atividades que melhorassem a *performance* do negócio através de melhor desempenho de produto e redução de custos;
3. Foco adicional na criação de valor, nas suas diferentes formas, por toda a organização e todos os acionistas;

Esta criação de valor pode tomar várias formas, tais como aumento de preço de *stocks*, retenção ou expansão de trabalhos, expansão da empresa para novos mercados e/ou produtos, entre outras.

DSS: Design for Six Sigma

A metodologia DSS é estruturada e disciplinada para a comercialização eficiente de tecnologia que resulta em novos produtos, serviços ou processos. Abrange todo o desenvolvimento a partir da identificação de necessidade de clientes até ao lançamento final do novo produto ou serviço. Foca-se na melhoria de resultados de negócio através do aumento de receita proveniente de vendas geradas e a partir de novos produtos e serviços, bem como no encontrar de novas oportunidades de aplicações para os que já existem [8].

Em suma, é o reconhecimento de que cada decisão de *design* é uma decisão de negócio e que o custo, capacidade de manufatura e *performance* do produto são determinadas durante a fase de *design*. Após o *design*, quando o processo "entra" na fase de manufatura, e praticamente impossível para a organização melhorá-lo. Portanto, usando ferramentas da metodologia *Six Sigma*, com o foco de acrescentar valor, esta metodologia defende que a fase de *design* deve ter uma visão a longo prazo, desde o início seguindo a filosofia *Six Sigma* [8].

Abordagem Científica

Um dos pilares da filosofia *Six Sigma* é a abordagem científica. A abordagem científica é, nada mais, nada menos, do que a "tomada de decisões baseada em dados, procurando causas-raiz dos problemas e procurando soluções permanentes em vez de rápidos e desleixados arranjos"[13].

Pode ser desconstruída nos seus pilares[13]:

- Recolha de Dados Significativos - Foco na recolha de dados, de modo a que sejam bem recolhidos, sem erros; Análise prévia dos dados passíveis de recolher e escolha dos que têm impacto direto no processo, de modo a evitar perdas de tempo;
- Identificação de Causas-Raiz dos Problemas - Permite às empresas não curar os "sintomas" mas sim a "doença" resolvendo o problema, por vezes de forma mais lenta, mas permanentemente;
- Desenvolvimento de Soluções Apropriadas - Quando adotada a abordagem científica, os pilares anteriores originarão soluções diferentes, mais vocacionadas para a resolução a longo prazo do problema;
- Planeamento e Realização de Mudanças - Ao invés de se tomarem decisões precipitadas, numa abordagem "*Ready, Aim, Fire*", é importante tomar cautela no planeamento de mudanças, bem como na sua implementação; Merli sugere a utilização de alguns indicadores para monitorizar o estado e sucesso das mudanças realizadas:
 - Número de erros ou defeitos;
 - Número de repetições para realizar uma tarefa;
 - Número de atrasos;
 - Tempo ou ciclo de resposta, entre outros.

Identificação e Planeamento de Melhoria

Nos tempos atuais, recursos são escassos. Uma má **identificação de melhoria** poderá ter efeitos catastróficos. Se identificada erradamente, pode anular todo o esforço realizado ao longo do processo, bem como denegrir a imagem desta filosofia e desmotivar os trabalhadores e gestores. Assim, é de extrema relevância identificar corretamente as

necessidades de melhoria. Para que tal aconteça, é encorajado o envolvimento de várias equipas (e aplicação de *multivoting*, das necessidades do cliente, do tempo dispendido a desempenhar a(s) tarefa(s) e também a localização geográfica do problema.

De modo a corretamente abordar o **planeamento da melhoria**, é importante garantir que se conhece exaustivamente o processo e que, os especialistas e trabalhadores que com ele contactam diariamente, são envolvidos no esforço de planeamento de melhoria. Nesta fase é imperativo também eliminar erros (de fácil identificação e resolução), remover folgas, no sentido de eliminar passos desnecessários, sem propósito, na realização de tarefas que compõe o processo, bem como de reduzir inventários e tempos de ciclo. É, também, fulcral garantir que as melhorias, planeadas e em implementação, reduzem a variabilidade do processo. A curto e longo prazo tem que se garantir que é possível realizar melhoria contínua, ou seja, monitorizar o processo e abordar questões contínua e facilmente [13].

Existem várias metodologias de trabalho dentro da filosofia de *Six Sigma* que incorporam as características mencionadas anteriormente. Delas destacam-se as metodologias **Plan, Do, Check, Act (PDCA)** e **Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC)**.

Metodologia DMAIC

DMAIC é um acrónimo para *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Explorando cada uma das componentes constituintes do acrónimo [13, 34]:

- **Define** - Nesta fase define-se o problema, as necessidades do cliente, bem como os objetivos do projeto a serem endereçados;
Podem ser usadas ferramentas, tais como mapas SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*), mapas de cadeia de valor, diagramas de afinidade, *brainstorming*, entre outros;
É importante elaborar, preencher e utilizar uma carta do projeto;
- **Measure** - Nesta fase medem-se as variáveis associadas ao processo original. Aqui, a intenção é, empiricamente, confirmar o problema, através da recolha de dados. São usadas algumas ferramentas, tais como, **Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (SIPOC)**, mapa de *Value Stream*, análise de *input/output* e **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**;
A literatura encoraja a divisão do tempo de ciclo em atividades do processo que acrescentam valor e que não acrescentam valor. Assim, é possível calcular o **Process Cycle Efficiency (PCE)** (*Process Cycle Efficiency*), de acordo com a equação 1.6, utilizando os conceitos de **Value-Add Time (VAT)** (*Value-Add Time*) e **Process Cycle Time (PCT)** (*Process Cycle Time*);

$$PCE = \frac{VAT}{PCT} \quad (1.6)$$

- **Analyze** - Nesta fase, analisam-se os dados resultantes da fase anterior. Assim reduzem-se ao mínimo vital as causas-raiz dos defeitos e e elabora-se uma lista com

Tabela 1.2: Tabela com as diferentes ferramentas usadas em cada fase do ciclo DMAIC, adaptado de [8]

Ferramenta	Passo D	Passo M	Passo A	Passo I	Passo C
Carta de Projeto	x				
Fluxogramas	x	x			
Análise Causa-Efeito		x			
Análise de Capacidade de Processo		x			
Testes de Hipótese e I.C.			x		
Análises de regressão			x		
Análise a Sistemas de Medição		x			
Análise FMEA			x		
DoE			x	x	
SPC e Planos de Controlo		x	x		x

prioridades de potenciais *input* chaves. São usadas as ferramentas SPC, [Analysis of Variance \(ANOVA\)](#), [Design of Experiences \(DoE\)](#) e *Five-S*;

É importante identificar as causas de variação, comuns e específicas;

- **Improve** - Nesta fase, os utilizadores verificam outputs críticos, desenham melhorias e pilotam novos processos. Melhora-se o processo e testa-se a solução estatística;
- **Control** - Começa-se a usar o novo processo para produzir. Implementa-se, controla-se e garante-se a sustentabilidade, por fim medindo o novo processo baseado em reações de clientes;
Nesta fase, utilizam-se as ferramentas: planos de controlo de processo, planos de treino, SPC e capacidade de processo;
O objetivo é garantir que os ganhos são úteis para o processo e, se possível, aplicar as melhorias noutros processos do negócio.

A metodologia DMAIC, aqui abordada no contexto da filosofia *Six Sigma*, pode, no entanto, ser usada de forma independente da mesma. Adicionalmente, esta metodologia tem variantes, tais como P-DMAIC (Project-DMAIC), E-DMAIC (Enterprise-DMAIC) e DMAICR, em que é acrescentado um passo final, *Report*, que consiste na ideia e ação de "reportar" aos trabalhadores as melhorias trazidas pelos mesmos através da participação no programa. Para estas três variantes, as diferenças são discretas. Variam, acima de tudo, as ferramentas utilizadas e no número e tipo de fases [8, 35].

De forma sintetizada, as ferramentas utilizadas em cada fase do processo estão presentes na tabela da figura 1.2.

Esta metodologia é citada como sendo derivada do plano de Deming, ou seja, do ciclo PDCA. Comparativamente, este ciclo, DMAIC, faz usufruto de ferramentas mais estatísticas mais complexas, devendo ser usado apenas quando existir necessidade.

CSF - Critical Success Factors

Os **Critical Success Factors (CSF)** são, pura e simplesmente, os requisitos necessários de cumprir para tentar garantir, *à priori*, o sucesso de um projeto de melhoria. Assegurando a existência e/ou cumprimento de um CSF não implica, necessariamente, garantir o sucesso do projeto, mas, o seu incumprimento certamente levará a uma falha. Os CSF devem ser[37]:

- Importantes para atingir objetivos da organização;
- Mensuráveis e controláveis pela organização à qual se aplicam;
- Poucos em número;
- Expressados como "coisas a fazer" e não como objetivo do processo;
- Aplicáveis a todas as empresas na indústria com objetivos e estratégias semelhantes;
- Hierárquicos em natureza.

Os CSF são, de facto, transversais a várias filosofias de gestão de qualidade e melhoria contínua. Fatores como os seguintes listados são, frequentemente, citados em trabalhos que registam progressos[38]:

- Planeamento e visão de negócio;
- Apoio da gestão;
- Gestão do projeto;
- Gestão da mudança e cultura organizacional;
- Comunicação, formação e educação;
- Estrutura organizacional;
- Monitorização e avaliação de performance.

Os CSF mais impactantes são, por norma, relacionados com a gestão direta, ou indiretamente. É uma constatação de fácil compreensão, tendo em conta que estes são os mais influentes e envolvidos em esforços de mudança. São, por isso, também, os mais prováveis de arruinares os esforços. Na literatura, é indicado que envolvimento e compromisso da gestão, bem como a mudança cultural são dos CSF mais importantes. A ligação de *Six Sigma* ao negócio, bem como a ligação da filosofia ao cliente, são igualmente preponderantes no sucesso de um projeto de melhoria [39].

CFF - Critical Failure Factors

Em oposição aos CSF surgem os **Critical Failure Factors (CFF)**. Estes são os fatores que, quando cumpridos, garantem o insucesso do projeto de melhoria. São um conjunto de atitudes e comportamentos a evitar, se o objetivo for a realização bem-sucedida de um projeto de melhoria de processo. São definidos como aspetos ou áreas chave onde as coisas têm que falhar de modo a que o processo de implementação de ERP atinja um alto nível de falha. O conceito de "falha" é definida como uma implementação que não atinge suficiente retorno de investimento (**Return of Investment (ROI)**) identificado na definição de aprovação do projeto [40].

Os CFF mais comuns são, de forma geral, antónimos dos CSF mencionados anteriormente. São eles a falta de atitude da gestão, falta de treino e formação, pobres seleção e priorização de projetos, ligação fraca entre projetos de melhoria contínua e objetivos estratégicos da organização e, por fim, falta de recursos técnicos, humanos e financeiros. Os CFF são, na literatura, analisados pela evolução do país, pela natureza da indústria, bem como pelo tamanho da organização. A conclusão mais surpreendente é a de que a falta de recursos é o maior flagelo no que toca a projetos de melhoria contínua, afetando todas as organizações independentemente da empresa em que ocorrem e do país ou tamanho da mesma [40].

1.5.6 Kaizen

Contextualização

Conforme mencionado anteriormente, na secção 1.2.3, os japoneses ganharam grande relevo em questões de Gestão e Melhoria de Qualidade. Esta metodologia é um exemplo.

Kaizen é uma junção de dois termos: *kai*, que significa "mudança" e *zen*, que significa "boa". Assim, de forma básica, esta metodologia desenvolvida e implementada primeiramente na Toyota, aliada aos conceitos de *Six Sigma* permitiu revolucionar o funcionamento de uma linha fabril, bem como trazer excelentes resultados às empresas que implementaram. O seu sistema de valores assenta na ideia de melhoria contínua: "melhoria de todas as coisas, a todos os níveis, a toda a hora, para sempre". Todas as estratégias com este objetivo em mente acabam por cair dentro do âmbito do *Kaizen* [13, 41].

Ferramentas

Esta metodologia faz uso de muitas das ferramentas mencionadas na secção 1.7, usadas transversalmente, independentemente da filosofia e/ou metodologia. No entanto, faz uso também de ferramentas específicas para esta metodologia, tais como a *checklist* e o plano de cinco passos *Kaizen*, *Five W's and One H* e *Five-M Checklist*. A *checklist* tem como objetivo fazer com que os trabalhadores, independentemente do lugar que ocupam na hierarquia da empresa, identifiquem problemas que representem oportunidades de melhoria. Nela, elas estão listados vários componentes da organização tais como técnicas, métodos e procedimentos de trabalho, ferramentas, materiais, entre outros.



Figura 1.5: Elementos constituintes da metodologia *Kaizen*, adaptado de [13]

Plano de Cinco Passos

O plano de cinco passos é, como que, um guia para o dia-a-dia do trabalhador de uma organização *Kaizen*. É comum, em fábricas japonesas, encontrar comunicação em japonês com os termos *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke* que traduzem para, respetivamente, "Organização", "Arrumação", "Limpeza", "Normalização" e "Disciplina". Cada uma destas expressões tem um significado subjacente[13]:

- Organização - Separar o necessário do desnecessário e descartar o último;
- Arrumação - Deixar ferramentas e material no local correto, bem como manter as coisas em ordem de modo a garantir que os trabalhadores possam sempre encontrar o que necessitam para desempenhar o seu trabalho e realizar tarefas pronta e rapidamente;
- Limpeza - Manter o local de trabalho limpo de modo a garantir que não existem incómodos resultantes de um espaço de trabalho sujo e desorganizado;
- Normalização - Inicialmente, este passo cumpria o propósito de normalizar os três anteriores, ou seja, objetivar de modo a serem facilmente cumpridos por todos os trabalhadores. Agora, adquiriu maior importância, sendo o propósito garantir a normalização das melhores práticas;
- Disciplina - Este passo é essencial. Para garantir a adesão aos processos normalizados é necessário disciplina.

Five W's and One H

A ferramenta *Five W's and One H* é usada também fora do âmbito do *Kaizen*. Os constituintes são: *Who*, *What*, *Where*, *When*, *Why* e *How*, ou seja, em português, respetivamente: Quem, O Quê, Onde, Quando, Porquê e Como. A ideia subjacente a esta figura é que, cada um dos seis constituintes, seja utilizado pelos trabalhadores com o processo em mente.

Podem ser formuladas perguntas críticas como: "Quem está encarregue pela supervisão desta tarefa?", "Porque é que a tarefa é realizada desta forma?", "Como é que o equipamento pode ser melhor utilizado?" ou "Quando está a ser realizada a tarefa?". Esta ferramenta destina-se, então, a empoderar os trabalhadores e a incentivar a que haja um olhar crítico e perspicaz, que se questionem todas as tarefas do projeto, de modo a analisar potenciais oportunidades de melhoria [13].

Checklist dos Five M's

A *checklist* dos Five M's está relacionado com o anteriormente já enunciado na secção 1.5.2: *Man, Machine, Material, Methods* e *Measurement*, ou seja, Homem, Máquina, Material, Métodos e Medição [13].

CEDAC

Uma abordagem dentro da metodologia Kaizen é a *Cause and Effect Diagram with Addition of Cards (CEDAC)*. CEDAC é um acrónimo para "*cause-and-effect diagram with the addition of cards*", ou seja, diagrama causa-efeito com a adição de cartões. Na figura 1.6, está exemplificado um diagrama [13, 42].

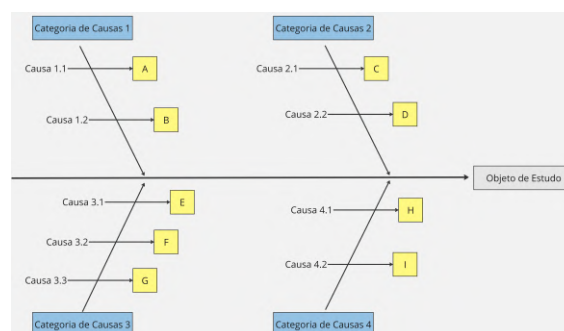


Figura 1.6: Exemplo de um CEDAC, adaptado de [42]

O diagrama é relativamente similar ao constatado na secção 1.7 mas tem a adição dos cartões. Como é visível na figura 1.6, existem quatro categorias de causas. Neste caso, as identificadas, estão indicadas com um fundo de azul claro. Agrupadas dentro destas, existem causas relacionadas com a categoria. Encontram-se, como num diagrama de Ishikawa normal, dispostas, formando a espinha tradicional. O novo constituinte deste CEDAC é o cartão do efeito. Este, a amarelo, indicado por letras de A a I, conterá os efeitos causados pelas causas que o antecedem. Por fim, à direita, como que a cabeça do peixe (tendo em conta a descrição metafórica de diagrama espinha de peixe), está o problema que se apontou resolver [13].

No entanto, para elaborar um bom CEDAC, é necessário respeitar três condições [13]:

- Sistema fiável - Este trará bons resultados independentemente de quem o utilize

- Ambiente favorável - Assente em: liderança, compromisso com a melhoria contínua e alocação de recursos; e educação, visto que quantos mais forem os trabalhadores conhecedores do sistema de melhoria, maior a densidade dos mesmos e melhores serão os resultados da empresa.
- Prática enquanto equipas - Num contexto de melhoria contínua, em que todos os processos são abordados por uma equipa, é importante garantir que existe um bom espírito e que cooperam.

Adicionalmente, para que o CEDAC elaborado seja útil, é necessário separar a sua construção em 2 fases distintas, tal como constatado na figura 1.7.

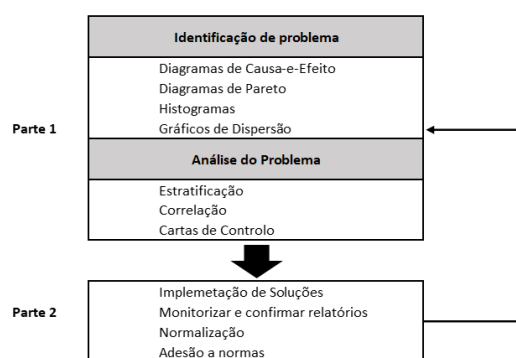


Figura 1.7: Passos envolvidos na criação de um CEDAC[13]

Na primeira parte, é necessário servir-se de ferramentas mencionadas na secção 1.7 de forma a identificar o problema, bem como para o analisar. Na segunda parte, é altura de concretizar, ou seja, implementar as soluções, monitorizar e controlar resultados, bem como normalizar o processo novo, elaborado com recurso a melhoria contínua.

1.5.7 JIT: *Just In Time*

O JIT, como indicado no seu nome na língua nativa, representa uma filosofia de entregar à célula seguinte, o número de unidades certa, na altura certa, no local certo. Este princípio tem como objetivo garantir que não existe acumulação de peças numa célula, garantido que um armazém é obsoleto e completamente desnecessário [13, 43].

Subjacente a esta filosofia, existe a reorganização da unidade fabril em questão. Num esquema tradicional, como presente na figura 1.8, a unidade está organizada por processos, constituídos pelos vários equipamentos. Na figura está ilustrado o percurso para um único produto. Poder-se-ia argumentar que a disposição dos processos A a F podia ser diferente, de forma a otimizar o percurso enquanto mantendo a organização tradicional. No entanto, produzindo a fábrica outros produtos, os respetivos fluxos deixarão de estar otimizados, assumindo que a sequência de produção variará. Assim, existe a necessidade de armazenar

as matérias-primas dos diferentes produtos, bem como os produtos intermédios que surgem entre processos [13].

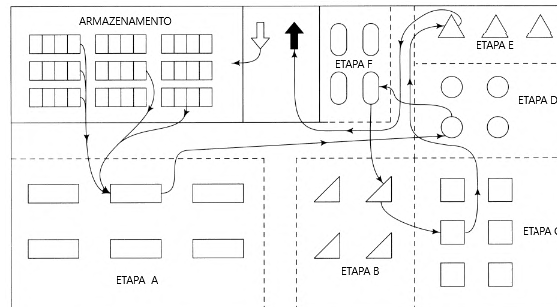


Figura 1.8: Organização Tradicional de um Processo, adaptado de [13]

Num esquema JIT, a fábrica encontra-se reorganizada em células, cuja constituição e disposição variará em função do produto. Na figura 1.9 está presente um exemplo simples. Assim, minimiza-se a movimentação que o produto sofre nas suas várias etapas em cada processo. Adicionalmente, deixa de haver espaço desnecessariamente ocupado por armazém, visto que, o material só avança para o próximo processo quando assim for necessário. Por conseguinte, cada processo só produz quando é solicitado pelo processo seguinte [13].

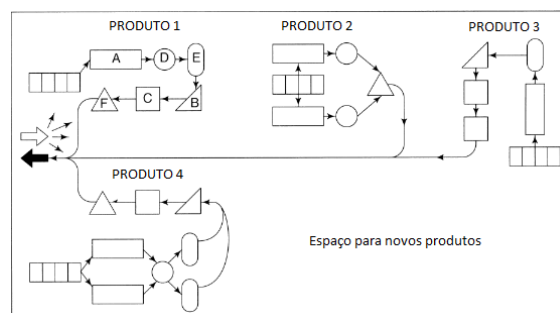


Figura 1.9: Organização JIT de um Processo, adaptado de [13]

Este *modus operandi*, no entanto, apenas surte efeito se a estratégia for transposta para clientes e fornecedores. O mecanismo de "sinalização" anteriormente descrito entre tarefas que constituem o processo de produção tem que ser alargado para lá dos limites do processo, de modo a garantir que o cliente apenas solicita a mercadoria que necessita, quando necessita e que o produtor está sempre disponível a entregar a mercadoria quando solicitada. É desejado que os fornecedores se encontrem na proximidade geográfica e que as suas entregas sejam muitas em número e reduzidas em tamanho (poucas unidades) [13, 44].

Kanban

Kanban foi uma técnica revolucionária, desenvolvida por Taiichi Ōno, baseado na cultura japonesa e implementado industrialmente, pela primeira vez, na fábrica da Toyota. É uma técnica também implementada sobre o âmbito da filosofia *Lean*. *Kan* significa "sinal" e *Ban* significa "cartão"[45].

Kanban consiste na utilização de cartões, ou outro mecanismo visual, que informa que, num certo passo do processo, ou seu *output* estará pronto para ser recebido no próximo passo. Podem ser cartões, quadrados vazios no chão de fábrica, mensagens eletrônicas, tal como *fax* ou *email*. Independentemente da forma que tomem, o propósito é facilitar o fluxo, gerar *pull* e limitar inventário. Assim, os *kanban* são uma autorização para começar trabalho, controlam a quantidade de trabalho em processo permitido para o fluxo e nenhum processo começa sem que tenha sido emitido um *kanban* da parte do cliente [13, 43, 46, 47].

São 6 as regras associadas ao *kanban*[13, 43, 45]:

1. Não enviar produto defeituoso para o processo subsequente - Em alternativa, para-se o processo, descobre-se a causa do defeito e atua-se para a eliminar;
2. O processo subsequente apenas retira o necessário, quando necessário - Não há levantamentos sem *kanban*, tem que haver um *kanban* por cada item e o número de levantamentos tem que corresponder ao especificado no *kanban*;
3. Produzir apenas a quantidade exata levantada pelo processo subsequente;
4. Suavizar a carga de produção - Levantamentos deverão ser feitos em intervalos e quantidades regulares;
5. Aderir a instruções enquanto se realizam ajustes;
6. Estabilizar e racionalizar o processo - Processos têm que ser capazes e estáveis e as instruções têm que ser simplificadas e normalizadas.

A ideia principal é a de que todas as decisões são tomadas a jusante, pela célula seguinte. A situação limite é a da última fase do processo. A esta, é o cliente quem entrega o *kanban*. Este é um conceito muito dependente do ambiente de produção, a receptividade a mudanças de cultura na organização, bem como da motivação do cliente e fornecedor [46].

1.5.8 *Lean*

Lean é uma filosofia de gestão e produção que se baseia no conceito de obter resíduo nulo. O objetivo é ser altamente responsivo à procura do cliente através da redução do resíduo. Adicionalmente, almeja em produzir produtos e serviços ao custo mais baixo possível e o mais rapidamente possível. É um conceito que tem origem no Japão após a II Guerra Mundial quando os fabricantes japoneses perceberam que não conseguiriam despender recursos para reconstruir as instalações arrasadas. Assim, com *Lean*, a Toyota

produziu automóveis com menor inventário, esforço humano, investimento e defeitos. O *Lean Management* dá aos fabricantes uma vantagem competitiva através da redução de custos e da melhoria de produtividade e qualidade [47–49].

Tal como qualquer conceito relacionado com a Qualidade, é difícil definir este conceito. Na literatura surgem dezenas de definições válidas caracterizando *Lean* como: caminho, processo, conjunto de princípios, conjunto de ferramentas e técnicas, abordagem, conceito, filosofia, prática, sistema, programa, paradigma de manufatura e modelo. Esta conjuntura existe porque *Lean* tem vindo a evoluir ao longo do tempo, porque existe pouca clareza nos limites de *Lean* e como pode ser medido operacionalmente [48].

A *American Society for Quality (ASQ)* define *Lean* como um conjunto de práticas de gestão para melhorar eficiência através da eliminação de resíduos. É um sistema de técnicas e atividades para gerir uma operação de produção ou serviços. O grande objetivo é a redução das mais variadas formas de resíduo de modo a ser altamente responsivo à procura da parte de clientes enquanto produz produtos de grande qualidade da forma mais eficiente e económica possível [49, 50].

Sete Resíduos

Ao longo do seu desenvolvimento, os académicos e utilizadores da filosofia de *Lean* identificaram sete tipos de resíduo importantes de eliminar. São eles [13, 49, 50]:

- Sobreprodução - Com um mercado inundado, os preços baixarão (regra de procura e oferta); Terão que ser usados mais e maiores armazéns, tendo custos associados ao nível do espaço, acondicionamento, equipamento e trabalhadores;
- Tempo de Espera - Pode ser causado por vários eventos, tais como a deslocação de partes de uma zona da fábrica ou de armazenamento para outra, de substituição de ferramentas, equipamento ou de redefinição para novo produto;
- Transporte - É recomendada a utilização de poucos fornecedores e proximamente localizados;
- Processamento - Qualquer processo que não opere suavemente e que requeira atenção ou trabalho extra é desperdício;
- *Stock* desnecessário em mão - Quando o *stock* é desnecessário, os custos associados são o desperdício mais puro, representando custos de propriedade, infraestrutura, trabalhadores, rastreamento e de administração;
- Movimento desnecessário - Movimento custa tempo, não adiciona valor e aumenta o número de trabalhadores de forma desnecessária, escondendo o desperdício;
- Produção de bens defeituosos - Manifestado de três formas diferentes, produto retrabalhado acarretando custos adicionais de material para reparar falhas e mais tempo despendido por peça, produto descartado, acarretando custos de material e

tempo perdidos e produto defeituoso apenas detetado como tal pelo cliente, tendo implicações graves relativamente à confiança do comprador na empresa, danificando a imagem da marca, bem como levando ao acionamento de garantias com custos legais.

Perceção dos trabalhadores

É uma das principais causas de falha de qualquer esforço de melhoria, independentemente da filosofia empregue. É importante estabelecer uma relação de confiança e transparência com os trabalhadores para que se sintam incluídos no processo de melhoria. O sucesso repousa nos trabalhadores, nas suas mãos, níveis de compromisso, crenças, comunicação e métodos de trabalho [47].

Bottlenecks e TOC (*Theory of Constraints*)

A TOC é um conceito desenvolvido por Goldratt, E. que aborda três grandes conceitos: *bottlenecks* de processo, a lógica de resolução de problemas e teoria de negócio. No âmbito deste trabalho, cobrir-se-ão com maior detalhe, os *bottlenecks* [43].

Um *bottleneck* é um ponto, ou etapa, de um processo que restringe bastante a produção. É, por norma, a etapa mais longa de um processo e que mais restringe a produção. Limitam a velocidade de realização de um objetivo [13, 43].

Um *bottleneck* pode ser identificado determinando o tempo máximo de ciclo na produção. A capacidade da mesma é decidida pelo tempo de ciclo do *bottleneck*. A capacidade da linha (de montagem), LC, é dada pela equação 1.7 [47].

$$LC = \frac{\text{Tempo de Ciclo do Bottleneck}}{\text{Tempo Total Disponível}} \quad (1.7)$$



Figura 1.10: Exemplo de um processo com bottleneck[43]

Na figura 1.10 existe representado um processo com um *bottleneck* na fase 3 do processo. Esta fase tem a maior duração, 1 hora, e, de certa forma, encrava o processo.

Na figura 1.11 a situação encontra-se resolvida, tendo sido adicionado, em paralelo, um outro equipamento com a mesma capacidade, funcionando estes, de forma intercalada. Conforme indicado pela referência bibliográfica, a organização pôde reduzir os custos fixos, deixando de ser necessário um espaço tão grande para armazenagem de matéria-prima à etapa que era *bottleneck*. É um investimento que é compensado a longo-prazo com a redução dos custos fixos [43].

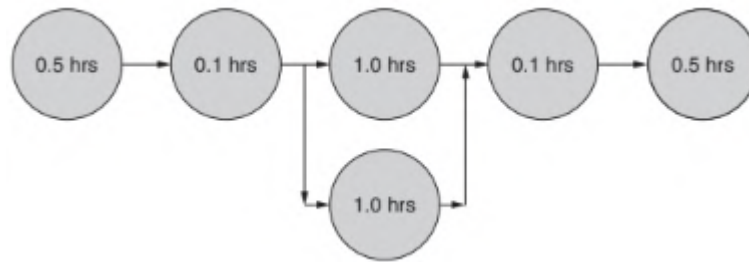


Figura 1.11: Processo anterior, da figura 1.10, com bottleneck resolvido[43]

Tempo *Takt*

Tempo *Takt* é um conceito associado à filosofia *Lean*. É também útil na elaboração do VSM, a seguir exposto. O tempo *Takt* é, nada mais, nada menos, que o tempo, ou frequência, necessária para produzir uma unidade. É calculado de acordo com a equação 1.8 [46, 47, 51].

$$\text{Tempo Takt} = \frac{\text{Tempo disponível para trabalho}}{\text{Volume requisitado pelo cliente}} \quad (1.8)$$

Se a procura aumenta, o tempo *Takt* diminui, se a procura diminui, o tempo *Takt* aumenta.

Exemplificando, na equação 1.9, se um cliente tem uma procura de 100 unidades e o tempo disponível para trabalho é 10h, então, o tempo *Takt*:

$$\text{Takt} = \frac{10 \text{ horas}}{100 \text{ unidades}} \leftrightarrow \text{Takt} = 0.1 \frac{\text{horas}}{\text{unidade}} \leftrightarrow \text{Takt} = 6 \frac{\text{minuto}}{\text{unidade}} \quad (1.9)$$

Value Stream Mapping

A abordagem ao *Lean* é baseada na análise e mapeamento de atividades nos processos. É a atividade mais comum de se encontrar sob o "guarda-chuva" do *Lean* [25, 27, 48].

Value Stream é definida enquanto um "conjunto de todas as ações específicas necessárias para movimentar um produto pelas três tarefas críticas de gestão de qualquer negócio: resolução de problemas, gestão de informação e transformação física. *Value Stream Mapping* é o processo de mapear os fluxos de trabalho e informação necessárias para coordenar as atividades desenvolvidas por produtores, fornecedores e distribuidores para entregar produtos aos clientes [25, 47, 51].

É elaborada em quatro passos [13]:

1. Identificação dos grupos de processo;
2. Desenvolvimento do mapa do estado atual;
3. Desenvolvimento do mapa do estado futuro pretendido;
4. Desenvolvimento dum plano para alcançar o mapa do estado futuro.

Numa fase inicial, de elaboração do mapa de fluxos, é importante que não haja entrea-juda entre trabalhadores. A disciplina é de máxima importância. Apenas assim se garante que a informação obtida tem valor e é significativa [13].

Nos cantos superior direito e esquerdo, respetivamente, estão figurados o cliente e o fornecedor. Ao meio, o controlo de produção, unidade que gere a produção. Os retângulos na parte inferior identificam as diferentes etapas do processo. Entre estas, existem setas que contêm a indicação de inventário (I num triângulo azul). Anexado a este triângulo a informação de inventário: número de unidades e o tempo que passam em inventário. Na parte inferior da figura aparecem indicados tempos: VAT (*Value Added Time*), o tempo que o produto passa em cada etapa individual de produção e PLT (*Production Lead Time*), o tempo que o produto passa em inventário entre estações. O *design* pode variar [52].

Usando o VSM, deverá ser possível diminuir o PLT até ao ponto em que se encontre igual ao VAT. Este é o ideal, visto que a diferença entre o PLT e o VAT representa o tempo perdido em inventário e transporte do bem [27].

Sistema *Push and Pull*

Este sistema baseia-se na ideia de que toda a produção depende da necessidade, ou procura, do cliente. Este conceito encoraja a visualização duma fábrica como um conjunto de clientes e produtores, podendo a mesma etapa do processo, ser vista como cliente e produtor. A ideia subjacente é de que uma determinada "secção" da fábrica só deverá produzir o que lhe compete assim que a "secção" seguinte o solicite. Evita-se a sobreprodução, um dos tipos de resíduo mencionados anteriormente, bem como o armazenamento de WIP e todo o movimento e espaço desnecessários que acarreta [47].

Inventário

O inventário consiste no armazenamento de componentes do processo. Estes componentes podem ser divididos em três diferentes: matéria-prima, WIP (*Work In Progress*) e bens acabados. Estudos demonstram que 60% dos resíduos em sistemas de produção se verificam devido a inventário. Representam uma grande porção das despesas duma organização. A si associado, existem os custos de propriedade, pagos sob a forma de imposto - IMI (Imposto Municipal sobre Imóveis), para o caso português - custos de manutenção de mercadoria (sob a forma de utilidades), custos de acomodação (estruturas de suporte), custos de transporte (equipamento para movimentar mercadoria), custos de mão-de-obra (operários e trabalhadores para movimentar mercadoria e assegurar a sua manutenção), bem como custos administrativos (mão-de-obra dedicada á gestão e contabilização de mercadoria). É, na ótica do *Lean*, uma prática a evitar de modo a reduzir custos e desperdício [8, 13, 47].

Sustentabilidade

Para além do objetivo principal de maximização de lucros através dos mecanismos mencionados anteriormente, esta filosofia tem como objetivo a minimização de resíduo

(idealmente igual a 0). O princípio principal do *Lean* é um grande aliado da sustentabilidade ambiental. Através da minimização de resíduos físicos ainda antes deles acontecerem, bem como a redução da poluição proveniente do processo, devido ao gasto energético e de matéria-prima ao estritamente necessário, a filosofia *Lean* tem um grande potencial, já identificado na literatura, para auxiliar na missão da sustentabilidade ambiental [53].

O foco em torno do processo, e o princípio de prevenção de ocorrência de um problema a si subjacente, é um mecanismo que permite fazer uma ponte com o tópico da sustentabilidade ambiental. É uma abordagem comum, ambientalistas reforçam que existe uma necessidade de antever problemas nos processos e elaborá-los ou modificá-los de acordo com esse problema, de modo a evitá-lo. Acontecendo algo inesperado, é importante chegar ao fundo da questão (causa-raiz) e perceber como evitar que o problema se repita [53].

O terceiro grande princípio do *Lean* que permite uma ponte com a sustentabilidade ambiental é a grande participação de toda a massa laboral. O *feedback* é extremamente encorajado e, como tal, permite que todos tenham voz e que, conseqüentemente, o tema da sustentabilidade ambiental seja sugerido, abordado e discutido [53].

São também mencionados efeitos positivos nas sustentabilidades económica e social, na literatura [53].

Sistema de Classificação de Problemas e Ferramentas

Pode ser desastroso e extremamente mau para a imagem da filosofia *Lean*, a incorreta identificação de um problema, a má utilização de uma determinada ferramenta, ou uma correspondência errada entre problema-ferramenta, ou seja, utilização de uma ferramenta inadequada de resolver o problema. Os problemas existem sempre a níveis hierárquicos, compreendidos entre "matérias-primas" e "valores". Cada problema pode, adicionalmente, ser rotulado como de: desenho, produção ou distribuição. Na tabela 1.3 encontra-se exposta uma tabela completa [49].

Tabela 1.3: Taxonomia do sistema de produção segundo Casti[49]

	Nível hierárquico	Nível funcional	Nível conceptual
IX	Valores		
VIII	Industria mundial		Eficiência
VII	Bens produzidos		Flexibilidade
VI	Indústria	<i>Design</i>	Complexidade
V	Indústria Local	Produção	Vulnerabilidade
IV	Produto acabado	<i>Marketing</i>	Fiabilidade
III	Componentes		Incerteza
II	Partes		Auto-organização
I	Materiais		Performance

Pavnaskar *et al.* propuseram, no entanto, um esquema com ligeiras alterações ao nível de conteúdo e um aspeto completamente disruptor. Encontra-se, na figura ??, o esquema desenvolvido pelo académico previamente mencionado. É constituído por sete linhas,

que correspondem, cada uma, a um nível diferente. A indicação do nível está à direita. À esquerda, existe, como que, um guia, para a interpretação e preenchimento da ferramenta. Ao meio, em vários retângulos, encontram-se palavras relacionadas com cada um dos níveis. Destinam-se a ser coloridas, de forma a destacar, dentro de cada nível, a sua caracterização.

Este esquema pode ser preenchido de duas formas diferentes. Pode ser preenchido tendo em conta uma ferramenta, ou, para problemas. Tendo por base uma ferramenta, será possível definir claramente a natureza, identificação, medição e eliminação de resíduo) e a aplicação da ferramenta. Tendo por base um problema, é possível definir, uma organização, os seus problemas de fabrico ou fontes de desperdício e fazer a correspondência com a ferramenta ou métrica de *Lean* adequada [49].

TPM: Total Preventive/Productive Maintenance

A TPM é a materialização do dizer comum "mais vale prevenir que remediar". É uma ferramenta usada para garantir que todos os equipamentos num sistema e todas as partes de um processo estão em condições e prontas a serem utilizadas quando necessário. É um conjunto de atividades desenhadas para impedir avarias, minimizar ajustes ao equipamento que causam perdas de produção e tornam a maquinaria mais segura, mais facilmente operável e eficiente. A manutenção, assim, passa a ser uma parte normal do processo [13, 43].

As máquinas são, então, limpas e lubrificadas frequentemente. Está provado o sucesso desta ferramenta, sendo registadas menos vezes falhas de equipamento que poderiam ter efeitos prejudiciais na produção. Deve ser feita diariamente pelo operador encarregue do manuseamento da máquina. Assim, garante-se também um maior sentido de propósito e de importância ao trabalhador. O mesmo é o mais indicado a realizar a manutenção, visto que, fruto das horas de contacto que tem, reconhece vibrações, cheiros e aspetos diferentes, endereçando eventuais "falhas" ou mais prontamente alertando sobre as mesmas [13].

Na literatura, é mencionado que a disponibilidade de equipamentos é uma das principais causas de perdas, frequentemente a maior de três, na métrica OEE. Assim, a **Total Preventive Maintenance (TPM)**, merece a importância que lhe é atribuída. Assenta em 5 pilares [43]:

- Atividades de melhoria, destinadas a reduzir os seis tipos de perdas relacionadas com equipamentos: avaria, *setup* e ajustes, paragens, abrandamento, defeitos de qualidade e retrabalhamento e diminuição de *yield* durante a iniciação;
- Manutenção autónoma - Esforço para incluir atividades de manutenção diárias na rotina do trabalhador encarregue pela máquina;
- Sistema planeado de manutenção - Baseado em historial de falhas;
- Treino de operadores e pessoal de manutenção - Melhoria de operações e capacidades de manutenção;

- Sistema para manutenção precoce - Para evitar perdas que ocorram durante a iniciação do equipamento.

1.6 BPR: *Business Process Reengineering*

Contextualização

Existe pouca uniformidade na definição deste conceito. No entanto, todas aparentam incidir sobre a mesma ideia: repensar fundamental e *redesign* radical de processos de negócio, a sua estrutura e sistemas de gestão associados. Foi primeiramente usado este termo por Davenport e Short. Surgiu nos anos '90 com as empresas desesperadas por alcançarem melhorias. São indispensáveis os atos de questionar o processo e tentar arranjar novas formas de o realizar [27, 28, 54–57].

A filosofia ganhou tração e várias empresas americanas, primeiro, e europeias, seguindo, implementaram BPR nos seus negócios. As motivações dos gestores para esta adesão eram: melhor desempenho por parte da concorrência; muitos conflitos no interior da organização; frequência de reuniões extremamente alta; uso excessivo de comunicação não-estruturada; cessamento de rendimentos significantes por parte de filosofias de melhoria contínua. Conta com histórias de grande sucesso, salvando empresas que constantemente se encontravam em situação de falência técnica e perto do encerramento de atividade [27, 28, 54, 55, 58].

É, no entanto, estimado que entre 50% e 70% dos projetos falhem, sendo abandonados ou um insucesso, falhando em atingir os objetivos traçados inicialmente [56].

Objetivos

Distingue-se largamente das filosofias anteriormente mencionadas. BPR almeja resultados repentinos e dramáticos, em "*step way*", em vez de forma contínua, usando um redesenho radical. No entanto, estas podem ser vistas como complementares, no caso de se reconstruir um processo por BPR e de se usar, posteriormente, TQM de modo a alcançar a melhoria contínua. Baseia-se nos mesmos princípios: alinhar de processos de trabalho com requisitos de cliente de forma dinâmica e flexível de modo a alcançar objetivos organizacionais a longo prazo. Da sua implementação resultam reduções no tempo de chegada ao mercado, aumento de produtividade, menor ocorrência de defeitos ou erros e aumento do rendimento financeiro [13, 27, 54, 56, 58].

Complementaridade com TQM

Na figura 1.12 está ilustrada - ainda que, de forma simplificada - a complementaridade entre as duas grandes abordagens à qualidade. A TQM, pautada pela melhoria contínua, é um processo contínuo, de pequenos incrementos, mas durante um grande horizonte temporal. A BPR, por outro lado, é caracterizada por grandes incrementos de qualidade num horizonte temporal curto. A BPR é uma abordagem mais drástica, enquanto que a TQM é mais "paciente".

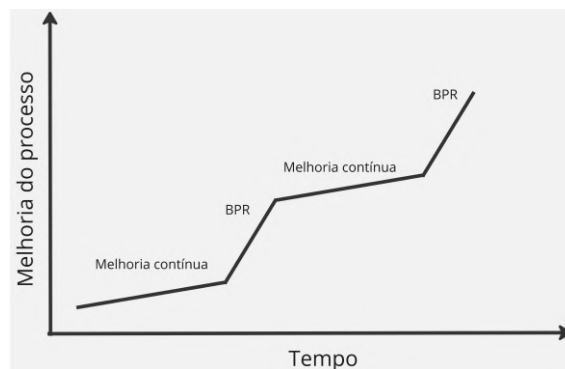


Figura 1.12: Complementaridade entre BPR e TQM, adaptado de [59]

Ambas iniciativas podem ser utilizadas de forma intercalar, produzindo resultados utilizando o melhor dos dois mundos.

A BPR, de modo a funcionar, quebra barreiras internas à organização e encoraja o funcionamento em equipas multifuncionais com uma visão horizontal do processo partilhada [27].

Princípios e Metodologias

Hammer e Champy identificaram vários princípios de reengenharia, entre os quais se destacam: a organização em torno de produtos, e não tarefas; identificação de todos os processos numa organização e priorizá-los de acordo com a urgência na reengenharia; colocar a tomada de decisão onde o trabalho é desenvolvido [28, 58].

A primeira metodologia de BPR a ser desenvolvida, foi a de Hammer e Champy. Foram estes autores que popularizaram o conceito de BPR. A metodologia, simples, assente em 6 passos, encontra-se presente na tabela 1.4 [28, 58].

As tecnologias de informação (IT) são inseridas no contexto da BPR por Davenport. Para o autor, desempenham o papel mais importante na estratégia de melhoria. Elaborou a sua metodologia, encontrada na tabela 1.5 [28, 58].

Existem ainda outras metodologias mencionadas na literatura, tais como: a metodologia Kodak, semelhante à de Hammer e Champy; a metodologia Manganelli/Klein, que defende que se deveria concentrar unicamente em processos que suportem diretamente os objetivos estratégicos da organização e requisitos do cliente e suportado pelo Rapid-Re, um software [28].

Vale a pena realçar que são 3 os conceitos a ter em grande consideração aquando da escolha de processos a aplicar BPR. São a disfunção, importância e visibilidade. É fulcral, priorizar os mais problemáticos, os de maior importância na operação da empresa e os que são mais vulneráveis a um projeto de BPR bem-sucedido.

Modus Operandi

Decompõe-se em 7 fases sequenciais[27]:

Tabela 1.4: Metodologia Hammer e Champy[28]

Passos do Projeto	Objetivos
Introdução em reengenharia de negócio	Processo começado pelo CEO numa abordagem <i>top-down</i> ; São explicados aos trabalhadores a situação atual e a visão pretendida para o futuro
Identificação de processos de negócio	Neste passo é analisado toda a operação da organização, listados os processos internos e a relação dos mesmos com o exterior
Seleção de processos de negócio Compreensão dos processos de negócio selecionados	Seleção dos processos que têm maior potencial de melhoria quando reengenheirados Existe concentração nos processos escolhidos na sua forma atual e esforço na recolha, análise e compreensão de dados e resultados do mesmo
Redesenhar dos processos de negócio selecionados	Caraterizado pelos autores por imaginação, pensamento lateral e fora da caixa
Implementação dos processos de negócio redesenhados	Passo ao qual não é dado grande destaque, porque os autores acreditam que, sendo os últimos cinco bem conseguidos, este é o mais fácil de levar a cabo

1. Descoberta e definição;
2. Estabelecimento da equipa de *redesign*;
3. Análise e documentação de processos;
4. Inovação e reconstrução;
5. Reorganização e reformação dos trabalhadores;
6. Medição de *performance*;
7. *Redesign* e melhoria contínuas.

Embora, por vezes, seja aconselhado redesenhar um processo de raiz, começando com uma folha branca, esta abordagem traz problemas, tais como o risco de se redesenhar um processo também ineficiente e não abordar o problema na sua extensão completa [27].

Cada caso é um caso. Não existe uma metodologia que se possa seguir e se adequar perfeitamente à realidade da organização, tamanho, peso no mercado, área de operação, etc. No entanto, até um certo ponto, é possível que se encontrem vários *modi operandi* que, dentro dos limites da razoabilidade se apliquem. É o caso do seguinte.[28]

1. Imaginar o novo processo - Para que este passo seja útil à organização é indispensável o apoio da gestão da empresa;
Tem que ser garantida a disponibilidade das tecnologias e que as oportunidades de reengenharia são identificadas corretamente;
Adicionalmente, os novos processos têm que estar alinhados com a estratégia da organização;

Tabela 1.5: Metodologia de Davenport[28]

Passos do Projeto	Objetivos
Visionamento e estabelecimento de objetivos	Este passo é necessário para que a organização concentre todas as ações seguintes na sua visão e objetivos
Identificação de processos de negócio	Neste passo são identificados os processos de negócio que têm que ser reengenheirados. O autor aconselha que a equipa se concentre em poucos, no máximo 15
Compreensão e medição de processos	Acontece o estudo do funcionamento exato e performance dos processos selecionados. Davenport assentua que as práticas antigas não estão a ser reinventadas e que são estabelecidas as <i>benchmarks</i> de <i>performance</i> para os processos redesenhados
Tecnologia de Informação Protótipo de processo	Estudo da aplicabilidade das ferramentas e aplicações de TI para os novos processos redesenhados Desenho de um protótipo funcional para os novos processos de negócio. Os trabalhadores estudam o protótipo, desenvolvem ideias para melhorias
Implementação	Implementação em toda a organização do protótipo testado. Para Davenport, este é um passo crucial, visto que demora praticamente o dobro de todos os passos anteriores, juntos

2. Iniciar a mudança - Este é um passo fulcral; É estabelecida a equipa de reengenharia; Têm o papel muito importante de motivar outros a aceitar a mudança na organização; Estabelecem também os objetivos de *performance*;
3. Diagnóstico do processo - É necessário que ocorra uma avaliação para identificar como as IT funcionam enquanto habilitador, bem como estão alinhadas com a criação de valor para a organização;
4. Desenvolver processo alternativos, bem como um novo desenho de processo. Tem que ser elaborada uma *blueprint* do novo processo. As mudanças não podem ser de larga escala, tendo estes maior taxa de sucesso. A mira têm que ser processos e mudanças de pequena escala, tendo estes menos repercussões ao nível político, financeiro e tecnológico. Nesta fase podem-se usar duas abordagens: modular ou incremental:
 - a) Abordagem modular - O suporte das IT é feito em módulos, abordando cada processo de reengenharia individualmente, sem qualquer ligação entre os mesmos. É independente de outras condições ou do sucesso de outros módulos.
 - b) Abordagem incremental - Neste tipo de abordagem, existe um nível de suporte progressivamente maior para uma série de projetos a acontecer simultaneamente. É uma abordagem útil quando fatores ambientais estão sujeitos a mudança, ou descontrolados.

5. Reconstrução - As questões listadas têm que ser respondidas nesta fase:
 - a) A organização, o *staff* e os negócios e/ou cidadãos estão prontos?
 - b) A gestão de contrato, serviços, benefícios e de *performance* existem?
 - c) As mudanças que se avizinham foram refletidas minuciosamente?

6. Monitorização do processo - Durante esta fase, têm que ser feitas clarificações, tais como:
 - a) As mudanças no projeto comprometeram as intenções originais?
 - b) Foi realizada uma revisão após a implementação?
 - c) Existe pessoal qualificado para gerir as operações. incluindo contratos de *full-fillment* com terceiras partes?
 - d) Está a ser procurada ativamente a melhoria de *performance*?
 - e) Está a ser medida *aperformance*?
 - f) Estão a ser definidos objetivos de maturidade?

Informação enquanto habilitador tecnológico

A informação pode ser incorporada em organizações e projetos de BPR através de dois mecanismos diferentes: IT (Tecnologias de Informação) e IS (Sistemas de Informação). As IT são definidas como "tecnologias, nomeadamente *software* ou *hardware* usados na recolha e processamento de dados" e as IS como "combinação organizada de pessoas, *hardware*, *software*, redes de comunicação, recursos de dados, políticas e procedimentos que armazena, recolhe, transforma e dissemina informação numa organização"[58, 60].

As tecnologias têm sofrido evoluções de formas exponenciais. Assim, atualmente, de ano para ano, existem avanços tecnológicos que levariam décadas, em períodos anteriores, a serem alcançados. A uma velocidade igualmente frenética, avança um dos ramos da tecnologia: a tecnologia de informação (IT). Assim, têm sido incorporadas nas mais diferentes indústrias, nomeadamente em processos de BPR, permitindo, de várias formas, às IT facilitar os processos de reestruturação, tornando-se peças centrais destes projetos [58].

As IT, conforme anteriormente enunciado na metodologia de Davenport, estão envolvidas em várias ações, todas importantes na ótica de BPR. Dessas, listam-se cinco, mais importantes na tabela 1.6 [28, 58]:

Em complementaridade com o mencionado na tabela 1.6, as IT desempenham, também, diversos papéis nas organizações atualmente, não exclusivamente numa ótica de BPR, visto que, organizações em começo de atividade atualmente, já incorporam IT nos seus processos como um dado adquirido. Os papéis são, essencialmente, 3 [57, 58]:

- **Iniciador** - Ajuda a organização a identificar explicações poderosas antes de se procurarem problemas que possa receber;

Tabela 1.6: Papéis de maior relevância das IT no BPR[28]

Transacional	Pode transformar processos não estruturados em transações rotinadas
Comunicação	Pode transferir informação rapidamente ao longo de várias distâncias, por norma a localizações geograficamente dispersas
Rastreamento	Permite o rastreamento detalhado da <i>performance</i> dos processos
Controlo	Auxilia na implementação de gestão e sistema de controlo nos processos
<i>Poka-Yoke</i>	Pode ajudar no redesenho de processos de uma forma que sejam à prova de erros

- **Facilitador** - Serve como plataforma para minimizar a complexidade de carga de trabalho e problemas; Pode facilitar as operações usando ferramentas de gestão de projeto que ajudam a identificar, estruturar e controlar atividades de BPR;
- - Auxilia no desenvolvimento de uma visão estratégica, na satisfação das necessidades dos clientes, na avaliação do potencial para reengenharia, no estabelecimento de objetivos relacionados com a quota de mercado, custos, aumento da receita e lucros no geral.

Existem três tipos de IS: MIS (*Management Information System*), TPS (*Transaction Processing System*), DSS (*Decision Support System*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*). **MIS** está relacionada com medidas em recolha, processamento, reserva de dados relevantes e precisos para providenciar suporte efetivo numa organização. Pode ser visto como um "conjunto de métodos de gestão de informação que envolve automação de computadores (*hardware* e *software*) ou enquanto apoio e melhoria da qualidade e eficácia das operações de negócio e tomada de decisão humana". **DSS** é um sistema que usa uma série de regulamentos, pessoas, bases de dados, *software* e *hardware*, coordenados, de modo a resolver problemas na tomada de decisão. **TPS** tem a função de conduzir qualquer transação financeira e guardar informação e registo de tais trocas no sistema. Inclui pagamentos ao fornecedor e trabalhadores, vendas aos clientes e controlo de inventário. **ERP** consiste num conjunto de programas inter-relacionados que tratam das operações de negócio cruciais para a organização inteira [58].

Está documentado, na literatura, que, recentemente, as iniciativas de BPR assentes em IT e IS apresentam maiores taxas de sucesso. Adicionalmente, ambos conceitos tornaram-se indissociáveis, sendo, agora, extremamente difícil, obter sucesso numa iniciativa BPR sem envolvimento de IT ou IS. Têm bastante relevo, melhorando: a comunicação interna e externa da empresa, alterando, para melhor, as estruturas organizacionais; o processamento de informação e a capacidade de partilha; a produtividade, diminuindo tempos de ciclo, consequentemente, diminuindo os custos de produção, potenciando um aumento de lucros [58].

Caraterísticas de uma organização que passou por BPR

São 4, as maiores características de uma organização que passou por um processo de reengenharia[28]:

- Substituição de tarefas individuais e departamentos por processos - Não significa que a organização deixe de ter departamentos, mas sim, que existe uma reforma grande na forma como eles se relacionam;
- Substituição de tarefas simples e processos complexos por tarefas complexas e processos simples;
- Trabalho em equipas - Grande autonomia no funcionamento da equipa, bem como muitas responsabilidades, de relações e de qualidade;
- Substituição do responsável por um dono de processo - O dono do processo tem a tarefa de intermediar o diálogo entre a organização e o cliente; Facilita a tarefa ao cliente, que só terá que dialogar com um representante da empresa que terá conhecimento total do processo.

CSF's

Os CSF variam de organização para organização, logicamente. Servem como auxílio ao foco dos esforços da organização, de modo a que seja alcançada a maior eficiência possível do projeto. Na literatura, separam-se os CSF's em quatro categorias:

- CSF de Indústria - Estes fatores dependem da indústria em que a organização opera e difere entre organizações;
- CSF de Estratégia - Estes CSF surgem devido às diferentes estratégias de negócio competitivas das empresas; A posição da organização na indústria também é importante, pelo que a indústria, *per si*, nunca poderá ser um critério isolado ou basilar para determinação de CSF's;
- CSF Ambientais - Estes CSF resultam das mudanças económicas e tecnológicas das organizações; São fatores que se encontram fora da esfera de controlo da empresa, no entanto, têm que ser escrupulosamente cumpridos, uma vez definidos;
- CSF Temporais - Estes fatores resultam das necessidades e mudanças internas à organização, são de curta duração e relacionam-se com mudanças temporárias na organização;

Estas quatro categorias originam sete principais áreas de incidência de CSF: formação e educação, dados e relatórios de qualidade, compromisso de gestão e satisfação de cliente, orientação de *staff*, papel do departamento de qualidade, comunicação para melhorar qualidade e melhoria contínua.

Questões com a implementação

Nem todas as iniciativas de BPR têm sucesso. São apontadas como causas de insucesso: a viabilidade económica; a percepção dos trabalhadores; a resistência por parte da organização à mudança; a atitude inflexível; o tempo necessário para desenvolver a BPR; fatores envolvidos na implementação de BPR; fatores de gestão; e fatores financeiros [58].

A viabilidade económica pode ser problemática porque o adicionar de recursos vai aumentar os custos. Vai ser necessário expandir o *hardware*, realizar manutenção aos novos IS (Sistemas de Informação) e expandir a infraestrutura de modo a albergar o novo sistema. É responsabilidade de gestão analisar previamente a viabilidade económica do projeto de reengenharia e averiguar a significância do ROI (retorno de investimento) [58].

Os IT e IS podem, também, estar na origem de falha de um projeto de reengenharia se as infraestruturas da organização forem insuficientes ou se não houver conhecimento suficiente dentro da empresa sobre IT e IS e como utilizá-las. Adicionalmente, pode não haver um alinhamento entre o planeamento da organização e o planeamento de IT [57, 61].

A percepção dos trabalhadores pode ser uma grande causa de insucesso dos programas de BPR. Um dos principais motivos é o facto de, no passado, os programas deste cariz terem passado por redução de custos, indissociável da redução da massa salarial, obtida através de despedimentos. O trabalhador pode, também, ficar responsável por novas tarefas que, sem formação adequada, terá dificuldades, inicialmente, em realizar. Adicionalmente, é natural, no ser humano, temer a mudança. Este comportamento também se verifica nos trabalhadores que, com medo da mudança, podem, deliberadamente, causar fricção e resistência à mesma. Os trabalhadores podem, também, causar a falha de um projeto se não tiverem formação suficiente e/ou adequada [58].

A resistência à mudança pode, também, vir da organização. Esta está um plano acima da mencionada anteriormente. Aqui, refere-se a um conjunto de indivíduos, que, trabalhando juntos há algum tempo, desenvolvem um sentido de camaradagem e coesão, aliando-se na resistência à mudança. É responsabilidade da gestão e do agente responsável pela mudança, como visto anteriormente, clarificar o processo e ser transparente no curso de todo o projeto [57, 58].

Relacionado também com a natureza humana, pode também haver uma atitude inflexível por parte dos gestores, se não estiverem alinhados com a visão do responsável, externo, pela mudança. O medo da mudança na cultura organizacional, com a descentralização da tomada de decisão, e conseqüente perda de poder e influência, leva gestores a sabotar processos de reengenharia. A gestão pode igualmente causar insucesso destes projetos através de más estratégias de comunicação, bem como não apoiando os trabalhadores e o esforço de mudança. Uma estrutura hierárquica demasiado rígida é também apontada como um problema potencial na implementação de BPR [57, 58, 61].

Os fatores financeiros podem ser problemáticos também. Podem haver custos imprevisíveis relacionados com flutuações de *stock*, alterações nas taxas de câmbio e políticas governamentais. Como tal, a organização deve ter sempre fundos de reserva, de modo a

ter uma "almofada" que possa suportar tais custos sem arriscar o processo de reengenharia. É uma causa comum de falha, a indisponibilidade de fornecer os recursos suficientes [58, 61].

A demora na chegada de resultados é, também, um fator preponderante no insucesso das iniciativas de BPR. É necessário ter "fé" no processo, acreditar no rumo seguido e não perder foco ou confiança no plano traçado. Empresas, por vezes iludidas, procuram resultados grandes demais com horizontes muito pequenos. O BPR não é a ferramenta ideal para tal, podendo os projetos durarem anos até que sejam observados resultados [58].

Na fase de delimitação do processo, pode-se, também, impedir o sucesso do projeto através de uma definição inapropriada do alcance do projeto de reengenharia, ser demasiado radical, ou demasiado conservador. Pode, igualmente, haver uma má atribuição de liderança de processos [61].

Recompensas advinentes da BPR

São muitas, das quais se destacam [28]:

- Empoderamento de trabalhadores;
- Eliminação de resíduo e de processos obsoletos ou ineficientes;
- Redução significativa de custos e tempos de ciclo;
- Melhorias revolucionárias medidas por serviços de apoio ao cliente e qualidade;
- Auxílio a empresas de topo a manterem-se no topo e a empresas decepcionantes a se tornarem competidores eficientes.

Existem vantagens enormes resultantes de um projeto de reengenharia. São exemplos a melhoria de eficácia no fluxo de trabalho aliada a uma compressão dramática do tempo despendido para uma tarefa ficar completa. Vai permitir à empresa, conseqüentemente, ser mais competitiva com restantes organizações no mercado, bem como ser mais flexível e adaptável a alterações no mercado.

Desvantagens da BPR

As principais desvantagens apontadas a esta filosofia são a sua longa duração até obtenção de resultados, a sua extensa fase de planeamento e decisão, bem como as avultadas somas associadas ao redesenho de um processo inteiro. Adicionalmente, existe pouco conhecimento, por norma, nas organizações sobre o redesenho de processos, pelo que, poderá estar mais propenso a falhar [58].

BPR v TQM

Tabela 1.7: Comparação entre TQM e BPR[28]

	TQM	BPR
Descrição	Preocupado com a melhoria de processos e métodos de trabalho de modo a maximizar a qualidade de bens e serviços	Abordagem particular preocupada com o repensar de sistemas e processos atuais
Tipo de Mudança	Planeada, contínua	Planeada, pontual
Objetivo	Manter clientes existentes cumprindo ou excedendo as suas expectativas a respeito de produtos ou serviços	Redefinir métodos e processos de trabalho existentes para melhorar eficiência
Motivação chave	Mercado cada vez mais competitivo e necessidade de competir para procuras específicas do cliente. Adicionalmente, pode ser por a organização ter problemas ao nível de custos altos ou pobre qualidade	Pressões da concorrência e necessidade intensa de cortar custos
Agente de mudança	Interno ou externo	Consultor externo
Processo de aprendizagem	Ciclo único ou duplo	Ciclo duplo
Natureza da mudança de cultura	Valores focados no cliente	Objetividade, controlo, consistência e hierarquia de valores
Mudança para trabalho baseado em equipas	Exige um turno dedicado a esta equipa	

Exemplos e casos de sucesso

São vários, e em diferentes áreas, os casos de sucesso de BPR. Na tabela 1.8, estão alguns deles [57]:

Tabela 1.8: Exemplos de casos de sucesso advenientes da utilização de BPR

Empresa	Processo	Benefícios gerados
Dell Computer	Cadeia de abastecimento	Poupança de 50M\$ devido à redução de inventário de 13 para 5 dias
FedEx Corp.	Compras	Tempos de ciclo de compra foram reduzidos de 20% para 70%; Número de fornecedores reduzido em mais de metade
Wal-Mart	Processo de compras/distribuição	Vantagem de custo de 2% face à concorrência

1.7 Ferramentas da Qualidade

1.7.1 7 Ferramentas Básicas da Qualidade

As sete ferramentas da Qualidade, inventadas por ilustres nomes, são a base a qualquer processo de gestão e/ou melhoria da qualidade, independentemente da área de operação ou do tipo de processo, BPR ou TQM. As "sete básicas" são: fluxograma, folha de registo e verificação, histograma, diagrama de dispersão, diagrama de causa-efeito, diagrama de Pareto e cartas de controlo. Nas secções seguintes são expostas as ferramentas [23, 62].

1.7.2 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta fácil de elaborar. Através de um conjunto de símbolos e linhas, esta ferramenta permite, de forma simples de compreender, identificar os componentes do processo de produção, bem como as relações entre os mesmos. Adicionalmente, fá-lo de forma sequencial, sendo possível seguir o percurso do material no processo [23, 63].

Para ser elaborado, existem regras a ser respeitadas. O processo tem que ser definido e ter o seu título escrito no fluxograma. Tem que ser discutido e decidido quais são os limites do processo: onde começa, onde acaba e qual o nível de detalhe a utilizar. Um *brainstorming* toma lugar para que todas as etapas sejam anotadas, sendo, apenas depois, ordenadas de forma sequencial. Uma vez que todos da equipa concordem, são desenhadas setas a correlacionar pela ordem correta as etapas do processo. Na figura 1.13 está representado um exemplo de fluxograma [64].

Existe uma simbologia a respeitar, quando se elabora um fluxograma. As formas das etapas do processo não são arbitrárias e indicam muito sobre que tipo de etapa se trata, bem como o papel que desempenham. Os símbolos mais comuns de se encontrar num processo industrial são os presentes na tabela 1.9:

1.7.3 Folha de Registo e Verificação

As folhas de registo e verificação são, na prática, formulários de recolha de dados. O seu propósito é armazenar informação. Destinam-se a ser preenchidas pelos trabalhadores, pelo que devem ser de simples preenchimento [23, 67].

Para elaborar uma folha de registo e verificação, deve-se decidir sobre que evento ou problema vai ser observado, bem como a periodicidade da observação. A folha deve ser desenhada de forma a que as observações possam ser registadas com símbolos simples, tal como "I" ou "x". Todos os espaços na folha devem estar rotulados. Numa fase inicial, é importante verificar o preenchimento da folha, de modo a garantir o seu correto preenchimento. Cada vez que ocorra o problema ou evento alvo, registar a informação na folha [13, 68].

Na figura 1.14 está presente um exemplo de uma folha de verificação. É indicado o valor de especificação, a variação do valor observado para a mesma, bem como o número

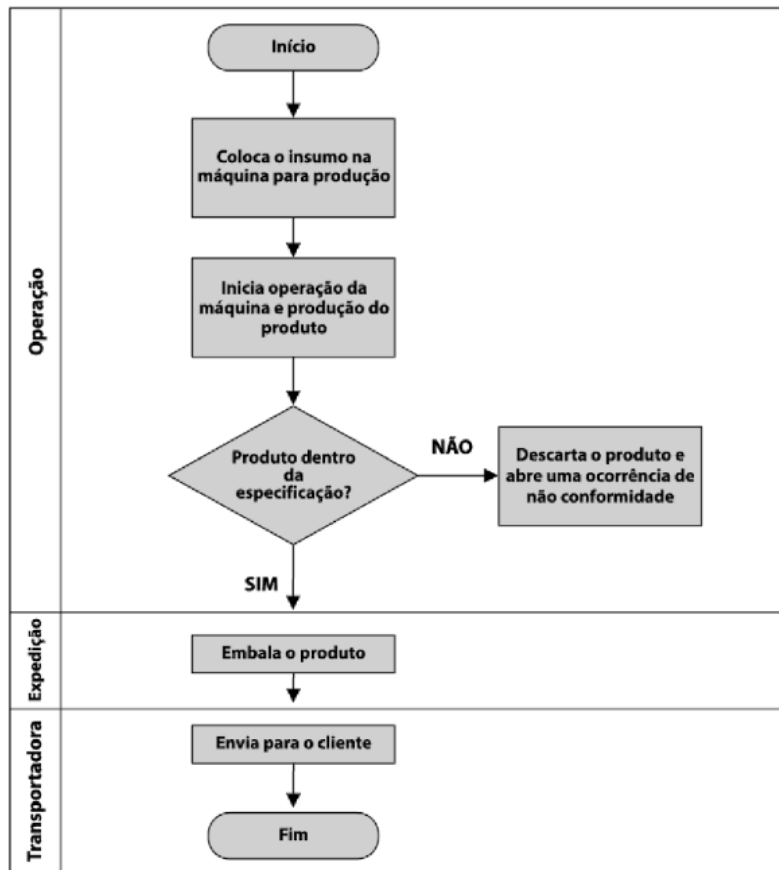


Figura 1.13: Exemplo de um fluxograma[65]

individual de verificações realizadas. Na última coluna, constará, em numeração árabe, o número de "X" apontados. O total será o número de observações realizadas.




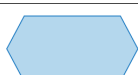
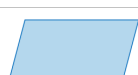

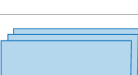

Lista de Verificação												
Data:												
Local de Verificação		Secção:										
Produto:		Máquina										
Total Inspeccionado:		Inspetor:										
Lote:		Turno:										
Tempo (s)	Variação	Verificações										Frequência
	menor que -10											
	-10											
	-5											
50												
	5											
	10											
	Maior que 10											
											Total	

Figura 1.14: Exemplo de Folha de Verificação e Registos, adaptado de [69]

1.7.4 Histograma

O histograma é uma ferramenta específica a ser utilizada quando se realizam observações quantitativas e não qualitativas. Esta ferramenta é um simples gráfico. No eixo das abcissas

Tabela 1.9: Simbologia principal de fluxogramas[13, 23, 63, 66]

	Símbolo usado para representar o começo ou fim do processo
	Símbolo usado para representar uma etapa do processo
	Símbolo usado para representar uma tomada de decisão
	Símbolo usado para representar uma preparação
	Símbolo usado para representar <i>inputs</i> e <i>outputs</i>
	Símbolo usado enquanto conector a outra página/processo
	Símbolo usado para representar documentos
	Símbolo usado para representar um atraso/espera

estarão os valores quantitativos do parâmetro em estudo. No eixo das ordenadas está presente um índice que contabiliza o número de observações realizadas para a respectiva categoria no eixo das abcissas. É elaborado, muitas vezes, a partir da ferramenta abordada na secção 1.7.4, a folha de verificação e registos. Em suma, são usados para representar a frequência de ocorrência [13, 70].

É recomendado, para criar um histograma, recolher 50 pontos de dado consecutivos e a utilização de uma folha de cálculo. É extremamente comum a realização desta ferramenta de forma digital, usando o software Excel, tal como o presente na figura 1.15.

1.7.5 Diagrama de Dispersão

É a ferramenta mais simples das sete aqui mencionadas. É, também, segundo a literatura, a mais útil. É um mero gráfico que relaciona duas variáveis e, que, através da dispersão dos pontos, permite perceber como se correlacionam as mesmas [13].

O dados são recolhidos sempre em pares, sendo recolhida informação numérica relativa à variável x e à variável y [71].

Esta ferramenta, no entanto, apenas possibilita a observação, ou não, de correlações. Nada permite concluir sobre a causalidade de uma variável na outra [71].

Na figura 1.16 é possível observar: uma correlação negativa, ou seja, um cenário em que um aumento na variável do eixo das abcissas é correspondido com uma diminuição

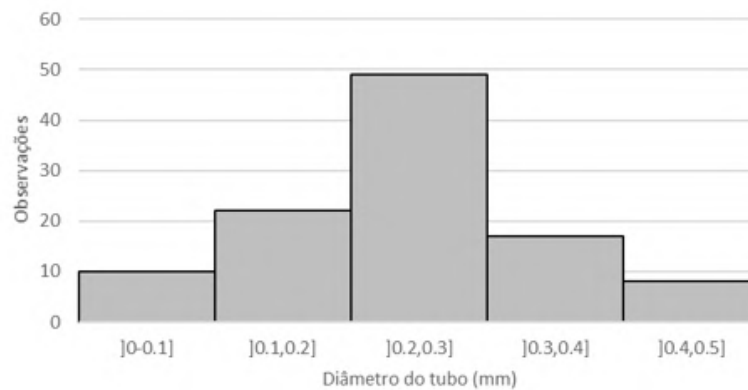


Figura 1.15: Exemplo de um histograma usando dados arbitrários

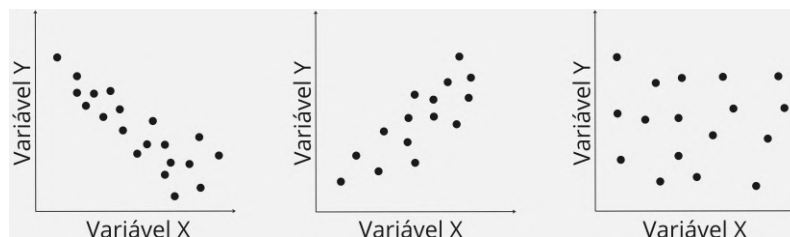


Figura 1.16: Exemplos de correlações negativa, positiva e nula, entre duas variáveis hipotéticas X e Y

no eixo das ordenadas; uma correlação positiva entre as variáveis nos eixos das abcissas e ordenadas, respetivamente. Um aumento no eixo das ordenadas é correspondido com um aumento no eixo das ordenadas.; nula, por fim, na figura , os pontos não estão distribuídos de forma a observar alguma correlação. A disposição é, aparentemente, aleatória e os pontos encontram-se dispersos de forma difusa pela área do gráfico.

1.7.6 Diagrama de Causa-Efeito

O Diagrama de Causa-Efeito é, também denominado diagrama de Ishikawa. Elaborado pelo guru da Qualidade japonês, esta ferramenta destina-se a analisar causas. É usado para enumerar causas para um potencial problema, bem como para as agrupar em categorias de causas. É recomendável, para o sistema de categorias usar a regra dos *Five M's* mencionada na secção 1.5.6: "*Methods, Machines, Manpower, Materials, Measurement*" associado a um E: "*Environment*"[72].

O guru japonês defende que a ferramenta traz bastantes prós à mesa, tais como: traz foco à discussão do grupo, diminuindo o tempo desperdiçado; separação de causas e sintomas; versatilidade, podendo ser usado com qualquer problema [13].

Para elaborar o diagrama, é recomendado pela ASQ o procedimento[72]:

1. Consenso da equipa em torno do efeito a ser estudado; Deve ser anotado ao meio da folha, na extremidade direita; Uma seta, horizontal, deverá ser desenhada unindo o problema à outra extremidade da folha
2. *Brainstorming* da equipa de modo a chegar às maiores causas do problema. Se difícil, usar a regra anteriormente mencionada;
3. Anotar as categorias de causas como ramos a partir da seta principal, ao meio, desenhada no ponto 1;
4. *Brainstorming* das causas possíveis do problema; Recomenda-se colocar a pergunta "Porque acontece isto?"; As causas deverão ser anotadas como ramos mais pequenos dos ramos criados no ponto anterior, 3;
5. Mais uma vez, colocar a questão "Porque acontece isto?" e desenhar as causas elaboradas como ramos mais pequenos;
6. Quando o grupo de *brainstorming* ficar sem ideias, recomenda-se que o mesmo centre a atenção na zona com menos ideias.

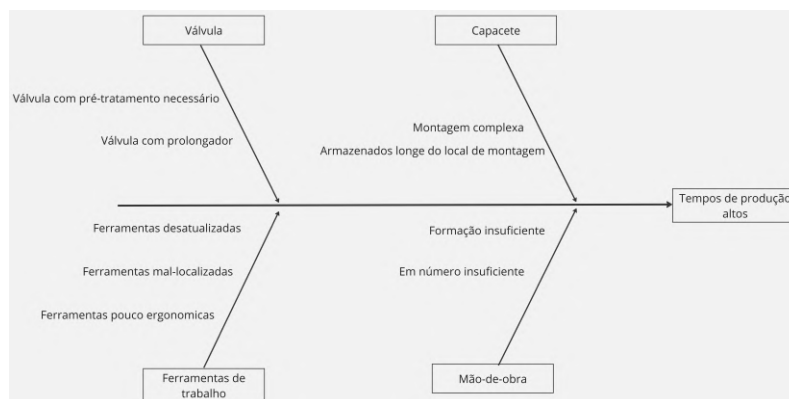


Figura 1.17: Exemplo de um diagrama de Causa-Efeito[73]

Na figura 1.17 está presente um diagrama de Ishikawa para o problema: "Baixa produtividade (na produção de melancia)", realizado no Brasil [73].

1.7.7 Diagrama de Pareto

A grande vantagem do Diagrama de Pareto é o facto de, visualmente, separar as causas importantes das triviais, no âmbito de um problema. O gráfico foi publicitado por Joseph Juran, no entanto, recebe o nome de um sociólogo italiano que defendeu a ideia de que, no mundo real, uma minoria de causas leva a uma maioria dos problemas. Esta é a ideia subjacente ao diagrama [13].

É um gráfico de barras conjugado com uma linha cumulativa. Para elaborar um gráfico, a ASQ recomenda que se decidam as categorias sob as quais se vão agrupar os itens, que

se decida que medidas são apropriadas (frequência, quantidade, custo e tempo são as mais comuns), que se decida qual o período de tempo que a análise associada ao diagrama vai cobrir, que se recolham os dados necessários, que se realizem os sub-totais para cada categoria e que, por fim, se construa o gráfico de barras recorrendo a uma escala apropriada [74].

Na figura 1.18 está presente um diagrama de Pareto.

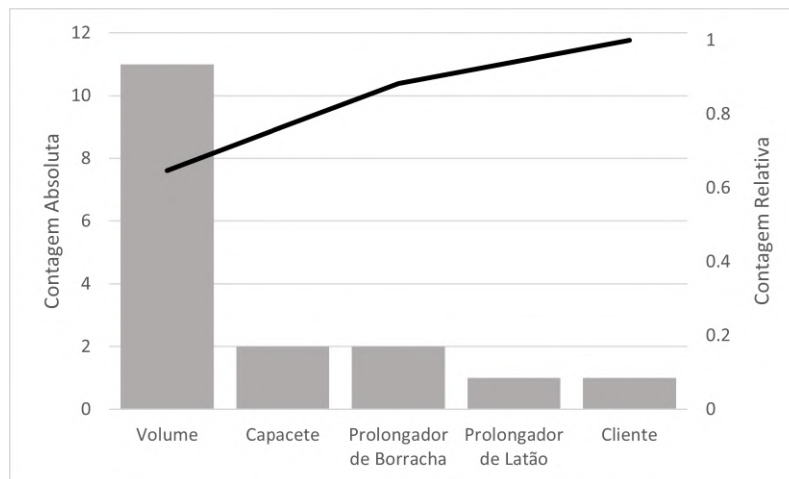


Figura 1.18: Exemplo de um diagrama de Pareto baseado em [74]

Neste diagrama, as barras individuais são categorias que agregam várias causas de falha. Idealmente, e respeitando o princípio de Pareto, poucas causas causarão muitos problemas, ou seja, terão grande comprimento. A linha a laranja é um índice cumulativo, de modo a facilmente, e apenas por leitura do gráfico, se averiguem a percentagem de defeitos causados pelas causas mencionadas. Neste caso, desvio dimensional, corrosão e curto circuito, 33.3% das causas mencionadas, causam 80% dos defeitos. Assim, apenas por este gráfico, chega-se à conclusão que estes serão os defeitos sobre os quais se terá que atuar, de forma a minimizar as falhas [74].

1.7.8 Cartas de Controlo

As cartas de controlo são a ferramenta principal aliada à TQM e SPC. Permitem, visualmente, monitorizar a variabilidade e valor médio do processo, numa segunda fase, tendo antes, na primeira fase, agido como ferramenta para determinação destes valores. Adicionalmente, permitem, facilmente, identificar causas especiais de variação. São extremamente úteis para controlar estatisticamente processos [27].

É um gráfico usado para estudar como um processo se altera ao longo do tempo. No eixo das ordenadas, está o valor a monitorizar (pode ser número de defeitos, valor da característica observada, etc.)[75].

Existem vários tipos de carta de controlo. As cartas \bar{X} , R , S para variáveis, e as cartas para atributos, que monitorizam características específicas do processo, tais como,

percentagem ou frequência de inconformidade. As principais, e mais frequentes, são as cartas para variáveis. A carta \bar{X} monitoriza a média da característica em monitorização, ou, a média de produto conforme. A carta R regista, para cada amostra, a amplitude entre a observação de valor máximo e a de valor mínimo. É, portanto uma carta útil na monitorização da instabilidade do processo ao nível amostral. A carta s monitoriza o desvio-padrão dentro de cada amostra. Tal como demonstrado nas equações 1.3 e 1.4, relaciona cada valor medido dentro de uma amostra, com o valor médio da mesma. Para elaborar as cartas é necessário recorrer a correlações empíricas, na figura ?? [76].

Para elaborar uma carta de controlo, a ASQ recomenda que: 1) se escolha a carta de controlo apropriada para os dados em questão; 2) se determine o período de tempo apropriado para recolha e representação dos dados; 3) se recolha os dados, construa o gráfico e se analize os dados; 4) se procure por sinais de que o processo está fora de controlo estatístico; se um for identificado, deve ser sinalizado no gráfico, deve ter a causa investigada e, quando determinada, documentada e corrigida [75].

$$LCS = \mu_0 + z_{\alpha/2} \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (1.10)$$

$$LCS = \mu_0 - z_{\alpha/2} \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad (1.11)$$

$$LCS = \mu_0 \quad (1.12)$$

Com recurso às equações 1.10, 1.11 e 1.12 calculam-se os parâmetros essenciais para a elaboração de uma carta de controlo \bar{X} , os limites superior e inferior, bem como a linha central, respetivamente. μ refere-se à média do processo, σ refere-se ao desvio-padrão do processo, ou seja, $\sqrt{\sigma^2}$, raiz-quadrada da variância, n , o número de amostras e α a estatística da distribuição normal. Recorde-se que $1 - \alpha$ representa o intervalo de confiança desejado [23, 76].

Alternativamente, podem ser usadas correlações empíricas, que dependem do tamanho da amostra. Quanto maior a amostra, mais precisos serão os resultados obtidos. Assim, recorrendo a estas correlações, para a carta \bar{X} , usando o fator A_3 , as equações a usar são ??1.14 superior_fatores e 1.14 : [76]

$$LCS = \bar{X} + A_3 \bar{s} \quad (1.13)$$

$$LCS = \bar{X} - A_3 \bar{s} \quad (1.14)$$

Os valores relativos ao processo são impossíveis de conhecer, a não ser que tudo o que seja produzido seja inspecionado. Como tal, são recolhidos dados e, com recurso às equações 1.2 e 1.3 calculam-se, respetivamente, as média e variância amostrais. A média amostral, por aproximação, assume-se igual à média populacional, ou seja, a de processo.

A variância populacional é estimada com recurso a um fator, como indicado na equação 1.15, com recurso ao fator c_4 , presente na figura ?? [23].

$$\sigma^2 = \frac{\bar{s}^2}{c_4} \quad (1.15)$$

Quando calculados os parâmetros μ e σ , é possível estabelecer na carta a linha central, LC, e os limites superior e inferior. Adicionalmente, na carta de controlo de Shewhart, existem três zonas:

- Zona A - Entre LC e 1σ
- Zona B - Entre 1σ e 2σ
- Zona C - Entre 2σ e 3σ

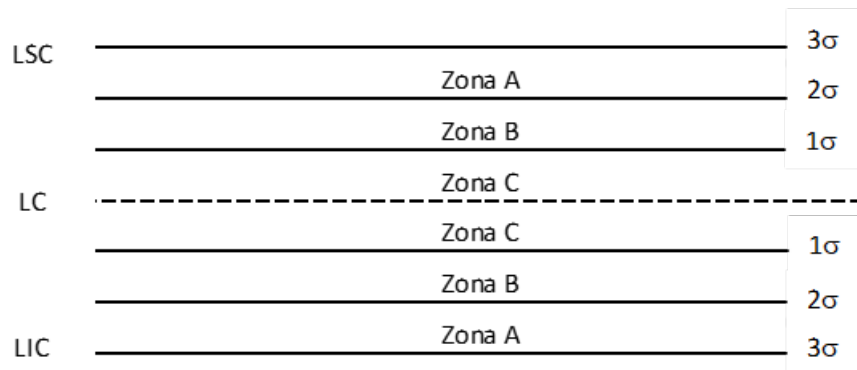


Figura 1.19: Carta de controlo com zonas A, B e C delineadas[77]

Na figura 1.19 é possível observar tais zonas. Estes limites intermédios, anteriores aos limites de controlo, são úteis para detetar causa específicas de variação. Para tal, recorre-se a oito regras[78, 79]:

1. Um ponto fora dos limites de controlo, ou seja, para lá da Zona C;
2. Nove pontos consecutivos do mesmo lado da linha central, superior ou inferior;
3. Seis pontos consecutivos com a mesma tendência (crescente ou decrescente);
4. Catorze pontos crescendo e decrescendo alternadamente;
5. Dois em três pontos consecutivos aparecendo para lá da linha de 2σ , ou seja, zona A, do mesmo lado da linha central;
6. Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central;
7. Quinze pontos consecutivos na zona C;

8. Oito pontos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

Estas regras podem estar relacionadas com certos comportamentos do processo e/ou trabalhadores, podendo ser indicadores bastante claros da causa do descontrolo estatístico. Segundo a literatura [78]:

Tabela 1.10: Regras de cartas de controlo e o que indicam

Regra	O que indica sobre o processo?
1	Amostras fora de controlo
2	Indicativo de um problema prolongado
3	Presença de tendências
4	Demasiada oscilação
5	Ligeira tendência para as amostras estarem fora de controlo
6	Forte tendência para as amostras estarem fora de controlo
7	Falta de variabilidade
8	Não existe aleatoriedade

1.7.9 Outras Ferramentas

1.7.10 Análise FMEA

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou na sua variante portuguesa, AMFE, é uma metodologia sistemática de identificação e prevenção problemas de processo e produto antes que ocorram. Avalia o processo ou sistema para possíveis falhas que possam ocorrer. Surgiu na década '40 na indústria militar, tendo sido, na década de '60 adaptado na indústria aeroespacial, focado na área da segurança. Desde então, tornou-se uma poderosíssima ferramenta para prevenir acidentes de segurança, especialmente na indústria de processos químicos. Foi também uma análise implementada na indústria automóvel como uma ferramenta de melhoria de qualidade. Atualmente, vê-se aplicada muito em trabalhos na área da saúde e da engenharia médica. Esta multidisciplinaridade da ferramenta prende-se com o facto de, na sua origem, terem estado indivíduos com conhecimentos técnicos e de sistemas limitados, que, descreveram a metodologia de forma universalmente compreensível [46, 80–85].

As causas de falha são denominadas de "causas-raiz". Podem ser delineados mecanismos que levam a ocorrência desta falha. Embora definida a falha, não se tem, *a priori* uma explicação para como ela acontece e se manifesta no sistema. Os Modos de Falha são, então, as diferentes formas que um componente pode falhar [84].

É bastante importante realizar este tipo de análise em processos e serviços, idealmente, antes da sua implementação. Existem fatores que servem como indicadores para o sucesso, ou não, de um processo ou projeto. A incapacidade de desenvolver uma gestão de risco adequada vai, certamente, aumentar a probabilidade de falha, ilustrando a relevância desta ferramenta [86].

São a ferramenta ideal a usar quando o produto e/ou processo se encontram na fase do *design*. Com a sua natureza preventiva, podem ser desenhados processos mais robustos, eliminando a necessidade de ajustes corretivos e crises de última hora na fase de exploração do processo. Adicionalmente, pode ser usada quando um produto ou serviço está a ser redesenhado ou aplicado de uma nova forma, quando estão a ser estabelecidos objetivos de melhoria, ou até mesmo de forma periódica, sem que algum evento de maior importância o justifique [80, 81, 84].

É recomendado que a FMEA não seja usada sozinha, mas sim, em junção com outras ferramentas e filosofias de Qualidade [80].

É usado, também, por empresas que já têm um processo em funcionamento, mas que, devido a: altos custos de garantia, fiabilidade inconveniente, complexidade de procedimentos de montagem e produção, insatisfação de clientes e alto custo de produção. Na área da saúde tem tido grande relevância, melhorando a qualidade dos serviços, quer ao nível de configuração de máquinas e sistemas, como ao nível laboratorial [83–85].

Existem três tipos de características a identificar no formulário FMEA: críticas, significantes e as chave. As críticas são as que afetam cumprimento com regulações governamentais ou operação segura do produto ou serviço. Estas características devem ser identificadas em desenhos e/ou procedimentos. Geralmente estas são definidas por tribunais, agências reguladoras, padrões industriais, requisição de clientes e requisitos internos de engenharia. As significantes são as características da qualidade de um processo ou produto sobre quais dados devem ser recolhidos. Devem ser consensualmente apontadas por fornecedores, clientes e equipa a cargo da FMEA. As chave são indicadores de medida que providenciam *feedback* rápido ao processo e, conseqüentemente, fornecem uma oportunidade de correção imediata de problemas de qualidade [82].

A análise FMEA divide-se em três constituintes: Severidade, Ocorrência e Detecção. Cada um destes três pilares, tem uma escala qualitativa de 0 a 10 a si associado. Severidade representa a consequência da falha do produto, a ocorrer; Ocorrência representa a probabilidade ou frequência de ocorrência da falha; Detecção representa a probabilidade da falha ser detetada antes do impacto do efeito ser percecionado. A combinação destes três pilares, multiplicados, originará o RPN (*Risk Priority Number*), compreendido entre 1 e 1000. O modo de falha com o maior RPN deverá ser abordado primeiro. Independentemente do RPN, no entanto, qualquer modo de falha com um índice de 9 ou 10 na Severidade, deverá ser abordado. Uma vez realizadas as medidas corretivas, uma nova análise FMEA deverá ser realizada reavaliando os três parâmetros mencionados anteriormente para cada modo de falha determinado [76, 80–84, 86].

Para elaborar, tanto as características, como o índice de Severidade, Ocorrência e Detecção devem ser usados dados quantitativos ou qualitativos. Estes dados poderão ser provenientes de dados históricos de processo, da organização ou da concorrência, ou então, dados obtidos através de simulações fidedignas do processo, numa ótica de prevenção. Numa ótica de remediação, com um processo já em funcionamento, com falhas, deverão ser usados os dados do processo em operação [82].

A acompanhar as características, e os três índices, de Severidade, Ocorrência e Detecção, é necessário listar os modos de falha, as causas de falha e os efeitos da falha. Estas listas deverão ser feitas antes da elaboração da folha de FMEA. Um fluxograma é útil, para listar todas as etapas envolvidas no processo. A partir daí, para cada etapa, é, então, extremamente importante, listar os possíveis modos de falha de cada equipamento, bem como os efeitos da mesma, acontecendo. É também extremamente importante perceber o porquê dessa hipotética falha poder acontecer, ou seja, determinar a causa da mesma. Tendo estas três informações para cada etapa, facilita a tarefa de depois atribuir os valores de 1 a 10 em cada um dos índices. Esta abordagem, adicionalmente, garante que nenhuma etapa fica esquecida [83].

A FMEA não tem uma duração programada. Esta é definida pelas condições, objetivos e complexidade do projeto em mão [82].

O tipo de FMEA mais relevante para este trabalho acadêmico é a FMEA de processo. Destaca-se das de sistema, *design* e serviços devido ao contexto da atividade. Uma FMEA de processo é usada para analisar processos de produção e montagem. Esta foca-se em modos de falha causados por deficiências de produção ou montagem. Tem vantagens, tais como a elaboração de uma lista de potenciais modos de falha, classificados por RPN, a elaboração de uma lista de características críticas e/ou significantes, bem como a elaboração de uma lista de ações recomendadas para acomodar as características críticas e significantes [82].

A FMEA tem uma variante bastante popular denominada **Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)** (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*). Esta variamente representa um progresso face à mais antiga. A FMEA é uma análise largamente qualitativa e, como tal, incompleta, ainda que bastante funcional. A FMECA representa a junção da FMEA com a CA (*Criticality Analysis*). Esta análise, bastante minuciosa, destina-se a: definir a fiabilidade de cada item, numa dada etapa da produção; identificar a porção de falta de fiabilidade do item que pode ser atribuída a cada modo de falha potencial; definir e avaliar a probabilidade de perda, ou gravidade, que resultará de cada modo de falha que pode acontecer. É indicado que a Análise de Criticalidade deverá acontecer sempre depois da FMEA. Na literatura desta variante, é proposta a existência de um fator de criticalidade, C_r , exposto na equação 1.16, sendo a materialização da análise quantitativa [83, 87, 88].

$$C_r = K_A \cdot K_E \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot t \cdot 10^6 \quad (1.16)$$

Na equação 1.16 são introduzidos novos fatores. Em λ , β e α existem apenas variação de nomenclatura, sendo estes parâmetros, respetivamente, frequência de falha do produto, a probabilidade da mesma ocorrer e o rácio do modo de falha. K_A representa um fator operacional que ajusta λ para a diferença entre as tensões operacionais relativa à análise de componentes e à da medida. K_E representa um fator operacional que ajusta λ para a diferença entre as tensões ambientais relativas à análise de componentes e à da medida [83].

A Análise de Criticalidade representa a probabilidade dos modos de falha associada aos impactos das consequências, permitindo, assim, que se foque nos aspetos mais críticos. Devido à constante evolução das ferramentas da Qualidade, estas ferramentas, agora, apresentam um grande nível de coincidência. Isto porque, perante a ausência de indicadores quantitativos, os autores introduziram diversos fatores, antes apenas associados à FMECA, em estudos em que se aplica a ferramenta FMEA [88].

Uma outra variante da original FMEA é a RFMEA (Project Risk FMEA). Esta, ainda que semelhante às anteriormente mencionadas, destaca-se pela importância que dá ao conceito de "risco" e sua gestão. Segundo Carbone, "risco" pode ser definido como "evento ou condição incerta que, se ocorre, tem um efeito positivo ou negativo nos objetivos do processo". Acrescenta, definindo que o processo de gestão de risco é constituído por 6 fases: planeamento para a gestão de risco; identificação de risco; análise qualitativa de risco; análise quantitativa de risco; planeamento de resposta ao risco; e monitorização e controlo do risco [86].

Nesta metodologia, a probabilidade de risco é a probabilidade de um risco acontecer. O valor da multiplicação da probabilidade pelo valor de impacto para um risco especificado é definido como *risk score*. O processo tradicional de FMEA avalia modos de falha de acordo com os índices já vistos de Ocorrência, Severidade e Detecção. Na metodologia RFMEA, identificam-se, removem-se e reduzem-se riscos num ambiente de projeto em vez de apenas aspetos técnicos [86].

Na FMEA tradicional, um valor de Ocorrência de 10 significa que o projeto não tem capacidade de detetar a falha. Um número baixo significa que a falha é detetada ainda com tempo suficiente para remediar e não afetar o resultado geral do processo. Para a RFMEA, métodos ou técnicas de deteção são definidos como "capacidade de detetar um evento de risco com tempo suficiente para planear uma contingência e atuar". Se o risco tiver poucos sintomas e/ou a equipa não tiver forma de o detetar, então será classificado com um 10; por outro lado, se for bastante detetável, será avaliado com um 1 [86].

Existem passos a seguir, no que toca à elaboração de uma RFMEA. São eles [86]:

1. Identificar eventos de risco
A forma de identificação de risco tem que ser "Se x se manifesta, então y vai acontecer", sendo x o evento de risco e y o impacto do acontecimento do evento;
2. Atribuir valores de probabilidade (de acontecer), impacto e deteção
Os valores atribuídos são feitos pela equipa, como um todo, de forma consensual;
3. Analisar o Diagrama de Pareto de RPN e determinar o valor crítico de RPN
Esta análise é extremamente importante, visto que, cada processo é um processo e os números de RPN resultantes são subjetivos e tanto melhores quanto melhor a análise for;
4. Analisar o Diagrama de Pareto para o número de risco e determinar o valor crítico do número de risco

Não existe uma regra científica para este passo, dependerá sempre da análise da equipa e da distribuição no diagrama;

5. Analisar o Diagrama de Dispersão para RPN vs número de risco
 Não existe uma distribuição "correta" ou expectável, dependendo sempre do processo em análise
6. Determinar a interseção do valor crítico do número de risco com o valor crítico de RPN;
7. Desenvolver planos de resposta ao risco para os riscos críticos;
8. Reavaliar o número de risco e de RPN, com base no plano de resposta

1.8 DoE: *Design of Experiments*

1.8.1 Introdução

O DoE serve dois propósitos: 1) verificar efeitos em caraterísticas objetivo e melhoria das mesmas através de afinamento; 2) verificar efeitos em caraterísticas de *output* e conduzir um estudo de tolerância [11].

1.8.2 Planeamento Fatorial Completo 2^k

Este tipo de planeamento de experiências permite elaborar um desenho em que existem vários fatores, k , cada um com dois níveis, designados, de forma geral, como "alto" (+) e "baixo" (-).

O planeamento efetuado deverá sempre explorar as interações entre os fatores e os seus diferentes níveis.

Caso $k = 2$

Neste caso, existem apenas dois fatores, é o caso mais simples. O planeamento deverá ser efetuado conforme a tabela 1.11. São realizados $2^k = 2^2 = 4$ ensaios.

Tabela 1.11: Planeamento fatorial completo de experiências para $k = 2$ [89]

Experiência	Fator		Rótulo
	A	B	
1	-	-	(1)
2	+	-	<i>a</i>
3	-	+	<i>b</i>
4	+	+	<i>ab</i>

Como cada fator apenas toma dois valores possíveis: alto, ou baixo, a tabela construída é de relativa simplicidade. É apenas necessário realizar 4 experiências para que se explorem todos os cenários possíveis para os fatores A e B, bem como para a interação entre os

mesmos, AB. Assim, o efeito do fator, bem como da interação, para cada combinação está presente na tabela 1.12.

Tabela 1.12: Efeitos em AB para $k = 2$ [89]

Combinação	Efeito do Fator			
	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
<i>a</i>	+	+	-	-
<i>b</i>	+	-	+	-
<i>ab</i>	+	+	+	+

Caso $k = 3$

Neste caso, existem três fatores. O planejamento deverá ser efetuado de acordo com a tabela 1.13. De forma análoga, para além de se analisar o impacto de cada fator, tem que ser estudada a interação de 2º grau, entre dois fatores, e de terceiro grau, entre três fatores. Então, são realizadas mais experiências, $2^k = 2^3 = 8$, para explorar todas as interações.

Tabela 1.13: Planejamento fatorial completo de experiências para $k = 3$ [89]

Experiência	Fator			Rótulo
	A	B	C	
1	-	-	-	(1)
2	+	-	-	<i>a</i>
3	-	+	-	<i>b</i>
4	+	+	-	<i>ab</i>
5	-	-	+	<i>c</i>
6	+	-	+	<i>ac</i>
7	-	+	+	<i>bc</i>
8	+	+	+	<i>abc</i>

O efeito dos fatores, bem como das interações para cada ensaio está presente na tabela 1.14. É de notar que, neste caso, existem mais interações entre fatores, devido ao aumento do número de fatores. Assim, a matriz é substancialmente maior e todas as interações têm que ser exploradas, de modo a verificar se existem fatores ou interações significantes.

1.8.3 Planejamento Fatorial Fracionado 2^{k-p}

Para um desenho de experiências que compreenda 4 fatores distintos, seriam necessárias realizar $2^k = 2^4 = 16$ experiências distintas. De forma a ter resultados robustos, seriam necessárias várias repetições, compreendendo várias amostras. O cenário agrava-se. Para um caso de $k = 5$, teriam-se $2^5 = 32$ experiências. O DoE poderia tornar-se demasiado moroso, complexo e até dispendioso. Como tal, surge o conceito de planejamento fracionado. Assim, $k - p$ será o novo número de experiências realizadas. p é o número de geradores [89].

Tabela 1.14: Efeitos nas interações entre fatores para $k = 3$

Combinação	Efeito do Fator							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-
<i>a</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>b</i>	+	-	+	-	-	+	-	+
<i>ab</i>	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>c</i>	+	-	-	+	+	+	-	+
<i>ac</i>	+	+	-	-	+	-	-	-
<i>bc</i>	+	-	+	-	+	+	+	-
<i>abc</i>	+	+	+	+	+	-	+	+

Exemplo para 2^{3-1}

Abordando este conceito com um exemplo, assume-se que se define um desenho de $2^{(k-p)} = 2^{(3-1)}$. Estabelece-se que o fator gerado é C e que, o seu gerador é AB, interação entre fatores não gerados.

A relação de definição é obtida através da multiplicação de fatores gerados, por si mesmos, bem como de forma cruzada. Neste caso, apenas existe um fator gerado, C. Por isso, $I = C \times C \equiv C^2 \equiv ABC$. A relação de definição:

$$I = ABC$$

A relação de definição é sempre constituída pelos p geradores e pelas suas $2^p - p - 1$ interações.

Os efeitos estão presentes na tabela 1.15.

Tabela 1.15: Efeitos nas interações entre fatores para $k - p = 3 - 1$

Combinação	Efeito do fator								Resposta
	A	B	$C \equiv AB$	AB	AC	BC	ABC		
(1)	-	-	+	+	-	-	+	y_1	
<i>a</i>	+	-	-	-	-	+	+	y_2	
<i>b</i>	-	+	-	-	+	-	+	y_3	
<i>ab</i>	+	+	+	+	+	+	+	y_4	

Sendo A um fator, o seu contraste é definido pela diferença entre as experiências em que se verifica o seu nível alto com as em que se verifica o seu nível baixo.

Como se estão a realizar menos experiências do que as necessárias para estudar cada um dos fatores e seus efeitos, é natural que os efeitos fiquem confundidos. A estrutura de efeitos confundidos para este exemplo é:

$$A \times I \equiv A \times ABC \equiv A^2BC \equiv BC \quad A \equiv BC$$

$$B \times I \equiv B \times ABC \equiv AB^2C \equiv AC \quad B \equiv AC$$

$$C \times I \equiv C \times ABC \equiv ABC^2 \equiv AB \quad C \equiv AB$$

Ou seja, os fatores A, B e C estão confundidos com BC, AC e AB, respetivamente. O impacto deste conceito é relativamente grande, porque:

$$efeito_{total} = efeito_A + efeito_{BC} \leftrightarrow 1 = x_A + x_{BC}$$

Isto significa que para cada efeito calculado de um fator confundido, não se sabe, exatamente ao que corresponde, a qual dos fatores, nem a percentagem.

Exemplo para 2^{5-2}

Neste caso, com $k = 5$, seria necessário realizar $2^5 = 32$ experiências para se conhecer completamente os efeitos de cada fator e respetivas interações. Por este motivo, estabeleceu-se que E e D são fatores gerados por AB e AC, respetivamente, reduzindo-se o número de experiências a realizar para $2^{5-2} = 2^3 = 8$. Os pares encontram-se na tabela 1.16.

Tabela 1.16: Fatores gerados e respetivos geradores para exemplo $k - p = 5 - 2$

Fator gerado	Geradores
E	AB
D	AC

A relação de definição que se obtém:

$$I \equiv ABE \equiv ACD \equiv BCDE$$

1.9 ANOVA: *Analysis of Variance*

ANOVA, ou *Analysis of Variance* foi introduzido por Ronald Fisher, em 1925 [18, 90, 91].

Este é, de longe, o nome que se destaca no início do séc. XX, dando imensos contributos ao campo da Estatística com as suas teorias e análises incidentes sobre, tanto a ANOVA, como planeamento fatorial, entre outros [91].

O nível, em Estatística, refere-se à diferente forma de agrupar dados em subgrupos, dentro do conjunto universal de dados recolhidos. Por exemplo, num estudo sobre garrafas de gás, estas podem ser agrupadas em diferentes categorias, uma delas sendo o tamanho, com níveis referentes aos diferentes tamanhos: 15, 20, 25 ou 30 L [23].

As observações de uma experiência podem ser descritas todas de acordo com um modelo matemático, tendo em conta um único fator. É este [89]:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} \quad (1.17)$$

Em que $i = 1, 2, \dots, a$ representa os diferentes níveis possíveis, $j = 1, 2, \dots, n$ representa as diferentes observações para cada nível i , y_{ij} representa o valor da observação j para o nível i e ϵ_{ij} representa o erro aleatório, que agrega todas as outras fontes de variabilidade

do processo, tal como erros de medição. A equação 1.17 é chamada de modelo das médias [89].

Pode ser elaborada, tendo em conta a média geral do processo, independentemente do fator:

$$\mu_i = \mu + \tau_i \quad (1.18)$$

Em que μ é a média global do processo e τ_i representa o efeito do nível i . Agregando as equações 1.17 e 1.18, tem-se:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (1.19)$$

A equação 1.19 é denominada de modelo ANOVA de fator único [89].

Adicionalmente, sobre este modelo, Montgomery estabelece que se comporta seguindo uma distribuição normal [89]:

$$y_{ij} \sim N(\mu + \tau_i, \sigma^2)$$

A utilização desta metodologia presume a elaboração de um teste de hipóteses, em que se pretende avaliar se a média é, ou não, para uma significância de $\alpha\%$, igual, independentemente do nível, ou se apresenta diferenças, consoante o nível:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_k \text{ para, pelo menos, um par } (i,k)$$

Ou:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ para, pelo menos, um nível } i$$

Num estudo estatístico que cumpra com a hipótese nula, H_0 , é possível concluir que não existem diferenças entre os diferentes níveis, ou seja, os efeitos τ_i e, conseqüentemente, as médias μ_i são iguais, ou, pelo menos, estatisticamente semelhantes.

Adicionalmente, para formular uma tabela ANOVA, é necessário definir parâmetros essenciais. Para definir tais parâmetros é necessário definir uns úteis nos seus cálculos [23, 89].

Nas equações 1.20 e 1.21, são calculados Y_i e $Y_{..}$, o total de todas as observações para o nível i , Y_i , e o total de todas as observações j realizadas para cada nível i , $Y_{..}$ [23].

$$Y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (1.20)$$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (1.21)$$

Nas equações 1.22 e 1.23, são calculadas a média de todas as observações para o nível i , \bar{Y}_i , e a média de todas as observações, $\bar{Y}_{..}$ [23, 89].

$$\bar{Y}_i = \frac{Y_i}{n} = \sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}}{n} \quad (1.22)$$

$$\bar{Y}_{..} = \frac{Y_{..}}{n} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}}{a \times n} \quad (1.23)$$

Nas equação 1.24, 1.25 e 1.26 são calculadas a variação entre os diferentes níveis i , SS_B , a variação dentro dos níveis i , SS_W e a variação total, SS_T . Na tabela 1.17, é indicado o número de graus de liberdade para cada uma das variações [23, 89].

$$SS_B = n \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2 \quad (1.24)$$

$$SS_W = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (1.25)$$

$$SS_T = SS_B + SS_W = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 \quad (1.26)$$

Tabela 1.17: Graus de Liberdade para cada uma das variações, SS_T , SS_B e SS_W

Parâmetro	Graus de Liberdade
SS_T	N-1
SS_B	a-1
SS_W	N-a

Nas equações 1.27 e 1.28 são definidos o desvio quadrático médio entre os diferentes níveis i , MS_B e o desvio quadrático médio dentro do nível i , MS_W [23, 89].

$$MS_B = \frac{SS_B}{(a - 1)} \quad (1.27)$$

$$MS_W = \frac{SS_W}{(N - a)} \quad (1.28)$$

Por fim, através do quociente presente na equação 1.29, denominado, estatística de teste, ou F_0 , relacionam-se ambos desvios quadráticos médios [18, 23].

$$F_0 = \frac{MS_B}{MS_W} \quad (1.29)$$

Esta estatística é o parâmetro final a ser calculado e destina-se a ser comparado com o valor do parâmetro $F_{\alpha;(a-1);(N-a)g.l.}$. α é o nível de significância, definido pelo utilizador, e a o número de níveis do fator. Existem dois cenários possíveis [23]:

- $F_0 > F_{\alpha;(a-1);(N-a)g.l.} \rightarrow$ rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que existem diferenças significantes para os níveis dos fatores;
- $F_0 < F_{\alpha;(a-1);(N-a)g.l.} \rightarrow$ aceita-se a hipótese nula e conclui-se que não existem diferenças significantes para os níveis dos fatores

A Análise de Variância é útil para perceber se existem efeitos entre diferentes níveis de uma característica. Esta conclusão é suportada por todas as equações mencionadas anteriormente nesta secção, bem como por um teste de hipóteses, mencionado de seguida e pela tabela 1.18, uma tabela ANOVA genérica [18, 23, 89].

Tabela 1.18: Tabela ANOVA[23]

Fonte de Variação	SS	g.l.	MS	F_0
Entre Tratamentos	SS_B	$a - 1$	$SS_B/(a - 1)$	MS_B/MS_W
Erro (interior)	SS_W	$N - a$	$SS_W/(N - a)$	
Total	SS_T	$N - 1$		

ANOVA para $k = 3$

Tabela 1.19: Tabela ANOVA para um desenho de experiências de fatorial completo com $k=3$

Fator	SS	g.l.	MS	F_0
A	SS_A	$g.l._A$	MS_A	$F_{0,A}$
B	SS_B	$g.l._B$	MS_B	$F_{0,A}$
AB	SS_{AB}	$g.l._{AB}$	MS_{AB}	$F_{0,AB}$
C	SS_C	$g.l._C$	MS_C	$F_{0,C}$
AC	SS_{AC}	$g.l._{AC}$	MS_{AC}	$F_{0,AC}$
BC	SS_{BC}	$g.l._{BC}$	MS_{BC}	$F_{0,BC}$
ABC	SS_{ABC}	$g.l._{ABC}$	MS_{ABC}	$F_{0,ABC}$
Erro	SS_{Erro}	8 (15 - 7)	MS_{Erro}	
Total	SS_{Total}	15 (16 - 1)		

A ANOVA pode ser aplicada a cada DoE de planeamento fatorial completo. O propósito da ANOVA, tal como já visto na secção 1.9, é, de forma quantitativa e com recurso a postulados de estatística, definir quais fatores ou interações entre os mesmos são relevantes, ou diferentes, para um certo nível de significância. Se $F_0 > F_{\alpha;(a-1);(N-a)g.l.}$, então, recusando a hipótese nula, admite-se que existe diferença para o valor de μ , e, portanto, é um fator, ou interação, significativa.

ANOVA

Após definição das relações de identidade e estruturas de efeitos confundidos, é necessário avançar para a próxima fase, a análise de variância, ANOVA. É elaborada de forma diferente à do planeamento fatorial completo devido à confusão de efeitos.

Primeiramente, determina-se o contraste de um fator. Assumindo um hipotético fator X, de acordo com a equação 1.30:

$$\text{Contraste}_X = \sum y_{X^+} - \sum y_{X^-} \quad (1.30)$$

Uma vez definido o contraste, define-se o efeito do fator, de acordo com a equação 1.31

$$\text{Efeito}_X = \frac{\text{Contraste}_X}{2^{k-p-1}n} \quad (1.31)$$

Após definição de efeito do fator, com a equação 1.32, define-se a soma dos quadrados para o fator.

$$SS_X = \frac{\text{Contraste}_X^2}{2^{k-p}n} \quad (1.32)$$

Para um planejamento fracionado, por norma, não se usa uma tabela ANOVA normal. A mencionada anteriormente, 1.18, é alterada.

1.10 Teste de Kruskal-Wallis

O teste estatístico de Kruskal-Wallis é um teste não-paramétrico que avalia as diferenças entre três ou mais grupos de amostras independentes [92, 93]. Por ser não-paramétrico, não elabora premissas sobre a distribuição da amostra que testa. Representa uma vantagem ao método ANOVA [94].

Consiste em agrupar os diferentes grupos individuais e a cada observação atribuir um valor relativo (à semelhança dum *ranking*) consoante o valor original medido.[95] Os valores relativos agora calculados, os *ranks* individuais, são somados por grupo e, em conjunto com a dimensão de cada grupo, são usados para calcular a estatística de teste H) [92, 93]. Tal estatística encontra-se formulada na equação 1.33 [93, 96].

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^n \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (1.33)$$

As hipóteses nula e alternativa em estudo são:

H_0 : Todos os constituintes da população em análise são estatisticamente idênticos

H_1 : Existe pelo menos um constituinte da população em análise que se destaca estatisticamente

Tabela 1.20: Condições para rejeitar a hipótese nula admitindo $\alpha = 5\%$

Parâmetro	Condição
p-value	> 0.05
H	> $\chi^2_{\alpha, a-1 \text{ g.l.}}$

A estatística de teste é, de seguida, comparada com um parâmetro de distribuição χ^2 , definindo se a hipótese nula é rejeitada, ou não, conseqüentemente elaborando uma conclusão sobre a significância do fator na variável dependente [92, 93, 95].

Por dedução matemática é possível, conforme presente na literatura, comprovar que a homogeneidade estocástica é equivalente à igualdade de valores esperados nos *ranks* das médias.[97] Assim, a hipótese nula da homogeneidade estocástica pode ser testada por uma ANOVA realizada aos *rankings*, ou seja, um teste de Kruskal-Wallis, essencialmente [97]. Embora seja indicado para populações idênticas, está desenhado para ser sensível a médias diferentes [98].

Em suma, o teste representa uma alternativa não-paramétrica ao teste ANOVA *one-way* [97]. No entanto, o teste de Kruskal-Wallis apenas permite determinar se um fator é, ou não, significativo numa determinada variável dependente. Dentro de cada fator, é importante determinar se os diferentes valores que este fator pode tomar, têm impacto na variável em monitorização. Para tal, recorre-se ao teste de **Least Significance Difference (LSD)** (*Least Significance Difference*) [93, 99].

1.11 Teste de *Fischer*

O teste de LSD, também conhecido como Teste de Fisher, tem a sua primeira utilização em 1935, pelo próprio.[100] A estatística de teste segue a distribuição t-student e é representada matematicamente na equação 1.34[100]:

$$LSD = t_{g.l.,\alpha} \sqrt{MS_{Erro} \left(\frac{1}{n_A} \frac{1}{n_B} \right)} \quad (1.34)$$

Esta estatística de teste assenta nos pressupostos da distribuição *t-student*. Quando o número de observações dentro de cada nível, *A* e *B*, é igual, ou seja, $n_A = n_B$, a componente pode ser simplificada, conforme constatado na equação 1.35 [100].

$$\frac{1}{n_A} \frac{1}{n_B} = \frac{1}{n} \quad (1.35)$$

As hipóteses formuladas, são, portanto:

H_0 : Existem diferenças significativas entre os níveis *A* e *B*, para uma significância de α

H_1 : Não existem diferenças significativas entre os níveis *A* e *B*, para uma significância de α

Rejeita-se a hipótese nula, portanto, se a diferença das médias entre os níveis *A* e *B* for superior à menor diferença significativa, LSD. Matematicamente, rejeita-se a hipótese nula, se:

$$|\bar{X}_A - \bar{X}_B| > LSD$$

Associado ao método LSD, surge o método de Bonferrini. Este método centra-se em testes de LSD em que são testadas várias hipóteses nulas, simultaneamente. O método de Bonferrini determina que a probabilidade para a qual não se obtém diferenças significativas

é $(1 - \alpha)^k$, sendo α a significância escolhida, e k o número de testes de hipóteses a serem efetuados [101].

1.12 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Para provar a normalidade das amostras, e conseqüentemente das populações das quais foram extraídas, foi usado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Este é um teste estatístico desenvolvido com o intuito de comparar e determinar o quão bem um conjunto de dados se adapta a uma distribuição cumulativa teórica [102]. O teste Kolmogorov-Smirnov representa uma alternativa ao teste qui-quadrado trazendo vantagens no que toca aos tamanhos da amostra para os quais apresenta resultados válidos [103].

Na prática, este teste não passa de uma comparação entre duas curvas: a dos dados; e a da distribuição cumulativa teórica. O ponto em que se verifica a máxima distância entre ambas, é o parâmetro de teste [104].

O procedimento é simples. Consiste em comparar, por intermédio de uma subtração, o valor teórico da distribuição para a qual se está a realizar o teste, e a amostra a ser testada. O valor pretendido, no entanto, é o absoluto, pelo que se aplica o módulo a esta diferença, conforme descrito na equação 1.36 [103]:

$$|F^*(x_i) - S_N(x_i)| \quad (1.36)$$

O procedimento, módulo de cada diferença é realizada para todos os pontos i . A estatística de teste, D , é o valor máximo obtido através da fórmula 1.36 para todas as instâncias i , ou seja [103]:

$$D = \max_X |F^*(x_i) - S_N(x_i)| \quad (1.37)$$

Este procedimento foi realizado com recurso a *software* de folha de cálculo, apresentando por isso, antes, um tratamento prévio dos dados, consistindo na sua organização ascendente, de modo a que os pares $F^*(x_i)$ e $S_N(x_i)$ correspondessem.[105]

As hipóteses nula e alternativa em consideração são [104]:

H_0 : O conjunto de dados segue a distribuição em comparação

H_1 : O conjunto de dados não segue a distribuição em comparação

Visto que o método de Kolmogorov-Smirnov, neste trabalho, surge como agente comparador de dados com a distribuição normal, é possível reformular, de forma mais específica, as hipóteses:

H_0 : O conjunto de dados segue a distribuição normal

H_1 : O conjunto de dados não segue a distribuição normal

Com recurso às estatísticas de teste e p-value, na tabela 1.21, é possível estabelecer em que casos se rejeita a hipótese nula, para uma significância de 5%:

Tabela 1.21: Condições para rejeitar a hipótese nula admitindo $\alpha = 5\%$

Parâmetro	Condição
p-value	> 0.05
D	$> \chi_{\alpha, a-1}^2$ g.l.

1.13 Remoção de *Outliers*

Cada medição e, conseqüentemente, cada conjunto de dados recolhidos, está sujeito a erros por parte do medidor, ou à influência de fatores externos que, pervertem, de certa forma, a veracidade das medições. Existem pontos que, matematicamente, e graficamente podem ser identificados como desajustados ao conjunto em que se encontram. A esses pontos dá-se o nome de *outliers*. Estes pontos, conseqüentemente, são removidos do conjunto de dados em que se encontram.

Para efetuar esta remoção existem diversas táticas. Talvez, a mais utilizada é o método de Z-Score. O Z-Score é um parâmetro de fácil cálculo, presente na equação 1.38, em que x_i representa o valor obtido na medição i , \bar{x} representa o valor médio das n medições, e s , a variância amostral [asq_outliers].

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (1.38)$$

No entanto, no manual intitulado "How to Detect and Handle Outliers" este método não é descrito positivamente, sendo exposta uma alternativa, consistindo em "Z-score modificados", referidos com nomenclatura M [94]. Os valores de M_i são calculados de acordo com a equação 1.40. No denominador, aparece um parâmetro definido pelo autor, MAD , que não passa da mediana da diferença do valor observado, x_i à mediana da amostra, \tilde{x} , ou seja, a equação 1.39

$$MAD_i = \text{mediana}_i(x_i - \tilde{x}) \quad (1.39)$$

$$M_i = \frac{0.6745(x_i - \tilde{x})}{MAD_i} \quad (1.40)$$

DESCRIÇÃO DO PROCESSO

2.1 Introdução

Primeiramente, existe a necessidade de esclarecer e dar a conhecer conceitos importantes para uma fácil compreensão do documento em mãos.

2.2 Descrição de uma garrafa de gás comprimido

O cilindro de gás é um recipiente cilíndrico, aberto no topo, que tem como propósito o armazenamento de gás, geralmente constituído por aço ou alumínio [106,107]. Inicialmente apenas eram usados metais relacionados com o ferro, tais como o aço e o aço inoxidável. Apenas após o fim da 2ª Guerra Mundial, se começou a usar o alumínio enquanto constituinte de cilindro de gás comprimido [107]. A utilização do alumínio era vista com bons olhos, trazendo vantagens: ao nível da massa do recipiente, 30% menor, em alguns casos; durabilidade química, formando o alumínio a sua própria camada oxidativa, sendo por isso muito menos reativo que o aço, que contém, também, na sua constituição o elemento Fe, bastante reativo [107].

Este recipiente é fechado através da aplicação de uma válvula [108]. São (os recipientes de transporte de gás mais) portáteis e são usados numa grande gama de indústrias e aplicações, bem como em instalações de pesquisa científica e aplicações médicas [109, 110]. A primeira utilização registada dum recipiente semelhante, com os mesmos propósito e função, surge no final do séc. XIX, nos Estados Unidos da América, com a compressão de CO₂ a ser usado na carbonatação de bebidas, portanto, encontrando um papel na indústria alimentar [111]. Em 1896, após a descoberta do acetileno e da sua aplicação na indústria soldadora, regista-se o armazenamento do gás, de forma comprimida, num cilindro. Estes objetos pivotais no armazenamento e consumo de pequena escala de gases adquire, ao longo do tempo, e até aos dias de hoje, maior importância, sendo alvo constante de inovação.

As garrafas são versáteis, surgindo em várias geometrias e tamanhos, podendo, inclusive, armazenar gases liquefeitos, tal como no caso do N₂O, não-liquefeitos, como no caso

do O₂ e dissolvidos, como o caso do acetileno [112].

As garrafas são construídas por diferentes fornecedores e têm, conseqüentemente, diferenças estruturais, tais como: diâmetro e altura do corpo e altura e forma da gola.

Nos dias de hoje, o modelo de negócio de utilização de uma garrafa por parte de um consumidor é através do aluguer da mesma ao fabricante/comerciante da mesma, sendo, posterior e sucessivamente a garrafa vazia trocada por uma cheia, com um custo associado [110].

Atualmente, uma garrafa é constituída por cinco componentes. São eles [110]:

- Corpo
- Gola
- Ogiva
- Válvula
- Válvula de Segurança de Alívio de Pressão

Na figura 2.1, é possível observar parcialmente um cilindro de ar comprimido. Na parte inferior da imagem, observa-se o corpo da garrafa. Quando se inicia a curvatura, na parte superior da mesma, observa-se a ogiva. No fim da ogiva existe a gola, estrutura cilíndrica que antecede a válvula, que se destaca por uma zona lisa e uma zona de rosca. Por fim, tem-se a válvula, estrutura metálica no topo da garrafa.

Adicionalmente, as garrafas são coloridas. A cor do corpo é, em grande medida facultativo e decidido pela empresa que fabrica/comercializa os cilindros. A cor da ogiva, no entanto, é sujeita a legislação, assunto abordado na secção 2.2.1.

Os cilindros são sujeitos a inspeções periódicas, de forma a garantir que reúnem as condições necessárias para circular no mercado.[113] De acordo com o ADR (Acordo Europeu sobre o Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada), os intervalos de inspeção variam conforme o tipo de cilindro e o gás contido[114]:

- **15 anos:** Para cilindros de aço sem costura e cilindros de liga de alumínio, e feixes desses cilindros, com condições específicas.
- **10 anos:** Para gases como ar comprimido, argônio, hélio, hidrogênio, criptônio, neon, nitrogênio, oxigênio, entre outros.
- **5 anos:** Para gases como monóxido de carbono, gás de carvão, flúor, óleo gasoso, óxido nítrico, gases tóxicos e inflamáveis não especificados, entre outros.

As garrafas têm diferentes volumes, compreendidos entre 3 e 50 litros, detalhados na tabela 2.1.

As garrafas, na sua larga maioria, contém gás pressurizado a 200 bar. Com utilização, esta pressão decresce até um nível pré-estabelecido. A partir deste valor, é impossível ao

2.2. DESCRIÇÃO DE UMA GARRAFA DE GÁS COMPRIMIDO



Figura 2.1: Cilindro de ar comprimido equipado com a válvula Taco

Tabela 2.1: Diferentes tamanhos de garrafas existentes

Tamanho (L)	Designação
3	B3
5	B5
7	B7
10/11	B10
13	B13
14/15	B15
20	B20
33	B33
50	B50

utilizador usar mais gás. Esta pressão que permanece no interior da garrafa denomina-se "pressão residual". Esta pressão, maior que a atmosférica, tem o efeito de impedir que gás exterior à garrafa entre na mesma, contaminando-a par futuras utilizações. O valor de pressão residual pode variar de acordo com o tipo de válvula usada, e, para o mesmo tipo de válvulas, é comum existir diferenciais de pressão, nunca sendo um valor fixo. Nas garrafas de oxigénio, por motivos relacionados com a comburência do gás, é usado um anti-rotor.

2.2.1 Ogiva

No topo da garrafa, de forma semiesférica, existe a ogiva, com uma espessura significativamente maior, de forma a acomodar a pressão interna, bem como as gravações externas. Aqui encontra-se informação sobre [106]:

- Especificações do cilindro
- Número de série do cilindro
- Data de fabrico do cilindro
- Marcações de teste hidráulico
- Tara do cilindro

Uma outra fonte de informação, não sobre a garrafa, mas sobre o seu conteúdo está presente na cor com que é pintada a ogiva. Não existe uma normalização mundial (efetuada, por exemplo, pela ISO), mas legislação nacional, ou, no caso europeu, comunitária [110]. Por exemplo, um cilindro contendo o gás CO₂, na União Europeia, mandatoriamente terá que ter o capacete cinzento, com uma lista branca, enquanto que, em países asiáticos, adquire cores diferentes, como bege, na Malásia e verde jade, em Taiwan [115, 116]. Na tabela ?? está presente as cores legisladas de acordo com a norma EN 1089-3 de acordo com as propriedades dos gases.

Tabela 2.2: Cores legisladas ao nível europeu para ogivas de garrafas de ar comprimido, de acordo com a norma EN 1089-3, de acordo com as propriedades

Significado	Cor
Tóxico e/ou Corrosivo	Amarelo
Inflamável	Vermelho
Oxidante	Azul Claro
Inerte	Verde Brilhante
Tóxico (e/ou corrosivo) e inflamável	Amarelo e Vermelho
Tóxico (e/ou corrosivo) e oxidante	Amarelo e Azul Claro

2.2.2 Gola

A gola é uma estrutura cilíndrica, independente, da garrafa e montada *à posteriori*. O propósito da gola é, pura, e simplesmente, providenciar uma zona e um meio de montagem do capacete. Quer seja, com fim em rosca, quer seja apenas em altura, permite a montagem do capacete.

2.2.3 Corpo

O corpo da garrafa é o principal componente do exterior da garrafa, ao nível de área superficial. As suas geometrias variam, de acordo com o volume da garrafa. Ao nível de

volume total ocupado pela estrutura completa da garrafa, o corpo é a zona predominante da garrafa, armazenando maior parte do gás.

2.2.4 Quadros

São um conjunto de uma estrutura exterior metálica que aglomera as garrafas em conjuntos das mesmas. Tem a vantagem de, num artefacto, agrupar a capacidade de múltiplas garrafas, permitindo que o utilizador usufrua do gás no interior das garrafas durante mais tempo, sem ter que realizar qualquer troca.

os quadros são conjuntos de garrafas conectadas por colectores ou ligações entre garrafas com uma ou duas saídas. Na Air Liquide em Portugal existem quadros de garrafas.

Na instalação de CMD, existem dois tipos de envase mais frequente. São eles a garrafa e o quadro. O **quadro** é, nada mais, nada menos, que um conjunto de garrafas numa estrutura metálica, com apenas uma saída de ar. O quadro é, na maioria dos casos, constituído por 16 garrafas, podendo, no entanto, ser constituído, também, por 12, 20 ou 28. As garrafas, ligadas entre si e a uma saída comum, representam uma solução bastante benéfica, permitindo ao cliente ter uma quantidade de gás bastante superior, sem ter que, constantemente, mudar de garrafa. Tem o ponto negativo de ser uma estrutura pesada e grande que necessitará de espaço. Como tal, representa, potencialmente, dificuldades logísticas. Na figura 2.2 é possível observar uma destas estruturas.

2.2.5 Válvula

A válvula é um equipamento de importância extrema no conjunto completo que constitui um cilindro de gás comprimido. É, como visto anteriormente, o equipamento responsável pela contenção de todo o gás pressurizado no interior da garrafa. Por isso, adquire uma importância ainda maior na ótica de segurança de utilização, armazenamento e transporte. A válvula é, por isso, protegida por um capacete, mais alto do que o ponto mais alto da válvula, feitos de metal ou plástico (tipicamente em garrafas mais pequenas, para melhor e mais fácil manuseamento) [108]. A saída de gás é realizada pela "outlet".

Alguns gases encontram-se nas garrafas numa forma liquefeita [106]. Como tal, tendem a depositar-se no fundo da garrafa, sendo necessária a utilização de um tubo prolongador para fazer a recolha do gás e a conexão do fundo da garrafa até à válvula [108]. O prolongador, nas instalações da *Air Liquide* Arruda dos Vinhos, era constituído por ou latão, ou plástico, consoante a gama de produto que a garrafa acomodará. Adicionalmente, para utilizações em que se pretende alternar entre estados do composto (gasoso ou líquido) existem válvulas de via dupla [108].

Adicionalmente, existem vários capacetes e válvulas que são removidos e/ou montados no processo. A **válvula** é um dispositivo metálico, com ou sem manómetro, que permite a saída do gás, de forma segura e controlada. O **capacete** é a estrutura metálica ou plástica que envolve a válvula, garantido proteção em caso de impacto, aumentando a vida útil do aparelho. Atualmente, os tipos de válvula mais usados são 3: Regular, Smartop e Exeltop.

Tabela 2.3: Cores legisladas ao nível europeu para ogivas de garrafas de ar comprimido, de acordo com a norma EN 1089-3, para gases específicos

Gás	Cor
Acetileno	Marrom
Oxigénio	Branco
Óxido Nitroso	Azul
Árgon	Verde Escuro
Azoto	Preto
Dióxido de Carbono	Cinzento
Hélio	Castanho
Ar ou Ar Sintético	Branco e Preto
Oxigénio e Hélio	Branco e Castanho
Oxigénio e Dióxido de Carbono	Branco e Cinzento
Oxigénio e Óxido Nitroso	Branco e Azul



Figura 2.2: Estrutura de um quadro



Figura 2.3: Válvula Regular Figura 2.4: Válvula Smar-Figura 2.5: Válvula Exeltop top

Cada válvula e respetivo capacete representam mais variabilidade no processo, sendo os procedimentos de montagem diferentes para cada capacete.

2.3 Zona 1

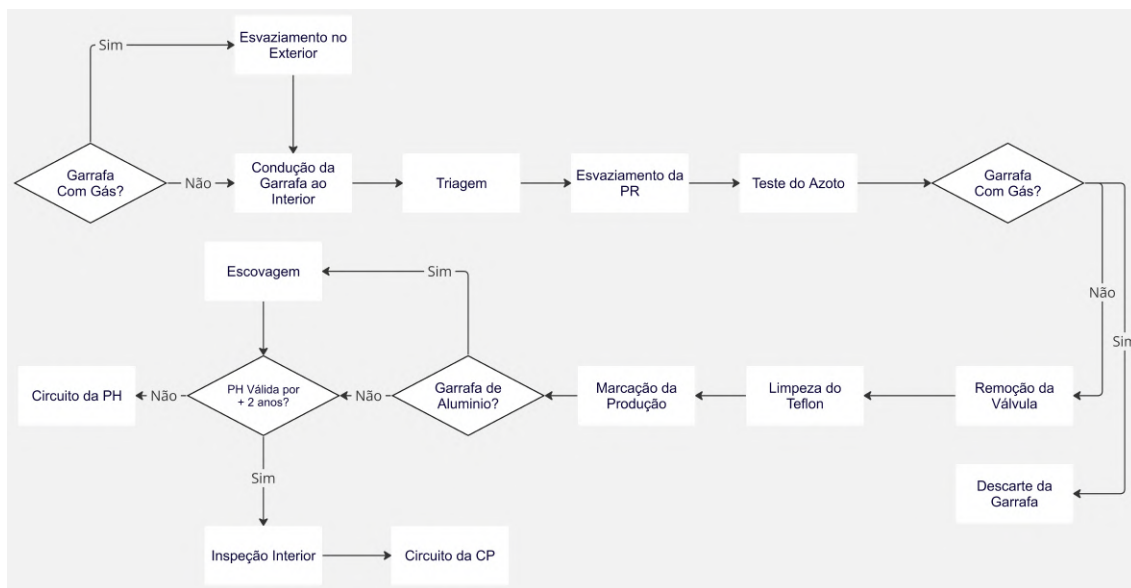


Figura 2.6: Fluxograma das tarefas constituintes da Zona 1

2.3.1 Triagem

Esta é a primeira etapa do processo. As garrafas são entregues ao CMD em cestas, objetos metálicos destinados a armazenar as garrafas. Cada cesto contém até 16 garrafas, de diferentes características, que necessitam ser organizadas (fig. 2.7.) Idealmente, cada garrafa vem vazia, apenas com Pressão Residual. No entanto, com regularidade, as garrafas

são entregues com um conteúdo superior ao expectável. Por esse motivo, as garrafas são conduzidas a uma plataforma onde o operador, de forma elevada, pode realizar, em segurança o despejo das garrafas, no exterior do edifício coberto.

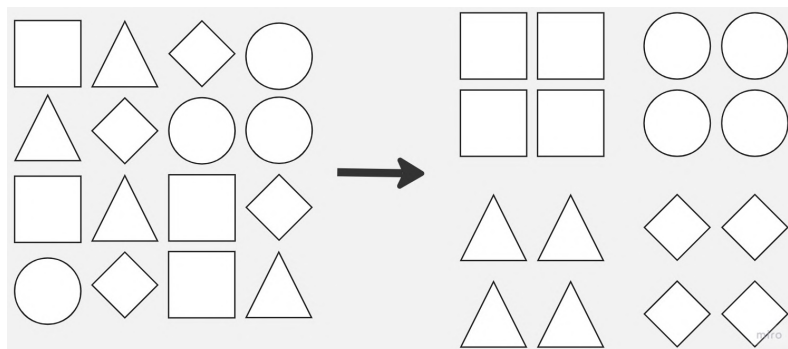


Figura 2.7: Ilustração metafórica da triagem efetuada na zona 1

Finalizada esta tarefa, os cestos são conduzidos ao interior do edifício, onde são inspecionadas por um operador. Enquanto observa as garrafas em procura de eventuais danos críticos, o mesmo acondiciona a garrafa numa ilha, elaborada pelo mesmo, tendo em conta as diferentes necessidades de produção. Este procedimento é repetido as vezes necessárias até que a ilha tenha o tamanho necessário para colmatar as necessidades de produção.

Durante a etapa de Triagem, é realizada também uma inspeção exterior da garrafa, com o objetivo de determinar se a mesma se encontra em condições físicas e materiais de circular durante mais 10 anos. Existe regulamentação interna sobre os níveis tolerados de ferrugem e irregularidades texturais na garrafa. O operador, adicionalmente, tem o dever de remover todos os autocolantes, de forma a perceber se os mesmos não escondem nenhum dano da garrafa. Os defeitos mais comuns que o trabalhador procura encontrar nas garrafas são relacionados com agressões à mesma, tal como marcas de chama direta, presente na figura 2.8 e pingos de soldadura que podem alterar a composição do aço na zona exposta a calor, comprometendo a estrutura e integridade do cilindro. Procura também marcas de corte, exemplificado na figura 2.9 ou danos particularmente graves infligidos por ferrugem. Adicionalmente, danos mecânicos, tais como impactos de grande força, que comprometam a estrutura tridimensional da garrafa, tal como consta na figura 2.10, muitas das vezes originados por transporte impróprio dos cilindros ou até mesmo por quedas de grandes alturas.

2.3.2 Remoção do Capacete e Válvula

Nesta ilha, posteriormente, perante observação da ausência de falhas graves, é removido o capacete. Com recurso a um *raccord*, é removida a Pressão Residual e, ao fim dum determinado tempo, a garrafa encontra-se "vazia", como é observável na figura 2.11. Estes dois últimos passos são realizados sequencialmente, garrafa a garrafa. Estando a Pressão



Figura 2.8: Defeito infligido por ação de chama direta



Figura 2.9: Defeito infligido por ação de corte



Figura 2.10: Defeito infligido por ação de impacto mecânico

Residual removida, o operador conduz a garrafa até ao local apropriado para remoção da válvula. É realizado o teste de Azoto, de forma a garantir que a garrafa efetivamente se encontra "vazia", apenas contendo gás à pressão atmosférica. Verificando-se a ausência de gás na garrafa, existem as condições necessárias para remoção da válvula sem perigos. É, por isso, removida a válvula e limpa a rosca de restos de teflon. A garrafa é conduzida para uma outra ilha, nas imediações da próxima etapa. O processo repete-se com as restantes garrafas.

2.3.3 Escovagem

A escovagem apenas é realizada para garrafas de alumínio. Com recurso a uma câmara giratória e a escovas metálicas com capacidade de realizar movimentos longitudinais, é possível escovar toda a superfície externa da garrafa, limpando-a de autocolantes comerciais e/ou informativos, bem como de camadas excessivas de tinta que poderiam interferir com a nova pintura a ser efetuada. É uma parte importante do processo de manuseamento de garrafas de alumínio que tem funções semelhantes às da graneladora para as garrafas de aço. Este último equipamento, no entanto, apenas é adequado para garrafas de aço, visto que a granalha metálica, com as velocidade e intensidade de projeção, seria capaz de infligir dano nas garrafas constituídas por alumínio, um metal mais "macio".

Na figura 2.6 é possível observar o fluxograma efetuado para o percurso de uma garrafa no circuito da triagem, ou seja, zona 1.



Figura 2.11: Retirada da pressão residual de uma garrafa

2.4 Zona 2

2.4.1 Prova Hidráulica

As garrafas acomodadas na ilha anteriormente mencionada são conduzidas, uma a uma ao banco de prova, presente na figura 2.13. Quando inserida a garrafa num dos locais, o operador liga a mangueira de água correspondente. São conduzidas as restantes garrafas e é repetido o procedimento. Finalizado o enchimento em cada garrafa, é enroscado o flexível, garantido a estanquidade da garrafa. Dá-se início à Prova Hidráulica em que a água é sujeita a pressão pneumática até 300 bar e durante 30 segundos. Após a aprovação do lote de 6 garrafas no teste da Prova Hidráulica, as garrafas, na ogiva, são gravadas com a informação relativa ao teste a que foram sujeitas. Adicionalmente, ainda dentro da câmara de prova, as garrafas são esvaziadas do seu conteúdo em água. O procedimento levado a cabo na instalação obedece à norma ISO 11623:2015. [117].

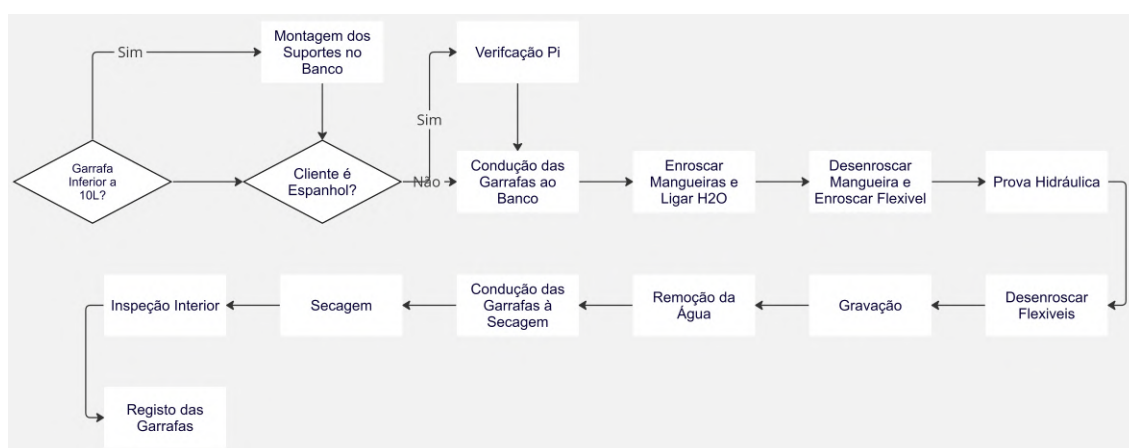


Figura 2.12: Fluxograma das tarefas constituintes da zona 2

Existem, no entanto, outros métodos para a testagem da integridade estrutural das garrafas de gás. Uma das tecnologias em utilização é a testagem através de tecnologia ultrassónica [118]. A tecnologia que emprega ondas ultrassónicas é, na literatura, descrita como uma técnica de inspeção altamente sensível, rápida e económica [119, 120]. É descrito, aliás, como um processo mais rápido que a testagem hidráulica [121]. É possível, também, constatar na literatura, que as ondas Lamb podem ser usadas para inspecionar grandes áreas tanto no plano axial como no circunferencial, tendo a capacidade de identificar defeitos com capacidade de quebrar a superfície, defeitos similares a "fendas", buracos, bem como adelgaçamento da parede, em inglês conhecido como *wall-thinning* [119]. A deteção de tais defeitos prende-se com o padrão de reflexão de tais ondas quando contactam com uma superfície danificada [120]. Adicionalmente a tecnologia que emprega ondas ultrassónicas permite a deteção de corrosão interior na garrafa, servindo, como uma alternativa, também, à inspeção visual ao interior da garrafa [122]. Uma grande vantagem associada à testagem com recurso a US é o facto de não ser necessário proceder à remoção da válvula [120].

Existe, também, documentada na literatura, a utilização de tecnologia de Emissão Acústica, em conjunto com o teste hidráulico convencional. De acordo com o comprimento de onda emitido, em certas zonas da garrafa, é possível inferir sobre o estado interior da garrafa, incluindo ao nível de oxidação da mesma [123].

Esta é uma tecnologia, inclusivamente, já utilizada por um dos concorrentes da Air Liquide no mercado norte-americano, a Linde [124].

2.4.2 Secagem

Passando na prova, as garrafas são encaminhadas para a zona de secagem, onde são também inspecionadas interiormente com recurso a um cabo de fibra ótica que garante a iluminação necessária. A secagem é efetuada durante 10 minutos com recurso a ar atmosférico aquecido a uma temperatura de 160°C, se for de aço, ou 100°C, se for de alumínio.



Figura 2.13: Banco de prova com 6 garrafas

Concluída, a garrafa está pronta para ser acomodada numa outra ilha e direcionada à cadeia de pintura. O banco de secagem está presente na figura 2.14.

2.5 Zona 3

2.5.1 Cadeia de Pintura

A cadeia de pintura é uma estrutura mecanizada. É uma cadeia de transporte onde as garrafas são penduradas verticalmente. São transportadas, com um tempo intervalo temporal de 90 segundos entre deslocação. Nesta cadeia, a garrafa passa pela granuladora, pela pulverizadora de tinta do corpo, pela pulverizadora de tinta do corpo preta, pelo forno e pela pistola de pintura líquida da ogiva até ser recolhida pelo operador. É constituída por 117 posições.



Figura 2.14: Banco de secagem contendo 6 garrafas

Graneladora

A graneladora, ou casa da granalha, tem como objetivo desgastar o exterior da garrafa ao ponto de remover imperfeições, tais como sujeidade ou ferrugem, e restos da tinta anterior. A granalha é um abrasivo de metal que, neste caso, não desgasta em demasia a superfície externa da garrafa, permanecendo a espessura da parede da mesma, inalterada. Este equipamento é constituído por duas posições, sendo que, por isso, a garrafa, dentro do equipamento, passa 180 segundos, ou seja, 3 minutos. Está presente na figura 2.16 uma garrafa após a passagem na graneladora.

Cabine de Pintura de Corpo

A pintura é realizada na cabine de pintura. Existem duas pistolas em funcionamento simultâneo. Estas pistolas são comparáveis a *robots*, ao nível do seu funcionamento. No seu computador estão armazenadas informações relativas aos tamanhos das garrafas para

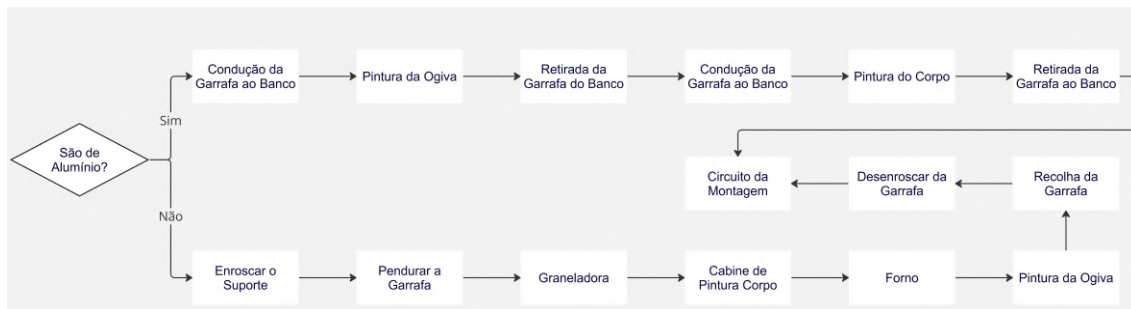


Figura 2.15: Fluxograma da zona 3

que, quando se pinte uma garrafa de tamanho inferior ao de 50 litros, se possa ajustar a amplitude de movimentos da pistola. Assim, este movimento longitudinal é realizado de forma repetitiva. Adicionalmente, no interior da cabine de pintura, nas duas posições abrangidas pelas pistolas de pó mencionadas, existem rotores que permitem realizar rotações completas, de 360°. Assim, é possível garantir pinturas de qualidade, uniformes, sem grandes aglomerados de pintura e escassez da mesma em outras localizações das garrafas. A tinta usada, é na forma de pó, eletrostática. Existem duas pistolas em funcionamento no interior da cabine de pintura, mas, no total, dentro do equipamento existem 4.

Existem diversas cores de corpo de garrafa com que é possível pintar. Como visto anteriormente, na secção 2.2.3, a cor do corpo não é alvo de legislação, sendo, por isso, decidida internamente, com base de motivos comerciais e de identidade de marca. Embora não seja atualmente a realidade mais comum, o grupo *Air Liquide* pintava muitas garrafas de cor preta. Este pó tem uma característica não observável em pós de outras cores. Este pó, quando misturado, ainda que em pequenas quantidades, com outros, produzem escurecimentos na pintura resultante. Assim, as pinturas realizadas não adquiriam a qualidade necessária. Por este motivo, foram implementadas duas cabines de pintura. Uma dedicada à pintura com base em pó preto, de uso exclusivo, e uma outra, para os restantes pós de outras cores. Atualmente, no entanto, o pó preto raramente é usado, sendo a cor azul a mais comum. Como tal, existe uma cabine de pintura a não ser utilizada, representando um desperdício de tempo, sendo constituída por posições que não adquirem qualquer tipo de valor ao processo, antecedendo o forno.

Na figura 2.17 está presente uma figura do exterior da cabine de pintura de corpo.

Forno

O forno opera a uma temperatura não inferior a 100°C. A temperatura estabelecida no painel de controlo, de acordo com a instrução de trabalho, é de 120°C. É constituído por 42 posições. O forno existe de forma a "cozer" a pintura. O fornecimento de energia, sob a forma de calor, une as partículas que constituem o pó, garantindo uma boa aderência ao aço que constitui a parede da garrafa. O forno é operado com recurso a propano.

Após a passagem pela quadragésima segunda posição, a garrafa sai do forno e percorre, várias posições, até chegar à zona seguinte do processo.



Figura 2.16: Garrafa após passagem na graneladora

Pintura da Ogiva

Nesta etapa do processo, a última antes da remoção das garrafas da cadeia, com recurso a tinta de água, é pintada a ogiva da garrafa. É feito com recurso a duas pistolas que cobrem a ogiva na sua plenitude, garantindo uma cobertura total e uma camada de tinta uniforme. Neste caso, as pinturas estão estacionárias, uma por cima da outra. A de cima dispersa a tinta numa orientação diagonal, perpendicular à curvatura da ogiva, e a de baixo, com uma posição horizontal. De forma a garantir que apenas a ogiva é pintada, existe uma barreira horizontal. Na figura 2.18 é possível observar uma foto do processo em curso.

2.5.2 Circuito das garrafas de alumínio

As garrafas de alumínio não podem ser conduzidas ao comboio de pintura utilizado para as garrafas de aço, por motivos previamente explicados. Como tal, são conduzidas a um



Figura 2.17: Exterior da cabine de pintura do corpo

banco de pintura, constituído por 4 *slots*. Este banco é complementado por um sistema de aspiração, de forma a aspirar o máximo de tinta pulverizada possível. O trabalhador conduz o lote de garrafas de alumínio a ser pintado ao banco de pintura. De seguida, elabora a diluição da tinta e o carregamento da mesma na pistola. Conduz as garrafas, em conjuntos de 4 para o banco, pinta-as e conduz de volta para a zona onde se encontravam, na imediação do banco de pintura. Efectua este processo de forma repetitiva, até pintar todos os corpos das garrafas.

De seguida, troca, ou não, dependendo da cor da ogiva, a tinta. Repete o processo descrito anteriormente, mas pintando as ogivas e não os corpos das garrafas. Após pintados os corpos e ogivas das garrafas, efectua a limpeza da pistola utilizada.



Figura 2.18: Pintura da ogiva

2.6 Zona 4

2.6.1 Montagem do Cilindro

Excetuando os casos de garrafas que serão usadas em quadros, todas as garrafas, no fim do processo, recebem um capacete e uma válvula. As garrafas destinadas a quadros não recebem qualquer tipo de capacete e, em vez de uma válvula, recebem um taco.

As garrafas que não serão utilizadas em quadros, sim, receberão válvula e capacete. Para cada válvula existe um capacete específico a ser utilizado, por motivos de compatibilidade. Independentemente, no entanto, de qual a válvula a ser utilizada, o procedimento é análogo. O operário, de antemão, desloca-se ao armazém para recolher as válvulas que usará na montagem. Retirá-las o número necessário de válvulas e revesti-las-á, uma por uma, de Teflon, como observável a figura 2.20. Finalizando esta tarefa, deslocar-se-á ao local onde estão as garrafas em que montará as válvulas. Uma por uma, vai trazê-las para

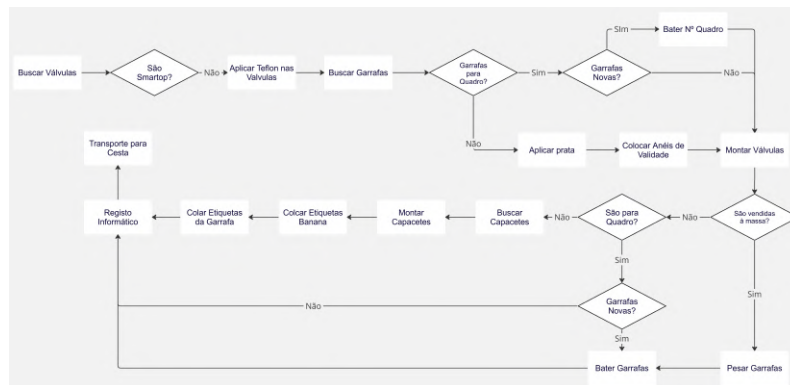


Figura 2.19: Fluxograma da zona 4

as imediações da máquina de montagem de válvulas. Tendo todas na sua proximidade, começará a montagem da válvula, uma por uma. Acomodará as garrafas, uma por uma, numa ilha na sua proximidade. Após a montagem de todas as válvulas, montará os capacetes, de acordo com a Instrução de Trabalho.

Figura 2.20: Válvula com *teflon* aplicado

São colocadas etiquetas identificatórias da válvula e etiqueta banana. Por fim, segue-se o registo dos cilindros nos sistemas informáticos da empresa, e por fim, as garrafas são acomodadas num cesto, prontas a serem transportadas para a estação de enchimento correspondente.



Figura 2.21: Montagem da válvula numa garrafa de 20 litros

Podem ser necessárias realizar outras tarefas, consoante vicissitudes de produção. Se as garrafas se destinarem a ser aplicadas em quadros, não é necessária a montagem de nenhum capacete. Se as garrafas se destinarem a receber gases comercializados à base de massa (por kg), será necessário medir a tara da garrafa com válvula e capacete montados, e marcar esta informação na ogiva da garrafa..

2.7 Zona 5

Na zona 5 são levadas a cabo as tarefas de montagem e desmontagem de quadros. São tarefas realizadas manualmente, pelos trabalhadores desta área, com recurso a equipamentos não classificáveis como máquinas, mas sim ferramentas, tais como chaves de fendas e serras de corte. É constituído por tarefas bastante minuciosas, nunca sendo a sequência ou grau de dificuldade de montagem de um quadro, igual ao anterior.

METODOLOGIA

A metodologia usada para o projeto em mãos foi a DMAIC, já anteriormente abordada, ao nível teórico, na secção 1.5.5.

3.1 Passo 1: Definição

O primeiro passo do ciclo DMAIC corresponde à definição do problema.

Ora, o objeto de estudo é o processo da prova hidráulica no CMD da Arruda. Existiu a necessidade de estudar a fundo o processo e determinar quanto tempo, cada lote, passa na instalação, desde o momento em que é triado, até ao momento em que é enviado para testagem de fugas, na secção de enchimento, adjacente ao CMD.

Foram adicionalmente definidos dois tipos de medições a realizar:

1. Medição de Tarefas - realizada medindo a duração de tarefas individuais, dentro de cada zona;
2. Medição de Lotes - realizada pelos operários, que indicavam o começo e fim de processamento de um lote na sua zona.

O intuito de ter dois tipos de medições diferentes surge pelas duas necessidades do estudo. A medição dos tempos de duração das tarefas permite identificar, dentro de cada zona, as que mais tempo despendem, bem como, mais facilmente, a uma escala mais aproximada, detetar ineficiências. A medição do tempo de processamento do lote, em cada zona, permite adquirir uma visão geral, sendo mais útil na determinação dos tempos de produção de lotes.

3.1.1 Zona 1

A zona 1, conforme anteriormente constatado, é a zona responsável pela triagem, segmentação e ordenamento das garrafas fornecidas ao site. É a zona sujeita ao maior número de variabilidade, manuseando os colaboradores, bastantes garrafas de diferentes tamanhos, materiais, válvulas e capacetes nos mesmos lotes. Como tal, foi decidido que apenas seria realizada a medição à base de ciclos, sendo monitorizados os dados relativos a:

- Tamanho do cilindro
- Material constituinte do cilindro
- Cliente
- Tamanho do lote
- Número de trabalhadores envolvidos

3.1.2 Zona 2

Na zona 2 foram definidas, para serem alvo de medições, as seguintes tarefas:

- 2.01 Rolar garrafas para banco de prova;
- 2.02 Colocar mangueiras, encher a garrafa com água e trocar para flexíveis
- 2.03 Teste hidráulico
- 2.04 Retirar flexíveis
- 2.05 Gravação
- 2.06 Esvaziamento de água da garrafa
- 2.07 Rolar garrafas para fora do banco de prova
- 2.08 Secagem das garrafas¹
- 2.09 Inspeção Interior das Garrafas
- 2.10 Registo informático das garrafas ²

Foram monitorizadas as seguintes variáveis, nesta zona, para o tipo de medições escolhidos:

- Tamanho do cilindro
- Material constituinte do cilindro
- Cliente³

¹Tem um tempo *standard* de 10 minutos

²As tarefas anteriormente listadas, a respeito da Zona 1, são realizadas em conjuntos de 6 garrafas. A tarefa de registo informático de garrafas é realizada com um conjunto muito maior de garrafas, várias dezenas, de forma a melhorar a produtividade

³Apenas impactante na tarefa de "Rolar garrafas para banco de prova" por serem alvo de análise visual ao factor "Pi" nesta fase

3.1.3 Zona 3

A zona 3 diz respeito a todas as tarefas que intermedeiam a última tarefa listada como pertencente à zona 2 e a primeira tarefa listada como pertencente à zona 4. Para garrafas constituídas por aço, é utilizado um comboio elevado, descrito na secção 2.5.1. Para garrafas constituídas por alumínio, o processo é bastante manual, sendo, por isso, adequada a medição à base de tarefas. São elas:

- 3.01 Rolar garrafas para banco de pintura
- 3.02 Pintar corpo das garrafas
- 3.03 Rolar garrafas para fora do banco de pintura
- 3.04 Pintar ogivas das garrafas
- 3.05 Recarregar pistola de pintura com tinta⁴
- 3.06 Pintar ogivas das garrafas com lata de *spray*⁵

Para o circuito de pintura manual, apenas foi monitorizada a variável "Tamanho dos cilindros".

Devido ao facto da cadeia de pintura para garrafas de aço se encontrar automatizado e com periodicidade entre as posições das garrafas, essa será a métrica analisada. Para pesquisa de ineficiências nesta zona do processo foram utilizadas análises empíricas *in situ* à estrutura da cadeia.

3.1.4 Zona 4

Na zona 4 é realizada a montagem das garrafas. Como, de forma geral, foi descrito, anteriormente, este é um processo extremamente manual, compreendendo várias tarefas de diferentes naturezas. Adicionalmente, pelos trabalhadores trabalharem com sub-lotes (quantidade manuseada periodicamente pelos trabalhadores dentro do lote) de maior dimensão, as dimensões, logicamente, acabam por ser também maiores temporalmente. As tarefas contempladas são:

- 4.01 Colocar tinta de prata na garrafa
- 4.02 Rolar garrafas para zona de montagem e colocar rótulos de prova hidráulica
- 4.03 Recolher capacetes
- 4.04 Recolher válvulas

⁴Tarefa não realizada em todas as repetições, mas periodicamente, quando o nível de tinta na pistola é inferior ao necessário

⁵Método alternativo de pintura de ogivas de garrafas, sendo realizado quando se manuseiam lotes pequenos

- 4.05 Aplicar *teflon* nas válvula
- 4.06 Montar válvulas
- 4.07 Colar etiquetas nas garrafas
- 4.08 Colar etiquetas "banana" nas garrafas
- 4.09 Recolher etiquetas "banana"
- 4.10 Montar capacetes
- 4.11 Registo informático das garrafas
- 4.12 Acomodação das garrafas em cestas
- 4.13 Anexar prolongador à válvula ⁶
- 4.14 Cortar prolongador⁷
- 4.15 Medição da massa das garrafas⁸
- 4.16 Marcar o peso das garrafas⁹
- 4.17 Aplicar *spray* cinzento nas garrafas ¹⁰
- 4.18 Preparar válvulas ¹¹

É de notar que, para esta zona, a numeração das tarefas não é realizada pela ordem em que aparecem no processo, mas sim para facilidade de análise realizada com recurso ao *software* Google Sheets.

Na zona 4 foram monitorizadas as seguintes variáveis:

- Tamanho dos cilindros
- Material constituinte dos cilindros
- Válvula montada nos cilindros
- Capacete montado nos cilindros
- Utilização de prolongador ou não, e em caso afirmativo, qual o prolongador

⁶Apenas realizado em garrafas de tamanho menor a 50L, com prolongador constituído por borracha

⁷Apenas realizado em garrafas de tamanho menor a 50L, com prolongador constituído por borracha

⁸Apenas realizada para garrafas de CO₂ e NO

⁹Apenas realizada para garrafas de CO₂ e NO

¹⁰Apenas realizado para garrafas novas e destinadas a quadros

¹¹Tarefa apenas realizada em válvulas destinadas a aplicações medicinais ou alimentares

3.1.5 Zona 5

A zona 5 é a responsável pela montagem dos envases referidos como "quadros". Por serem estruturas que exigem bastantes afinações manuais e ajustes, por vezes realizadas de ordens bastante diferentes, ou seja, sendo de uma natureza bastante complexa, merecendo um estudo estatístico dedicado, não foram realizadas medições.

3.2 Passo 2: Medição

O segundo passo do ciclo DMAIC corresponde ao "*Measure*", ou seja, às medições. É uma etapa extremamente importante, de recolha de dados. As medições foram efetuadas num horizonte temporal de 3 meses, entre abril e junho de 2023, em todas as zonas, tentando, ao máximo, abranger todos os tamanhos de garrafas, todos os tipos de capacete e válvula, bem como os diferentes clientes.

As medições foram realizadas de duas formas:

1. Medição de tempo de "micro-tarefas- Medição *in loco* dos tempos dispendidos por cada operador a realizar certa e determinada tarefa, pelo proponente da dissertação, com recurso a um cronómetro digital e/ou um cronómetro de telemóvel;
2. Medição de tempo de lote - Medição realizada pelo operador, anotando, numa folha de papel, as datas e horas inicial e final de processamento dum certo e determinado número de garrafas.

A lista de tarefas a realizar foi determinada com base em observações empíricas, realizadas, no âmbito do Passo 1 do ciclo DMAIC. As mesmas encontram-se listadas no apêndice ??.

As tipologias de medição escolhidas foram feitas tendo em conta os objetivos propostos. A medição de tempos de micro-tarefas tem como intuito determinar quais os valores médios e variâncias de cada uma das durações das tarefas para os diferentes tamanhos, clientes e/ou capacetes e válvulas. Tem como objetivo evidenciar equipamentos ineficazes e identificar tarefas que, comparativamente a outras alternativas, dispendem demasiado tempo. A medição de tempos de lote é útil para determinar tempos globais de produção, bem como elaborar mapas, tais como o VSM.

3.2.1 Variáveis Consideradas

Existiu a consideração de se realizar um DoE (*Design of Experiments*), mas, devido às necessidades e metas de produção, não foi possível fazê-lo. Assim, as medições realizadas estão sujeitas ao contexto vivido durante a tese, não tendo, nunca, sido feita uma escolha premeditada dos tempos a medir.

Assim, as medições foram realizadas, sempre, tendo em conta o mapa semanal de produção, sendo feita, *on site*, a gestão e decisão das medições a fazer de modo a observar

Tabela 3.1: Listagem das Diferentes Variáveis do Processo

Capacete	Cliente	Material	Prolongador	Válvula
Altop	Sociedade Portuguesa do Ar Líquido (SPAL)	Aço	Sem	Dupla Via
Exeltop	Air Liquide Espanha (ALE)	Alumínio	Borracha	Exeltop
Minitop	Air Liquide Medicinal Portuguesa (ALMP)		Latão	Medicinal
Oyan	Air Liquide Medicinal Espanhola (ALME)			Regular
Regular				Smartop
Scandina				
Takeo				
Tulipa				

o máximo de impactos possível no processo, por cada uma das variáveis listadas na tabela 3.1. Por esse motivo, a quantidade e diversidade das medições realizadas é inferior à desejada, teórica e academicamente. Foram realizadas com recurso a um cronómetro digital de *smartwatch*.

3.3 Passo 3: Análise

O terceiro passo do ciclo DMAIC corresponde ao "*Analyze*", ou sejam, ao processamento, organização e tratamento de dados, de modo a determinar relações de causalidade e evidenciar situações de variabilidade e ineficiências do processo. Esta análise é levada a cabo no capítulo 4. São usados os conceitos referidos anteriormente nas secções 1.13, 1.10, 1.12 e 1.11. É realizada a análise estatística às medições efetuadas, de forma a revelar relações entre as diferentes variáveis independentes e a variável dependente. A análise é de grande importância, permitindo, conseqüentemente, iluminar quais os fatores em que se deve atuar, algo útil na decisão das melhorias a implementar.

O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado em detrimento da ANOVA por motivos previamente constatados. Este teste que apresenta algumas vantagens, também listadas, no entanto, apresenta, também desvantagens. Nomeadamente o facto do teste de Kruskal-Wallis apenas permitir a análise a um fator de cada vez.

Todos estudos estatísticos foram realizados com auxílio do software *Microsoft Excel* e *Google Sheets*. Como tal, as tarefas foram convertidas da sua complexa designação textual em código numérico em formato x.yy, sendo x o número da zona, e yy o número da tarefa dentro da zona.

Para as medições da zona 1 foram considerados o tamanho do lote das garrafas, o número de horas dispendidas e o número de trabalhadores que esteve em contacto com o lote. Assim, obtém-se a métrica de tempo presente na expressão 3.1.

$$\frac{\text{Minutos}}{\text{Trabalhador} \times \text{Garrafa}} \quad (3.1)$$

Para as medições da zona 2 foram considerados os tempos. O banco de prova é constituído por 6 garrafas, pelo que esta é a base de trabalho do trabalhador, estando,

por isso, de raiz, normalizada. O mesmo não acontece para as medições da zona 4. Aqui o tamanho dos lotes altera-se entre tarefas e, muitas vezes, mesmo dentro de tarefas. Como tal, a cada tempo medido, foi realizado o seu quociente com o número de garrafas que foram contempladas nessa medição de tempo, obtendo um resultado de $\frac{\text{Segundos}}{\text{Garrafa}}$. Em ambos casos, apenas um trabalhador realiza as tarefas, pelo que, este fator já vem normalizado de raiz.

Primeiramente, investigou-se sobre o teste de Kolmogorov-Smirnov, com a intenção de inferir sobre a normalidade das amostras recolhidas, de modo a, de forma segura, estatisticamente, empregar uma análise ANOVA. No entanto, tendo sido a ideia abandonada, devido a diferente número de observações entre grupos estatísticos, foi também abandonado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Foi sim, de forma a avaliar significâncias estatísticas, usado o teste de Kruskal-Wallis, já teoricamente introduzido na secção 1.10.

3.3.1 Medição à base de lotes

Foram dadas folhas de papel A4 aos trabalhadores das zonas 1 e 2 com várias colunas a preencher. Na folha da zona 1 o trabalhador preencheu informações relativas a data e hora inicial e final, número de unidades do lote, cliente, volume, número de pessoas que trabalharam no lote e observações extra que o trabalhador achasse necessário fazer. Para a zona 2, na folha de papel, existiam colunas solicitando informações relativas a data e hora inicial e final, cliente, volume dos cilindros e um campo adicional para observações.

Os dados recolhidos nestas folhas foram copiados para uma folha de cálculo do *software* Google Sheets. O tratamento dos dados foi realizado, inicialmente, convertendo as datas e horas iniciais e finais, em deltas, ou seja, nas diferenças horárias brutas entre o início do trabalho num lote e o fim do mesmo. A este número de horas brutas foram subtraídos certos fatores, como se consta na equação 3.2:

$$H_L = H_B - H_R - P_M - P_T + H_E - P_D \quad (3.2)$$

Em que: H_L representa o número de horas líquidas; H_B , o número de horas brutas; H_R , a hora de refeição, quando aplicável (60 minutos); P_M e P_T , a duração da pausa da manhã e da tarde, respetivamente, quando aplicável (30 minutos cada); H_E , a quantidade de horas extra realizadas, quando aplicável e P_D o período de descanso do trabalhador.

O turno é único, começando às 8h, e acabando às 17h. No entanto, os trabalhadores terminam a atividade meia-hora antes, e começam meia-hora depois, de modo a poderem equipar-se, desequipar-se, tratar da higiene, entre outros hábitos, conhecidos e permitidos pela empresa. Assim, é considerado o começo da atividade às 8:30 am e o fim às 4:30 pm, resultando num P_D de 16 horas entre dias úteis. Entre sexta-feira e segunda-feira são acrescentadas 48 horas a P_D . Foram descontados tempos passados em reuniões e formações, constituindo um fator excecional aos supramencionados.

$$T_U = \frac{H_L}{n_G \times n_T} \quad (3.3)$$

Como é visível na equação 3.3, ao valor determinado previamente, de H_L é realizado um quociente com o número de garrafas no lote, n_G e o número de trabalhadores envolvidos, n_T . É assim calculado T_U , o tempo unitário de processamento, por garrafa, por pessoa envolvida para o lote em questão.

Os dados foram, posteriormente agrupados em conjuntos relacionados com os clientes e volumes das garrafas.

As medições decorreram entre Abril e Junho de 2023.

3.3.2 Medição à base de tarefas

As medições realizadas à base de tarefas foram realizadas, como indicado, com recurso a um cronómetro integrado num *smartwatch* digital. Os tempos medidos, em tempo real, foram apontados em folhas de papel, bem como dados relativos a volume, material e cliente das garrafas, para Zona 2, e volume, cliente, válvula, capacete, material da garrafa e tipo de prolongador usado, para Zona 4.

3.3.3 Remoção de Outliers

Como observado anteriormente, na secção 1.13, é aconselhável, e possível de levar a cabo a remoção de *outliers*. Foi utilizado o método enunciado, de z-score modificado.

Para tal, primeiramente, os dados foram agrupados, de acordo com os níveis que cada fator toma. Exemplificando para a tarefa 4.02, na figura 3.1 é possível constatar os valores agrupados, de acordo com o volume e tarefa. Foi usada a função FILTER. Para cálculo da mediana, constante na última coluna, foi usada a função MEDIAN.

V (L)	Tarefa	Valores Finais sem Outliers															Média	DP	z		
5	2.02	183.00	189.00	191.00	177.00	187.00	182.00	184.00	193.00	199.00		184.00							186.90	6.31488	3.913934
10	2.02	248.00	248.00	227.00	228.00	229.00	222.00	244.00	308.00	300.00									250.44	31.9065	20.84522
15	2.02	263.00	211.00	247.00	94.00	124.00	59.00												166.33	85.3127	68.26316
20	2.02		327.00	317.00	312.00	362.00	308.00	313.00	355.00										327.71	21.9371	16.25096
50	2.02	147.00	208.00	410.00	193.00	494.00	207.00	294.00	199.00	306.00	307.00	245.00	373.00	403.00	201.00	301.00	265.00	383.00	290.35	95.9576	45.61452

Figura 3.1: Valores Observados para os diferentes volumes contemplados em medições da tarefa 2.02 bem como as suas medianas (s)

Com recurso ao simples sinal algébrico de subtração é realizada a diferença dos valores observados à mediana calculada anteriormente. Os resultados estão presentes na figura 3.2. Com recurso à função MEDIAN, é realizada a mediana dos valores calculados.

A partir dos dados calculados na tabela 3.2, com recurso a operadores matemáticos é calculado o z-score modificado, de forma concordante com a equação 1.40.

Uma vez determinados quais os valores de z-score modificados, estes, indexados às medições originais, é possível então formular uma nova tabela com os valores determinados como *outliers* removidos, como consta na figura 3.4.

V (L)	Tarefa	Z-Score Modificado																
5	2.02	-0.67	0.34	0.67	-1.69	0.00	-0.84	-0.51	1.01	2.02	22.43	-0.51						
10	2.02	0.17	0.17	-0.72	-0.67	-0.63	-0.93	0.00	2.70	2.36								
15	2.02	0.84	0.38	0.70	-0.65	-0.38	-0.96											
20	2.02	-4.19	0.85	0.14	-0.21	3.34	-0.50	-0.14	2.84									
50	2.02	-1.14	-0.67	0.90	-0.78	1.55	-0.67	0.00	-0.74	0.09	0.10	-0.38	0.61	0.85	-0.72	0.05	-0.22	0.69

Figura 3.2: Diferença absoluta entre os valores da figura 3.1 e as suas medianas, bem como a mediana das diferenças

V (L)	Tarefa	Módulo de (Valores Observados - Mediana)																Mediana	
5	2.02	4.00	2.00	4.00	10.00	0.00	5.00	3.00	6.00	12.00	133.00	3.00							4.00
10	2.02	4.00	4.00	17.00	16.00	15.00	22.00	0.00	64.00	56.00									16.00
15	2.02	95.50	43.50	79.50	73.50	43.50	108.50												76.50
20	2.02	59.00	12.00	2.00	3.00	47.00	7.00	2.00	40.00										9.50
50	2.02	147.00	86.00	116.00	101.00	200.00	87.00	0.00	95.00	12.00	13.00	49.00	79.00	109.00	93.00	7.00	29.00	89.00	87.00

Figura 3.3: Z-scores modificados dos valores averiguados para os diferentes volumes contemplados na tarefa 2.02 (s)

V (L)	Tarefa	Valores Observados																Mediana		
5	2.02	183.00	189.00	191.00	177.00	187.00	182.00	184.00	193.00	199.00	320.00	184.00								187.00
10	2.02	248.00	248.00	227.00	228.00	229.00	222.00	244.00	308.00	300.00										244.00
15	2.02	263.00	211.00	247.00	94.00	124.00	59.00													167.50
20	2.02	256.00	327.00	317.00	312.00	362.00	308.00	313.00	355.00											315.00
50	2.02	147.00	208.00	410.00	193.00	494.00	207.00	294.00	199.00	306.00	307.00	245.00	373.00	403.00	201.00	301.00	265.00	383.00	294.00	

Figura 3.4: Valores corrigidos, sem outliers, para diferentes volumes contemplados em medições da tarefa 2.02, bem como média e desvio-padrão

3.3.4 Teste de Kruskal-Wallis

Para cada tarefa/zona, os dados foram agrupados em tabelas, sendo que em cada coluna está presente a variável independente em estudo. Para o caso da figura 3.5, estão, no cabeçalho os diferentes níveis (volumes) do fator (volume da garrafa) e os valores medidos nas linhas seguintes. O cabeçalho foi efetuado usando as funções UNIQUE, TRANSPOSE e SORT. Os valores foram colocados na tabela usando a função FILTER.

Com recurso à função RANK.AVG foram determinados os *ranks* de cada valor observado na figura 3.5. Os dados resultantes estão presentes na figura 3.6.

Os valores, por coluna, foram somados usando a função SUM, e calculado o seu quadrado. Usando a função COUNT foram determinados os números de observações para cada volume e realizado o quociente mencionado na figura 3.7.

Por fim, foram calculados os parâmetros constantes da figura 3.8.

Aqui, N representa o número total de observações, k o número de níveis do fator, gl o número de graus de liberdade, $k - 1$. H é calculado de acordo com a equação 1.33, previamente mencionada. O p-value é determinado através de $1 - \text{CHISQ.DIST}(H, gl, \text{TRUE})$. Para se determinar o valor crítico da estatística H , é utilizada a função $\text{CHISQ.INV}(\alpha, gl)$.

Valores Medidos (s) para os volumes:				
5	10	15	20	50
183	248	263	327	147
189	248	211	317	208
191	227	247	312	410
177	228	94	308	193
187	229	124	313	494
182	222	59		207
184	244			294
193	300			199
199				306
184				307
				245
				373
				403
				201
				301
				265
				383

Figura 3.5: Tabela de valores medidos para a tarefa 2.03

3.3.5 Teste de Fischer

O teste de Fischer, ou teste de LSD, foi abordado anteriormente na secção 1.11. Primeiramente é realizado, numa tabela, o cálculo da soma das observações para cada nível do fator usando a função SUM ($Y_{i.}$), é determinado o número de observações realizadas, n , com recurso à função COUNT e calculado, na última linha, o parâmetro $\frac{Y_{i.}^2}{n}$. É possível consultar um exemplo na figura 3.9. Na primeira linha da última coluna, é possível constatar a soma de todos os resultados de $Y_{i.}$. O valor é, na prática, $Y_{..} = \sum_{i=1}^a Y_{i.}$. O mesmo raciocínio aplica-se à linha que contém o número de observações efetuadas. Na última coluna, está presente o total de amostras realizadas, ou seja, N

Com recurso às funções IF, AVERAGE e FILTER, é possível construir a tabela presente na figura 3.10. Esta tabela apresenta as diferenças, em cada célula, para os volumes mencionados na coluna e linha em que se insere.

Na figura 3.11 é presente constatar os valores de vários parâmetros calculados. $Y_{..}^2$ é calculado anteriormente, como constatado na figura 3.9, assim como N . y_{ij}^2 é calculado usando a função SUMSQ e SS_T , SS_B , $g_{l_{\text{erro}}}$, SS_{erro} e MS_{erro} de acordo com as fórmulas previamente enunciadas. O parâmetro $t_{\alpha/2;g_{l_{\text{erro}}}}$ é calculado de acordo com a função

Ranks para os valores medidos por volume				
5	10	15	20	50
40	18.5	17	6	43
36	18.5	27	7	28
35	25	20	9	2
42	24	45	10	33.5
37	23	44	8	1
41	26	46		29
38.5	22			15
33.5	14			31.5
31.5				12
38.5				11
				21
				5
				3
				30
				13
				16
				4

Figura 3.6: Ranks calculados usando a função RANK.AVG

	5	10	15	20	50
R	373	171	199	40	298
n	10	8	6	5	17
R²/n	13912.90	3655.13	6600.17	320.00	5223.76

Figura 3.7: Parâmetros úteis ao cálculo da estatística de teste, H

$T.INV.2T(\alpha, gl_{\text{erro}})$. Esta função, embora para testes de duas caudas, mas com o valor de α fornecido permite o cálculo correto da estatística t como confirmado em diversas tabelas da estatística[125].

Com recurso à equação 1.34, é possível calcular os valores das LSD para cada par de volumes, da tarefa 2.03. Os resultados estão presentes, sob a forma de tabela, na figura 3.12

Uma vez tendo as diferenças entre os valores médios e as LSD para cada par de volumes, é possível definir quais interações são significantes, conforme constatado na secção 1.11.

Com base na figura 3.13, é possível, facilmente, identificar quais são as diferenças

N	42
k	5
gl	4
H	38.01
p-value	1.12E-07

Figura 3.8: Parâmetros finais do teste de Kruskal-Wallis

	5	10	15	20	50	SUM
Yi.	1079.00	897.00	373.00	1058.00	1878.00	5285.00
n	13	9	3	8	9	42
Yi.^2/n	89557.00	89401.00	46376.33	139920.50	391876.00	757130.83

Figura 3.9: Tabela contendo parâmetros úteis ao teste de Fischer

	Diferenças entre valores médios				
	5	10	15	20	50
5		16.67	41.33	49.25	125.67
10	16.67		24.67	32.58	109.00
15	41.33	24.67		7.92	84.33
20	49.25	32.58	7.92		76.42
50	125.67	109.00	84.33	76.42	

Figura 3.10: Tabela contendo as diferenças entre os valores médios de duração da tarefa para cada par de volumes de garrafa

significantes entre níveis do fator.

3.4 Passo 4: Melhoria

Para elaborar ou definir sugestões de melhoria, foram tidos em conta artigos de pesquisa científica, páginas *web* de comerciantes de aparelhos relacionados com a atividade desenvolvida pela empresa no *site* de Arruda. Em conjunto com os dados recolhidos, analisados e discutidos propriamente no capítulo 4, são apresentadas diferentes sugestões de melhoria no capítulo 5

3.5 Passo 5: Controlo

O passo de controlo, último da metodologia DMAIC, não foi, no horizonte temporal que abrangeu este trabalho académico, realizado. No capítulo ?? é reconhecida esta ausência, bem como tecidos outros comentários.

Y..2	2.79E+07
N	42
yij2	7.62E+05
SST	9.71E+04
SSB	9.21E+04
gl erro	37
SS erro	5006.17
MS Erro	135.30
t	2.03

Figura 3.11: Tabela contendo resultados úteis ao cálculo da estatística t e a própria

	LSD				
	5	10	15	20	50
5		10.26	15.16	10.63	10.26
10	10.26		15.78	11.50	11.16
15	15.16	15.78		16.02	15.78
20	10.63	11.50	16.02		11.50
50	10.26	11.16	15.78	11.50	

Figura 3.12: Tabela contendo as LSD para cada para de volumes de garrafa

	Significante?				
	5	10	15	20	50
5		SIG	SIG	SIG	SIG
10	SIG		SIG	SIG	SIG
15	SIG	SIG		NON	SIG
20	SIG	SIG	NON		SIG
50	SIG	SIG	SIG	SIG	

Figura 3.13: Matriz relações de significância entre os diferentes volumes em estudo para a tarefa 2.03

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Zona 1

A única zona que foi alvo de medição à base de ciclos foi a Zona 1.

As medições foram realizadas entre os dias 12 de abril e 28 de junho de 2023. Compreenderam cinco tamanhos diferentes de cilindro (5L, 10L, 15L, 20L e 50L), sendo que as garrafas menores que 20L eram constituídas por alumínio. Foram observados e registados, também, quatro clientes diferentes (SPAL, ALE, ALMP e ALME).

A contagem de resultados obtidos está presente na tabela 4.1

Tabela 4.1: Contagem das amostras recolhidas para a análise à base de ciclos na zona 1 para cada volume de cilindro

Volumes	SPAL	ALE	ALMP	ALME	Total
5	2	0	1	0	3
10	1	0	0	0	1
15	1	0	1	0	2
20	6	1	1	1	9
50	38	25	2	2	67
Total	48	26	5	3	82

É de notar, desde já, que é, bastante mais comum, no *site* da Arruda dos Vinhos, o manuseamento de cilindros com dimensão de 50L, constituídos, portanto, por aço, ilustrando a dificuldade de processamento estatístico em mãos.

Dos dados recolhidos, presentes em anexo, é possível, também, inferir, que todas as garrafas de volume inferior a 20L são constituídas por alumínio, havendo, por isso, uma confusão de efeitos.

Nas tabelas 4.2 e 4.3 é possível constatar os diferentes valores médios e desvios-padrão para todas as combinações de volume e cliente de que existem amostras.

Foram realizados testes de Kruskal-Wallis: aos diferentes volumes de garrafa, fixando o cliente em SPAL; e aos diferentes clientes fixando o volume da garrafa em 50L.

Tabela 4.2: Valores médios obtidos para os diferentes volumes e clientes na Zona 1

Volumes	SPAL	ALE	ALMP	ALME
5	2.21		6.25	
10	5.00			
15	16.50		4.29	
20	2.55	1.88	1.90	2.66
50	2.49	2.53	2.25	4.56

Tabela 4.3: Desvios-padrão obtidos para os diferentes volumes e clientes na Zona 1

Volumes	SPAL	ALE	ALMP	ALME
5	0.44			
10				
15				
20	1.41			
50	1.37	1.04	0.67	0.62

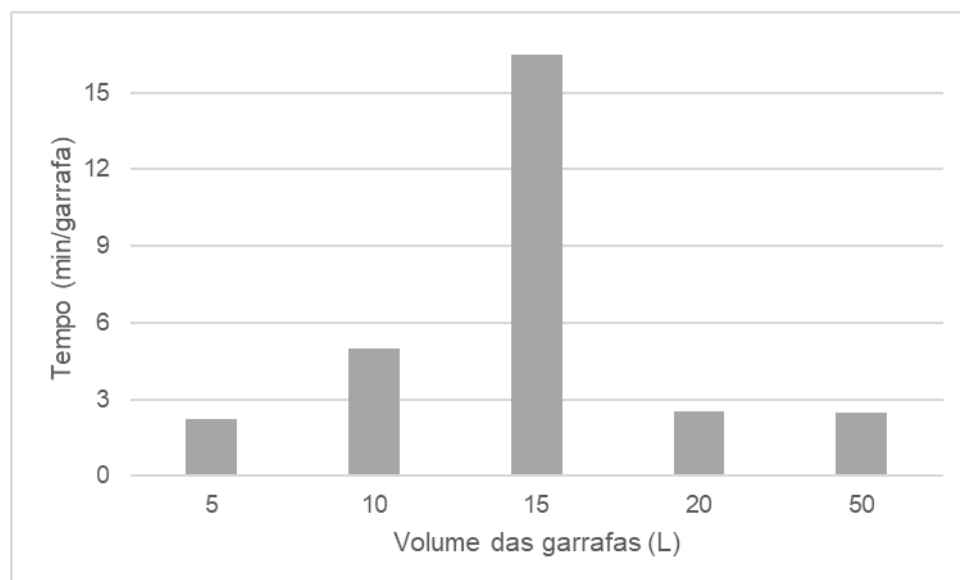


Figura 4.1: Valores médios de tempo para cada volume e cliente SPAL

4.1.1 Cliente SPAL e diferentes volumes em análise

Na figura 4.1 estão presentes os valores médios de tempo despendido por garrafa para cada volume, para cliente SPAL. É possível determinar que para o volume de 15L existe um grande valor médio. No entanto, este valor médio é constituído por apenas uma observação. Como tal, é possível de que se trate de uma anomalia estatística. Excetuando este volume, os restantes apresentam valores médios bastante similares. Na tabela 4.4 estão presentes os intervalos de confiança para $\alpha=0.05$ para os valores médios apresentados.

Como os valores apresentados para as garrafas de 10 e 15 litros apenas são constituídos por uma única amostra, não é possível produzir intervalos de confiança para os mesmos. As garrafas de volume igual a 50 litros apresentam o menor intervalo de confiança devido

Tabela 4.4: Intervalos de Confiança para $\alpha=0.05$ para garrafas de cliente SPAL

Cliente	5	10	15	20	50
SPAL	[1.61,2.82]			[1.42,3.68]	[2.06,2.93]

à sua dimensão de amostra superior que os volumes de 5 e 20 litros.

Os testes foram realizados de acordo com a metodologia anteriormente enunciada.

As hipóteses associadas ao teste estatístico em questão:

H_0 : Não existem diferenças significativas entre os diferentes volumes, para $\alpha = .05$

H_1 : Existem diferenças significativas entre os diferentes volumes, para $\alpha = .05$

Os resultados associados ao teste em questão encontram-se na tabela 4.5.

Como a estatística de teste é inferior ao valor crítico, ou, noutra leitura, o p-value é superior ao nível de significância, não se rejeita a hipótese nula anteriormente enunciada. Assim, estatisticamente, conclui-se que não existem diferenças significativas entre os diferentes volumes de garrafa.

Tabela 4.5: Resultados associados ao Teste de Kruskal-Wallis para Zona 1 e volumes

N	k	gl	H	p-value	Valor crítico
48	5	4	5.215	0.266	9.488

Foi, adicionalmente, elaborado para analisar diferenças estatisticamente significativas, um teste de Fisher, com os parâmetros auxiliares ao cálculo das LSD na tabela 4.6, a matriz das diferenças entre valores médios presentes na tabela 4.7 e as LSD presentes na tabela 4.8.

Tabela 4.6: Resultados associados ao cálculo da estatística t

$Y_{..}^2$	N	y_{ij}^2	SS _T	SS _B	SS _{erro}	gl _{erro}	MS _{erro}	$t_{gl_{erro},\alpha}$
18488.95	48	662.11	276.93	197.12	79.81	43	1.86	2.02

Tabela 4.7: Diferenças entre valores médios para os diferentes volumes e cliente SPAL

	5	10	15	20	50
5		2.79	14.29	0.34	0.28
10	0.77		11.50	2.45	2.51
15	6.16	11.50		13.95	14.01
20	1.98	2.45	13.95		0.06
50	1.27	2.51	14.01	0.06	

Os únicos casos em que se verificam valores de diferença entre médias superiores aos de LSD, são quando se comparam as garrafas de 15 litros com qualquer outra. Este é o único valor para volume que se destaca, estatisticamente dos demais.

Tabela 4.8: LSD para os diferentes volumes e cliente SPAL

	5	10	15	20	50
5		4.58	4.58	3.06	2.72
10	4.58		5.29	4.04	3.79
15	4.58	5.29		4.04	3.79
20	3.06	4.04	4.04		1.64
50	2.72	3.79	3.79	1.64	

4.1.2 Volume de 50L e diferentes clientes em análise

Como é evidente na figura 4.2, os valores médios de garrafas processadas por hora para os clientes SPAL, ALE e ALMP são similares. O cliente ALME apresenta a maior disparidade estatística, contando com uma média, sensivelmente superior em 2 minutos a cada um dos outros clientes. Na tabela 4.9, é possível consultar os intervalos de confiança elaborados para $\alpha=0.05$. Mais uma vez, embora os clientes do ramo medicinal tenham desvios-padrão inferiores, por terem uma amostra menor, resultam em intervalos de confiança maiores.



Figura 4.2: Valores médios de tempo para volume de 50 litros e clientes diferentes

Tabela 4.9: Intervalos de Confiança para $\alpha=0.05$ para garrafas de cliente SPAL

Volume	SPAL	ALE	ALMP	ALME
50	[2.06,2.93]	[2.13,2.94]	[1.32,3.18]	[3.69,5.42]

Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, com os resultados presentes na tabela 4.10. Igualmente ao teste realizado anteriormente, devido a um p-value superior a 0.05, é possível concluir que, para um volume de 50L, os clientes não apresentam uma diferença estatística significativa.

Tabela 4.10: Resultados associados ao Teste de Kruskal-Wallis para os diferentes volumes e cliente SPAL

n	k	gl	H	p-value	Crit Value
67	4	3	4.720	0.193	7.815

Realizou-se, ainda assim, o teste de LSD de forma a perceber se existiria alguma diferença estatisticamente significativa entre os diferentes clientes. De acordo com os valores presentes nas tabelas 4.11 e 4.12, é possível averiguar que não existem diferenças estatísticas entre qualquer cliente para um volume de 50L.

Tabela 4.11: Diferenças entre os valores médios para os diferentes clientes e volume de 50L

	SPAL	ALE	ALMP	ALME
SPAL		0.04	0.24	2.07
ALE	0.04		0.28	2.03
ALMP	0.24	0.28		2.31
ALME	2.07	2.03	2.31	

Tabela 4.12: LSD para os diferentes clientes e volume de 50L

	SPAL	ALE	ALMP	ALME
SPAL		0.79	2.21	2.21
ALE	0.79		2.24	2.24
ALMP	2.21	2.24		3.05
ALME	2.21	2.24	3.05	

4.1.3 Elações Finais

A zona 1 é a zona responsável pela organização do trabalho no site. As garrafas chegam ao *site* da Arruda completamente desorganizadas. Os cestos contêm garrafas de diferentes capacidades, válvulas e até, por vezes, diferentes tamanhos. Esta realidade encontra-se metaforicamente ilustrada na figura 2.7 Este tipo de variabilidade não foi medido no estudo efetuado, mas, empiricamente, é possível observar que tem um grande e significativo impacto na duração do processo. Simultaneamente, foi realizado um *spaghetti map* do processo. Na zona 1, as garrafas percorrem um grande percurso, à mão, desde que são deixadas pela empilhadora, junto do "cais". Ora, conforme visto nos princípios da filosofia *Lean*, um dos tipos de desperdícios que existe é o movimento desnecessário.

4.2 Zona 2

As tarefas medidas foram enunciadas na secção 3.1.2.

Na tabela 4.13 é possível observar um resumo do trabalho efetuado ao nível das medições de tempo, para diferentes tarefas, volumes de garrafa e materiais constituintes de

garrafa. Mais uma vez, as garrafas de volume inferior a 20L, (5L, 10L e 15L) são constituídas por alumínio, e não aço, havendo possível confusão de fatores. Adicionalmente, o fator "cliente" apenas é relevante para a tarefa 2.1, com dados apresentados numa tabela à parte.

Tabela 4.13: Número de observações efetuadas, para cada tarefa e volume, na zona 2

Volumes	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.09	Total
5	9	10	15	13	14	12	7	5	83
10	7	9	9	7	6	9	4	4	55
15	7	6	3	5	6	4	4	3	38
20	6	7	8	7	8	4	5	0	45
50	16	17	9	10	14	14	16	4	100
Total	43	49	44	42	48	43	36	16	321

Nas tabelas 4.14 e 4.15 estão presentes os resultados auferidos para os valores médios e desvios-padrão, de cada tarefa para os diferentes volumes, tendo em conta lotes de 6 garrafas.

Tabela 4.14: Valores médios de duração para as tarefas, em segundos, para 6 garrafas

Volumes	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.09
5	53.89	186.90	83.13	55.69	270.14	112.33	110.43	35.80
10	106.43	250.44	99.67	49.57	282.83	116.89	135.00	40.50
15	136.00	166.33	124.33	61.00	306.67	79.75	107.25	33.50
20	276.17	327.71	132.25	93.29	292.25	95.50	231.00	
50	160.44	290.35	208.67	93.60	306.29	95.71	217.19	99.50

Tabela 4.15: Desvios-padrão para as tarefas, em segundos, para 6 garrafas, na zona 2

Volumes	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.09
5	4.46	6.31	6.51	7.34	16.41	23.73	30.77	18.10
10	34.21	31.91	7.42	4.93	7.44	19.93	5.72	28.92
15	102.78	85.31	3.06	19.69	45.12	4.79	6.65	2.12
20	44.66	21.94	8.84	18.14	95.61	2.52	30.58	
50	86.25	95.96	21.49	22.47	66.60	19.10	100.13	9.11

4.2.1 Análise do impacto dos volumes das garrafas na duração das tarefas da zona 2

Foi repetido o procedimento anteriormente constatado na secção ?? a respeito de remoção de *outliers*, verificação de significância do fator, usando o método de Kruskal-Wallis e verificação de quais os níveis significantes, para cada fator, usando o teste de Fischer. Para propósitos de simplificação, e para evitar um trabalho bastante alongado e repetitivo, os mesmos procedimentos não serão, aqui, replicados com o mesmo nível de detalhe, sendo apenas mencionados os resultados obtidos.

Na tabela 4.16 é possível consultar os resultados obtidos para p-value, para cada tarefa, variando os volumes. É de realçar que em apenas um caso, para a tarefa 2.05, "Gravação",

o p-value supera o valor de α . Como tal, esta tarefa é a única para a qual o volume da garrafa não representa um fator significativo. Para todas as restantes tarefas, é possível concluir que o volume da garrafa representa um fator significativo no tempo que demora a ser processada.

Tabela 4.16: Valores de p-value associado ao teste de Kruskal-Wallis, para cada tarefa variando o volume, na zona 2

Tarefa	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.09
p-value	1.79E-04	8.31E-05	1.12E-07	5.22E-05	6.45E-02	3.08E-03	2.80E-03	3.50E-02

Na tabela 4.17 é possível constatar os resultados para cada teste de Fischer efetuado. Para a tarefa 2.01, "Rolar garrafas para banco de prova"

Na tabela 4.18, é possível observar a contagem de interações significantes entre os diferentes volumes para as tarefas da zona 2.

O tamanho é uma variável explicativa, claramente, no que toca às diferenças de tempos auferidos para as tarefas da zona 2. Existe uma grande semelhança estatística entre as garrafas de 50 e 20 litros, bem como entre as garrafas de 5 e 10 litros. As garrafas de 15 litros são ligeiramente mais semelhantes, estatisticamente, às garrafas de menor dimensão.

4.2.2 Análise do impacto dos clientes na duração da tarefa 2.01

Tendo sido determinado que o volume das garrafas é um fator estatisticamente importante na explicação dos tempos auferidos, é efetuada a análise do impacto do fator "Clientes" na duração da tarefa 2.01. Para efetuar tal valor, foram efetuados 4 testes de Kruskal-Wallis. Todos os volumes, excepto o de 20 litros, tinham pelo menos dois clientes diferentes com tempos auferidos. Assim, foi, para cada volume, verificado se o fator "Cliente" é, ou não, significativo. Nas tabelas 4.19 e 4.20 é possível constatar o esquema de medições efetuado, por volume e cliente, para a tarefa em questão e os resultados dos testes de Kruskal-Wallis efetuados, respetivamente.

De acordo com a tabela 4.20, para os volumes de 10 e 50 litros, os clientes são fatores significantes, estatisticamente. Por terem sido feitas comparações apenas entre dois níveis, não foi necessário realizar um teste de LSD. Nas figuras 4.3 e 4.4 estão presentes representações gráficas ilustratórias da diferença entre níveis.

4.2.3 Elações Finais

Analisando os resultados obtidos para a tarefa 2.01 é possível retirar conclusões. Para esta tarefa, o volume é uma variável estatisticamente significativa. Era um resultado expectável. As garrafas são transportadas, manualmente, do exterior da cabine da Prova Hidráulica, para um dos bancos de prova no interior da mesma. Este transporte é tanto mais difícil quanto mais pesada for a garrafa, visto que mais difícil será de manusear e controlar. Adicionalmente, para garrafas mais pequenas, de 5 e de 10 litros, é possível não rolar as garrafas, mas sim agarrá-las facilitando significantemente o transporte. Adicionalmente,

Tabela 4.17: Resultados dos Testes de Fischer efetuados para as tarefas 2.01 a 2.07

Tarefa	Volume	5	10	15	20	50
2.01	5				SIG	SIG
	10				SIG	SIG
	15				SIG	
	20	SIG	SIG	SIG		SIG
	50	SIG	SIG		SIG	
2.02	5				SIG	SIG
	10			SIG	SIG	
	15		SIG		SIG	SIG
	20	SIG		SIG		
	50	SIG		SIG		
2.03	5		SIG	SIG	SIG	SIG
	10	SIG		SIG	SIG	SIG
	15	SIG	SIG			SIG
	20	SIG	SIG			SIG
	50	SIG	SIG	SIG	SIG	
2.04	5				SIG	SIG
	10				SIG	SIG
	15				SIG	SIG
	20	SIG	SIG	SIG		
	50	SIG	SIG	SIG		
2.05	5			SIG	SIG	SIG
	10			SIG	SIG	SIG
	15	SIG	SIG			
	20	SIG	SIG			
	50	SIG	SIG			
2.06	5			SIG		SIG
	10			SIG		SIG
	15	SIG	SIG			
	20					
	50	SIG	SIG			
2.07	5				SIG	SIG
	10				SIG	
	15				SIG	SIG
	20	SIG	SIG	SIG		
	50	SIG		SIG		

Tabela 4.18: Número de tarefas em que existem interações significantes para cada volume, na zona 2

Volumes	5	10	15	20	50
5		1	2	5	6
10	1		3	5	4
15	2	3		4	4
20	5	4	4		2
50	6	4	4	2	

Tabela 4.19: Número de observações efetuadas, separadas por tamanho e por cliente, para a tarefa 2.01

Cientes	5	10	15	20	50
SPAL	6	6	1	7	10
ALE	0	0	0	0	6
ALMP	0	2	2	0	0
ALME	3	0	3	0	0

Tabela 4.20: Resultados obtidos para os testes de Kruskal-Wallis efetuados a cada um dos tamanhos, variando os clientes, para a tarefa 2.01

Volumes	5	10	15	50
p-value	0.3017	0.0455	0.3041	0.0011

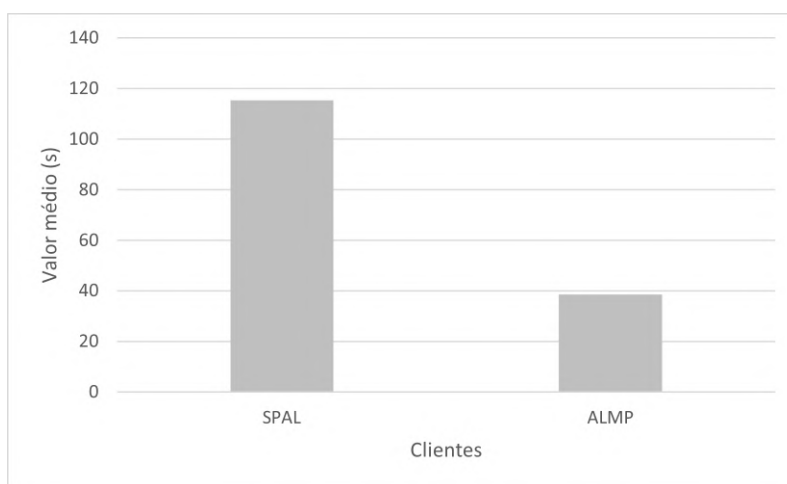


Figura 4.3: Valores médios, para os clientes SPAL e ALMP, volume de 10 litros, da realização da tarefa 2.01

as garrafas de 5, 10 e 15 litros, por terem uma base de menor perímetro, são, muitas vezes armazenadas no interior da cabine de prova previamente ao começo da prova hidráulica da mesma, encurtando, em bastantes metros a distância de transporte e o movimento do trabalhador. É um exemplo de um princípio da filosofia *Lean* a ser inatamente usada pelos trabalhadores, aumentando a eficiência e diminuindo o tempo dedicado a esta tarefa.

Para os testes de Kruskal-Wallis realizados ao fator "Cliente", é possível constatar que quando são comparados os clientes SPAL e ALME, para as garrafas de 10 litros de volume e os clientes SPAL e ALE para as garrafas de 50 litros de volume, se obtém o resultado de parâmetro estatisticamente significativo. Para as garrafas de 10 litros não existe explicação aparente para esta diferença estatística. Para a significância obtida para as garrafas de 50 litros, relaciona-se com o facto de, enquanto rola as garrafas para o banco de prova, o trabalhador ter que verificar se uma garrafa espanhola, reservada para clientes espanhóis, cumpre com a gravação na ogiva, indicando que tem o fator π . Esta é uma tarefa tanto mais demorada quanto menos treinado for o olho do trabalhador. Adicionalmente, existem garrafas cuja marcação não é óbvia, devido ao desgaste sofrido durante a utilização da

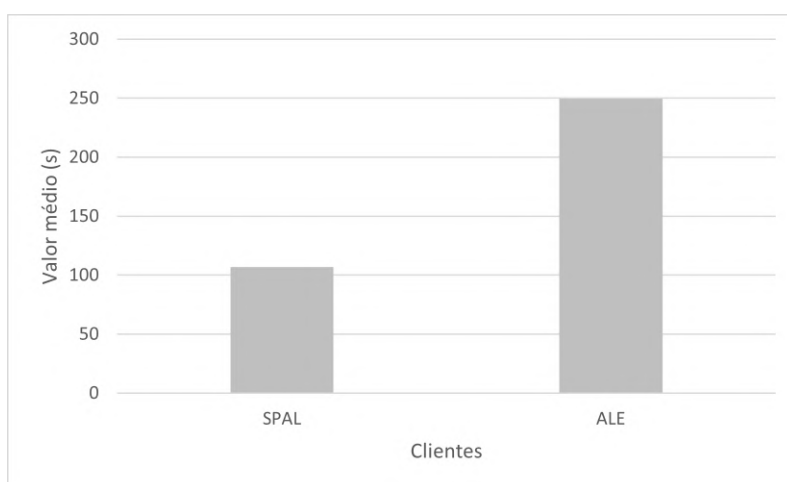


Figura 4.4: Valores médios, para os clientes SPAL e ALE, volume de 50 litros, da realização da tarefa 2.01

mesma, ou até mesmo omissa, tendo que o trabalhador verificar em documentação interna se o cilindro em questão é, ou não "piável".

Analisando os resultados para a tarefa **2.02** é possível determinar que o tamanho representa um fator significativo. Esta tarefa, de "Colocar as mangueiras, encher com água as garrafas e trocar a mangueira para flexível", pode-se dividir em três. Apenas, no entanto, a tarefa intermédia, "Encher as garrafas com água", poderá estar relacionada com o tamanho, sendo que as outras duas, são tarefas que não deverão ser impactadas significativamente pelo volume (e altura) da garrafa). O único impacto observado, devido à alteração da geometria das garrafas é na ergonomia da realização das tarefas. Ora, por outro lado, para um determinado caudal de água a entrar na garrafa, a velocidade do seu enchimento variará inversamente ao seu volume. Este raciocínio é válido, sendo, no entanto, feita uma ressalva: para os volumes de 5, 10 e 15 litros, não existe diferença estatisticamente significativa porque, devido aos seus reduzidos tamanhos, os trabalhadores não colocam a mangueira na potência máxima, de forma a evitar transbordos de água para o chão e espaço de trabalho. Para as garrafas de 20 e 50 litros, não se observa este hábito.

Analisando a tarefa **2.03**, "Prova Hidráulica" é possível constatar que o volume é, também significativo no tempo de duração da mesma. Quando o ar pressurizado exerce força sobre a água no interior da garrafa, visto que esta é impossível de comprimir, exerce força de volta sobre o ar pressurizado por uma bomba no exterior da cabine da prova hidráulica. Como tal, quanto maior o volume de água dentro da garrafa, maior trabalho será necessário efetuar pela bomba, mais tempo demorando a efetuar a pressurização necessária nas paredes das garrafas.

Analisando a tarefa **2.04**, "Tirar flexíveis" é possível constatar que existe uma diferença significativa estatisticamente entre as garrafas de maior dimensão (20 e 50 litros) e as menores. Esta tarefa é uma de relativa simplicidade sem explicação aparente para este

resultado. Não existe movimentação da garrafa e a única ação é o desenroscar da mangueira na garrafa. Esta tarefa é mais difícil, ergonomicamente, que a tarefa de enroscar as mangueiras, pelo que, neste caso, uma posição das garrafas mais baixa, como se sucede com as garrafas menores, facilite a ação de desenroscar, justificando a diferença de cerca de 40 segundos observada.

Analisando a tarefa 2.05, "Gravação", não existe manuseamento ou transporte da garrafa em que o volume possa exercer influência sobre os resultados da medição. Nesta tarefa, a gravação escolhida pelo trabalhador no aparelho, sim, ditará o tempo da mesma. Esta gravação está ligada com o tipo de gama e utilização que a garrafa estará destinada a ter. Por isso, não seria uma tarefa dependente quer dos fatores "cliente", quer do "volume".

Analisando a tarefa 2.06, "Esvaziar a água das garrafas", constata-se que o volume das garrafas é um fator estatisticamente significativo no tempo de duração da mesma. Analisando a tabela 4.14, facilmente se se depara com uma anomalia estatística. As garrafas de menor volume, 5 e 10 litros, são as que maior tempo de duração da tarefa apresentam. Tal facto deve-se à existência de um tubo de ar parcialmente furado num dos dois bancos de prova. As medições relativas a ambos volumes de garrafas foram realizadas neste banco, incrementando o valor das mesmas. O valor esperado seria semelhante ao das garrafas de 15 litros. Isto porque, empiricamente, um observador constatará que, enquanto as garrafas têm o seu conteúdo em água esvaziado, o trabalhador desloca a água que caiu para o chão, para o poço onde é despejada a água. Ora, esta tarefa é mais demorada do que o ato de esvaziar as 6 garrafas para os volumes de 5, 10 e 15 litros. Não é no entanto, para as garrafas de maior volume, 20 e 50 litros, sendo nessa instância, o fator determinante do tempo o esvaziar completo da água das garrafas. É de notar também que as medições realizadas para esta tarefa foram as que mais *outliers* apresentaram. Em lotes de medições não efetuadas apenas no banco de prova com mangueira danificada, as medições impactadas pela mangueira são declaradas como *outliers*, matematicamente.

Analisando a tarefa 2.07, "Rolar as garrafas para fora" observa-se uma significância do fator "volume" na duração da tarefa. O raciocínio é análogo ao da tarefa 2.01. Existe, no entanto, menos uma causa de variabilidade. As garrafas deslocam-se sempre do mesmo sítio (banco de prova) para o mesmo destino (banco de secagem), sendo a distância percorrida relativamente a mesma.

A tarefa 2.08 "Secagem das garrafas" é uma que é realizada de forma standardizada, conforme anteriormente mencionado. A duração é legalmente definida por 600s, quer para garrafas de alumínio, quer para garrafas de aço. É, no entanto, necessário fazer uma ressalva. Muitas das vezes, as garrafas encontram-se "estacionadas" nas imediações da zona de secagem. Não tempo suficiente para enferrujar o interior da garrafa, por ser apenas uma questão de minutos, nem para tornar o trabalhador ineficaz, visto que o mesmo parte para o próximo lote de seis garrafas disponíveis.

A tarefa 2.09, "Inspeção Interior" é realizada após a conclusão da secagem. A inspeção é realizada visualmente pelo trabalhador, com recurso à sua visão e a um cabo de fibra ótica que ilumina o interior da garrafa. O trabalhador percorre, de forma ascendente, o

interior da garrafa com o olho. Quanto maior a altura da garrafa, maior o movimento necessário realizar com a fibra ótica, e, portanto, maior o tempo gasto na realização desta tarefa. Foi realizado um teste de LSD também a esta tarefa, presente na tabela 4.21. Os resultados revelam que a hipótese nula não é rejeitada, ou seja, não existem provas estatísticas suficientes, de acordo com o teste de Fischer, para provar uma significância do fator "volume" na duração da tarefa. No entanto, este resultado deve-se devido ao reduzido número de observações efetuadas. Analisando a tabela 4.14, constata-se que para uma garrafa de 50 litros a duração desta tarefa é, sensivelmente, 3 vezes maior quando comparada com as outras garrafas.

Existem, nomeadamente para os valores medidos para as garrafas de 20 litros, inconsistências estatísticas. Estas, ao nível geométrico e de volume, mais semelhantes às garrafas de 15 litros, no entanto, com recurso aos testes LSD, apresentam maior diferença estatística, sendo, maior parte das vezes, mais semelhante aos cilindros de 50 litros.

Tabela 4.21: Resultados do teste LSD para a tarefa 2.09 variando os volumes das garrafas

Volumes	5	10	15	50
5		NON	NON	NON
10	NON		NON	NON
15	NON	NON		NON
50	NON	NON	NON	NON

4.3 Zona 3

Na zona 3 foram medidos tempos das tarefas relacionadas com as garrafas de alumínio. Estas são menos frequentes que as de aço no *site* de Arruda, pelo que são em menor quantidade. Adicionalmente, apenas foram alvo de medições, garrafas de 10 litros, pelo que não é possível comparar tamanhos. Os valores determinados através das medições constam na tabela 4.22.

Tabela 4.22: Valores médios, desvios-padrão, contagem de amostras e intervalos de confiança 95% para as tarefas da zona 3 (circuito de garrafas de alumínio), por garrafa (s)

Tarefas	3.01	3.02	3.03	3.04	3.06
Valores Médios	9.99	18.05	9.60	9.18	21.04
Desvio-Padrão	2.16	4.77	2.57	2.97	5.64
Contagem de Observações	24	15	21	7	7
I.C. 95%	[9.13,10.85]	[15.64,20.46]	[8.5,10.69]	[6.97,11.38]	[16.86,25.21]

Num trabalho bastante manual, com auxílio de pistolas de pintura, perspetiva-se que, variações no tamanho e volume da garrafa, 5 ou de 15 litros, tragam diferenças ao nível de tempo ao processo. O transporte de cada um dos três tipos de garrafa é realizado de forma semelhante, pelo que, nas tarefas 3.01 e 3.03 não se notariam significantes diferenças. No entanto, uma garrafa maior, ou seja, com maior volume, terá não só uma maior altura, mas

também uma maior circunferência de base, ou seja, no geral, produto de ambas dimensões maiores, uma maior área de superfície. Como tal, mantendo a velocidade de rotação na cabine de pintura manual, de forma a garantir uma boa qualidade de pintura, perspectiva-se que as tarefas de pintura, ou seja, 3.02, 3.04 e 3.06 sejam de maiores durações, tanto maior o volume da garrafa a pintar. Adicionalmente, por mais vezes se terão que fazer pausas para encher a pistola de tinta, gastando-se, com o aumento do tamanho da garrafa, mais tinta por cada aplicação. De forma geral, o processo será tanto mais demorado e ineficiente, quanto maior o volume das garrafas a pintar na cabine de pintura manual. É, por este motivo, que se emprega uma cadeia de pintura automatizada para a maioria das garrafas trabalhadas no *site* de Arruda.

Os cilindros constituídos por aço são direcionados para o comboio de pintura. Este é um processo automatizado com pouca interferência de mão-de-obra humana. Apenas é necessário um trabalhador para carregar e descarregar as garrafas no comboio de transporte de garrafas, bem como, para, ao longo do tempo, verificar o estado de cada etapa do processo, assegurando a qualidade do trabalho efetuado na garrafa. Este comboio, no entanto, apresenta algumas ineficiências. Após as garrafas serem colocadas no comboio, até à graneladora, existem mais de 10 posições. Adicionalmente, no interior do forno, não são necessárias 47 posições, que contabilizam um tempo de permanência de 1 hora e 10 minutos. De acordo com as diversas fichas de especificação, é solicitado, a esta temperatura, tempos em torno dos 20 minutos. Adicionalmente, o número de posições seguintes ao forno é, também excessivo, para propósitos de arrefecimento.

4.4 Zona 4

As medições da zona 4 revelaram-se bastante mais difíceis de efetuar. Enquanto que, por exemplo, na zona 2, apenas se monitorizava 1 variável, o volume, para a grande maioria das tarefas, aqui existe o cenário oposto. Adicionalmente, na zona 2, as bases de trabalho são mais pequenas, 6 garrafas, quando comparadas com as 16 ou até mesmo superiores a 30 vistos na zona 4. Para ilustrar o problema em mãos, recorro a um exemplo mais concreto. Uma garrafa de volume igual a 50 litros, demora, desde que começa a tarefa 2.01 até ao fim da tarefa 2.09, cerca de 34 minutos. Ou seja, neste tempo é possível recolher 9 amostras de tempo diferentes. Para as tarefas da zona 4, não se aplica o mesmo caso. Muitas das vezes, o tempo de montagem apenas dos capacetes é igual ao tempo anteriormente mencionado. Como tal, o número de medições é substancialmente menor. Adicionalmente, por haverem mais variáveis em estudo, existe uma maior segmentação da população, havendo para cada subgrupo, por vezes, amostras de tamanho estatisticamente insuficiente para produzir bons e fiáveis resultados.

Assim sendo, apenas foram sujeitos a análise estatística os resultados das tarefas 4.01, 4.02, 4.05, 4.06, 4.08 e 4.10.

Os dados relativos a amostras, tal como número de observações e média serão expostos nas seguintes secções. Os resultados de p-value e de teste LSD serão expostos na última

Tabela 4.23: Número de observações efetuadas para tarefas da zona 4

Tarefas	Contagem
4.01	13
4.02	31
4.03	6
4.04	2
4.05	22
4.06	52
4.07	7
4.08	10
4.09	1
4.10	10
4.11	6
4.12	3
4.13	3
4.14	1
4.15	2
4.16	3
4.17	3

secção.

4.4.1 Tarefa 4.01

Na tarefa 4.01 pretende-se determinar se o volume da garrafa, e consequentemente a geometria da mesma, nomeadamente a altura, teriam impacto no ato de pincelar a zona da ogiva com tinta prateada. O número de amostras recolhidas, por volume de garrafa, encontra-se presente na tabela 4.24.

Tabela 4.24: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.01

Volumes	20	50
Observações	2	11
Média	6.75	14.91
Desvio-Padrão	3.89	3.34
I.C. 95 %	[1.36,12.14]	[12.94,16.88]

4.4.2 Tarefa 4.02

Na tarefa 4.02, pretende-se determinar se o tamanho é uma variável significativa estatisticamente na duração da tarefa. O número de amostras recolhidas, por volume de garrafa, encontra-se presente na tabela 4.25.

Tabela 4.25: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.02

Volume	20	50
Observações	4	9
Média	10.52	22.16
Desvio-Padrão	2.16	7.89
I.C. 95%	[8.41,12.63]	[17,27.31]

4.4.3 Tarefa 4.05

Na tarefa 4.05, pretende-se determinar se o tamanho é uma variável significativa estatisticamente na duração da tarefa. O número de amostras recolhidas, por volume de garrafa, encontra-se presente na tabela 4.26.

Tabela 4.26: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.05

Volume	DUPLA VIA	EXELTOP	MEDICINAL	MINITOP	REGULAR	TACO
Observações	3	4	4	1	5	5
Média	20.21	17.09	18.21	17.50	13.21	14.50
Desvio-Padrão	2.14	3.86	6.08		0.99	1.96
I.C. 95%	[17.79,22.64]	[13.31,20.87]	[12.26,24.17]	[17.5,17.5]	[12.35,14.08]	[12.78,16.22]

4.4.4 Tarefa 4.06

Na tarefa 4.06 pretende-se estudar a significância de três fatores de variação: "volume", "válvula" e "prolongador".

Para tal foram realizados três testes de Kruskal-Wallis. O primeiro, tendo fixado o volume de 50 litros, e a ausência de prolongador, apenas variando a válvula em utilização, com os dados relativos a estas observações presentes na tabela 4.27. O segundo, fixando o volume da garrafa em 50 litros, apenas variando o tipo ou ausência de prolongador, com dados relativos às observações listados na tabela 4.28. O último teste efetuado foi ao impacto que o "volume" enquanto fator de variação tem na variável dependente com os parâmetros relacionados com estas observações presentes na tabela 4.28.

Tabela 4.27: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando apenas válvulas

Válvulas	EXELTOP	MEDICINAL	REGULAR	SMARTOP	TACO
Observações	9	4	4	4	12
Média	47.57	52.33	50.63	52.83	52.57
Desvio-Padrão	7.40	3.34	3.36	4.11	12.64
I.C. 95%	[42.73,52.4]	[49.06,55.6]	[47.34,53.93]	[48.8,56.86]	[45.42,59.72]

Tabela 4.28: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando válvulas e prolongadores

Prolongador	BORRACHA	LATAO	NAO
Observações	7	2	33
Média	54.52	47.94	50.97
Desv Pad	8.87	2.12	8.78
I.C. 95%	[47.94,61.09]	[45,50.88]	[47.98,53.97]

Tabela 4.29: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.06, variando volumes

Volumes	15	20	50
Média	44.23	49.85	50.45
Desvio-Padrão		15.79	7.59
Observações	1	9	34
I.C. 95%		[39.54,60.17]	[47.9,53]

4.4.5 Tarefa 4.08

Para a tarefa 4.08, como é possível observar na anteriormente constatada tabela 4.23 foram realizadas 10 observações. A tarefa, "Colar Etiquetas Bananas" é uma que *à priori*, não dependerá do volume, e conseqüentemente, da altura da garrafa. Pretende-se analisar a relevância do fator "Capacete". Foi realizado um teste de Kruskal-Wallis tendo em conta os dados relativos às observações presentes na tabela 4.30

Tabela 4.30: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.08, variando capacetes

	EXELTOP	MINITOP	REGULAR	SMARTOP
Observações	1	3	2	4
Média	49.47	16.13	12.65	19.72
Desvio-Padrão		1.44	0.32	10.12
I.C. 95%		[14.49,17.76]	[12.21,13.09]	[9.8,29.63]

4.4.6 Tarefa 4.10

Para a tarefa 4.10, como é possível constatar na tabela 4.23, apenas foram realizadas 10 observações. Destas 10, 7 foram efetuadas com garrafas de 50 litros de volume. Então, 3 medições foram excluídas. Portanto, tendo por base foram analisados o impacto de três capacetes: "Exeltop", "Regular" e "Scandina". Os capacetes "Scandina" e "Regular" foram agrupados, por sugestão do "Market Manager" da Air Liquide Iberia, por serem capacetes "abertos" e, portanto, de mais simples e idêntica montagem.

Tabela 4.31: Número de observações, média, desvio-padrão e intervalos de confiança para tarefa 4.10, variando volumes

	EXELTOP	REGULAR/SCANDINA
Observações	3	4
Média	89.78	37.96
Desvio-Padrão	1.11	4.80
I.C. 95%	[88.53,91.04]	[33.25,42.66]

4.4.7 Restantes tarefas

Os dados relativos às tarefas que não foram alvo de estudo estatístico de significância estão presentes na tabela 4.32.

Tabela 4.32: Valores médios, desvios-padrão, contagem de amostras e intervalos de confiança 95% para as tarefas da zona 4 que não foram alvo de testes de significância

Tarefa	Média	Desvio-Padrão	Observações	I.C. 95%
4.03	10.10	4.61	6	[6.41,13.79]
4.04	7.53	4.63	2	[1.11,13.94]
4.07	11.44	1.81	7	[10.1,12.78]
4.09	1.90	0.57	2	[1.12,2.68]
4.11	57.69	15.47	6	[45.32,70.07]
4.12	19.97	1.13	3	[18.69,21.25]
4.13	25.49	0.38	3	[25.07,25.92]
4.14	17.60		1	
4.15	27.78	3.67	2	[22.7,32.87]
4.16	19.85	0.83	3	[18.92,20.78]
4.17	3.91	2.74	3	[0.81,7.01]
4.18	6.53	1.38	2	[4.61,8.44]

4.4.8 Resultados dos testes de Kruskal-Wallis

Os testes de Kruskal-Wallis resultaram nos seguintes p-values, presentes na tabela 4.33

Tabela 4.33: Resultados dos testes de Kruskal-Wallis efetuados para tarefas na zona 4

Tarefas	p-value
4.01	0.030
4.02	0.001
4.05	0.106
4.06 - Teste 1	0.610
4.06 - Teste 2	0.539
4.06 - Teste 3	0.497
4.08	0.344
4.1	0.034

Apenas três dos testes se revelaram capazes de rejeitar a hipótese nula, ou seja, indicativos de que a variável em análise impacta de forma significativa, estatisticamente, a

variável dependente. Então, conclui-se que as variáveis "volume" e "capacete" têm impacto nas tarefas 4.01 e 4.02 ("volume") e 4.10 ("capacete"). Como para cada uma das variáveis em estudo existiam apenas dois níveis de variação, não foram realizados testes de LSD.

4.4.9 Elações Finais

A zona 4, de montagem é uma bastante marcada pela estaticidade, ou curtos movimentos da garrafa. Começa por ser pincelada com tinta prateada, tarefa **4.01**, no local periférico à cadeia de pintura. Esta ação é impactada, não tanto pelo volume da garrafa, mas pela sua altura, que está diretamente relacionada. Uma garrafa mais alta será um maior obstáculo a transpor. Ora, para garrafas de menor dimensão, é possível ao trabalhador ter uma postura superior, podendo, sem necessitar de ajustar a posição das garrafas, pincelar garrafas acomodadas em filas mais traseiras da ilha em que está acomodada. Ou seja, o trabalhador não pincela as garrafas de forma mais rápida, no ato, mas apenas não necessita de se manobrar, ou às garrafas, para poder pintar todo o lote, sendo por isso mais eficiente, dispendendo menos tempo na tarefa.

A tarefa **4.02** corresponde ao transporte, pelo trabalhador, da garrafa da zona em que se encontrava armazenada, perto da Cadeia de Pintura, para as imediações da máquina de montagem de válvulas. Como já anteriormente discutido para as tarefas 2.01 e 2.07, o volume é um fator significativo, estando diretamente associado à massa da garrafa, e por isso à dificuldade que impõe o seu transporte.

As tarefas **4.03**, **4.04** e **4.09** relacionam-se com o ato de recolher materiais necessários às tarefas. A intenção não foi definir quais são os fatores significantes, mas sim, em média, perceber quanto tempo dispende o trabalhador a fazer esta deslocação que, de acordo com a filosofia *Lean* deve ser o máximo minimizada.

As tarefas **4.05** e **4.06**, "Colocar Teflon nas Válvulas" e "Montar Válvulas" foram escolhidas para ser medidas e testadas de forma a perceber se a válvula a ser manuseada teria um impacto nas medições, ou seja, se haveria alguma válvula que devido à sua geometria, tamanho ou peso sortisse um impacto ergonómico nos trabalhadores, dificultando a tarefa e incrementando os tempos. Em ambos casos, a "válvula" se revelou ser um fator insignificante estatisticamente. Para a tarefa 4.06, no entanto, foram realizados mais dois testes, com o objetivo de estabelecer, ou não, a significância dos fatores "volume" e "prolongador". Ambos testes produziram resultados de insignificância estatística. O resultado sobre o fator "tamanho" pode ser surpreendente à primeira vista. No entanto, para garrafas mais pequenas, o trabalhador encontra-se com uma postura pouco ergonómica, muitas vezes dobrando as costas para poder apertar e desapertar a válvula. Adicionalmente, para as garrafas de dimensão inferior a 20 litros, é necessário utilizar um elevador hidráulico (incorporado na máquina de aperto de válvula), de forma a posicionar a garrafa a uma altura suficiente que consiga contactar com a chave de aperto de válvula. Ora, quer na subida, quer na descida do elevador, cada uma ação realizada uma vez, por cada aperto de válvula, ocupa tempo, inflacionando um valor que poderia ser indiscutivelmente mais baixo. O

fator "prolongador" por si só, nesta tarefa, não produz um resultado de significância. No entanto, previamente à montagem de uma válvula com prolongador, se: for de latão - é necessário enroscar o prolongador à válvula, bem como cortá-lo com recurso a uma ferramenta elétrica de corte¹; se for de borracha - é necessário conectar uma peça metálica ao topo do tubo de borracha, cortar o tubo, para garrafas mais pequenas, e enroscar o conjunto peça metálica e tubo prolongador na válvula. As durações destas tarefas foram medidas totalizando segundos por cada válvula.

A tarefa **4.07**, "Colar Etiquetas na Garrafa" foi medida apenas enquanto tarefas do processo global, servindo como dado para calcular o tempo de produção total nesta zona.

A tarefa **4.08**, "Colar Etiquetas Banana" foi medida, inicialmente, apenas para propósitos de definição de tempos de lote. No entanto, após observações *in situ*, foi possível constatar que, a par das etiquetas banana colocadas na ogiva da garrafa, para as garrafas com válvula e capacete Exeltop, é colocada uma etiqueta adicional, na parte inferior do capacete, contendo instruções de utilização. Após realização do teste de Kruskal-Wallis, revelou-se insignificante estatisticamente. No entanto, foi, ainda assim, efetuada uma análise LSD e determinado que, de longe, o tempo dispendido a colar etiquetas banana nas garrafas Exeltop é maior do que nas demais, como é, desde já, possível observar na tabela **4.4.5**.

A tarefa **4.1**, "Montar Capacete" foi uma das que se conclui ser impactada por um fator de variação, neste caso, o "capacete". É um resultado expectável. Para qualquer observador, é possível constatar que os capacetes fechados, como Exeltop, Minitop e Altop, por serem fechados, têm mais e mais complexos passos de montagem. Os capacetes Scandina e Regular, por serem abertos e de simples montagem, apenas dois simples passos, revelam-se bastante mais rápidos, conferindo assim uma vantagem ao nível de produtividade. No entanto, acarretam o risco de conferirem menos proteção à válvula, que tem a função de proteger, um engenho bastante caro, sendo todo o interesse da empresa maximizar a sua vida útil.

Com recurso à tabela **4.32**, é possível analisar as restantes tarefas. As tarefas **4.11** e **4.13-4.18** foram alvos de medição de modo a se poder determinar os tempos de produção totais de lotes de garrafas.

Em **4.11** é realizado o registo informático da garrafa. Anteriormente, na zona 2, o registo efetuado é realiado apenas para contabilização interna e registo de controlo das provas hidráulicas efetuadas, sendo de relativamente simples preenchimento, incorporando dados relativos à garrafa, nomeadamente fabricante, número de série e data de fabrico, bem como dados relativos à prova hidráulica realizada. Aqui, o registo é de maior complexidade e importância, sendo aqui incorporada toda a informação sobre a garrafa, válvula e cilindro. O trabalhador, com o *software* no computador, percorre, garrafa a garrafa, o percurso, registando informações importantes, tal como o número de série das válvulas, das garrafas, dos capacetes, da prova hidráulica e do tipo de produto e gama que receberá. É uma tarefa demorada, ocupando, em média, 58 segundos do tempo do trabalhador.

¹Esta tarefa é levada a cabo na zona 5 do processo, removendo no processo, uma pessoa da tarefa de montar/desmontar quadros

A tarefa 4.12, de rolar garrafas para o cesto, por motivos de pouca variedade de volumes de garrafas abrangidos, não foi possível ser estudado estatisticamente. Foram realizadas 3 observações apenas de garrafas de 50 litros. Em média, cada garrafa demora cerca de 20 segundos a ser transportada para o cesto. Conta com um desvio-padrão baixo porque, durante as medições, apenas foi utilizado um cais de descarga de garrafas. Existem dois à disposição, com distâncias e percursos diferentes a percorrer, tendo impacto nos valores médio e de desvio-padrão, se contemplados.

As tarefas 4.13 e 4.14 foram já abordadas parcialmente na discussão relativa às tarefas de montar válvula e aplicar *teflon*. Para prolongadores de latão, a sua pré-montagem é realizada na zona 5 do processo, não tendo, por isso, sido contemplada nas medições. Para prolongadores de borracha, o trabalhador despende tempo a anexar o tubo de borracha à peça metálica que mais tarde enroscará na válvula. Desta tarefa, foram realizadas 3 observações, demorando cerca de 25.5 segundos, por cada tubo prolongador. Para garrafas mais pequenas, é necessário que o tubo prolongador fique a uma distancia aceitável do chão da garrafa, pelo que é imperativo realizar o corte do tubo, incrementando tempo ao processo.

As tarefas de Pesar Garrafas e Bater Garrafas, 4.15 e 4.16 são realizadas para garrafas destinadas a receber gases de CO₂ e NO, como visto anteriormente. São tarefas que incrementam tempo de duração ao processo, no entanto não realizadas com grande frequência. Por esse motivo, foram realizadas poucas observações, conseqüentemente não atingindo o rigor estatístico desejado. Ainda assim, foi possível determinar um valor de tempo de duração das tarefas.

A tarefa 4.17 apenas é realizada quando se manuseiam novas garrafas, destinadas a serem usadas em quadros. Consiste em, com uma lata de spray de cor cinzenta, marcar uma elipse pequena no corpo do cilindro.

A tarefa 4.18, de preparar a válvula, apenas realizada para válvulas de aplicação medicinal, consiste em remover as válvulas do invólucro plástico em que estão inseridas e em enroscar uma tampa de plástico própria, para tapar a válvula, de modo a evitar o máximo de contaminação possível, devido à natureza da aplicação da válvula.

4.5 Comentário Final sobre os resultados obtidos

O processo no *site* da Arruda, delimitado pelas operações realizadas entre as Zonas 1 e 5, com exceção da zona 3, da cadeia de pintura, é um processo muito pouco automatizado, com bastante dependência de mão-de-obra humana. Entre o início e o fim das medições, decorreram perto de três meses, entre março e junho. As condições meteorológicas variam significativamente em ambos meses, sendo a temperatura mais elevada no exterior e, conseqüentemente, no local de trabalho. Estando documentado o efeito da meteorologia na produtividade dos trabalhadores, é uma causa de possível aumento de variabilidade [126].

Adicionalmente, o humor ou estado de espírito do trabalhador apresenta uma relação de correlação com a produtividade do mesmo; relação esta, documentada também na literatura, nomeadamente em áreas de psicologia [127]. Este estado de espírito, ou humor, poderá ter várias causas, fora do controlo da organização, bem como dentro do controlo da mesma. É documentado que, quanto maior o número de horas trabalhadas, menor será a produtividade global do trabalhador [128]. Assim, medições efetuadas no fim do dia de trabalho serão piores, aumentando a variabilidade do processo e tarefas.

É também possível constatar, quer pelos resultados analíticos, quer por observações empíricas, quer por leitura da literatura, que o humano é uma grande, descrito até como a "maior", causa de variabilidade de um processo. A consultora Kearney, inclusivé, reporta que 73% dos seus clientes apontam os ser humano como o maior fator de variabilidade [129]. Para trabalhos repetitivos, e seguindo a tendência da indústria, recomenda-se a utilização de robots e linhas automatizadas, conferindo melhores e mais robustos resultados no processo [130]. É imperativo ter sempre presente que a variabilidade é uma propriedade dos sistemas biológicos [131].

Em suma, é-me possível concluir, com base na literatura, em observações empíricas e análise dos dados de medições, que uma grande causa de variabilidade no processo é o ser humano. Adicionalmente, a formação do trabalhador é um fator preponderante, podendo incrementar variabilidade e tempo de duração das tarefas. É o caso das medições efetuadas nas zonas 1 e 2. Na zona 1, o trabalhador estacionário é alguém que conta com várias décadas de experiência, mas que, ao longo dos seus dias de trabalho, tinha de dar formação a colegas mais recentes na sua zona. Adicionalmente, estes colegas, tendo menor experiência, apresentam piores performances, deslocando a média da tarefa e incrementando variabilidade. O mesmo se sucede nas medições da zona 2. Aqui, um trabalhador, com bastantes menos anos de experiência, menor ritmo de trabalho e maior dificuldade de transportar garrafas teve os seus tempos medidos, também. Estes resultados afetam, conseqüente e logicamente, os parâmetros calculados, nomeadamente média e desvio-padrão.

SUGESTÕES E ANÁLISES DE MELHORIA

No presente capítulo são sugeridas, discutidas e priorizadas melhorias para cada zona do processo. Tendo por base o conhecimento resultante das operações empíricas, das descrições estabelecidas no capítulo 2 e da análise de resultados medidos efetuada no capítulo 4, é possível, de forma organizada e fundamentada, sugerir melhorias ao processo.

De acordo com Taguchi - que como já foi visto anteriormente, no capítulo 1, introduziu o conceito de robustez no vocabulário relacionado com a qualidade - a prioridade deverá ser reduzir a variabilidade do processo. Como já visto anteriormente, o ser humano é a maior causa de variabilidade num processo. Assim, é de esperar que, quanto menos contacto houver entre o trabalhador e o processo, menor será a variabilidade pelo mesmo introduzida. Assim, diminuir a duração de uma tarefa, tem o duplo impacto positivo de reduzir a variabilidade bem como a média da mesma.

Uma primeira sugestão, comum a todos o processo, seria a de automatização do mesmo. Seria um avultadíssimo investimento, com um retorno previsível apenas a longo prazo, no entanto já realizado, nomeadamente em estações de enchimento, por concorrentes do grupo Air Liquide, tal como a Linde, em estações na Alemanha, Finlândia e Austrália [132]. Os tempos de produção diminuiriam, bem como as variabilidades de cada tarefa. Tal sugestão de melhoria, no entanto, requiriria um estudo bastante mais exaustivo e aprofundo, a diversos níveis, do que o aqui foi realizado.

Analisar-se-ão nas seguintes secções, sugestões de melhoria para cada uma das cinco zonas do processo.

5.1 Zona 1

Como já anteriormente constatado, a zona 1, nomeadamente em torno da tarefa de Triagem, é a zona mais caótica do processo, havendo uma tremenda quantidade de variabilidade desorganizada.

A primeira sugestão de melhoria almeja organizar os processos subsequentes à zona 1, ou seja, nos diversos centros de enchimento, de onde provém as garrafas no *site* da Arruda. É sugerido que os centros de enchimento, aquando do fim do seu processo de

triagem de garrafas, e perante a determinação de que a garrafa tem que ser sujeita a um circuito de prova hidráulica, ou de apenas manutenção, agrupem as garrafas. Este agrupamento, quanto mais detalhado, melhor. É sugerido o agrupamento com base em três critérios: capacete/válvula, volume da garrafa e tipo de operação a realizar. O impacto desta sugestão de melhoria seria de grande relevância. O processo de triagem seria descentralizado e não efetuado por apenas uma pessoa no *site* da Arruda, mas por várias equipas espalhadas pela Ibéria, em diversos *sites* de enchimento. Mais concretamente, no *site* de Arruda, permitiria aos trabalhadores da Zona 1 não despendem tempo na tarefa de triar garrafas, limitando-se a dirigi-las do cesto para a zona de remoção de capacete e esvaziamento da pressão residual, encurtando a duração do processo. É a melhoria 2.1.

É, adicionalmente, recomendado que se reduzam o número de capacetes/válvulas em utilização. Ainda que um portfólio diverso, alargado, seja atrativo para cada empresa, representa variabilidade acrescentada ao sistema. Uma maior diversidade de capacetes e válvulas trará bastantes encargos à empresa, nomeadamente ao nível de armazenamento necessário, já por si um tipo de desperdício, consoante a filosofia *Lean*. Adicionalmente, maior variabilidade exigirá um maior leque de ferramentas para manusear as garrafas, ao nível de chaves de desmontagem de capacetes e de válvulas. Reduzindo-se o número de níveis diferentes no fator "capacete", é também possível obter uma menor variabilidade dentro de cada cesto que chega ao *site* da Arruda dos Vinhos. É a melhoria 2.2.

De acordo com a filosofia *Lean*, um dos desperdícios a minimizar é o percurso feito pelo material/trabalhador. Neste caso, para a zona 1, é onde existe maior movimento das garrafas. Seria, também, portanto, recomendado, que as garrafas percorressem uma menor distância, do que atualmente é realizado. Traduzindo para uma realidade mais objetiva, a zona onde os cestos são deixados pela empilhadora ficar mais próxima da máquina de desmontagem de válvulas, abandonando as ilhas de armazenamento que hoje existem na zona 1. Recordo que o conceito de armazenamento é bastante satirizado na literatura relacionada com processos industriais e qualidade, sendo apontado como dando uma falsa sensação de segurança, bem como uma máscara para potenciais ineficiências, ocupando também espaço e chão, de forma ineficiente. É a melhoria 2.3.

As medidas sugeridas são conciliáveis, podendo conferir efeitos sinérgicos quando implementadas simultaneamente.

5.2 Zona 2

A zona 2, zona onde decorre o processo de teste hidráulico às garrafas pode ser alvo de várias melhorias, de envergadura e ambição diferentes.

A primeira sugestão de melhoria surge no sentido de substituição do conceito de teste de integridade física e defeitos da garrafa. Sugere-se o abandono do teste hidráulico, em detrimento do teste de ultrassons. Por cada garrafa de 50 litros, atualmente, o trabalhador dispende em média, 5:30 minutos, excluindo o tempo dispendido a registar o lote, como um todo. Numa cadeia de ultrassons, com recurso a automatização, seria possível reduzir a

variabilidade da tarefa, da zona e do processo como um todo, realizar uma mais minuciosa inspeção da garrafa, sem a necessidade de proceder à remoção da válvula, permitindo realizar uma redução de custos relacionados com a aquisição de válvulas, bem como um teste de maior fiabilidade e detalhe, produzindo excelentes resultados ao nível de identificação de ferro oxidado no interior da garrafa. Não é possível, no entanto, determinar, por falta de informação, quanto tempo cada teste demoraria para um cilindro de 50L, não se podendo fazer uma comparação com o valor citado anteriormente para o processo atual. É a melhoria 2.1.

Uma melhoria de menor custo e impacto no processo atual seria a de troca do sistema de mangueiras e flexíveis atuais por um sistema integrado, com capacidade de, pela mesma saída, fornecer a água ao interior do cilindro, numa primeira fase, e o ar, de forma a exercer pressão, numa segunda. Um equipamento que satisfaça este requisito, originará poupanças de tempo ao nível da tarefa 2.02, a de segunda maior duração para as garrafas de 50 litros. É a melhoria 2.2.

Uma outra melhoria com um custo também previsivelmente não significativo será a da troca das pistolas de gravação. Atualmente é usado um equipamento que de forma contínua, "escreve" nas garrafas o conteúdo, à semelhança de uma pistola de tatuagens. Este processo, no entanto pode ser substituído por um método de gravação de impacto, à semelhança do realizado quando se estampa algo, num processo conhecido como "roll marking". Este processo no entanto, exige que o cilindro esteja numa posição horizontal, pelo observado nos recursos *online*. Uma outra alternativa seria a utilização de anilhas, assentes na gola da garrafa, à semelhança das utilizadas na secção de montagem, legais, em detrimento de uma gravação na ogiva do cilindro, diminuindo em muito o tempo de aplicação. Uma máquina tal como a comercializada pela empresa Schmidt [133]. É a melhoria 2.3.

Em diversas ocasiões, ambas câmaras de prova são usadas em simultâneo. Nestas situações, a velocidade de enchimento dos cilindros é menor, aumentando variabilidade e diminuindo o valor médio do processo. De forma a evitar que tal acontecimento se replique é aconselhável aos trabalhadores que ajustem o seu ritmo/ciclo de trabalho para que a tarefa não coincida em ambas câmaras, ou reformular o sistema de canalização, de forma a que cada câmara consiga operar, ao nível de enchimento dos cilindros com água, de forma independente da outra. É a melhoria 2.4.

Adicionalmente, aliado à questão de utilização da água, é sugerido que exista algum tipo de reciclo de um bem que, cada vez mais, ano após ano, escasseia. Com o aumento das temperaturas médias do planeta e, devido às situações de seca observadas em Portugal Continental, de forma repetida anualmente, com a contemplação de racionamento de água para uso urbano, agrícola e industrial, um sistema de reciclo e aproveitamento permite, não só a poupança financeira ao nível de consumo de água, mas também um mecanismo de proteção contra potenciais racionamentos ou falhas de abastecimento de água. É a melhoria 2.5.

Adicionalmente, e para poder alargar a capacidade de teste hidráulico, a última melhoria sugerida incide sobre a bomba e canalização. Será necessário, para poder suportar uma pressão de 450 bar, efetuar a melhoria mencionada. Suportando o sistema esta pressão, então o *site* da Arruda estará capacitado para testar garrafas com capacidade de 300 bar. É a melhoria 2.6.

5.3 Zona 3

Mais uma vez, para a zona 3, no caso do comboio automatizado de pintura, é possível fazer várias sugestões. As sugestões, no entanto, incidem sobre o mesmo: número de posições em excesso no comboio da pintura. Como mencionado na secção ??, existem três localizações do comboio que agem como ineficiências, incrementando o tempo de produção, devido ao número mais elevado de posições que tem que percorrer. Removendo parcialmente posições do forno, removendo as posições associadas à cabine de pintura com pó preto, bem como o encurtamento do percurso entre o forno e zona de pintura de ogivas, reduzir-se-ia, em várias dezenas, o número de posições, bem como o tempo dispendido por cada garrafa nesta etapa do processo. É a melhoria 3.1.

O transporte aéreo realizado pelo comboio automatizado é bastante mais eficiente do que o realizado pelo trabalhador, É, portanto, recomendada a colocação de um segundo elevador de forma a poder retirar as garrafas não na mesma zona onde são colocadas, mas sim, antes, a seguir à zona de pintura da ogiva. Surgiria um duplo efeito positivo. Diminui-se o número de posições na cadeia, bem como a distância percorrida pelo trabalhador com a garrafa, manualmente, visto que a distância até à zona 4 é menor, no imediatamente a seguir à zona de pintura da ogiva. É a melhoria 3.2.

Por fim, uma sugestão de melhoria não incidindo diretamente sobre o equipamento físico presente no *site*, mas sim relativamente a práticas internas. Como abordado anteriormente, na secção 2.2.3, a cor de pintura do corpo não é alvo de legislação na maioria dos casos, sendo, por isso, facultativa a decisão da cor a dar ao corpo do cilindro. Por esse motivo, reinam decisões comerciais com intuito de estabelecimento de marca. Ora, a recomendação surge no sentido de estabelecer uma cor para, sem exceção, utilizar em todas as gamas comerciais, desde que não infringindo com qualquer legislação. Assim, poupar-se-ia tempo ao nível da preparação e/ou troca dos pós fornecidos à cadeia de pintura. Não existe uma poupança de tempo evidente, quando o comboio se encontra a funcionar à semelhança do estado estacionário, mas reduz-se o tempo de inatividade desta zona, aumentando produtividade. É a melhoria 3.3.

5.4 Zona 4

A primeira sugestão de melhoria é a de utilização de válvulas com *teflon* já previamente aplicado. Este tipo de válvulas já é usado para a gama Smartop, por isso, esta sugestão de melhoria limita-se a ser uma extensão de uma decisão de produção tomada para uma

válvula, para toda a gama. A tarefa 4.05, de aplicação de *teflon* na válvula, como visto na secção 4.4.3 é uma em que o tipo de válvula não é significativo, demorando, em média uma válvula, 16 segundos a ter o seu *teflon* aplicado. Como tal, usando estas válvulas sugeridas, poupa-se ao processo 16 segundos, por cada válvula utilizada. Adicionalmente, reduz-se a variabilidade do processo, eliminando-se a realização de uma tarefa. É a melhoria 4.1.

Para a tarefa de montar a válvula, o trabalhador tem que colocar uma chave compatível com o tipo de válvula no braço hidráulico, bem como, após a montagem, retirar esta mesma chave. As chaves são peças robustas e maciças, algo pesadas, causando maior desgaste ao braço do trabalhador, diminuindo, ao fim do turno, as suas eficiência e produtividade, aumentando o valor médio da tarefa, bem como a sua variabilidade. É por isso, necessária uma melhoria para este equipamento. Uma melhoria que incida sobre o conjunto braço hidráulico e chave de válvula. É portanto aconselhado à Air Liquide, que em conjunto com os fornecedores de equipamento para esta área, em conjunto, desenvolvam uma solução que permita chegar a uma maior eficiência de processo. O fabricante L. Ronning tem, no seu catálogo digital, ferramentas denominadas "*Valve Wrenches*"(M131-729-001) em que figura uma peça denominada "*Valve jaw*"(M131-729-002) de simples encaixe no braço hidráulico que, inclusive, não necessita de ser retirado entre utilizações. Existem por isso, já, soluções, ainda que, não personalizadas, no mercado [134, 135]. É a melhoria 4.2.

Como mencionado na secção 4.4.9, as garrafas de menor volume, aquando da montagem de válvulas, necessitam de ser deslocadas de forma ascensoria, por um elevador hidráulico. Este constituinte de tarefa, por existir, implica, por isso maior duração de processo. Mais uma vez, seria aconselhável à Air Liquide, devido à sua preponderante posição no mercado de gás comprimido, a cooperação com os fabricantes de equipamento. Não existe, após pesquisa, uma solução comercializada que confira melhores resultados. O fabricante L. Ronning dispõe de um complemento à máquina de montagem de válvulas, um tapete horizontal onde se podem deslocar os cilindros de menores dimensões (M103-810-000)[136]. No entanto, apenas se deslocaria temporalmente, no horizonte das tarefas da zona 4, a ação de elevar o cilindro, continuando a ter que ser efetuada. Portanto, a sugestão é a de desenvolver uma máquina de montagem e desmontagem de válvulas, com um braço hidráulico de altura (ainda mais) regulável, eliminando a necessidade do elevador. Assim, a garrafa não teria que se deslocar ascensoriamente, mas sim o braço descer, para vir ao encontro da garrafa. É a melhoria 4.3.

5.5 Sistema de Transporte

O transporte na Air Liquide é realizado de duas formas. Com recurso a uma empilhadora a gásóleo, no exterior do armazém e nas zonas externas ao processo e à mão, nas zonas interiores ao processo. Sempre que uma tarefa relacionada com o transporte de cilindros seja analisada, resultará no estabelecimento de uma significância do volume das garrafas na duração da tarefa. É, portanto, algo a mitigar.

A sugestão de melhoria de maior envergadura seria a de, ao longo do trajeto entre duas zonas, haver sempre transporte aéreo de garrafas, com ascensores em cada zona, no início e no fim. Não só o trabalhador poderia ficar liberto da tarefa, dedicando o seu tempo a tarefas mais relevantes, lidando diretamente com o cilindro, com tarefas que acrescentem valor, como se contribuiria para uma semi-automatização do transporte, reduzindo a influência humana no processo, ao nível de desvio-padrão.

Uma outra forma, igualmente ambiciosa, de realizar este transporte, seria através de tapetes rolantes. No entanto, estes, de forma a não descompensar o alto centro de gravidade do cilindro, teriam que circular a velocidades e acelerações reduzidas, não sendo, por ventura o mais eficiente. Adaptações teriam que ser feitas, por ventura, havendo slots específicos, à semelhança de carruagens num comboio, que conseguissem garantir um aperto capaz de reter a garrafa na posição vertical.

Por fim, a sugestão de melhoria menos ambiciosa, a este respeito, e já comercializada no mercado, será a utilização de *trolleys* que, com recurso a uma prensa pneumática permitem o transporte de até 4 cilindros de uma vez, sendo este equipamento de fácil encaixe e desencaixe nos cilindros (M822-272-000) [137]. O equipamento tem a dupla vantagem de: não exigir uma técnica dependente de experiência para transportar cilindros; e de reduzir o número de deslocações necessárias de transportar 4 cilindros do ponto A ao ponto B, de 8 para apenas 2, diminuindo um dos tipos de desperdícios categorizados na filosofia *Lean*, o movimento.

5.6 Matriz de Decisão

Em conjunto com o Eng. Roberto Barata, foi decidido que, de modo a priorizar melhorias, seria efetuado uma matriz de decisão. Os critérios escolhidos foram o desvio-padrão da tarefa, para 1 garrafa, e a duração relativa da tarefa, ou seja, um quociente da duração da tarefa com a duração total do processo para um cilindro de 50 litros, cliente SPAL, capacete e válvulas regulares, e sem prolongador. As melhorias, para as quais é possível indicar, precisamente, o valor médio e desvio-padrão que vão impactuar são os seguintes:

- As melhorias 2.2 e 2.4 têm impacto direto na tarefa 2.02 "Encher as garrafas com água e trocar conectores"
- A melhoria 2.3 tem impacto direto na tarefa 2.05 "Gravação"
- A melhoria 4.1 tem impacto na tarefa 4.05 "Colocar *teflon*"
- As melhorias 4.2 e 4.3 têm impacto na tarefa 4.06 "Montar válvula"
- As melhorias relacionadas com transporte têm impacto nas tarefas 2.01, 2.07, 4.02 e 4.12, "Rolar as garrafas para o banco de prova", "Rolar garrafas para fora do banco de prova", "Rolar garrafas para zona de montagem e colocar rótulos de prova hidráulica" e "Acomodação das garrafas em cestas"

Com essas informações, foi elaborado o gráfico na figura 5.1.

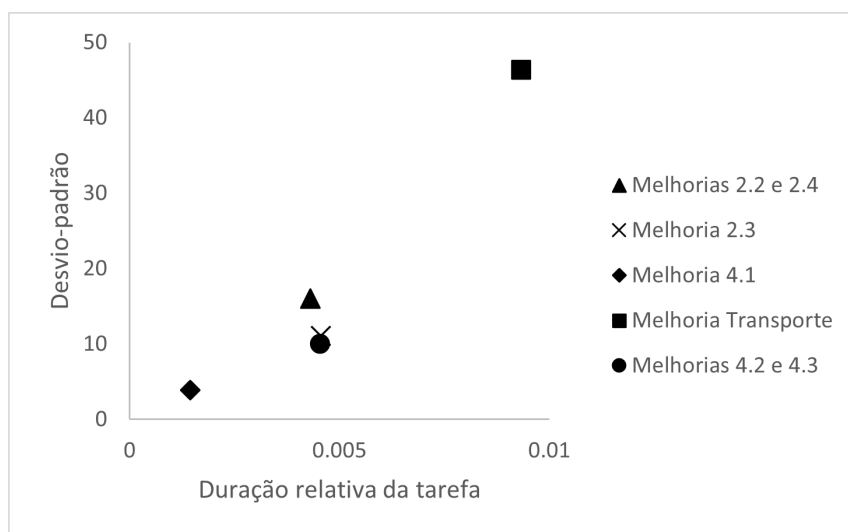


Figura 5.1: Matriz de decisão para as melhorias aplicáveis

Um investimento no sistema de transporte, é portanto, o que mais impacto terá no processo, ao nível de redução de desvio-padrão e duração relativa da tarefa.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

6.1 Conclusões

No presente trabalho acadêmico, no capítulo 1, é realizado um levantamento da literatura a respeito da qualidade, bem como das filosofias que mais marcaram quando associadas a este conceito. São explicadas e mencionadas as ferramentas básicas da qualidade, bem como outras, mais complexas e elaboradas. Adicionalmente, visitam-se testes de hipótese relacionados com a verificação de normalidade de amostras estatísticas, remoção de *outliers*, verificação de significância estatística de um fator e verificação de diferença estatística entre níveis do mesmo fator.

No capítulo 2 é realizada uma descrição do ambiente que rodeou o aluno. São introduzidas as garrafas de ar comprimido, apresentada uma breve história da origem das mesmas, bem como da sua evolução. É dividida nos seus constituintes, sendo cada um elaborado textualmente. Adicionalmente descreve-se o processo em estudo, dividido nas suas 5 zonas, sendo descrito ao maior detalhe possível.

No capítulo 3, é enunciada a metodologia DMAIC e elaborados os seus 5 passos. Sob o primeiro passo "Definição" são definidas os tipos de medição a efetuar: à base de tarefas e à base de lotes; as diferentes variáveis do processo: volume da garrafa, cliente, capacete, válvula, tipo de prolongador e material constituinte da garrafa, bem como os diferentes níveis que cada fator de variação pode tomar. Sob o passo "Medição" são enunciadas as condições que vigoraram na altura das medições, bem como os detalhes anotados relativamente às mesmas. Dentro das variáveis citadas no passo anterior, são especificadas as que foram alvo de medição e estudo. Sob o passo "Análise", é realizada uma exemplificação detalhada do método de análise, indicando qual o *software usado*, Google Sheets, quais as fórmulas usadas, bem como um guia de trabalho com exemplos para diferentes tarefas. Sob o passo "Improve", ou "Melhoria", em língua portuguesa, são enunciados os métodos utilizados para pesquisa e sugestão de melhorias. Este passo encontra-se mais detalhadamente explicitado no capítulo 4. No passo "Control", ou "Controlo" é feito um

pequeno comentário, apenas.

no capítulo 4 são constatados os resultados das medições e subsequentes análises realizadas. Adicionalmente, comentam-se resultados, anomalias estatísticas, relações de significância, bem como explanados os diferentes níveis significantes dentro de cada fator. Com recurso a diferentes ferramentas da qualidade, tais como fluxogramas e histogramas, gráficos de barras e dispersão, é realizada uma tentativa de explicação do comportamento de resultados.

Por fim, no capítulo 5 são sugeridas, para cada zona do processo, impactando diferentes tarefas e incidindo sobre os efeitos de diferentes fatores de variação. Por impossibilidade de averiguação económica do custo e retorno das melhorias, estas apenas são sugeridas, sendo dispostas em matrizes de decisão, sendo os critérios de decisão escolhidos a duração relativa da tarefa, quando comparada com o tempo total de produção, bem como o desvio-padrão da mesma.

6.2 Propostas de Trabalho Futuro

Ao longo do trabalho desenvolvido foram encontradas algumas dificuldades. Entre começo de fevereiro e final de agosto, com um interregno no mês de julho, foi desenvolvido este relatório. Entre o início de abril e o fim de junho, ou seja, 3 meses, foram recolhidos dados relativos a 625 tarefas e 131 lotes. No entanto, devido ao elevado número de variáveis relacionadas com o processo, estas revelam-se insuficientes de modo a produzir resultados estatisticamente precisos.

Na zona 1 foram contempladas muito poucas observações para garrafas de volume inferior a 50 litros, ainda que, incidindo sobre lotes de tamanho elevado.

Na zona 2, existe um comportamento inesperado ao nível de valores medidos relacionados com as garrafas de volume de 20 litros. Estas medições incidiram sobre trabalho desenvolvido por um trabalhador de menor experiência e familiaridade com o processo, sortindo, certamente, efeito no processo.

Ao nível da zona 3, no circuito de pintura manual (de garrafas de alumínio) apenas foram contempladas garrafas de volume de 15 litros, estando omissos dados relativos a garrafas de volume de 5 e 10 litros. Adicionalmente, devido ao elevado grau de automação da cadeia de pintura de garrafas de aço, foi tomada a decisão de não efetuar recolha de medições. No entanto, seria útil, em trabalho futuro, determinar exatamente a quantidade de tempo perdido em cada uma das posições inúteis, bem como a quantidade de dinheiro dispendido em propano a aquecer um forno desnecessariamente grande, com demasiadas posições. Recomenda-se, ainda na zona 3, a recolha de dados relativos ao tempo dispendido a ligar as máquinas no começo do turno, de colocação, retirada e transporte de garrafas, bem como de troca de tintas, quer ao nível de corpo, quer de ogiva.

Na zona 4, recomenda-se o aprofundamento do estudo aqui realizado. Recomenda-se a recolha de mais dados relativos a tarefas, de modo a poder produzir-se resultados com

maior validade estatística, aumentando-se o número de observações para cada tarefa com diferentes níveis de fatores de variação em estudo.

A zona 5, devido à sua extrema complexidade de tarefas, ajustes necessários, bem como natureza manual, foi sacrificada ao nível de recolha de dados temporais. Recomenda-se um estudo estatístico aprofundado a esta relevante zona do processo.

Adicionalmente, sobre as melhorias sugeridas, recomendam-se a pedida de orçamentos e a realização de estudos de viabilidade, custo e retorno económicos, das mesmas.

Devido à recente implementação de garrafas de 300 bar de capacidade, bem como as de validade de prova hidráulica de 15 anos, estas não foram variáveis tidas em conta no estudo estatístico. Recomenda-se um estudo estatístico de modo a trazer luz sobre a realidade destes processos, bem como para esclarecer dúvidas relacionadas com os mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. M. Lourenço. *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. URL: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/master/template.pdf> (ver p. ii).
- [2] V. Moracandin. «Competence Education and Training for Quality». Em: *Total Quality Management and Six Sigma*. Ed. por T. Aized. InTech, 2012, pp. 197–216 (ver pp. 1, 4, 6).
- [3] C.-C. Yang. «The Integration of TQM and Six-Sigma». Em: *Total Quality Management and Six Sigma*. Ed. por T. Aized. InTech, 2012, pp. 217–243 (ver pp. 1, 2, 6, 7, 10).
- [4] T. R. Chandrupatla. *Quality and Reliability in Engineering*. Quality e Reliability in Engineering, 1986. ISBN: 978-0-521-51522-1 (ver pp. 1, 2, 4).
- [5] W. E. Deming. *Out Of The Crisis*. 1^a ed. MIT Press, 2000. ISBN: 978-0-2622-5056-6 (ver pp. 1, 3, 8, 9).
- [6] Juran, *The History of Quality*. 2020-03. URL: <https://www.juran.com/blog/the-history-of-quality/> (acedido em 2023-02-16) (ver pp. 2–4).
- [7] Priberam. 2023. URL: <https://dicionario.priberam.org/qualidade> (acedido em 2023-02-16) (ver p. 2).
- [8] Montgomery, Douglas C. e Woodall, William H. «An Overview of Six Sigma». Em: *International Statistical Review* 76 (3 2008), pp. 329–346. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x> (ver pp. 2, 10, 11, 14, 16–18, 20, 31).
- [9] D. Hoyle. *ISO 9000 Quality Systems Handbook*. 7^a ed. Routledge, 2018. ISBN: 978-1-315-64219-2 (ver p. 2).
- [10] ISO. 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/45481.html> (acedido em 2023-02-16) (ver p. 2).
- [11] Taguchi, Genichi, Chowdhury, Subir e Wu, Yui. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. John Wiley Sons, Inc., 2005. ISBN: 978-0-471-41334-8 (ver pp. 2, 3, 56).
- [12] ASQ. 2023. URL: <https://asq.org/quality-resources/history-of-quality> (acedido em 2023-02-16) (ver pp. 3, 4).

- [13] Goetsch, David L. e Davis, Stanley. *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. 7ª ed. Pearson Education Limited, 2014. ISBN: 978-1-292-02233-8 (ver pp. 4, 6, 8–11, 13, 14, 16, 18, 19, 22–31, 33, 34, 44, 46–48).
- [14] *Sistema Português da Qualidade - SPQ*. URL: https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/48390/mod_scorm/content/0/con04/05con04.htm (acedido em 2023-03-14) (ver p. 4).
- [15] A. V. Feigenbaum. «Total Quality Control. Critical Perspectives on Business and Management». Em: *Operations Management*. Ed. por S. Lewis, A. Michael. 1ª ed. Routledge, 2003, pp. 221–235 (ver pp. 5, 15).
- [16] A. M. Schneiderman. «Optimum Quality Costs and Zero Defects: Are They Contradictory Concepts?» Em: *Quality Progress* 19 (11 1986-11), pp. 28–32 (ver pp. 5, 6).
- [17] W. A. Shewhart. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. D. Van Nostrand Company, Inc., 1931. ISBN: 978-0-873-89076-0 (ver pp. 6, 7).
- [18] Keppel, Geoffrey e Wickens, Thomas D. *Design and Analysis. A Researcher's Handbook*. Pearson, 2004. ISBN: 978-0-135-15941-5 (ver pp. 7, 59, 61, 62).
- [19] Patel, Jagdish e Read, Campbell. *Handbook of The Normal Distribution*. 10ª ed. Marcel Dekker, Inc., 1982. ISBN: 978-0-824-71541-1 (ver pp. 7, 8).
- [20] N. T. Thomopoulos. *Statistical Distributions. Applications and Parameter Estimates*. Springer International Publishing AG, 2017. ISBN: 978-3-319-65112-5 (ver pp. 7, 8).
- [21] Gomes, M. Ivette, Figueiredo, Fernanda e Barão, M. Isabel. *Controlo Estatístico da Qualidade*. 8ª ed. Sociedade Portuguesa de Estatística, 2013 (ver pp. 7, 8).
- [22] *SPC Explained: 2021 Guide*. 2021-07. URL: <https://www.capvidia.com/blog/spc-guide#:~:text=What%20is%20SPC%3F,from%20product%20and%20process%20measurements> (acedido em 2023-02-16) (ver pp. 8, 9).
- [23] Requeijo, José Fernando Gomes e Pereira, Zulema Paula do Perpétuo Socorro Lopes. *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. 2ª. Portugal: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012-01. ISBN: 978-989-97721-0-6 (ver pp. 8, 9, 44, 46, 50, 51, 59–62).
- [24] *5 M'S of Business Management: Key Components an MBA Graduate Must Know*. 2022-07. URL: <https://www.bibs.co.in/blog/5-ms-of-business-management-key-components-an-mba-graduate-must-know> (acedido em 2023-02-16) (ver p. 8).
- [25] D. Naslund. «Lean and six sigma - critical success factors revisited». Em: *International Journal of Quality and Service Sciences* 5 (1 2012), pp. 86–100. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/17566691311316266> (ver pp. 10, 30).
- [26] *What is Total Quality Management (TQM)?* URL: <https://asq.org/quality-resources/total-quality-management> (acedido em 2023-02-21) (ver pp. 10, 13).

- [27] J. S. Oakland. *Total Quality Management and Operational Excellence*. 4ª ed. Routledge, 2014. ISBN: 978-1-315-81572-5 (ver pp. 10, 12, 30, 31, 34–36, 49).
- [28] S. Mohapatra. *Business Process Reengineering, Automation Points in Process Reengineering*. 1ª ed. Spring, 2013. ISBN: 978-1-461-46067-1 (ver pp. 10, 12, 14, 15, 34–40, 42, 43).
- [29] Dahlgaard, Jens J., Kristensen, Kai e Kanji, Gopal K. *Fundamentals of Total Quality Management*. 3ª ed. Taylor Francis, 2007. ISBN: 978-0-203-93002-9 (ver pp. 12, 13).
- [30] W. Edwards Deming's 14 Points For Total Quality Management. URL: <https://asq.org/quality-resources/total-quality-management/deming-points> (acedido em 2023-02-21) (ver p. 12).
- [31] W. Edwards Deming. URL: <https://asq.org/about-asq/honorary-members/deming> (acedido em 2023-02-21) (ver p. 12).
- [32] Philip Crosby. URL: <https://www.bl.uk/people/philip-crosby#:~:text=The%20definition%20of%20quality%20is%2C%20the%20price%20of%20non%20conformance>. (acedido em 2023-02-22) (ver p. 13).
- [33] Philip Crosby. URL: <https://asq.org/about-asq/honorary-members/crosby> (acedido em 2023-02-22) (ver p. 13).
- [34] T. Helsing. *What is Six Sigma?* 2014-11. URL: <https://sixsigmastudyguide.com/what-is-six-sigma/> (acedido em 2023-02-17) (ver pp. 14, 16, 17, 19).
- [35] Tjahjono, B. et al. «Six Sigma: a literature review». Em: *International Journal of Lean Six Sigma* 1.3 (2010), pp. 216–233. DOI: [10.1108/20401461011075017](https://doi.org/10.1108/20401461011075017) (ver pp. 16, 20).
- [36] Yadav, Gunjan e Desai, Tushar. «Lean Six Sigma: a categorized review of the literature». Em: *International Journal of Lean Six Sigma* 7 (2016-03), pp. 2–24. DOI: [10.1108/IJLSS-05-2015-0015](https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2015-0015) (ver p. 16).
- [37] Y. P. Freund. «Critical success factors». Em: *Planning Review* 16 (4 1988), pp. 20–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/eb054225> (ver p. 21).
- [38] D. Näslund. «Lean, six sigma and lean six sigma: fads or real process improvement methods?». Em: *Process Management Journal* 14 (2008), pp. 269–287. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/14637150810876634> (ver p. 21).
- [39] A. Brun. «Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies». Em: *International Journal of Production Economics* 131 (2010-05), pp. 158–164. DOI: [10.1016/j.ijpe.2010.05.008](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.05.008) (ver p. 21).
- [40] Albliwi, Saja, Antony, Jiju e Lim, Sarina. «Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review». Em: *International Journal of Quality Reliability Management* 31 (9 2014), pp. 1012–1030. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-09-2013-0147> (ver p. 22).

- [41] Brunet, Adam e New, Steve. «Kaizen in Japan: an empirical study». Em: *International Journal of Operations Production Management* 23.12 (2003), pp. 1426–1446. DOI: [10.1108/01443570310506704](https://doi.org/10.1108/01443570310506704) (ver p. 22).
- [42] Costa, Marcelina e Gianei, Mariana. «Identificando problemas de rotatividade de pessoal através de ferramentas da qualidade». Em: *Colloquium Socialis* 3.2 (2019-04), pp. 15–23. DOI: [10.5747/cs.2019.v3.n2.s068](https://doi.org/10.5747/cs.2019.v3.n2.s068) (ver p. 24).
- [43] L. Wilson. *How To Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-0-071-62508-1 (ver pp. 25, 27, 29, 30, 33).
- [44] Taghipour, Atour, Hoang, Phuong e Cao, Xue. «Just in Time/Lean Purchasing Approach: An Investigation for Research and Applications». Em: *Journal of Advanced Management Science* (2019-01), pp. 43–48. DOI: [10.18178/joams.8.2.43-48](https://doi.org/10.18178/joams.8.2.43-48) (ver p. 26).
- [45] *History of Kanban*. 2020-02. URL: <https://kanbantool.com/kanban-guide/kanban-history> (acedido em 2023-02-27) (ver p. 27).
- [46] W. M. Feld. *Lean Manufacturing. Tools, Techniques, and How To Use Them*. 10ª ed. St. Lucie Press/APICS, 2001. ISBN: 978-1-574-44297-X (ver pp. 27, 30, 52).
- [47] Sundar, R., Balaji, A.N. e Salteesh Kumar, R.M. «A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques». Em: *Procedia Engineering* 97 (2014), pp. 1875–1885. DOI: [10.1016/j.proeng.2014.12.341](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341) (ver pp. 27–31).
- [48] J. Sangwan. «Lean manufacturing: literature review and resarch issues». Em: *International Journal of Operations Production Management* 34 (7 2014), pp. 876–940. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315> (ver pp. 28, 30).
- [49] Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K. e Jambekar, A. B. «Classification scheme for lean manufacturing tools». Em: *International Journal of Prodcution Research* 41 (13 2010), pp. 3075–3090. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0020754021000049817> (ver pp. 28, 32, 33).
- [50] *What Is Lean?* URL: <https://asq.org/quality-resources/lean> (acedido em 2023-02-22) (ver p. 28).
- [51] Pyzdek, Thomas e Keller, Paul. *The Six Sigma Handbook. A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. 3ª ed. McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-0-071-62337-7 (ver p. 30).
- [52] *Steps to Powerful Value Stream Mapping*. 2019-10. URL: <https://www.projectengineer.net/steps-to-powerful-value-stream-mapping/> (acedido em 2023-02-23) (ver p. 31).
- [53] P. Martinez-Jurado. «Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review». Em: *Journal of Cleaner Production* (2013-09), pp. 1–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042> (ver p. 32).

- [54] O’Neil, Peter e Sohal, Amrik S. «Business Process Reengineering, A review of recent literature». Em: *Technovation* 19 (1999-03), pp. 571–581. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(99\)00059-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(99)00059-0) (ver p. 34).
- [55] Anand, Abhijit, Wamba, Samuel e Gnanzou, Denis. «A Literature Review on Business Process Management, Business Process Reengineering, and Business Process Innovation». Em: Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 1–23. ISBN: 978-3-642-41638-5. DOI: [10.1007/978-3-642-41638-5_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41638-5_1) (ver p. 34).
- [56] Jacobson, Ivar, Ericsson, Maria e Jacobson, Agneta. *The Object Advantage. Business Process Reengineering with Object Technology*. ACM Press, 1995. ISBN: 978-0-201-42289-1 (ver p. 34).
- [57] M. Attaran. «Exploring the relationship between information technology and business process reengineering». Em: *Information Management* 41 (2003-06), pp. 585–596. DOI: [10.1016/S0378-7206\(03\)00098-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(03)00098-3) (ver pp. 34, 38, 41, 43).
- [58] Susanto, Heru, Leu, Fang-Yie e Chen, Chin Kang. *Business Process Reengineering. An ICT Approach*. Apple Academic Press Inc., 2019. ISBN: 978-0-429-48857-3 (ver pp. 34, 35, 38, 39, 41, 42).
- [59] D. Al-Khouri. «Re-thinking Enrolment in Identity Card Schemes». Em: *International Journal of Engineering Science and Technology* 3 (2011-05), pp. 912–925 (ver p. 35).
- [60] Marakas, George M. e O’Brien, James A. *Introduction to Information Systems*. 16ª ed. McGraw-Hill, 2013 (ver p. 38).
- [61] Grover, Varun et al. «The Implementation of Business Process Reengineering». Em: *Journal of Management Information Systems* 12.1 (2015-12), pp. 109–144. DOI: [10.1080/07421222.1995.11518072](https://doi.org/10.1080/07421222.1995.11518072) (ver pp. 41, 42).
- [62] *The 7 Basic Quality Tools for Process Improvement*. URL: <https://asq.org/quality-resources/seven-basic-quality-tools> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 44).
- [63] Peinado, Jurandir e Graeml, Alexandre Reis. *Administração da Produção*. Operações industriais e de serviços. Unicenp, 2007 (ver pp. 44, 46).
- [64] *What is a Flowchart?* URL: <https://asq.org/quality-resources/flowchart> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 44).
- [65] G. Forlogic. *Fluxograma*. 2016-11. URL: <https://ferramentasdaqualidade.org/fluxograma/> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 45).
- [66] G. Forlogic. *Flowchart Symbols*. URL: <https://www.smartdraw.com/flowchart/flowchart-symbols.htm> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 46).
- [67] G. Forlogic. *Folha de verificação*. 2016-11. URL: <https://ferramentasdaqualidade.org/folha-de-verificacao/> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 44).
- [68] *Check Sheet*. URL: <https://asq.org/quality-resources/check-sheet> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 44).

- [69] T. Coutinho. *Folha de verificação*. 2017-10. URL: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/folha-de-verificacao> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 45).
- [70] *What is a Histogram?* URL: <https://asq.org/quality-resources/histogram> (acedido em 2023-03-02) (ver p. 46).
- [71] *What is a Scatter Diagram?* URL: <https://asq.org/quality-resources/scatter-diagram> (acedido em 2023-03-04) (ver p. 46).
- [72] *Fishbone Diagram*. URL: <https://asq.org/quality-resources/fishbone> (acedido em 2023-03-04) (ver p. 47).
- [73] Filho, Edson Detregiachi et al. «Processo de produção de melanca: Aumento da produtividade no agronegócio». Em: (2014-11), pp. 14–25 (ver p. 48).
- [74] *What Is a Pareto Chart?* URL: <https://asq.org/quality-resources/pareto> (acedido em 2023-03-04) (ver p. 49).
- [75] *Control Chart*. URL: <https://asq.org/quality-resources/control-chart> (acedido em 2023-03-05) (ver pp. 49, 50).
- [76] D. C. Montgomery. *Statistical Quality Control*. 6ª ed. John Wiley Sons, Inc., 2009. ISBN: 978-0-470-16992-6 (ver pp. 50, 53).
- [77] Telles, Richard Antoni, Florencio, Paulo Henrique Borba e Neto, Agenor Sousa Santos. «Controlo de Processo Estatístico Aplicado a Revisão de 10000 Km de uma Concessionária de Veículos». Em: (2015-10) (ver p. 51).
- [78] *Cartas de Controlo: Quais as principais regras?* 2019-09. URL: <https://www.accept.pt/cartas-de-controlo-principais-regras/> (acedido em 2023-03-06) (ver pp. 51, 52).
- [79] Mohammed, M. A., Worthington, P. e Woodall, W. H. «Plotting basic control charts: tutorial notes for healthcare practitioners». Em: *Qual Saf Healthcare* 17 (2007), pp. 137–145. DOI: [10.1136/qshc.2004.012047](https://doi.org/10.1136/qshc.2004.012047) (ver p. 51).
- [80] McDermott, Robin E., Mikulak, Raymond J. e Bearegard, Michael R. *The Basics of FMEA*. 2ª ed. Taylor Francis Group, 2009. ISBN: 978-1-563-27377-3 (ver pp. 52, 53).
- [81] *What is FMEA? Failure Mode Effect Analysis*. URL: <https://asq.org/quality-resources/fmea> (acedido em 2023-03-06) (ver pp. 52, 53).
- [82] D. H. Stamatis. *Failure Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execution*. 6ª ed. American Society for Quality, Quality Press, 2003. ISBN: 978-0-873-89598-3 (ver pp. 52–54).
- [83] Bouti, Abdelkader e Kadi, Daoud Ait. «A State-of-the-Art Review of FMEA/FMECA». Em: *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 1.4 (1994), pp. 515–543 (ver pp. 52–54).

- [84] H. Arabian-Hoseynabadi, H. Oraee e P. Tavner. «Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines». Em: *International Journal of Electrical Power Energy Systems* 32.7 (2010), pp. 817–824. ISSN: 0142-0615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.01.019>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061510000281> (ver pp. 52, 53).
- [85] M. L. Chiozza e C. Ponzetti. «FMEA: A model for reducing medical errors». Em: *Clinica Chimica Acta* 404.1 (2009). Errors in Laboratory Medicine and Patient Safety, pp. 75–78. ISSN: 0009-8981. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2009.03.015>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009898109001466> (ver pp. 52, 53).
- [86] T. A. Carbone e D. D. Tippett. «Project Risk Management Using the Project Risk FMEA». Em: *Engineering Management Journal* 16.4 (2004), pp. 28–35. DOI: [10.1080/10429247.2004.11415263](https://doi.org/10.1080/10429247.2004.11415263) (ver pp. 52, 53, 55).
- [87] Lipol, Lefayet Sultan e Haq, Jahirul. «Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations». Em: *International Journal of Basic Applied Sciences* 11.5 (2011), pp. 74–82 (ver p. 54).
- [88] *FMECA vs FMEA (What is the difference between them?)* URL: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/fmea-vs-fmea#FMECA> (accedido em 2023-03-07) (ver pp. 54, 55).
- [89] D. C. Montgomery. *Design and Analysis of Experiments*. 8ª ed. John Wiley Sons, Inc., 2013. ISBN: 978-1-118-14692-7 (ver pp. 56, 57, 59–62).
- [90] R. A. Fisher. *Statistical Methods for Research Workers*. 6ª ed. Oliver e Boyd, 1936 (ver p. 59).
- [91] T. P. Speed. «Introduction to Fisher (1925) Statistical Methods for Research Workers». Em: *Springer Series in Statistics*. Springer, 1992, pp. 71–81 (ver p. 59).
- [92] P. E. McKnight. «Kruskal-Wallis Test». Em: *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. Ed. por C. Weiner, Irving B. John Wiley Sons, Inc., 2009. ISBN: 9780470170243 (ver pp. 63, 64).
- [93] K. Ostertagová, Eva Ostertag, Oskar. «Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test». Em: *Applied Mechanics and Materials* 611 (2014), pp. 115–121. DOI: [doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115) (ver pp. 63, 64).
- [94] Hollander, Myles, Wolfe, Douglas A. e Chicken, Eric. *Nonparametric Statistical Methods*. 2ª. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley Sons, Inc., 2014. ISBN: 9781119196037. DOI: [10.1002/9781119196037](https://doi.org/10.1002/9781119196037) (ver pp. 63, 66).
- [95] T. Van Hecke. «Power study of anova versus Kruskal-Wallis test». Em: *Journal of Statistics and Management Systems* (15 2014), pp. 241–247. DOI: [10.1080/09720510.2012.10701623](https://doi.org/10.1080/09720510.2012.10701623) (ver pp. 63, 64).

- [96] Zach. *How to Perform a Kruskal-Wallis Test in Excel*. 2020-04. URL: <https://www.statology.org/kruskal-wallis-test-excel/> (acedido em 2023-08-07) (ver p. 63).
- [97] D. Varga, András. «The Kruskal-Wallis Test and Stochastic Homogeneity». Em: *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 23.2 (1998), pp. 170–192. DOI: [10.3102/10769986023002170](https://doi.org/10.3102/10769986023002170) (ver p. 64).
- [98] *Statistical Engineering Division: Kruskal Wallis*. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/software/dataplot/refman1/auxillar/kruskwal.htm> (acedido em 2023-08-24) (ver p. 64).
- [99] D. B. Duncan. «Multiple Range and Multiple F Tests». Em: *Biometrics* 11.1 (1955), pp. 1–42. ISSN: 0006341X, 15410420. URL: <http://www.jstor.org/stable/3001478> (acedido em 2023-08-28) (ver p. 64).
- [100] L. Williams e H. Abdi. «Fisher’s Least Significant Difference (LSD) Test». Em: (2023-08) (ver p. 64).
- [101] A. Bland, J. Martin. «Multiple significance tests: the Bonferroni method». Em: *BMJ* 310 (1995), p. 170. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.310.6973.170> (ver p. 65).
- [102] Berger, Vance W. e Zhou, YanYan. «Kolmogorov–Smirnov Test: Overview». Em: *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science* (2005), pp. 1–5 (ver p. 65).
- [103] H. W. Lilliefors. «On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown». Em: *Journal of the American Statistical Association* 62.318 (1967), pp. 399–402. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916> (ver p. 65).
- [104] *Engineering Statistics Handbook: Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test*. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm> (acedido em 2023-08-24) (ver p. 65).
- [105] Zach. *How to Perform a Kolmogorov-Smirnov Test in Excel*. 2021-12. URL: <https://www.statology.org/kolmogorov-smirnov-test-excel/> (acedido em 2023-08-25) (ver p. 65).
- [106] GlobalSpec. *Gas Cylinders Information*. URL: https://www.globalspec.com/learnmore/material_handling_packaging_equipment/material_handling_equipment/gas_cylinders (acedido em 2023-09-04) (ver pp. 67, 70, 71).
- [107] H. Schon. *Handbook of Purified Gases*. Springer, 2015. Cap. 6, pp. 143–154. ISBN: 978-3-540-32598-7. DOI: [10.1007/978-3-540-32599-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32599-4) (ver p. 67).
- [108] *Gas Cylinder Valves - BCGA*. URL: <https://bcga.co.uk/topics/gas-cylinder-valves/> (acedido em 2023-09-03) (ver pp. 67, 71).
- [109] *Compressed Gas Cylinder Training - PFW Annual Training*. URL: <https://www.pfw.edu/offices/rem/documents/Compressed%20Gas%20Cylinder%20Training.pdf> (acedido em 2023-09-03) (ver p. 67).

- [110] R. M. Dondelinger. «Compressed Gas Cylinders». Em: *Biomedical Instrumentation Technology* 42.1 (2008-01), pp. 43–46. ISSN: 0899-8205. DOI: 10.2345/0899-8205(2008)42[43:CGC]2.0.CO;2. eprint: [https://meridian.allenpress.com/bit/article-pdf/42/1/43/1484982/0899-8205\(2008\)42\%5b43_cgc\%5d2_0_co_2.pdf](https://meridian.allenpress.com/bit/article-pdf/42/1/43/1484982/0899-8205(2008)42\%5b43_cgc\%5d2_0_co_2.pdf). URL: [https://doi.org/10.2345/0899-8205\(2008\)42\[43:CGC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2345/0899-8205(2008)42[43:CGC]2.0.CO;2) (ver pp. 67, 68, 70).
- [111] *The 100th Anniversary Book*. URL: <https://www.cganet.com/wp-content/uploads/100thAnniversaryBook.pdf> (acedido em 2023-09-04) (ver p. 67).
- [112] T. D. of Insurance. *Compressed Gas Cylinders - A 5-Minute Safety Training Aid*. Online Document. 2021-12. URL: <https://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresource/t5compressedgas.pdf> (ver p. 68).
- [113] H. S. Environment. *Compressed Gas Cylinder*. URL: https://www.hsewebsite.com/compressed-gas-cylinder/#Compressed_gas_cylinder (acedido em 2023-09-04) (ver p. 68).
- [114] *ADRBook: Packing Instructions*. URL: <https://adrbook.com/en/2017/Sutun/8/P200#:~:text=Table%201%3A%20COMPRESSED%20GASES%20,provisions%20%20%A%0A1002%0A%0AAIR%2C%20COMPRESSED%0A%0A1A%0A%0AX%0A%0AX%0A%0AX%0A%0AX%0A%0A10%0A%0Aua%2C%20va> (acedido em 2023-12-31) (ver p. 68).
- [115] *Medical Gases Cylinder Colour Coding*. 2020. URL: <https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC177.pdf> (ver p. 70).
- [116] *A Reference Guide For Industrial Medical Gas Cylinders Identification-Colour Coding*. Online Document. 2022. URL: https://www.asiaiga.org/uploaded_docs/en_AIGA_123_22_Ref_Guide_Industrial_&_Med_Gas_Cylinder_Color_Codes_10_Dec_2022.pdf (ver p. 70).
- [117] *Testing of Gas Cylinders | Air Liquide CTE*. URL: <https://cte.airliquide.com/testing/testing-gas-cylinders> (acedido em 2023-07-27) (ver p. 77).
- [118] *Periodic testing of gas cylinders - Gielle Industries*. URL: <https://www.gielle.it/periodic-testing-of-gas-cylinders/> (acedido em 2023-07-27) (ver p. 78).
- [119] Chabhaz, A. et al. «Inspection of Compressed Gas Cylinders Using Ultrasonic Guided Waves». Em: *The e-Journal of Nondestructive Testing Ultrasonics* 3.10 (1998) (ver p. 78).
- [120] *Why Use Ultrasonic Examination (UE) Testing?* URL: <http://blannequipment.com/archives/245> (acedido em 2023-07-28) (ver p. 78).
- [121] *Hydrostatic Ultrasonic Cylinder Testing*. URL: <http://youngstownoxygen.com/ultrasonic-cylinder-testing> (acedido em 2023-08-29) (ver p. 78).
- [122] «Methods to Avoid and Detect Internal Gas Cylinder Corrosion». Em: (2009) (ver p. 78).

- [123] «Barthélémy, H.» Em: *Journal of Pressure Vessel Technology* 110 (1988-05), pp. 161–167 (ver p. 78).
- [124] J. Lederman. *Linde offers to license ultrasonic cylinder retesting technology*. URL: <https://www.ndt.net/search/docs.php?id=9533> (acedido em 2023-09-25) (ver p. 78).
- [125] *Utah State University - t-table*. URL: <https://www.usu.edu/math/cfairbourn/Stat2300/t-table.pdf> (acedido em 2023-09-28) (ver p. 97).
- [126] A. G. Barnston. «The effect of weather on mood, productivity, and frequency of emotional crisis in a temperate continental climate». Em: *International Journal of Biometeorology* 32 (1988), pp. 134–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01044907>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf01044907#citeas> (ver p. 119).
- [127] Coviello, Decio et al. «Effect of Mood on Workplace Productivity». Em: (2019). URL: <https://nicolapersico.com/files/MoodCallCenter.pdf> (ver p. 120).
- [128] M. Collewet e J. Sauermann. «Working hours and productivity». Em: *Labour Economics* 47 (2017). EALE conference issue 2016, pp. 96–106. ISSN: 0927-5371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2017.03.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927537116302445> (ver p. 120).
- [129] B. Kapoor. *The state of human factory analytics*. URL: <https://www.kearney.com/service/digital/the-state-of-human-factory-analytics> (acedido em 2023-09-25) (ver p. 120).
- [130] A. Weber. *Man vs. Machine*. 2022-03. URL: <https://www.assemblymag.com/articles/96944-man-vs-machine> (acedido em 2023-09-25) (ver p. 120).
- [131] Ciardo, F., De Tommaso, D. e Wykowska, A. «Human-like behavioral variability blurs the distinction between a human and a machine in a nonverbal Turing test». Em: *Science Robotics* 7.68 (2022). DOI: [10.1126/scirobotics.abo1241](https://doi.org/10.1126/scirobotics.abo1241). eprint: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/scirobotics.abo1241>. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.abo1241> (ver p. 120).
- [132] *Leading the new era of automation*. URL: <https://www.linde-gas.com/en/whats-happening/leading-automation/index.html> (acedido em 2023-08-25) (ver p. 121).
- [133] *Schmidt - Pneumatic Machines*. URL: <https://www.gtschmidt.com/roll-marking-pneumatic/> (acedido em 2023-09-26) (ver p. 123).
- [134] *Valve Wrench - M131-729-001*. URL: <https://www.lronning.com/collections/valving/products/ronning-valve-wrench> (acedido em 2023-09-27) (ver p. 125).
- [135] *Valve jaw - M131-729-002*. URL: https://www.lronning.com/products/valve-jaw?_pos=1&_sid=ea3f5ae5c&_ss=r (acedido em 2023-09-27) (ver p. 125).

- [136] *Valving machine for small gas cylinders - M103-810-000*. URL: <https://www.lronning.com/collections/valving/products/ronning-valving-machine-for-small-gas-cylinders> (acedido em 2023-09-27) (ver p. 125).
- [137] *Pneumatic clamp trolley - M822-272-000*. URL: <https://www.lronning.com/collections/transport/products/pneumatic-clamp-trolley> (acedido em 2023-09-27) (ver p. 126).



