



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Aplicação de ferramentas *Lean* na medição do desempenho da redução da produção de resíduos numa instalação de tratamento de efluentes de dessulfuração

EDUARDO FARIA DE SOUSA
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadora:

Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques
Vogais: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas
Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Dezembro de 2019



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Aplicação de ferramentas *Lean* na medição do desempenho da redução da produção de resíduos numa instalação de tratamento de efluentes de dessulfuração

EDUARDO FARIA DE SOUSA
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas

Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Dezembro de 2019

*“O progresso não pode acontecer quando
estamos satisfeitos com a situação existente.”*

Taiichi Ohno (1912-1990)

Agradecimentos

À minha namorada por todo o amor, compreensão, motivação e apoio, sem o qual teria sido mais difícil chegar até aqui.

Aos meus pais, pela educação e formação que me deram.

Aos meus irmãos por todas as contribuições indiretas, toda a motivação e apoio.

À Professora Doutora Ana Dias por toda a colaboração, conhecimento e orientação.

À EDP, e em especial ao Departamento de Otimização Térmica, por me terem dado a possibilidade de realizar o estudo de caso.

Aos meus colegas de formação, por todo o apoio.

Por fim, a todos aqueles que tenham ajudado de alguma forma ao longo de todo o projeto.

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

A área de estudo que suporta esta dissertação é o pensamento *Lean*. A implementação do mesmo visa melhorar o planejamento e a programação das atividades, aumentar a produtividade, motivar os trabalhadores, ajudar na introdução de novos hábitos e de novas atitudes no trabalho, bem como identificar os desperdícios que devam ser eliminados.

O pensamento *Lean* foi uma das formas encontradas para lidar com o aumento da competitividade no meio empresarial, decorrente do processo de globalização da economia e dos mercados de negócio. O *Lean* permite a redução de custos e de desperdícios, melhores níveis de produtividade e qualidade, entre outras necessidades.

O processo de investigação desta dissertação envolve a análise da origem, desenvolvimento, princípios, metodologias e ferramentas de implementação do *Lean*, realçando a abrangência do mesmo a diversas atividades e áreas de negócio. As ferramentas e metodologias selecionadas são precisamente as que têm uma aplicação mais ampla, podendo ser aplicadas tanto do setor industrial como no setor dos serviços.

A presente dissertação visa mostrar a aplicabilidade do pensamento *Lean* em setores diferentes do setor de origem, contribuindo para o desenvolvimento da aplicação do pensamento *Lean* em projetos que se destinem a reduzir custos de operação e manutenção, e à diminuição de desperdícios num sistema.

Esta dissertação demonstra a importância dos ciclos de melhoria contínua e da fase de planejamento em específico. Um planejamento apropriado é essencial para resolver os problemas na causa raiz, evitando a resolução de problemas com base em sintomas superficiais.

A dissertação foca-se num estudo de caso numa central termoelétrica a carvão, cujo objetivo é a redução do teor de sólidos à entrada da instalação de tratamento de efluentes líquidos, provenientes do processo de tratamento de gesso utilizado na central para reduzir as emissões de óxidos de enxofre para a atmosfera. O uso do pensamento *Lean* prova ser essencial no processo de planejamento da instalação de hidrociclones, de forma a garantir a redução de desperdícios e custos de operação e manutenção.

Palavras-chave: Pensamento *Lean*, Melhoria Contínua, Planejamento, Dessulfuração, Hidrociclones.

Abstract

The area of study that supports this dissertation is the Lean Thinking. Its implementation of Lean Thinking aims to improve the planning and programming of activities, to improve productivity, to motivate collaborators, to help in the introduction of new habits and attitudes at work, as well as to identify the waste that should be eliminated.

Lean Thinking was one of the ways found to deal with the increase in competitiveness in the business environment, due to the economy and business markets globalization process. Lean Thinking enables the reduction of expenditure and waste, better levels of productivity and quality, among other needs.

The process of investigation of this dissertation involves the analysis of the origin, development, principles, methodologies and tools of implementation of Lean, highlighting the extent of it to diverse activities and business areas. The tools and methodologies selected are precisely the ones that have a broader application, being able to be applied both in the industrial and service sectors.

The present dissertation aims to show the applicability of Lean Thinking in sectors different from the origin sector, contributing to the development of the application of Lean Thinking in projects destined to reduce costs of operation and maintenance, and to the reduction of waste in a system.

This dissertation shows the importance of the continuous improvement cycles, and the planning phase in specific. An appropriate planning is essential to solve the problems in its root cause, avoiding the problem solving based on superficial symptoms.

The dissertation focuses on a case study in a coal power plant, whose goal is the reduction of the content of solids at the entrance of the wastewater treatment installation, originated from the process of treatment of gypsum used in the power plant to reduce the emissions of sulfur oxides to the atmosphere. The use of Lean Thinking proves to be essential to the planning process of the implementation of the hydrocyclones installation, to ensure the reduction of waste and costs of operation and maintenance.

Keywords: Lean Thinking, Continuous Improvement, Planning, Dessulfuration, Hydrocyclones.

Lista de Siglas e Acrónimos

BSC – *Balanced Scorecard*

DCS – *Distributed Control System*

DEC – *Direção de Eficiência e Conhecimento*

DFSS – *Design For Six Sigma*

DMADV – *Define, Measure, Analyse, Design, Verify*

DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*

DOE – *Design of Experiments*

DOT – *Departamento de Otimização Térmica*

EDP – *Energias de Portugal*

ERSE – *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*

ESP – *Electrostatic Precipitators*

FGD – *Flue Gas Desulfurization*

FTT – *First Time Through*

GGH – *Gas-Gas-Heater*

HOQ – *House Of Quality*

ITEL – *Instalação de Tratamento de Efluentes Líquidos*

JIC – *Just In Case*

JIT – *Just In Time*

KPI – *Key Performance Indicators*

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time to Repair*

OEE – *Overall Equipment Efficiency*

OPDCA – *Observe, Plan, Do, Check, Act*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PDSA – *Plan, Do, Study, Act*

PPM – *Parts per Million*

QFD – *Quality Function Deployment*

RCA – *Root Cause Analysis*

REN – *Redes Energéticas Nacionais*

RIE – *Rapid Improvement Events*

SCM – *Supply Chain Management*

SCR – *Selective Catalitic Reduction*

SDCA – *Standardize, Do, Check, Act*

SMED – *Single Minute Exchange Dies*

SPC – *Statistic Process Control*

TOC – *Theory of Constraints*

TOPS/8D – *Team Oriented Problem Solving/8 disciplines*

TPM – *Total Productive Management*

TPS – *Toyota Production System*

TQC – *Total Quality Control*

TQM – *Total Quality Management*

VOC – *Voice of Costumer*

VSM – *Value Stream Mapping*

VTI – *Ventiladores de Tiragem Induzida*

WIP – *Work In Progress*

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Relevância do Tema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Estrutura do trabalho	2
2. Melhoria Contínua	3
2.1. Ciclos de Melhoria Contínua	6
2.1.1. Ciclo PDCA	6
2.1.1.1. Uniformização e Formalização	8
2.1.2. Metodologia 6 σ - DMAIC	9
2.1.3. Metodologia TOPS/8D	11
2.2. Análise de Causa Raiz	13
2.2.1. Cinco Porquês	14
2.2.2. A fórmula 5W2H	15
2.2.3. Diagrama de Causa-Efeito	17
2.2.4. Análise de Pareto	17
2.3. Gestão Visual	19
2.3.1. <i>Gemba</i> e as <i>Gemba Walks</i>	20
2.4. <i>Hourensou</i> – Gestão pela Comunicação	21
2.4.1. <i>Genchi Genbutsu</i> e o <i>Hourensou</i>	22
2.5. Kaikaku	23
2.5.1. Eventos de Melhoria Rápida	23
3. Pensamento <i>Lean</i>	25
3.1. História e Evolução do Pensamento <i>Lean</i>	25
3.1.1. Os primórdios do <i>Lean</i>	25
3.1.2. Henry Ford e o Sistema de Produção em Massa	27

3.1.3. A família Toyoda e o Toyota <i>Production System</i>	27
3.1.4. Gurus da Qualidade	31
3.1.5. Das primeiras obras de literatura do <i>Lean</i> até ao presente	33
3.2. Conceitos e Princípios	35
3.2.1. Valor	36
3.2.2. Cadeia de Valor	37
3.2.3. Fluxo	37
3.2.4. Desperdício	38
3.2.4.1. Os Sete Desperdícios	39
3.2.4.2. Os benefícios do <i>Lean</i>	43
3.2.5. Os princípios do Pensamento <i>Lean</i>	44
3.2.6. Toyota <i>Production System</i>	47
3.2.6.1. A casa do TPS	50
3.2.6.2. <i>Kata</i>	51
3.2.7. Do TPS ao Pensamento <i>Lean</i>	53
3.2.8. O Pensamento <i>Lean</i> nos Serviços.....	56
3.2.8.1. Aplicabilidade dos Métodos e Ferramentas <i>Lean</i> nos Serviços	57
3.3. Ferramentas Analíticas	57
3.3.1. <i>Just In Time</i> – Sistema <i>Pull</i>	57
3.3.1.1. Sistema <i>Push-Pull</i>	58
3.3.1.2. Fluxo Contínuo	60
3.3.1.3. <i>Kanban</i>	61
3.3.1.4. <i>Heijunka</i>	63
3.3.1.4.1. Caixa <i>Heijunka</i>	63
3.3.2. Jidoka.....	64
3.3.2.1. <i>Andon</i>	65
3.3.2.2. <i>Poka-Yoke</i>	66

4. Métodos e Ferramentas <i>Lean</i>	69
4.1. 5S + 1.....	69
4.2. Mapeamento do Fluxo de Valor	70
4.3. Indicadores Chave de Desempenho.....	72
4.4. Planeamento <i>Hoshin Kanri</i>	74
4.4.1. Implementação do <i>Hoshin Kanri</i> – Modelo de Jackson.....	77
4.4.1.1. Relatório A3	79
4.5. Desdobramento da Função Qualidade	82
4.5.1. As quatro fases do Desdobramento da Função Qualidade	83
4.6. Balanced Scorecard	84
4.6.1. Modelo Conceptual de Integração do <i>Hoshin Kanri</i> com o <i>Balanced Scorecard</i>	85
5. Caracterização da Empresa.....	87
5.1. A EDP.....	87
5.1.1. EDP Produção – Portugal.....	88
5.1.2. Departamento de Otimização Térmica	88
5.1.3. Central Termoelétrica de Sines	89
5.1.3.1. Condições Ambientais	91
5.2. Programa <i>Lean</i> na EDP Produção	93
6. Estudo de Caso	95
6.1. O processo	95
6.1.1. Precipitadores Eletrostáticos.....	96
6.1.2. Sistema de Gases de Combustão	97
6.1.3. Sistema de armazenagem e preparação de calcário.....	99
6.1.4. Sistema de absorção de dióxido de enxofre e oxidação	100
6.1.5. Sistema de desidratação e armazenagem de gesso	102
6.1.6. Instalação de tratamento das águas residuais do processo	103

6.1.7. Os subprodutos obtidos no processo	104
6.1.7.1. O aterro das lamas	104
6.2. O levantamento de problemas	104
6.2.1. O processo de melhoria contínua	105
6.2.1.1. Análise de causas-raiz	105
6.2.1.2. <i>Brainstorming</i>	106
6.2.1.3. Princípio de funcionamento de um hidrociclone.....	107
6.2.1.4. O ensaio com instalação piloto.....	108
6.2.1.5. Análise de viabilidade económica	110
6.2.1.6. Proposta à administração	110
6.2.1.7. Concurso e Realização da Obra.....	111
6.2.1.8. A instalação	112
6.2.1.9. Relatório A3 síntese	114
7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	115
Bibliografia.....	117

Índice de Figuras

Figura 1: A criação dos hábitos.....	3
Figura 2: A melhoria contínua baseada no ciclo PDCA.....	5
Figura 3: As principais componentes da melhoria contínua.....	5
Figura 4: Proposta de revisão do ciclo PDCA.....	8
Figura 5: Problemas nos processos (segundo a abordagem estatística)..	10
Figura 6: Fluxograma Resumo do Procedimento TOPS/8D.	13
Figura 7: Passos padrão para realizar uma análise de causa(s) raiz..	13
Figura 8: Exemplo da estrutura do diagrama de causa-efeito.	17
Figura 9: Análise ABC.....	18
Figura 10: Exemplo tipo de um Diagrama de Pareto.	19
Figura 11: O processo de comunicação <i>hourensou</i>	22
Figura 12: As diferentes partes interessadas numa organização..	36
Figura 13: <i>Lead Time</i> e os tipos de desperdícios.....	38
Figura 14: Os sete desperdícios.....	42
Figura 15: Os benefícios típicos do <i>Lean</i>	44
Figura 16: Os sete princípios <i>Lean</i>	46
Figura 17: A casa do TPS adaptada.....	50
Figura 18: <i>Kata</i> de Melhoria e <i>Kata</i> de <i>Coaching</i> - Quadro Resumo.....	52
Figura 19: A prática do <i>Starter Kata</i>	53
Figura 20: Integração da casa TPS no "edifício <i>Lean</i> "	54
Figura 21: Produção empurrada (<i>push</i>) vs. produção puxada (<i>pull</i>)..	58
Figura 22: Esquema do sistema <i>push-pull</i>	59
Figura 23: Comparação entre a) <i>layouts</i> orientados por processo b) e produto..	61
Figura 24: Evolução para <i>jidoka</i> (autonomação).....	65
Figura 25: Exemplo de um painel <i>andon</i>	66
Figura 26: Exemplo de luzes <i>andon</i> numa linha com muitos postos de trabalho..	66
Figura 27: Batente utilizado como <i>poka-yoke</i> como prevenção de erros humanos.....	67
Figura 28: Os 6S (5+1) e a eliminação do desperdício.	70
Figura 29: O alinhamento entre a(s) estratégia(s) e o(s) objetivo(s)..	75
Figura 30: Processo <i>catchball</i>	76
Figura 31: Os conceitos de VOC e HOQ como suporte ao processo <i>hoshin kanri</i>	77

Figura 32: <i>Roadmap</i> do <i>hoshin kanri</i> segundo o modelo de Jackson..	78
Figura 33: As sete iniciativas propostas por Jackson..	79
Figura 34: Exemplo de uma matriz A3-X.	81
Figura 35: Exemplo de um Relatório de Resolução de Problemas A3.	82
Figura 36: As quatro fases do desdobramento da qualidade..	83
Figura 37: As quatro perspectivas do BSC..	84
Figura 38: Modelo de integração do <i>hoshin kanri</i> com o BSC..	86
Figura 39: O Tripé Desempenho-Risco-Custos da DOT..	89
Figura 40: Central Termoelétrica de Sines.	90
Figura 41: Sistemas de dessulfuração e SCR..	91
Figura 42: Esquema do sistema de desnitrificação de redução catalítica seletiva.....	92
Figura 43: Esquema do sistema de dessulfuração da Central Termoelétrica de Sines...	96
Figura 44: Modelo de um precipitador eletrostático.	97
Figura 45: Montagem de um VTI.....	98
Figura 46: Exemplo de um hidrociclone – renderização.....	99
Figura 47: Esquema do sistema de armazenagem e preparação de calcário..	100
Figura 48: Exemplo de um absorvedor do processo de dessulfuração.....	101
Figura 49: Processo de lavagem e desidratação do gesso a passar no tapete.....	102
Figura 50: ITEL antes da implementação da solução da redução do teor de sólidos...	103
Figura 51: Vista de corte de um hidrociclone.....	108
Figura 52: Modelo da instalação piloto dos hidrociclones.....	109
Figura 53: Instalação dos hidrociclones junto à ITEL.....	112
Figura 54: Placas de Identificação – a) válvula alimentação pneumática, b) válvula transbordo.....	113
Figura 55: Relatório A3 síntese.....	114

Índice de Tabelas

Tabela 1: Exemplo de uma <i>checklist</i> de verificação dos 5W2H..	15
Tabela 2: Resultados do Ensaio com instalação piloto	110

Índice de Equações

Equação 1: <i>Lead Time</i>	38
Equação 2: <i>Pitch Time</i>	62
Equação 3: Eficiência	72
Equação 4: Disponibilidade	72
Equação 5: Ocupação	72
Equação 6: Eficiência Global	73
Equação 7: <i>Takt Time</i>	73
Equação 8: Rotação de <i>Stocks</i>	74
Equação 9: <i>First Time Through</i>	74

1. Introdução

Este capítulo faz uma breve introdução ao tema do trabalho, com o enquadramento e relevância, assim como os objetivos e estruturação do trabalho.

1.1. Enquadramento e Relevância do Tema

Com o aumento da competitividade no meio empresarial decorrente do processo de globalização da economia e dos mercados de negócio, pelo que, o mercado mundial se tornou mais exigente, requerendo a redução de custos e de desperdícios, melhores níveis de produtividade e qualidade, entre outras necessidades. As rápidas mudanças económicas e sociais são um desafio à sobrevivência das organizações num cenário de mudanças constantes, as quais procuram ser inovadoras e ágeis a reagir ao meio envolvente, cada vez mais dinâmico, imprevisível e exigente.

O sistema de produção *Lean* surgiu da necessidade das empresas japonesas desenvolverem métodos diferentes de fabricar veículos em relação à indústria americana, onde se dava destaque ao sistema de produção em massa. Visto que a indústria japonesa não tinha como competir com base nos mesmos conceitos, empresas como a Toyota desenvolveram um novo modelo do sistema de produção, que é conhecido atualmente como o sistema de produção da Toyota/Toyota *Production System* (TPS). A Toyota inspirou milhares de organizações industriais, de serviços e governamentais a adotarem o pensamento *Lean*, com vista a promoverem a eficiência dos processos de forma a reduzirem ao máximo os desperdícios, aproximando cada vez mais o produto ou serviço de todas as partes interessadas num negócio (*stakeholders*).

Embora o pensamento *Lean* tenha a sua génese no setor industrial, mais especificamente na indústria automóvel, é atualmente implementado em empresas de diversas atividades, como o setor dos serviços e da manutenção. Tendo em conta que muitas das ferramentas e dos métodos *Lean* têm foco normalmente aplicado ao setor industrial, verificou-se aqui uma oportunidade de investigar até que ponto o pensamento *Lean* é aplicável em projetos que se destinam a reduzir custos de operação e de manutenção, e à diminuição dos desperdícios num sistema.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho final de mestrado é de contribuir para o desenvolvimento da aplicação do pensamento *Lean* num estudo de caso numa empresa que tenha na sua tutela iniciativas de melhoria contínua, e que possua um procedimento de redução de custos de operação e manutenção, e à diminuição de desperdícios num sistema.

1.3. Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo descreve o enquadramento e relevância do tema, assim como o objetivo da realização deste trabalho, a estrutura do trabalho e propósito de cada capítulo.

O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica e o pensamento *Lean*, começando pela história e evolução do pensamento *Lean* desde a revolução industrial até à atualidade. Em seguida é dada ênfase aos conceitos e princípios do pensamento *Lean*, essenciais para se perceber quais são os pilares desta filosofia empresarial. É também aprofundado o conceito de melhoria contínua e tudo o que isso implica, baseando-se em elementos chave, como os ciclos de melhoria contínua, a análise de causa raiz/*root cause analysis* (RCA), a gestão visual e a *hourensou* (gestão pela comunicação). Por fim apresenta-se a análise a alguns métodos e ferramentas *Lean* que são amplamente utilizadas como auxílio ao processo de melhoria contínua.

O terceiro capítulo aborda o estudo de caso, começando por definir a empresa e a central térmica em que foi realizado o estudo de caso, assim como a utilização do pensamento *Lean* na mesma, passando à descrição do sistema de redução de emissões a montante do equipamento implementado, que é alvo do estudo de caso. Aborda-se logo depois o processo *Lean* que levou à implementação da iniciativa.

O quarto capítulo apresenta conclusões acerca do trabalho desenvolvido, o cumprimento dos objetivos pressupostos, dificuldades sentidas, e o resultado da implementação do estudo de caso. Refere ainda o processo de aprendizagem ao longo do trabalho, e possíveis desenvolvimentos futuros do tema a longo prazo.

2. Melhoria Contínua

Este capítulo refere-se à disciplina da melhoria contínua e a todas as ferramentas que podem ser utilizadas como suporte.

O *kaizen* é um processo de melhoria contínua que é tido como uma das formas mais eficazes para melhorar o desempenho e a qualidade nas organizações. Independentemente de se tratar de uma empresa industrial, uma empresa consultora ou mesmo uma entidade sem fins lucrativos, a melhoria contínua assegurará a qualidade superior de produtos e serviços e a implementação de uma cultura de permanente melhoria (caracterizada pela insatisfação e pela constante procura de melhores resultados) (Pinto, 2014).

A melhoria contínua não se coaduna com a complacência, muito menos com o cruzar de braços perante os problemas. A melhoria contínua requer sólidos hábitos de proatividade. Para Covey (1989), um hábito é a interseção entre o conhecimento, o desejo e o saber fazer (Figura 10) (Covey, 1989).

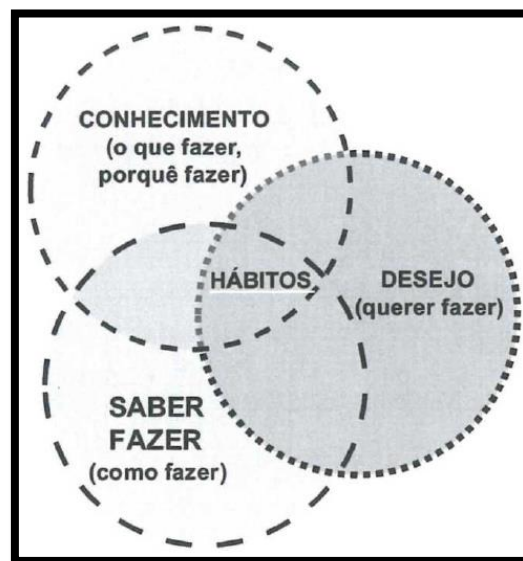


Figura 1: A criação dos hábitos. Fonte: adaptado de Covey (1989).

Para que qualquer pessoa na organização adote hábitos de melhoria contínua, é primeiro necessário que tenha o conhecimento e perceba o porquê de fazer a melhoria contínua e o que fazer nesse sentido. É também necessário que a pessoa tenha vontade de o fazer (a melhoria contínua nasce de um ato voluntário e não de uma imposição da gestão de topo). Um colaborador até poderá ter o conhecimento e dominar as práticas, mas se não o quiser fazer, nada acontecerá. Finalmente, o colaborador deverá saber como fazer, isto é, ter as

habilitações para que a melhoria contínua aconteça. Nenhuma destas componentes pode estar em falta quando se pretende fazer da melhoria contínua um hábito (Pinto, 2014).

Para Pinto (2014), a melhoria contínua, em si, consiste em três componentes. A primeira componente encoraja ativamente as pessoas a cometerem erros, o que em parte poderá parecer contraintuitivo. Muitas organizações punem os erros e tendem a rotular quem os comete como “fracassados” ou “incapazes”. Isso faz com que o medo de falhar se instale e nos prive de tentar e melhorar cada vez mais. Na verdade, cada um deveria perceber por que motivo os erros acontecem e evitar depois que se repitam.

A segunda componente incentiva e recompensa as pessoas a identificar os problemas e a solucioná-los. Isto assenta no princípio de que quem faz o trabalho é que melhor o conhece. Um gestor de topo não terá o mesmo nível de conhecimento do processo de fabrico que o operador de máquina. Nem um operador de balcão tem competências para gerir o serviço de informação da sua organização.

Finalmente, a terceira componente pede às pessoas que identifiquem formas de fazer ainda melhor, ou seja, incute nas pessoas a insatisfação com os atuais níveis de desempenho, levando-as a superarem-se constantemente. Esta é uma forma de *empowerment* proativo (Pinto, 2014).

Tal como muitas abordagens de gestão, a melhoria contínua não é uma solução rápida (nem a implementar, nem a dar resultados), ou seja, não é uma solução do tipo “*quick fix*”. A melhoria contínua assenta na evolução gradual, um pouco como se se tratasse de uma bola de neve que aumenta em cada rotação efetuada. Aos poucos, as melhorias surgem, dando tempo a todos para se ajustarem e aprenderem. Cada pequeno incremento no sentido da melhoria contínua é apoiado num ciclo de melhoria contínua (Figura 11). Este ciclo é repetido continuamente de forma infinita, com o objetivo de atingir a perfeição (Pinto, 2014; Bicheno e Holweg, 2016).

Numa etapa inicial, na implementação de medidas de melhoria contínua é notória uma perda associada à mudança, algo que é natural e previsível em qualquer processo. É necessário estar preparado para perder e ter força suficiente para não entrar em pânico e segurar a corrente de mudança. Esta fase é crítica, e quanto mais preparada a equipa estiver, mais rápido vence a dificuldade e entra no processo de crescimento de resultados. A cultura oriental defende a ideia de que as grandes conquistas resultam dos pequenos

contributos de cada um e não do grande esforço de uma só pessoa. Na Toyota existem quatro elementos que formam aquilo que é conhecido como a *Toyota Way*, que permitem que a melhoria ocorra. Estes elementos são: os ciclos de melhoria contínua, a análise de causa raiz, a gestão visual e a *hourensou* – gestão pela comunicação (Figura 12) (Pinto, 2014; Bicheno e Holweg, 2016).

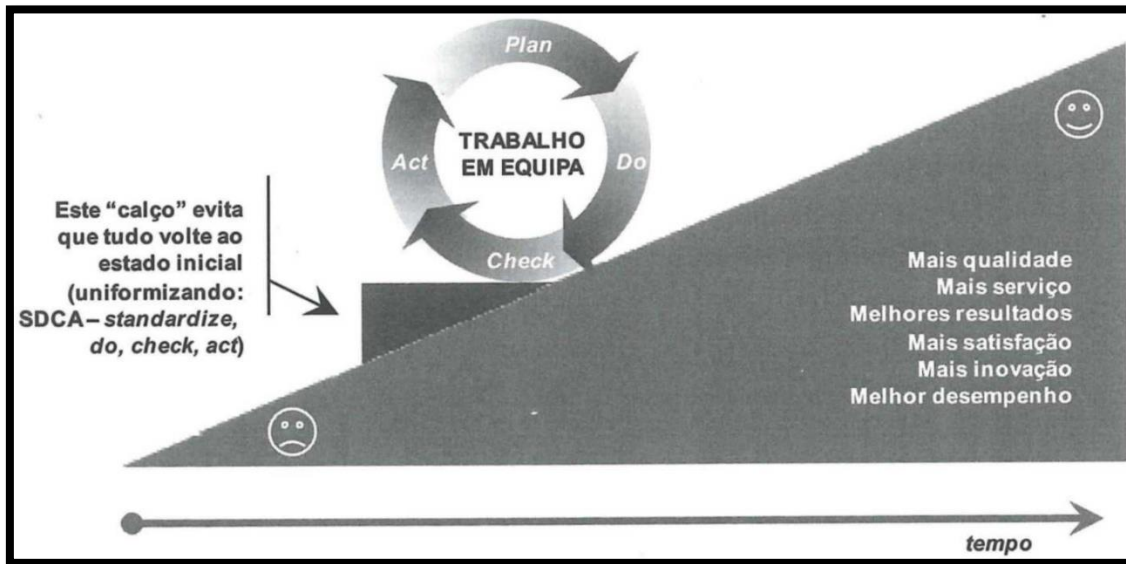


Figura 2: A melhoria contínua baseada no ciclo PDCA. Fonte: Pinto (2014).

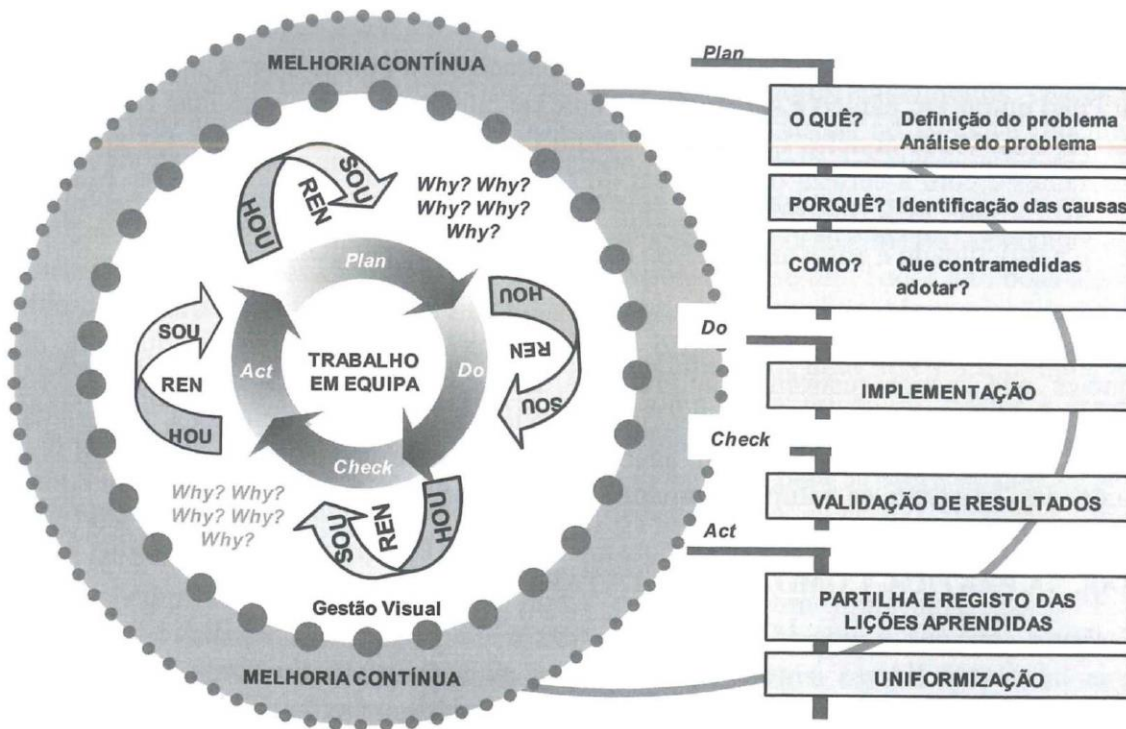


Figura 3: As principais componentes da melhoria contínua. Fonte: Pinto (2014).

2.1. Ciclos de Melhoria Contínua

Um ciclo de melhoria contínua fornece uma estrutura disciplinada a todo o processo de melhoria, sendo de grande valor ter uma abordagem uniformizada para a melhoria em qualquer organização. Existem diversas variantes, mas são todos semelhantes/complementares. Independentemente do ciclo de melhoria contínua que seja utilizado, deve ser pensado como uma abordagem abrangente, e utilizado com ferramentas suplementares, como as ferramentas de análise de causa raiz, a gestão visual, e a *hourensou* – gestão pela comunicação. Aqui serão mencionados os ciclos de melhoria contínua que se concluíram como os mais relevantes: o ciclo PDCA, a metodologia 6 σ – DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), e a metodologia TOPS/8D (*team oriented problema solving/8 disciplines*) (Bicheno e Holweg, 2016).

2.1.1. Ciclo PDCA

O ciclo PDCA de melhoria contínua, já referido anteriormente, descreve e sequencia a lógica básica de melhoria de processos através da análise de dados, estando este ciclo dividido em quatro fases. Na sequência das fases, “Planear” (*Plan*) apresenta-se como uma ação a prazo para o futuro, enquanto “Verificar” (*Check*) é uma ação imediata ou realizada no curto prazo. Ao “Fazer” (*Do*), utilizam-se recursos, e ao “Ajustar” (*Act*), otimizam-se recursos (Dias, 2019).

Para uma melhor compreensão destas fases, pode-se dividir o ciclo PDCA em 15 etapas (o número de etapas depende dos autores), com várias etapas compreendidas entre cada fase (Pinto, 2014):

Fase 1 – **Planear/Plan**:

1. Definir objetivamente o problema;
2. Definir o background e o contexto para que todos possam ter uma base de entendimento comum;
3. Realizar a análise 5W para identificar as causas-raiz;
4. Realizar brainstorming de contramedidas e criar hipóteses para as testar;

Fase 2 – **Fazer/Do**:

5. Aplicar o método científico para testar as hipóteses;

6. Em vez de esperar pela solução perfeita, avançar com pequenas iniciativas que resultem em *quick wins*;
7. Reunir factos/dados baseados na observação direta;

Fase 3 – **Verificar/Check:**

8. Comparar os resultados com o planeado;
9. Determinar os desvios e perceber a sua origem;
10. Procurar perceber o que correu bem e o que correu mal;
11. Enfrentar os factos;

Fase 4 - **Ajustar/Act:**

12. Se as contramedidas forem eficazes, criar um padrão que possa ser auditado e mantido;
13. Registrar as lições aprendidas e partilhar as boas práticas;
14. Se as contramedidas não forem eficazes, iniciar de novo o ciclo começando pelo planeamento (*Plan*);
15. Observar a atual condição e definir novos objetivos rumo à situação ideal. Recomeçar o ciclo com Planear/*Plan*.

A simplicidade do PDCA é tal que a sua aplicação não requer qualquer grau académico ou o conhecimento de alguma ciência ou tecnologia. Contudo, a aplicação prática é reduzida, sendo escassas as pessoas que efetivamente o aplicam no seu dia a dia, o que pode ser explicado na ausência de condições para tal, como o suporte por parte da gestão, na falta de método ou disciplina, ou de incentivos à sua aplicação. (Pinto, 2014)

O ciclo PDCA é usualmente apresentado sob a forma de um círculo, com cada uma das quatro partes a ocupar um quarto do círculo. No entanto, Pinto (2014) recomenda a revisão da área de cada uma dessas partes, com a sugestão de atribuir ao “Planear” 50%, e o restante a repartir pelo “Fazer” 15%, “Verificar” 15%, e “Ajustar” 20%. Este ajustamento decorre da impaciência das pessoas que muitas vezes abdica do planeamento, o que resulta em interrupções constantes, avanços e recuos e a criação de desperdícios (Pinto, 2014).

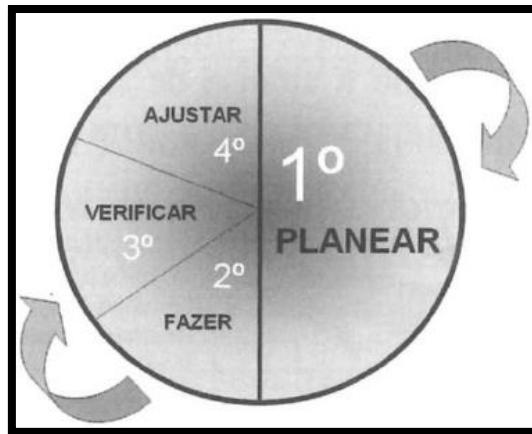


Figura 4: Proposta de revisão do ciclo PDCA. Fonte: Pinto (2014).

Existem algumas variantes ao ciclo PDCA, entre as quais o ciclo SDCA, que será detalhado no ponto seguinte, o ciclo PDSA, e o ciclo OPDCA.

O ciclo PDSA substitui a fase da verificação pelo estudo (*S – Study*), que engloba uma ação mais abrangente do que o ato de verificar, pelo que esta variação pode ser considerada uma evolução do ciclo PDCA. A fase de estudo em específico, procura “aprender” com as fases “*plan*” e “*do*”, analisa os resultados de mudanças e o que foi aprendido com as mesmas, e melhora a situação com base nos resultados obtidos (Thinking, 2013).

O ciclo OPDCA é uma variante que sugere uma fase inicial de observação anterior ao planeamento, em que “O” significa Observar (*Observe*), que implica “observar a situação atual”. Isto vai de encontro à proposta de revisão do ciclo PDCA, com maior ênfase dada ao planeamento, sendo que esta fase de observação se pode englobar nessa fase inicial (Thinking, 2013).

2.1.1.1. Uniformização e Formalização

Um dos conceitos chave associado ao ciclo PDCA é o conceito de uniformização, como ilustrado na Figura 11 (SDCA). Uniformizar significa tornar igual, independentemente de quem faz ou usa. A uniformização aplicada às operações de fabrico e/ou de serviços significa que qualquer que seja o operador neste ou naquele tipo de operação, a realização da mesma é feita sempre do mesmo modo. A uniformização garante um terreno firme para a melhoria contínua, permitindo construir sobre este um sistema de operações estável e que se melhora continuamente. Uniformizar as operações é dar segurança a quem as faz, e garantias e quem as gere ou se serve delas (Pinto, 2014).

Um trabalho uniformizado é mais facilmente ensinado, melhorado, documentado, auditado e transferido. Nas mesmas funções, todos fazem o mesmo trabalho da mesma forma, sendo a forma mais rápida e mais económica encontrada a forma uniformizada (*standard*) de trabalhar. As vantagens são muitas, destacando-se o aumento da previsibilidade dos processos, a redução de desvios e menores custos. A cada ciclo de melhoria contínua, deve registar-se o conhecimento e as boas práticas, promovendo a uniformização (ciclo SDCA, complementar do ciclo PDCA, em que S significa uniformizar/*standardize*). Só através da uniformização de procedimentos e práticas é possível criar um “terreno firme” para que o próximo degrau da melhoria seja alcançado (Figura 11).

O trabalho uniformizado possui três elementos básicos (Pinto, 2014):

- Tempo de ciclo: definido como o tempo necessário para que cada etapa da produção seja concluída;
- Sequência de produção: a ordem, identificada como a melhor, pela qual se devem efetuar as diversas operações que conduzem à realização de uma tarefa;
- Nível de inventário intermédio: quantidade máxima de inventário que flui através das diversas operações, quando o processo está a decorrer sem nenhuma variabilidade.

A formalização é um requisito importante que valida o conceito de uniformização e o processo de melhoria contínua. A formalização é o ato de tornar formal aquilo que se diz que se faz, adotando práticas formais de envolver e comprometer as pessoas com a melhoria contínua. A uniformização e a formalização promovem a comunicação entre as pessoas, devendo estar disponíveis para todos. Um dos meios privilegiados para o fazer é através dos quadros de informação que podem ser colocados em cada área de trabalho. A utilidade deste quadro não se verifica apenas em processos industriais, mas também em unidades de serviços ou escritórios (Pinto, 2014).

2.1.2. Metodologia 6 σ - DMAIC

A metodologia 6 σ (seis sigma) tem o objetivo de reduzir a variação (*mura*) dos processos de forma sistemática. Para tal, baseia-se num conjunto de métodos, ferramentas estatísticas e planos para observar e gerir as variáveis críticas dos processos, bem como a relação entre elas. Esta metodologia foi desenvolvida pela Motorola nos anos 1980, e é

atualmente frequente a aplicação desta após a estabilização dos processos conseguida pela filosofia *Lean* (Pyzdek, 2003).

A denominação 6σ refere-se ao termo estatístico que mede quanto um processo se desvia da perfeição. Para que a qualidade 6σ se atinja, um processo não poderá gerar mais do que 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (3.4 *parts per million* – PPM), atingindo-se assim uma elevada qualidade e mínima variabilidade nos processos e produtos. Quanto mais reduzido é o valor sigma (σ), melhor a competência do processo e menos provável a ocorrência de defeitos (Pyzdek, 2003).

A metodologia 6σ depende de técnicas estatísticas para reduzir os defeitos e medir a qualidade. Os peritos em 6σ (*black belts*) avaliam processos e produtos para determinar novas formas de os melhorar. Isto passa pela redução da variabilidade dos processos e pela centragem dos mesmos, tal como se verifica na Figura 14 (Pinto, 2014).

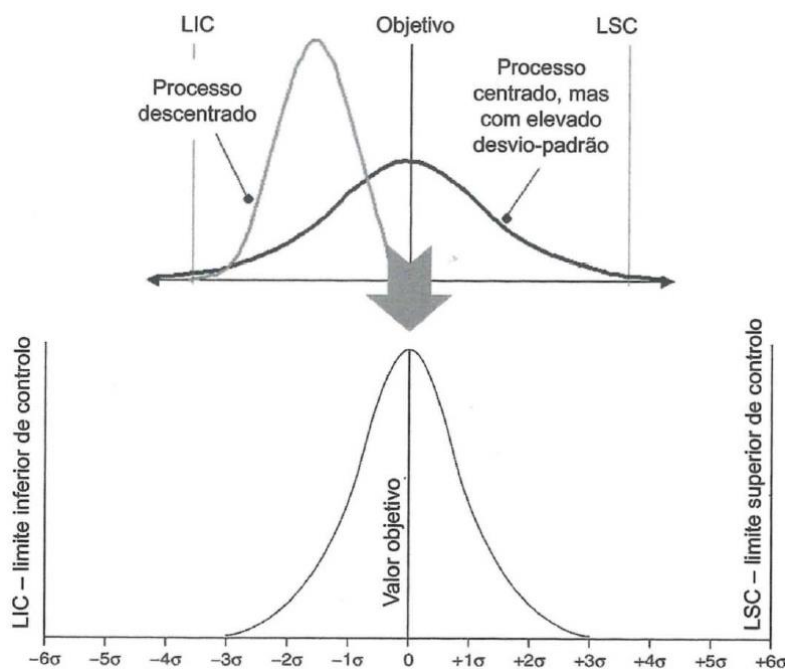


Figura 5: Problemas nos processos (segundo a abordagem estatística). Fonte: (Pinto, 2014).

A metodologia 6σ utiliza uma variação do ciclo PDCA, baseia-se em cinco fases, e é conhecida por DMAIC, que pode ser considerado como uma expansão da fase do planeamento do ciclo PDCA, e é aplicado na melhoria contínua dos processos (Bicheno e Holweg, 2016).

O DMAIC é constituído da seguinte forma (Pinto, 2014):

1. Definir/*Define* (D) – Definição do produto ou processo a ser desenvolvido ou melhorado;
2. Medir/*Measure* (M) – Estabelecer os atributos a medir no corrente produto ou processo;
3. Analisar/*Analyse* (A) – Analisar os dados resultantes e estabelecer padrões de desempenho para o novo produto ou processo;
4. Melhorar/*Improve* (I) – Especificar melhorias para cada atributo de forma a alcançar os padrões de desempenho pretendidos;
5. Controlar/*Control* (C) – Rever o progresso através do desenvolvimento e assegurar que o produto e/ou processo está de acordo com o esperado.

Existe outra abordagem utilizada no 6σ que pode ser identificada pela designação de DMADV [Definir/*Define* (D), Medir/*Measure* (M), Analisar/*Analyse* (A), Desenhar/*Design* (D) e Verificar/*Verify* (V)], sendo esta aplicada ao *design* de novos processos ou na reengenharia de processos existentes. A metodologia 6σ pode também ser usada para criar novos produtos ou processos usando os princípios DFSS (*design for six sigma*) (Pyzdek, 2003).

2.1.3. Metodologia TOPS/8D

O método de resolução de problemas em equipa usando as oito disciplinas vai ajudar na extinção dos imprevistos que frequentemente acontecem, à medida que o ciclo de vida do produto ou serviço se vai desenvolvendo. O processo de resolução de problemas consiste numa sequência de fases, que deverão ser seguidas a partir do momento em que o problema se torne evidente. Essas fases vão possibilitar que a problema seja resolvido no mais curto espaço de tempo. Esta metodologia vai permitir que todo o processo de planeamento, de decisão e de resolução do problema seja feito consistentemente, garantindo desta maneira que o problema é de facto resolvido, e não apenas mascarado (Pinto, 2014).

As oito fases do método são as seguintes (Pinto, 2014; Bicheno e Holweg, 2016):

1. Criar uma equipa e trabalhar com ela: formar um pequeno grupo de pessoas com conhecimentos do processo, produto ou serviço. Atribuir tempo,

- responsabilidades e conhecimentos técnicos das disciplinas de resolução de problemas e de implementação de ações corretivas;
2. Descrever o problema: especificar o problema do cliente, identificar o que está mal, e descrever o problema em termos quantificáveis, procurando respostas às perguntas: “o quê, onde, quando, quantos, qual a importância”, entre outras.
 3. Implementar e verificar as ações intermédias de contenção: definir e implementar ações de contenção de maneira a evitar que os efeitos do problema se propaguem para o cliente, até que as ações corretivas permanentes sejam implementadas.
 4. Definir e verificar a(s) causa(s) raiz: identificar todas as causas possíveis que poderão explicar a ocorrência do problema. Isolar e verificar a(s) causa(s) raiz, confrontando cada causa possível com a descrição do problema e com os dados existentes.
 5. Escolher e verificar as ações corretivas permanentes: confirmar quantitativamente, através de testes e ensaios, que as ações corretivas selecionadas vão resolver o problema e não vão causar quaisquer efeitos secundários indesejáveis.
 6. Implementar as ações corretivas permanentes: definir e planear a implementação das ações corretivas permanentes selecionadas e definir sistemas de controlo, de maneira a assegurar que a causa raiz foi eliminada. Monitorar os efeitos de longo prazo e, se necessário, implementar ações corretivas.
 7. Prevenir a recorrência: modificar os sistemas, procedimentos e práticas necessárias, de maneira a prevenir a recorrência deste ou de qualquer outro problema semelhante. Identificar oportunidades de melhoria e estabelecer iniciativas de melhoria de processos.
 8. Felicitar a equipa: reconhecer publicamente e comemorar o esforço coletivo e os resultados da equipa.

A utilização das oito fases não é obrigatória. A primeira e a última fase, “criação da equipa” e “felicitar a equipa”, respetivamente, nem sempre são aplicáveis, porque nem todos os problemas precisam de uma equipa para serem resolvidos.

O método, na sua totalidade, deverá ser usado quando (Pinto, 2014):

- A causa do problema é desconhecida;
- A resolução do problema está para além das capacidades de uma só pessoa;

- A complexidade e a gravidade do problema exigem que haja uma equipa envolvida.

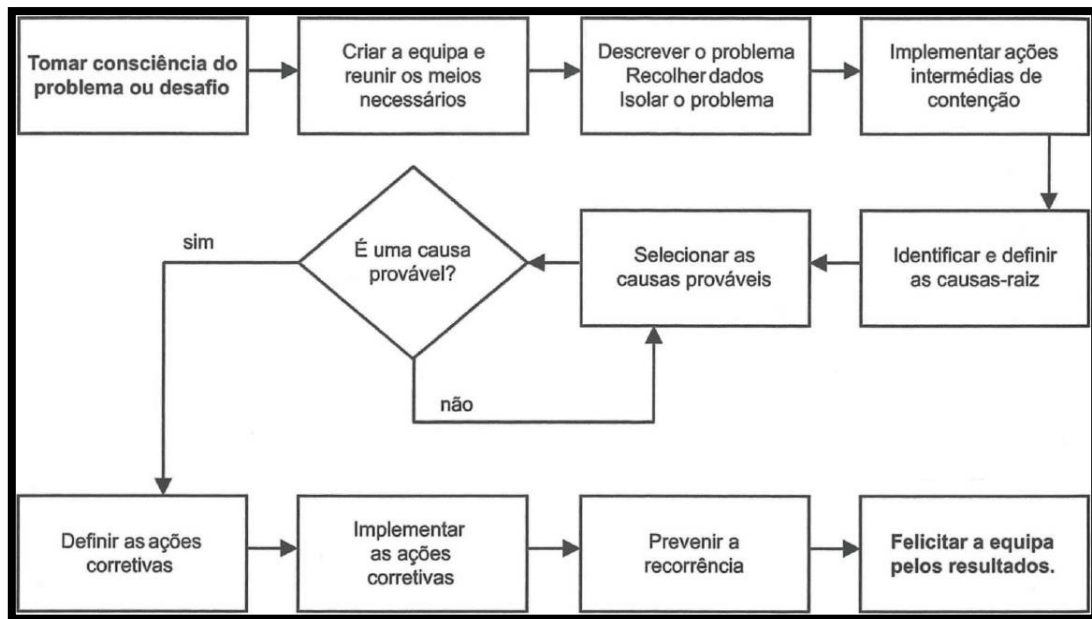


Figura 6: Fluxograma Resumo do Procedimento TOPS/8D. Fonte: adaptado de Pinto (2014).

2.2. Análise de Causa Raiz

A ênfase na análise de causa raiz é fundamental para a filosofia *Lean*. Isto significa resolver problemas pela raiz, em vez de níveis superficiais ou níveis imediatamente óbvios. O mais normal é que exista mais do que uma causa raiz, pelo que será mais realista referir “causas raiz” e, como tal, estas devem ser sujeitas a uma ordenação (por prioridades), começando por intervir-se na mais severa ou pressionante causa-raiz do problema (Bicheno and Holweg, 2016).

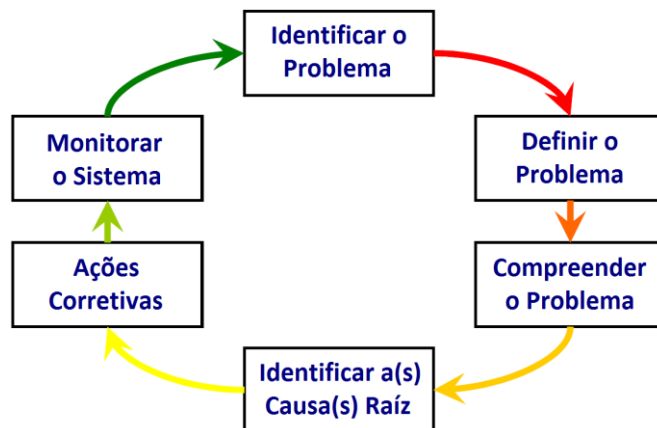


Figura 7: Passos padrão para realizar uma análise de causa(s) raiz. Fonte: Vorley (2008).

Na análise de causas raiz, as respostas têm menos importância do que as questões. Existem algumas considerações que devem ser tidas em conta na análise de causa(s) raiz (Bicheno e Holweg, 2016):

- De acordo com Deming, a “cultura de questionamento” deve ser conquistada pela ação e não por imposição, para que se afaste o medo de questionar às pessoas;
- A regra 94/6 de Deming defende que 94% dos problemas residem no sistema ou processo, e apenas 6% nas pessoas, pelo que as questões não devem ser focadas nas pessoas, e sim nos processos;
- Quanto mais alta a posição hierárquica, menos deverá ser dada a opinião própria, e mais se deverá perguntar e ouvir as pessoas;
- Questionar abertamente – em vez de sugerir a solução, pedir às pessoas para questionarem por elas mesmas – leva a uma solução mais eficaz e sustentada, com a opinião de todos os envolvidos.

2.2.1. Cinco Porquês

A análise dos cinco porquês (5W), usada através da filosofia de melhoria contínua, é uma das ferramentas possíveis para descobrir a(s) causa(s) raiz de um problema.

O conceito associado à análise dos cinco porquês é simples (Pinto, 2014):

1. Identificar o problema;
2. Perguntar: “porque é que aconteceu?” – identificação de todas as possíveis causas;
3. Para cada uma das causas identificadas, perguntar novamente: “porque é que aconteceu?”;
4. Repetir cinco vezes os passos 2 e 3. No fim deverão ter-se identificado as causas-raiz;
5. Identificar as soluções e as contramedidas para resolver a(s) causa(s)-raiz.

Quando se realiza a análise dos cinco porquês, múltiplas causas podem emergir do processo de interrogatório. Como resultado, é possível que várias causas-raiz sejam identificadas e, como tal, tenham de ser sujeitas a uma ordenação (por prioridades), começando por intervir-se na mais severa ou pressionante causa-raiz do problema (Pinto, 2014).

Ao fazer a questão “porquê?” várias vezes, é possível identificar as várias camadas de sintomas que podem levar à causa raiz do problema. A resposta a cada questão frequentemente leva a outra questão. Esse é também o motivo para que a questão seja feita cinco vezes, ou ainda mais vezes, para que a causa raiz do problema possa ser identificada. A técnica dos cinco porquês é muito útil para ajudar a identificar a causa raiz de um problema, e também para determinar o contexto entre as diferentes causas raiz. Esta é uma das ferramentas mais fáceis de utilizar em qualquer processo, e prescinde de qualquer análise estatística (Fritze, 2016).

Esta análise é baseada na opinião pessoal (subjetiva) de quem a aplica. Duas pessoas aplicando os 5 porquês ao mesmo problema poderão sugerir diferentes causas-raiz. Trabalhar em equipa e envolvendo pessoas com experiência atenuam uma boa parte dessa limitação. Em todo este processo, trabalhar em equipa é fundamental. Após encontrada e implementada a solução, deve ser registado o que se aprendeu, e partilhar as boas práticas que advém da solução com toda a organização (Pinto, 2014).

2.2.2. A fórmula 5W2H

Para quem está a iniciar uma atividade, procurar dar respostas a sete questões importantes poderá trazer muitos dividendos. Estas questões são: quem (*who*), o quê (*what*), onde (*where*), quando (*when*), porquê (*why*), como (*how*) e quanto (*how much*). Estas questões são conhecidas como a fórmula 5W2H e têm aplicação em qualquer processo de decisão.

Os cinco porquês constituem um complemento a cada uma das questões geradas pela fórmula 5W2H, ao concentrarem-se no porquê das coisas. A tabela 1 apresenta alguns exemplos da aplicação da fórmula 5W2H. (Pinto, 2014)

Tabela 1: Exemplo de uma *checklist* de verificação dos 5W2H. Fonte: Pinto (2014).

Quem	<ul style="list-style-type: none"> • Quem faz? • Quem poderá ser envolvido? • Quem mais pode ajudar? • Quem necessita de ser envolvido ou contactado? • Quem precisa de ser informado? • A quem se dirige a intervenção?
Onde	<ul style="list-style-type: none"> • Em que local acontece?

	<ul style="list-style-type: none"> • Onde poderá acontecer? • Onde encontrar meios (exemplos: pessoas e materiais) • Onde divulgar? • Onde obter apoios?
O Quê	<ul style="list-style-type: none"> • O que é que acontece? • O que é necessário fazer? • O que fazer em primeiro lugar? • O que pode ser feito por outros? • Que recursos são necessários? • Qual o objetivo?
Quando	<ul style="list-style-type: none"> • Quando acontece? • Quando começar e terminar? • Quando se sabe que se alcançou o objetivo? • Quando envolver os outros? • Quando é que haverá tempo para iniciar?
Porquê	<ul style="list-style-type: none"> • Porque é que acontece? • Porque é que se faz? • Porque é que é necessário? • Porque é que não se tenta? • Porque é que este projeto vai resultar?
Como e Quanto	<ul style="list-style-type: none"> • Como se processa? • Como se desenvolve o problema? • Como resolver o problema? • Como envolver as pessoas? • Como avaliar? • Como financiar? • Quanto custa?

2.2.3. Diagrama de Causa-Efeito

O diagrama de causa-efeito ou diagrama de Ishikawa, como já referido anteriormente em traços gerais, é uma ferramenta de análise, normalmente usada em processos de *brainstorming* para análise de causa(s) raiz mais complexas. Através da análise fornecida pelo diagrama, é possível examinar as possíveis causas de um efeito (por exemplo: um problema, defeito, acidente ou uma forma de desperdício). Cada uma das causas principais (medição, ambiente, pessoas, materiais, máquinas e processo) é usualmente repartida em causas específicas, podendo até haver sub-causas dessas causas específicas. As árvores de falhas também podem ser utilizadas de uma forma semelhante ao diagrama de causa-efeito.

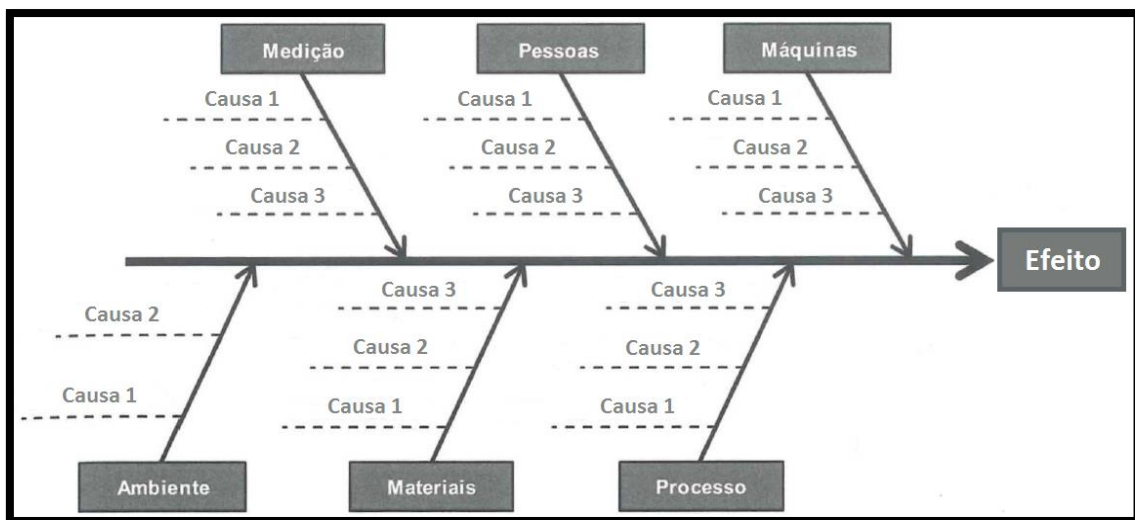


Figura 8: Exemplo da estrutura do diagrama de causa-efeito. Fonte: adaptado de Pinto (2014).

2.2.4. Análise de Pareto

A análise de Pareto, também conhecida como a análise ABC, que contém a regra de 80/20 ou regra de Pareto, refere que para muitos fenômenos, 80% das consequências advêm de 20% das causas. Partindo deste princípio, para a análise de causa(s) raiz, os esforços devem ser focados para as causas mais severas (classe A das classes ABC), que trarão os maiores benefícios (Vorley, 2008).

As classes A, B e C estão divididas da seguinte forma (Figura 18) (Vorley, 2008):

Classe A: Cerca de 20% das causas correspondem a 80% das consequências. Esta classe refere-se às causas mais severas, que devem ser alvo de maior foco;

Classe B: Cerca de 30% das causas correspondem a 15% das consequências. Esta classe refere-se às causas medianas, que requerem cuidados igualmente medianos;

Classe C: Cerca de 50% das causas correspondem a 5% das consequências. É a classe com menor importância relativa, e como tal, a menos crítica, pelo que não é exigido um controlo tão rígido quanto as duas primeiras classes.

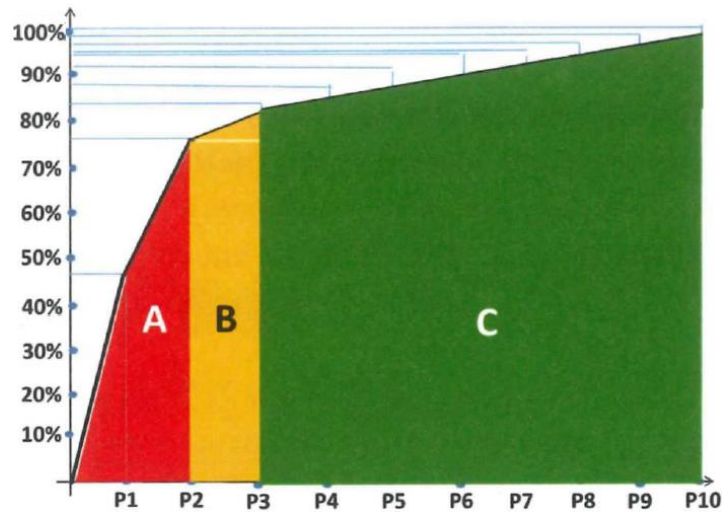


Figura 9: Análise ABC. Fonte: Dias (2019).

Estes valores percentuais são estimados, pelo que os valores reais deverão ser aproximados destes, mas não necessariamente iguais.

No entanto, a forma mais útil de representar os valores obtidos pela análise ABC reside noutra das ferramentas clássicas da qualidade: o histograma, com a linha de percentagem acumulada, que também pode ser denominado de diagrama de Pareto.

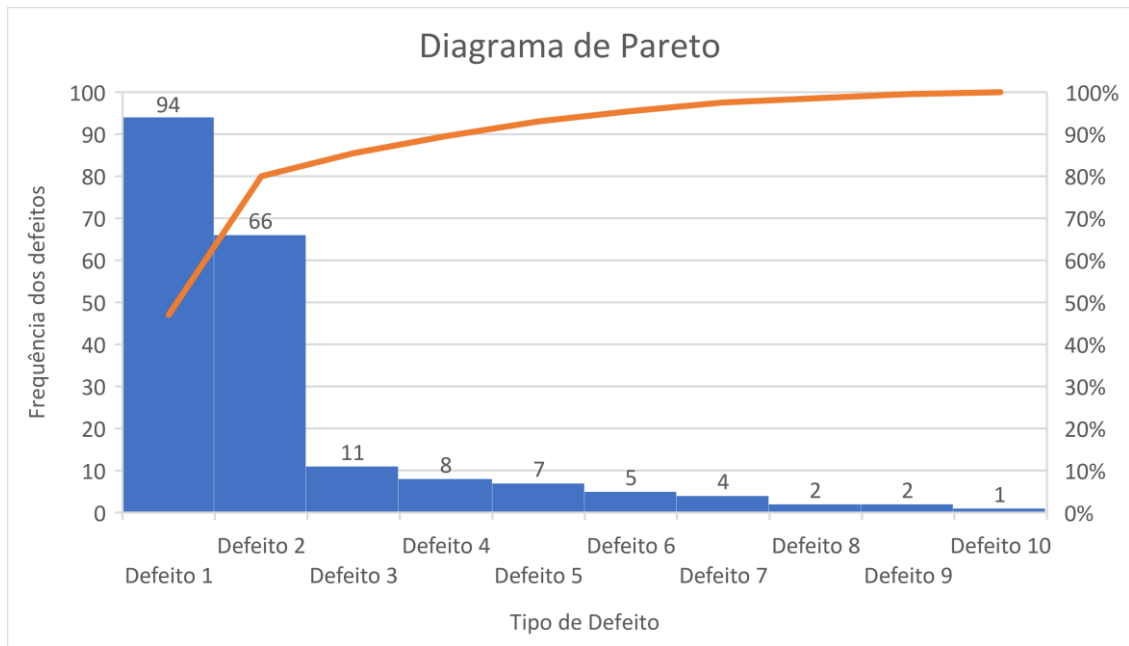


Figura 10: Exemplo tipo de um Diagrama de Pareto.

Os valores representados na frequência de defeitos da Figura 19 são meramente ilustrativos numa amostra de 200 defeitos, e servem apenas para mostrar um exemplo do aspeto do diagrama de Pareto, em que 20% dos tipos de defeitos (causas) correspondem a 80% da frequência dos defeitos. Um exemplo de aplicação do diagrama de Pareto entre os muitos possíveis aplicável na Figura 19 poderá ser a aplicação em inventário existente numa empresa, em que uma pequena parcela de artigos é responsável pela quase totalidade do valor de inventário em armazém.

2.3. Gestão Visual

A gestão visual é um processo que apoia o aumento da eficiência e eficácia das operações, tornando as coisas visíveis, lógicas e intuitivas. Muitas empresas recorrem à gestão visual para tornar os processos mais simples, menos dependentes de sistemas informáticos e procedimentos formais. Ao nível do *gemba*, os sinais visuais podem aparecer em diferentes formas, como cartões *kanban*, caixas *heijunka*, marcas pintadas no chão ou paredes, semáforos, quadros *andon*, entre outros. No entanto, as práticas dos 5S são também um enorme contributo para a implementação do controlo visual (Pinto, 2014).

2.3.1. *Gemba* e as *Gemba Walks*

A verdadeira cultura de “questionamento” só é possível estando no *gemba*. Como já referido anteriormente, o *gemba* é o local onde se trabalha – não apenas a fábrica, como também escritórios, refeitórios e armazéns.

A ideia do *gemba* é muito simples, e inclui três passos: (Mann, 2015)

1. Ir ao local;
2. Observar o processo;
3. Falar com as pessoas.

Se a organização tem um problema ou decisão a tomar, deve-se primeiramente ir ao *gemba*. A gestão deve ser a primeira a ir ao sítio e ver o problema, e não os colaboradores a irem ter com a gestão. Passar algum tempo na linha da frente, e ouvir o que os clientes têm a dizer é uma forma eficaz de aumentar a motivação e curiosidade dos gestores – melhor do que monitorar KPI's ou fazer uma pesquisa de mercado (Mann, 2015; Bicheno and Holweg, 2016).

Na década de 2010, as *gemba walks* ganharam imensa popularidade, sendo hoje em dia parte integrante do trabalho padrão de gestão, sob observação direta da gestão. Uma *gemba walk* é (Bicheno e Holweg, 2016):

- Uma caminhada regular pelo fluxo de valor;
- Uma forma de observar, ensinar e aprender, que permite aos gestores remover barreiras entre os colaboradores e a gestão, sempre com respeito pelos colaboradores;
- Um procedimento que utiliza os ciclos de melhoria contínua para procurar um entendimento dos problemas junto dos colaboradores e melhorar continuamente.

O *gemba* não é um modelo de gestão sem objetivos concretos, que são um modelo de gestão popular, no entanto ineficaz. É sim um modelo focado no processo e nas pessoas que a envolvem, de forma a identificar e antecipar problemas, de forma a melhorar continuamente.

2.4. *Hourensou* – Gestão pela Comunicação

Hourensou é um método desenvolvido no Japão, no seio da indústria, para facilitar e promover a comunicação entre todos os níveis hierárquicos da organização. O termo resulta da combinação de três palavras em japonês: *houkoku*, que significa reportar; *renkaku*, que significa atualizar; e *soudan*, que significa consultar (Pinto, 2014).

Na sua essência, *hourensou* é um processo unidirecional, sem que haja informação a fluir para os níveis hierárquicos inferiores, sendo as decisões concentradas no topo da hierarquia, o que, por regra, leva a tomadas de decisão lentas e à falta de *empowerment* dos colaboradores no *gemba* (Pinto, 2014).

O novo modelo *hourensou* foca-se na comunicação a 360°, para garantir que todos os envolvidos num dado projeto estejam envolvidos. Na posse de toda a informação, os membros de uma equipa terão poder de decisão e de atuação da forma mais correta. Esta é também uma forma de garantir que o projeto se desenrola de forma mais rápida, dado que os processos de decisão deixam de estar concentrados exclusivamente nos gestores (Pinto, 2014).

A comunicação *hourensou*, como se pode ver na Figura 28, ocorre nas diferentes formas (Pinto, 2014):

- Reportar (*houkoku*) – reportar informação ao líder de projeto ou de equipa, para comunicar a situação ou o status do projeto, ou procurar informação ou orientação se necessário;
- Atualizar (*renkaku*) - Atualizar os membros da equipa sobre a situação do projeto, de modo a que todos saibam o que se está a passar.
- Consultar (*soudan*) – Consultar as demais partes interessadas (*stakeholders*) envolvidas no projeto, de forma a avaliar se os resultados estão de acordo com o esperado ou se é necessário intervir para ajustar/corrigir.

Este modelo tem em conta a hierarquia horizontal e a força de trabalho baseada no conhecimento, que cada vez mais se encontra nas empresas.

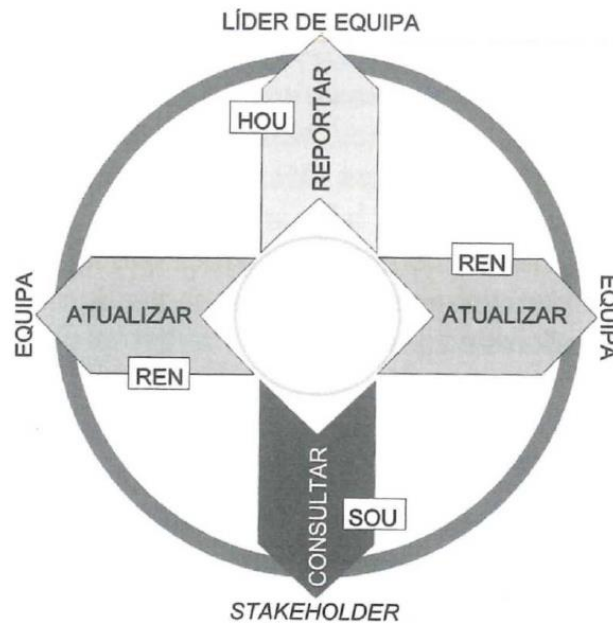


Figura 11: O processo de comunicação *hourensou*. Fonte: Pinto (2014).

2.4.1. *Genchi Genbutsu* e o *Hourensou*

O *genchi genbutsu*, como referido anteriormente, é um conceito que significa “vá, veja por si, e verdadeiramente perceba a situação”. O *hourensou* parece ser a negação deste conceito, mas se aplicado de forma correta, poderá alcançar os mesmos resultados. O *hourensou* tem a vantagem sobre o *genchi genbutsu* de poder ser aplicado em larga escala, envolvendo um grande número de pessoas ou áreas de trabalho dispersas. O mais correto seria praticar sempre o *genchi genbutsu*, mas numa grande organização, esse processo torna-se mais complicado (Pinto, 2014).

Para que sejam realizadas algumas das funções do *genchi genbutsu*, determinados gestores de topo de grandes empresas japonesas recorrem ao *hourensou*. Estes gestores reconhecem a importância de se manterem envolvidos, percebendo com detalhe as situações, aceitando a formação e o desenvolvimento dos seus colaboradores como aspetos cruciais, oferecendo orientação e aconselhamento, fazendo esforços para se manterem informados, e assim melhor gerirem os negócios. Não existe uma fórmula mágica para se fazer isto, mas os gestores japoneses recorrem aos seus colaboradores para obter feedback dos eventos-chave ocorridos em cada dia, e sempre que possível deslocam-se aos locais onde o trabalho é realizado (*genchi genbutsu*) (Pinto, 2014).

2.5. Kaikaku

A melhoria contínua pressupõe uma evolução gradual do desempenho, algo que acontece todos os dias e de forma constante. Em alternativa, a mudança poderá acontecer de forma brusca e irregular, que se pode denominar de *kaikaku*. Muitas vezes é urgente que a mudança ocorra, pelo que não há tempo para uma evolução gradual. Exemplos disso são a mudança de layout numa área de trabalho ou a introdução de uma nova prática ou documento. Quando há empenho da empresa em melhorar o desempenho, combatendo o desperdício e criando valor para todos os seus *stakeholders*, tem como opção estas duas abordagens: melhoria contínua e *kaikaku*. No entanto, os eventos *kaikaku* devem ser enquadrados numa estratégia de melhoria contínua, sendo a melhoria contínua utilizada como padrão (Gåsvaer e von Axelson, 2012; Pinto, 2014).

2.5.1. Eventos de Melhoria Rápida

Os eventos de melhoria rápida (RIE), já mencionados anteriormente, são um exemplo de *kaikaku*. Estes podem ser designados por “*kaizen blitz*” ou “*workshops kaizen*”. Os RIE caracterizam-se por se focarem em aspetos específicos ou em projetos de melhoria de curta duração, que por norma têm a duração de dois a cinco dias úteis, e podem realizar-se na sequência do VSM, ou na identificação de oportunidades de melhoria. Os RIE podem ser excelentes iniciativas motivacionais ao gerarem resultados rápidos, e são ações demonstradoras do poder das rápidas intervenções no *gemba* (Pinto, 2014).

O RIE concentra todos os recursos num objetivo específico. A intensidade e a urgência sobrepõem-se à resistência intelectual a um novo paradigma. Um RIE força as soluções, dado que as pessoas terão pouco tempo para pensar ou arranjar motivos para atrasos. Os resultados dos RIE são imediatos e significativos, e isto gera entusiasmo e satisfação entre todos. Os RIE podem ser excelentes aliados na fase de arranque da implementação da filosofia *Lean*, ao criar o desejo pela melhoria contínua em toda a organização (Pinto, 2014).

A aplicação continuada dos RIE pode provocar uma habituação indesejada à procura de resultados rápidos, ficando aquém dos resultados significativos e duradouros que a filosofia *Lean* pode gerar. Os RIE tendem a concentrar-se na resolução dos sintomas, ignorando as causas reais dos problemas. A intervenção RIE num determinado processo

não deverá apenas resultar na melhoria do desempenho desse processo. Em caso algum tal deverá acontecer, porque o objetivo da intervenção deverá ser sempre a melhoria global do sistema de operações da empresa e não a de um processo específico (Pinto, 2014).

3. Pensamento *Lean*

Este capítulo refere-se à revisão bibliográfica, onde se aborda a temática do pensamento *Lean* (*Lean Thinking*), que nasceu do sistema de produção da Toyota, assim como os temas relevantes para o estudo de caso desenvolvido, e não só.

A área de estudo que suporta este trabalho é o pensamento *Lean*, pelo que se pretende neste capítulo fazer uma análise à sua origem, desenvolvimento, princípios, metodologias e ferramentas de implementação, para posteriormente se fazer uma ligação ao estudo de caso.

O intuito desta revisão bibliográfica é, para além da contextualização para o estudo de caso, realçar a abrangência do pensamento *Lean* a diversas atividades e áreas de negócio, a qual envolveu a consulta de artigos de revistas e jornais científicos, bem como livros de autores de referência da especialidade.

Com esta dissertação, pretende-se abranger uma grande quantidade de metodologias e ferramentas utilizáveis pelas organizações industriais e de serviços, e não tanto por uma revisão exaustiva, garantindo assim uma possível continuidade desta investigação a longo prazo.

3.1. História e Evolução do Pensamento *Lean*

Este subcapítulo trata do contexto histórico do pensamento *Lean*, desde os primórdios até à atualidade.

3.1.1. Os primórdios do *Lean*

Apesar da filosofia *Lean* apenas se ter disseminado após a segunda guerra mundial, no seio da indústria automóvel japonesa, em particular na Toyota, através do sistema de produção da Toyota, já no século XV em Veneza se verificava a padronização de peças e peças intermutáveis para produção de navios. Este modelo de produção em massa levou a uma produção mais rápida, com menores custos e maior eficácia (Charron *et al.*, 2014).

A revolução industrial trouxe a divisão do trabalho, e consigo a especialização e foco a cada etapa do processo de produção. Estes acontecimentos foram despoletados em 1733, com a invenção de John Kay da lançadeira transportadora na indústria têxtil, que permitiu

a redução da quantidade de operadores, e permitiu também um aumento da produção de tecidos (Smith e Hawkins, 2004).

Após várias invenções importantes semelhantes que ocorreram entre 1733 e 1765, a máquina a vapor foi desenvolvida e aperfeiçoada por James Watt, que a aplicou à indústria do algodão em 1785, com a eliminação da ação humana ou animal, o que solidificou o conceito de produção em massa. A introdução de máquinas à produção deu origem à produção de bens com peças intermutáveis (Smith e Hawkins, 2004).

No final do século XVIII, Eli Whitney criou uma máquina para descaroçar algodão, que permitia em cerca de uma hora fazer o trabalho que vários operários faziam num dia. Este inventou mais tarde um sistema de produção, que viria a ser conhecido mais tarde com o “sistema americano de produção”, no qual colaboradores pouco qualificados conseguiam fazer um produto final com a mesma qualidade que um especialista sozinho, com uma velocidade maior. Este sistema baseava-se no conceito de uniformização de produtos e peças intermutáveis, com linhas de montagem idênticas e o auxílio de máquinas ao longo das linhas, que permitia uma diminuição considerável do tempo de produção (Caney, 1985).

Ao longo do século XIX, os conceitos da divisão do trabalho, produção assistida por máquinas, e a montagem de peças padronizadas para produção foram firmemente estabelecidos na Europa e nos Estados Unidos (Smith e Hawkins, 2004).

Em 1881, Frederick Taylor começou a investigar o sistema de produção, tendo desenvolvido e aplicado uma série de conceitos que revolucionaram o sistema produtivo, dando assim origem ao Taylorismo ou teoria científica do trabalho. Este é um sistema produtivo baseado na produção em série, que pretende dividir os processos produtivos em pequenas tarefas, com o objetivo da eliminação de todos os tempos mortos (Smith e Hawkins, 2004).

No início do século XX, Frank Gilbreth faz uma abordagem quantitativa aos processos de produção contemporâneos, com base nos estudos de movimento e análises de produção (Smith e Hawkins, 2004).

3.1.2. Henry Ford e o Sistema de Produção em Massa

No fim do século XIX, Henry Ford completou o fabrico do seu primeiro automóvel, e alguns anos mais tarde, já no século XX, anunciou a intenção de produzir um automóvel que pudesse ser adquirido pelas massas, o que foi atingido pelo Ford Modelo T. Para que o automóvel tivesse um preço acessível, era essencial que a produção tivesse um baixo custo, o que só seria possível com novos conceitos de produção, surgindo assim o sistema de produção em massa. Aqui, foram utilizados à risca os princípios de padronização e simplificação de Taylor, de modo a aplica-los ao sistema de produção (Smith e Hawkins, 2004).

Este novo conceito de produção consistia na realização sequencial numa linha de montagem de grupos e subgrupos de equipamentos de uma forma constante e com tempos padronizados, sendo possível construir automóveis completos em tempos nunca antes vistos. Para se atingir este nível de eficiência foram necessários mais de cinco anos de estudos de cada uma das operações da linha de montagem, tendo sido efetuados vários ajustes e eliminados os desperdícios de tempo, e ao mesmo tempo aumentando os níveis de qualidade. Esta melhoria no sistema de produção só foi possível com a eliminação de vários tipos de desperdícios, que estão identificados e são subjacentes ao pensamento *Lean* (Smith e Hawkins, 2004).

3.1.3. A família Toyoda e o Toyota *Production System*

Nos anos 20 do século XX, Sakichi Toyoda abriu a Toyoda Automatic Loom Works. As ideias dos princípios de *Jidoka* (autonomação) têm a sua origem nos teares mecânicos automáticos de Sakichi Toyoda. Estes teares paravam automaticamente assim que um fio de rasgasse (Liker, 2004; Fritze, 2016).

O seu filho, Kiichiro Toyoda, assim como o primo de Kiichiro, Eiji Toyoda, viajaram para os Estados Unidos para estudar a indústria automóvel americana, e voltaram com um conhecimento profundo do sistema de produção em massa da Ford *Motor Company* (Liker, 2004).

Em 1937, a Toyota *Motor Company* foi registada por Kiichiro Toyoda, numa tentativa de reinvenção da marca focada na venda de automóveis, um ano após o início da comercialização do primeiro automóvel de passageiros. A mudança de nome para Toyota

ocorreu, visto que “Toyoda” em japonês significa literalmente “arrozais férteis”, pelo que a mudança de nome prevenia a associação da empresa à agricultura, e também porque simplesmente “Toyota” soava melhor em japonês do que “Toyoda” (Womack *et al.*, 1990).

Kiichiro Toyoda estava determinado em não só adaptar o sistema a mais pequenas quantidades de produção, como também melhorar as práticas básicas. O sistema desenvolvido por si geria os materiais necessários para coincidirem com o consumo da produção, nascendo assim o sistema *Just In Time* (JIT). As ideias de Kiichiro foram influenciadas pelo estudo às fábricas da *Ford Motor Company*, assim como o sistema de supermercados americano da substituição de produtos nas prateleiras à medida que os consumidores os consumiam (sistema *Kanban*) (Liker, 2004).

Taiichi Ohno juntou-se à organização da Toyota nos anos 30 do século XX, e desde cedo na sua carreira desenvolveu os conceitos de JIT introduzidos por Kiichiro para reduzir o desperdício (Liker, 2004).

Durante o caos da segunda guerra mundial, a Toyota sofreu um duro golpe resultante da guerra, e durante e depois da guerra haviam grandes faltas de recursos humanos, financeiros e materiais no Japão (Liker, 2004).

Em 1950, quando o grupo Toyota foi forçado a reorganizar-se pelo governo japonês, Eiji Toyoda foi eleito o novo diretor geral da empresa. Kiichiro aceitou a responsabilidade pelos problemas da companhia e resignou-se da posição de presidente, apesar dos problemas atuais do Japão estarem fora do seu controlo ou de qualquer outra pessoa. No entanto, o sacrifício pessoal de Kiichiro teve um impacto profundo na história da Toyota, porque todos os colaboradores sabiam o que ele tinha feito, e o porquê de o ter feito. A filosofia da Toyota até aos dias de hoje, é a de pensar além dos problemas individuais para o bem a longo prazo da companhia, assim como tomar responsabilidade pelos problemas que aparecem (Womack *et al.*, 1990; Liker, 2004).

Ainda antes da segunda guerra mundial, a administração da Toyota já tinha percebido que o mercado japonês era demasiado pequeno e a procura era muito fragmentada para serem copiados os elevados volumes de produção dos Estados Unidos da América (EUA), e sabia-se que para uma indústria automóvel sobreviver a longo prazo no Japão, seria necessário adaptar a produção em massa para o mercado japonês. As restrições no

mercado tornavam necessária a produção de pequenas quantidades, com uma maior variedade de produtos sob condições de baixa procura, sendo exigida qualidade, custos reduzidos, menores tempos de fabrico e flexibilidade (Liker, 2004).

Sob a gestão de Eiji, as fábricas foram reconstruídas, e Ohno desempenhou um papel importante no estabelecimento das metodologias e princípios JIT que ele próprio ajudou a desenvolver. Não estando satisfeito por apenas copiar as práticas dos sistemas americanos, Eiji estabeleceu o primeiro processo *kaizen* (melhoria contínua) dentro do grupo Toyota, baseado no sistema da *Ford Motor Company* (Smith e Hawkins, 2004).

Um dos principais pontos que Ohno acreditava que a Toyota precisava de dominar era o do fluxo contínuo de material no processo de produção, e o melhor exemplo à data era o da linha de montagem contínua da *Ford Motor Company* (Liker, 2004).

Um dos aspetos que mais impressionaram Eiji Toyoda durante a visita à *Ford Motor Company* foi a grande quantidade de inventário intermédio/*work in progress* (WIP) que vagueavam pela fábrica. A lógica dominante dos sistemas de operações que Eiji verificou nos EUA assentava no princípio *push*, ou seja, a produção de quantidades superiores à procura atual forçava a empresa a empurrar os seus produtos para o mercado. A renomeada *Toyota Motor Corporation* cedo se apercebeu que, trabalhando em lotes pequenos, conseguiria reduzir tempos e custos dos seus veículos e, assim, competir com marcas há muito estabelecidas no mercado. Foi assim criado o fluxo contínuo de materiais, pessoas e informação (Pinto, 2014).

Apesar de não ter disponíveis muitas ferramentas, Ohno estava armado com o seu conhecimento do chão da fábrica, engenheiros dedicados, gerentes, e trabalhadores que dariam tudo para ajudar a companhia a ter sucesso. Com isto, Ohno começou as suas viagens práticas pelas fábricas da Toyota, aplicando os princípios de *jidoka* e de fluxo unitário (*one-piece flow*). Depois de anos e décadas de prática, tinha sido criado o novo TPS (Liker, 2004).

O sistema TPS desenvolvido na Toyota por Eiji e Ohno, segundo os mesmos, foi muito influenciado pelo conceito de linha de montagem da *Ford Motor Company*, e também pelo sistema de operação dos supermercados nos Estados Unidos, que providenciava um fornecimento contínuo de bens ao consumidor, à medida que os consumidores compravam os produtos. Este sistema é hoje em dia conhecido como o sistema “*pull*”

(produção puxada). Sem este sistema “*pull*”, o JIT, que é um dos pilares do TPS, nunca teria evoluído (Liker, 2004).

Shigeo Shingo foi um consultor de qualidade que teve uma influência significativa no sistema TPS, tendo auxiliado a implementação de iniciativas de qualidade, e também os métodos de redução dos tempos de *setup/Single Minute Exchange Dies* (SMED), que foram desenvolvidos pelo próprio na Mazda, outra empresa do ramo automóvel japonesa, no início da década de 50 do século XX. O SMED consiste em ações combinadas de melhoria, resultantes do trabalho em equipa, que visam a sistemática redução dos tempos e das atividades de mudança e/ou ajuste, com o propósito de maximizar a utilização dos meios e o aumento da flexibilidade dos processos (Liker, 2004).

A Toyota também levou a sério os ensinamentos do pioneiro americano da qualidade, Edwards Deming. Este deu seminários de qualidade e produtividade no Japão, e ensinou que, num sistema de negócio típico, atender e exceder as exigências dos clientes é a tarefa de todos dentro de uma organização. Cada pessoa ou passo numa linha de produção ou processo do negócio teria que ser tratada como um cliente e ser providenciada com o que era necessário, ao tempo exato em que a necessidade aparecesse. Esta foi a origem do princípio de Deming, em que o próximo processo é o cliente. Num sistema “*pull*”, o que isto significa é que “o processo precedente deve fazer sempre o que o processo subsequente diz”. Esta expressão tornou-se uma das mais importantes no JIT (Liker, 2004).

Deming também encorajou os japoneses a adotar a abordagem de resolução de problemas sistemática, que mais tarde se passou a chamar de ciclo de Deming, ou ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), um pilar da melhoria contínua (*kaizen*) (Liker, 2004).

Na década de 60 do século XX, o TPS era uma filosofia poderosa que todos os tipos de negócios e processos poderiam aprender a usar. No entanto, o poder do TPS era desconhecido na generalidade, fora da Toyota, até à primeira crise do petróleo em 1973, que provocou uma recessão mundial, e gerou-se um grande interesse em torno do TPS, e nas suas práticas de produção e gestão. Cerca de duas décadas depois, apesar do interesse no TPS, fora da Toyota ainda só se entendia uma fração da aplicação dos princípios do sistema, e ainda levaria algum tempo até que o mundo compreendesse a “Toyota Way” e o novo paradigma de produção (Liker, 2004).

3.1.4. Gurus da Qualidade

Parte do problema partia do facto que a produção em massa após a segunda guerra mundial se focava apenas no custo. Este tipo de pensamento dominou o mundo da produção até aos anos 80. Por essa altura o mundo ficou a conhecer os gurus da qualidade e todo o seu trabalho realizado até à data. Começou-se então a entender que focar-se na qualidade reduzia mais os custos do que focar-se apenas nos custos. As pessoas mais influentes para a melhoria da qualidade ficaram conhecidas como os gurus da qualidade, sendo estes os seguintes:

Walter Shewart ficou conhecido como o pai do Controlo Estatístico do Processo/*Statistic Process Control* (SPC), que é uma ferramenta da qualidade utilizada nos processos produtivos (e de serviços), com o objetivo de fornecer informações para um diagnóstico mais eficaz na prevenção e deteção de defeitos/problemas nos processos avaliados e posterior correção desses processos. O SPC auxilia assim ao aumento da produtividade/resultados da empresa, evitando desperdícios de matéria-prima, produtos, etc (Pinto, 2011).

Edwards Deming trabalhou em conjunto com Shewart, e teve uma grande influência na evolução do SPC, tendo-o trazido para o Japão na década de 50 do século XX, sendo considerado uma das inspirações para a recuperação económica do Japão após a segunda guerra mundial. O ciclo PDCA, referido anteriormente, foi outro dos seus trabalhos, sendo este um método iterativo de gestão de quatro passos, utilizado para o controlo e melhoria contínua de processos e produtos, que será explicado em mais detalhe mais adiante. Desenvolveu ainda um programa de 14 pontos para a implementação da gestão da qualidade. Este programa de 14 pontos tinha como pontos essenciais a melhoria contínua, a redução de desperdícios, a implementação de métodos de formação e supervisão, o trabalho conjunto entre os departamentos da organização, e a criação de uma estrutura de gestão que colocasse em prática todos os pontos anteriores (Liker, 2004; Pinto, 2011).

Joseph Juran deu ênfase ao trabalho apoiado na motivação, e explicitou a diferença entre criar (melhorias) e prevenir mudanças (rotina). Desenvolveu a “trilogia Juran”, que especifica e desenvolve os três elementos que este considerava serem essenciais para integrar um programa de qualidade: planeamento, controlo, e melhoria contínua. Fez uma abordagem da qualidade que abrangia toda a vida do produto, com ênfase nos custos da

qualidade. Aplicou ainda a regra de Pareto à qualidade, em que conclui que 80% dos problemas são resultado de 20% das causas (Pinto, 2011).

Kaoru Ishikawa foi um pioneiro das atividades de Controlo da Qualidade Total/*Total Quality Control* (TQC) no Japão, e desenvolveu o diagrama de causa e efeito, também conhecido como o diagrama de Ishikawa, cuja finalidade é organizar o raciocínio em discussões de um problema prioritário em diversos processos. Este diagrama foi desenvolvido com o objetivo de representar a relação entre um “efeito” e as suas possíveis “causas”. Esta técnica é utilizada na análise de problemas e a relação com fatores que o determinam. Ishikawa reuniu ainda um conjunto de ferramentas como forma de melhorar os serviços e processos das empresas, que foram denominadas das 7 ferramentas clássicas da qualidade de Ishikawa: diagrama de causa e efeito, fluxograma, folhas de verificação, diagrama de Pareto, histograma, gráficos de dispersão e gráficos de tendência. Desde então, estas ferramentas têm sido utilizadas nos sistemas de gestão e ajudam a melhorar os serviços e processos (Bueno, 2003; Pinto, 2011).

Genichi Taguchi desenvolveu uma metodologia de aplicação de estatísticas para melhorar a qualidade dos produtos produzidos, e desenvolveu uma ferramenta chamada Desenho de Experiências/*Design of Experiments* (DOE) para o desenvolvimento de produtos e processos robustos. O DOE é um teste, ou uma série de testes, onde são feitas alterações intencionais às variáveis de entrada de um processo, para que se possam medir as respetivas alterações na saída do processo (Pinto, 2011).

Armand Feigenbaum concebeu o conceito de TQC num livro lançado em 1951, tendo servido de inspiração para a Gestão da Qualidade Total/*Total Quality Management* (TQM). O TQC foi assim definido como um sistema eficaz que integra o desenvolvimento da qualidade, a manutenção da qualidade e os esforços de melhoria da qualidade entre os diferentes setores da empresa, com o objetivo de criar produtos/serviços com o máximo de economia e a plena satisfação dos consumidores. Desenvolveu ainda a primeira proposta sistemática da divisão dos custos da qualidade em prevenção, avaliação, falhas internas e externas (Feigenbaum, 1991; Pinto, 2011).

Phillip Crosby contribuiu para o desenvolvimento da TQM, que se refere a uma estratégia de administração orientada a criar consciência da qualidade em todos os processos organizacionais, sendo referida como “total”, visto que o seu objetivo é envolver distribuidores e demais parceiros de negócios. A TQM compreende várias

etapas, como o planeamento, organização, controlo e liderança. Um desenvolvimento posterior a este conceito é o seis sigma, que será explicado em detalhe mais adiante. Crosby desenvolveu também a ideia dos “custos da má qualidade”, ou seja, investir na prevenção em vez de gastar na inspeção do produto final, e ainda o programa “zero defeitos”, criado em 1961, como meta dos gestores e não um programa de motivação dos trabalhadores (Pinto, 2011).

Eliyahu Goldratt introduziu o conceito da teoria das restrições/*theory of constraints* (TOC) no livro de 1984 “*The Goal*”. A TOC é um paradigma de gestão que considera qualquer sistema administrável como sendo limitado em alcançar mais do que as suas metas por um número muito pequeno de restrições. A TOC foi concebida para auxiliar as organizações a alcançar os seus objetivos continuamente, sendo fundamentada num conjunto de princípios básicos, processos simples, e ferramentas lógicas, e é aplicável através da dedução lógica a áreas específicas como a financeira, logística, gestão de projetos, administração de pessoas, estratégia, vendas, marketing e produção (Goldratt e Cox, 2018).

João Paulo Pinto, doutorado em gestão de operações, formador, consultor e professor universitário desde 1993, é o fundador da associação Comunidade *Lean Thinking* (CLT) e autor de trabalhos de consultoria e formação nos domínios de engenharia e gestão empresarial. Na opinião do autor, este é o Português com maior influência na disseminação da filosofia *Lean*, seja através da CLT, ou dos seus livros publicados até à data: “Pensamento *Lean*: A filosofia das organizações vencedoras”, “Gestão de Operações”, e “Manutenção *Lean*”. O livro “Pensamento *Lean*: A filosofia das organizações vencedoras”, em específico, utilizado ao longo deste trabalho, é considerado pelo autor como uma obra essencial, não apenas por ser o primeiro livro do género escrito em português, mas pela abordagem aos temas e a atualidade dos mesmos (Pinto, 2014).

Na opinião do autor, Shigeo Shingo e Taiichi Ohno também podem ser considerados gurus da qualidade, devido a todo o contributo e trabalho que foi desenvolvido na criação do TPS, como já referido anteriormente.

3.1.5. Das primeiras obras de literatura do *Lean* até ao presente

Uma das melhores e mais compreensíveis abordagens literárias acerca do TPS é da autoria do próprio Taiichi Ohno, de nome “*Toyota Production System: Beyond Large-Scale*

Production”, lançado em 1988, em que Ohno faz uma descrição muito personalizada do sistema, em modo de história (Liker, 2004).

O termo *Lean* foi utilizado pela primeira vez por John Krafcik, em 1988, no artigo intitulado “*Triumph of the Lean Production System*”, do *International Motor Vehicle Program* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), numa publicação que derruba o mito que os níveis de produtividade e qualidade são determinados pela localização da fábrica, visto que o Japão era visto como superior nestes aspetos. Este estudo concluiu ainda que as plantas a operarem com políticas de produção *Lean* são capazes de produzir uma vasta gama de modelos, mantendo, no entanto, altos níveis de qualidade e produtividade, com uma correlação a ser verificada entre a cultura da corporação e o desempenho da fábrica, mas não com o nível de tecnologia da fábrica (Krafcik, 1988).

O interesse do MIT pelo *Lean* e o TPS não se ficou pelo artigo de Krafcik, pelo que em 1990, a partir da investigação do programa da indústria automóvel do MIT desenvolvido nos 5 anos anteriores, foi publicado o livro intitulado “*The machine that changed the world*” (Womack, Jones e Roos), onde o sistema de produção japonês foi batizado de *Lean Production*, e onde é dado destaque aos métodos de produção no Japão e a sua comparação com os métodos ocidentais de produção em massa (Womack *et al.*, 1990).

Em 1996, os autores do anteriormente referido livro “*The machine that changed the world*”, Womack e Jones, publicaram o livro intitulado “*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*”, onde foi introduzida pela primeira vez a expressão “*Lean Thinking*” (Pensamento *Lean*), onde são apresentados os princípios orientadores subjacentes ao *Lean* (Womack e Jones, 1996).

Após o lançamento do livro referido anteriormente “*Lean Thinking*”, foram lançados numerosos livros e artigos que aprofundam a utilização das ferramentas do *Lean*, e a abrangência do conceito. Além dos apresentados acima, que têm relevância não só pelo conteúdo, mas também pela data em que foram lançados, por serem tópicos que não teriam sido abordados anteriormente, existem também alguns outros livros que foram importantes para uma melhor compreensão da filosofia *Lean*, como o livro de 1998 de Mike Rother e John Shook, intitulado “*Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*”, que pretende identificar os desperdícios nas cadeias de valor a partir do VSM desenvolvido pela Toyota. O livro de 2004 de Jeffrey Liker, intitulado “*The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer*”,

explora os princípios de gestão e a filosofia de negócio por trás da reputação mundial da Toyota por qualidade e fiabilidade, e mostra ainda aos gestores em qualquer indústria como melhorar os processos de negócio. Após a viragem do novo século, começaram a ser publicados mais livros e em maior frequência, de diferentes autores, que ajudaram a moldar o conceito atual do *Lean*, alguns dos quais serão suporte desta dissertação (Rother e Shook, 1998; Liker, 2004).

À medida que o pensamento *Lean* se continua a expandir por todo o mundo, os líderes também estão a adaptar as ferramentas e princípios além da produção, para a logística e distribuição, serviços, vendas a retalho, cuidados de saúde, construção, manutenção, e até no governo. De facto, a consciencialização do *Lean* e os seus métodos só recentemente estão a começar a enraizar-se nos gestores e líderes em todos os setores (Pinto, 2014).

Pinto (2014) descreve numa frase chave a evolução do *Lean*: *“Desde o seu desenvolvimento inicial, até aos nossos dias, a filosofia Lean tem vindo a evoluir, muito graças aos seus precursores e às empresas que lhes serviram de referência, como também devido ao contributo e à experiência de entidades espalhadas por todo o mundo, que vão contribuindo para o crescimento da filosofia, desenvolvendo-a e implementando-a nos mais diversos setores da atividade”*.

3.2. Conceitos e Princípios

De acordo com Womack e Jones (1996), o pensamento *Lean* é uma filosofia de gestão empresarial que tem como objetivo principal a criação de valor para todas as partes interessadas, a partir da constante redução ou eliminação dos desperdícios (*muda*), indo de encontro às expectativas do cliente ou das demais partes interessadas/*stakeholders* no negócio. O desperdício é aqui referido como qualquer atividade humana que não acrescenta valor. Na opinião de Pinto (2014), o conceito deve ser alargado, passando a incluir não apenas as atividades humanas, como também qualquer outro tipo de atividades e recursos usados indevidamente e que contribuem para o aumento de custos, de tempo e da não satisfação do cliente ou das demais partes interessadas no negócio.

3.2.1. Valor

De acordo com Pinto (2014), e de encontro à definição anterior de Womack e Jones (1996), valor não é apenas aquilo que recebemos em troca pelo que pagamos, mas sim tudo aquilo que justifica a atenção, o tempo e o esforço que dedicamos a algo.

Apenas o valor justifica a existência de uma organização. É para isso que elas existem: para criar valor para todas as pessoas que, direta ou indiretamente, se servem dos seus produtos ou serviços (Pinto, 2014).

Não são apenas os clientes que esperam receber valor das organizações com que interatuam. Os colaboradores (trabalhadores), os acionistas, os fornecedores e a sociedade em geral também esperam receber algo que “valha a pena”, para que continuem a apoiar o desenvolvimento da organização. O valor que as organizações geram destina-se à satisfação simultânea de todas as partes interessadas (*stakeholders* – Figura 1). Todas elas têm interesses e necessidades específicas e a sua satisfação resulta no valor criado pela organização (Pinto, 2014).

Para criar valor para os seus *stakeholders*, uma organização deve centrar-se nas atividades que vão ao encontro da satisfação daqueles, procurando eliminar todas as formas de desperdício (Pinto, 2014).



Figura 12: As diferentes partes interessadas numa organização. Fonte: Pinto (2014).

3.2.2. Cadeia de Valor

A cadeia de valor representa o fluxo de atividades, de valor acrescentado ou não, desde o ponto da solicitação de uma necessidade até ao fornecimento do produto ou serviço. Apesar de se considerar a cadeia total de valor desde o ponto em que uma encomenda é recebida até ser entregue ao cliente, o seu estudo pode ser mais específico, dependendo da perspetiva que a empresa tem ou da fase em que se foca. Pode ir desde o protótipo de um produto até à sua efetiva conceção, de matérias-primas a produto acabado, de recebimento de uma ordem à sua entrega, ou todas estas visões englobadas e interligadas (Rother e Shook, 1998).

De acordo com Womack e Jones (1996), a cadeia de valor deve ser estudada como um todo para a identificação dos sete desperdícios, de modo a chegar ao conjunto de atividades singulares, pelo que deve envolver toda a cadeia de negócio. Uma das ferramentas que tem protagonismo no estudo da cadeia de valor é o VSM, que será abordado posteriormente.

3.2.3. Fluxo

A criação de fluxo entre atividades de valor acrescentado, também conhecido como “*one-piece flow*”, é um dos conceitos ligados ao pensamento *Lean* mais complicados de entender e difíceis de atingir. O *one-piece flow* consiste num estado ideal de operações onde a produção em lotes é substituída por uma produção unitária, um produto de cada vez. Apesar deste estado nem sempre ser prático e acarretar alguns riscos, existem várias vantagens para a implementação do *one-piece flow* (Melton, 2005):

- Desenvolvimento de estabilidade e continuidade das operações, bem como uma redução efetiva de desperdícios;
- Os problemas ao longo da cadeia de valor são mais evidentes e a sua eliminação é obrigatória, devido à dependência entre as atividades;
- Os defeitos são detetados mais rapidamente, pelo que a qualidade dos produtos aumenta;
- A necessidade de inventário intermédio diminui, visto que o *lead time* é reduzido, como se verá posteriormente em mais detalhe.

3.2.4. Desperdício

Como já referido, o desperdício refere-se a todas as atividades que realizamos e que não acrescentam valor. Cerca de 95% do tempo de uma organização é despendido na realização de atividades *muda* que não acrescentam valor. Como consequência disto, cerca de 40% dos custos em qualquer negócio resultam da manutenção do desperdício (Pinto, 2014).

Os tipos de desperdícios podem ser identificados da seguinte forma (Figura 2) (Abreu, 2011):

- **Desperdício necessário** - Atividades que não criam valor, mas que têm que ser realizadas. São casos em que essas atividades não podem ser eliminadas com base na tecnologia existente ou nas políticas adotadas. Podem também ser atividades necessárias por imposição de normas ou legislação em vigor, ou devido à falta de robustez do processo. No entanto, é importante reduzir a presença deste tipo de desperdício, na medida do possível;
- **Puro desperdício** – Atividades que não criam valor totalmente desnecessárias que o cliente não deseja. São atividades que importam eliminar ao máximo.

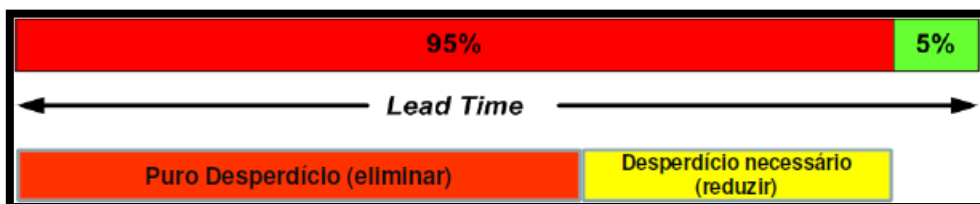


Figura 13: *Lead Time* e os tipos de desperdícios. Fonte: Abreu (2011).

Aqui, o *lead time* é definido como o período entre o início de uma atividade, produtiva ou não, e o seu término, e pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Lead\ Time = \frac{Tempo\ de\ valor\ acrescentado}{Tempo\ total\ da\ atividade} * 100 [\%] \quad \text{Equação 1: } Lead\ Time$$

O tempo de valor acrescentado representa o tempo despendido pela organização a criar o produto ou serviço ao cliente que representa valor acrescentado, e o tempo total da atividade representa o tempo desde o início da atividade e o seu término. Se o *lead time* for total, todo o tempo despendido entre o início da atividade e o seu término representa valor acrescentado.

O *muda* também pode ser classificado como visível e invisível, sendo que o último é o que existe em maior abundância nas organizações, e é o mais difícil de combater (Pinto, 2014).

3.2.4.1. Os Sete Desperdícios

A gestão empresarial do Japão desenvolveu uma série de técnicas e ferramentas para a identificação dos desperdícios, das quais se destacam os sete desperdícios de Taiichi Ohno e Shigeo Shingo. Foram também desenvolvidas outras técnicas de identificação dos desperdícios, no entanto a identificação dos sete desperdícios, além de ser a mais popular, reúne o essencial das ideias discutidas pelas outras técnicas.

Os sete desperdícios foram originalmente desenvolvidos para processos de produção. No entanto, estes também têm aplicação em vários tipos de serviços (Bicheno e Holweg, 2016).

As sete formas de desperdícios identificadas no decorrer do desenvolvimento do TPS são então as seguintes (Pinto, 2014; Bicheno e Holweg, 2016):

1. Excesso de produção – É a mais penalizante das sete formas de desperdícios, e para além disso, contribui ainda para a ocorrência dos restantes seis desperdícios. Este desperdício consiste em produzir em demasia ou antecipar a produção (*just in case* – JIC). O JIC consiste na expectativa de venda antecipada ou de elevada procura por parte de clientes, que leva à antecipação de compras de peças e materiais, e aumentos de inventário.

O excesso de produção provoca grandes lotes de produção e uma ocupação desnecessária de recursos, criação de inventários excessivos e rentabilização de esforços em atividades que não acrescentam valor.

O efeito *bullwhip* (chicote) ao longo da cadeia de fornecimento e dos canais de distribuição, que faz com que as empresas mais afastadas do cliente final sofram com as enormes variações do consumo, é também uma causa para o excesso de produção;

2. Esperas – Referem-se ao tempo que as pessoas ou os equipamentos perdem sempre que estão à espera de algo, como por exemplo, uma autorização. As esperas geram custos que não acrescentam valor ao produto final.

Este é o segundo tipo de desperdício mais relevante, e está diretamente relacionado com o fluxo. No *Lean*, existe uma maior preocupação com o fluxo de serviço e clientes do que em manter os operadores ocupados. Apesar de ser difícil de reduzir as esperas a zero, é esse o objetivo do *Lean*.

Os tempos de espera estão diretamente relacionados com a obstrução de fluxos (avarias, defeitos ou acidentes), problemas de layout (transportes excessivos), problemas e/ou atrasos com entregas de fornecedores, dessincronização da oferta com a procura e grandes lotes de produção;

3. Trabalho desnecessário – Movimento que não é realmente necessário para executar as operações. Ou é muito lento, ou muito rápido, ou excessivo.

O movimento desnecessário refere-se tanto aos trabalhadores como ao layout. A dimensão humana está relacionada com a importância da ergonomia para a qualidade e produtividade, e a enorme proporção de tempo que é desperdiçado em cada posto de trabalho pela utilização de layouts imperfeitos. A dimensão do layout envolve a pobre disposição do local de trabalho, que leva a desperdícios de movimentação. Nesta dimensão os 5S (que serão posteriormente referidos) têm um papel importante na minimização do impacto deste desperdício.

Os movimentos desnecessários são provocados pelas operações realizadas de forma isolada, a desmotivação dos colaboradores, falta ou insuficiente formação e treino dos colaboradores, instabilidade das operações e *layouts* de trabalho incorretos;

4. Transporte e movimentações – Qualquer movimentação ou transferência de materiais, partes montadas ou peças acabadas, de um sítio para outro por alguma razão.

Os clientes não pagam pelas movimentações de materiais, pelo que qualquer movimentação de materiais é considerada como desperdício. É um desperdício que não se consegue eliminar por completo, no entanto deve ser reduzido de forma contínua.

O transporte está intimamente ligado à comunicação. Quando as distâncias são longas, a comunicação é desencorajada e a qualidade pode ser a vítima. O feedback em qualidade pobre está inversamente relacionado com a duração do transporte, quer em produção ou em serviços. Há cada vez mais a consciência de que para haver uma melhoria da qualidade na produção ou serviços, as pessoas de grupos que interagem entre si devem estar localizadas fisicamente perto umas das outras.

O transporte e movimentações é responsável pelo aumento de custos e do tempo de fabrico, e de produtos danificados devido às movimentações (diretamente proporcional à quantidade de movimentações);

5. Desperdício do próprio processo – Operações e processos que não acrescentam qualquer valor, e que, realizados de forma incorreta levam ao aumento dos defeitos.

Em geral, um processo robusto requer métodos corretos e formação dos colaboradores, assim como os padrões requeridos devidamente conhecidos;

6. Excesso de inventário – O excesso de inventário refere-se à presença de materiais (sejam estas matérias-primas ou produtos finais) retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da fábrica.

Apesar do objetivo de ter “zero inventário” ser impossível de atingir, o inventário é o inimigo da qualidade e produtividade. O inventário tende a aumentar o lead-time, previne a rápida identificação de problemas, e ocupa espaço.

O verdadeiro custo do inventário é o excesso de investimento que fica parado, e representa um risco de obsolescência antes da sua comercialização. Por vezes é necessário ter inventário algures na cadeia de fornecimento que opera como *buffer stock*, contra a mudança e as oscilações na procura. Este inventário pode existir sob a forma de matéria-prima, WIP ou produto acabado.

O excesso de inventário é afetado pela antecipação da produção (JIT), problemas de qualidade (defeitos, controlos e inspeções), processos a trabalhar com diferentes velocidades/ritmos, problemas de layout como exposto em outras formas de desperdícios, e tal como no desperdício do excesso de produção, grandes lotes de produção e uma ocupação desnecessária de recursos e rentabilização de esforços em atividades que não acrescentam valor;

7. Defeitos – Defeitos ou problemas de qualidade. A estes estão também associados os custos de inspeção, as respostas às queixas dos clientes e as reparações (*rework*). Quando os defeitos acontecem com alguma frequência, são aumentadas as inspeções para evitar que os defeitos passem para os clientes e o inventário aumenta para compensar as peças com defeito. Como consequência disto, a produtividade diminui e o custo dos produtos e serviços aumenta.

Os defeitos devem ser identificados o mais cedo possível na cadeia de negócio, uma vez que os custos derivados dos defeitos tendem a aumentar, quanto mais tempo permanecerem não detetados.

Os defeitos ocorrem devido à ausência de padrões de autocontrolo e inspeção, padrões nas operações de fabrico e montagem, o transporte e movimentação de materiais, e a ausência de princípios basilares como “fazer bem, à primeira”, o que leva a falhas e erros humanos. (Pinto, 2014)

Para prevenir os defeitos, é essencial ter como objetivos centrais a prevenção e não deteção de defeitos, qualidade na fonte, e a “cadeia de qualidade” (ação concertada por toda a cadeia de negócio desde o marketing, ao design, aquisição de materiais, produção, distribuição, entregas e serviço de campo). (Pinto, 2014)

A filosofia Toyota defende que um defeito deve ser considerado como um desafio e uma oportunidade para melhorar, ao invés de ser considerado algo que nunca deveria acontecer. (Pinto, 2014)

Nos serviços, as “zero deserções” tornaram-se um ponto relevante, que defende que o valor de um cliente mantido cresce com o tempo, e a ausência de problemas a chegar ao cliente são um ponto essencial para que se possam manter clientes.



Figura 14: Os sete desperdícios. Fonte: adaptado de Smith e Hawkins (2004).

A partir das ideias de Ohno, foi adicionado um oitavo desperdício, que é a “não utilização do potencial humano”. As pessoas são o principal recurso de qualquer organização, pelo que a automatização por si só não beneficia a melhoria contínua nem a produtividade. A abordagem da gestão japonesa foi inovadora ao propor o envolvimento e o comprometimento de todos os colaboradores, o que promove e premeia a intervenção e a criatividade das pessoas. Estas organizações são mais eficientes, têm melhor desempenho financeiro, e são constituídas por pessoas com poder (Pinto, 2014).

Como se nota, os sete desperdícios complementam-se, pelo que a ocorrência de um dos desperdícios pode levar à ocorrência de outros. Muitas vezes as causas e consequências do desperdício são semelhantes, pelo que a forma de os resolver também o é.

As soluções para os desperdícios são um investimento numa filosofia de gestão a longo prazo, a utilização de processos corretos, investir nas pessoas e nos seus parceiros, e por fim, a melhoria contínua, para que se garanta que tudo se encontra em constante desenvolvimento e atualização. Estas soluções são identificadas na obra de Liker (2004) como os 14 princípios de gestão da Toyota, que serão referidas mais adiante.

3.2.4.2. Os benefícios do *Lean*

O pensamento *Lean* tem como principal propósito eliminar o desperdício em todas as áreas da organização, desde a produção, às relações com clientes, à conceção, aos fornecedores e à gestão. Tem como finalidade incorporar menos esforço humano, inventário, tempo para desenvolver novos produtos, e espaço, de forma a tornar a organização altamente reativa às exigências dos clientes, produzindo produtos de alta qualidade, com maior eficiência e da maneira mais económica possível. Desta forma, as organizações tornam-se flexíveis e adaptáveis às mudanças, competitivas e sustentáveis, atraindo assim investidores e colaboradores, indo ao encontro das expectativas dos seus clientes (Melton, 2005).

Como se depreende da análise dos desperdícios, a eliminação dos mesmos coloca a descoberto os principais benefícios do *Lean*, os quais se encontram ilustrados de forma sumariada na Figura 4.

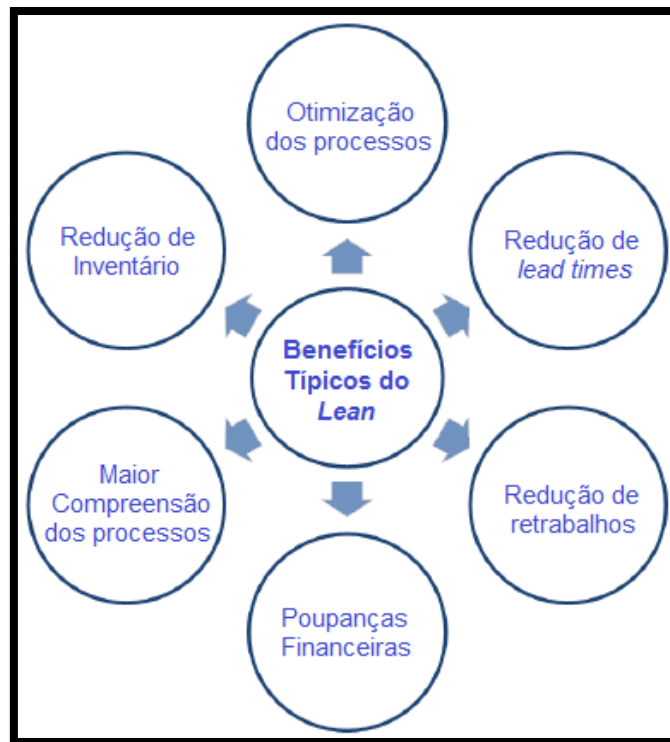


Figura 15: Os benefícios típicos do *Lean*. Fonte: adaptado de Melton (2005).

3.2.5. Os princípios do Pensamento *Lean*

No livro *Lean Thinking* de Womack e Jones (1996), foram identificados cinco princípios da filosofia *Lean*, que foram colocados numa sequência tal, que a sua realização poderia servir como um roteiro para a implementação da filosofia *Lean* nas organizações. Os cinco princípios identificados são os seguintes:

1. Criar valor;
2. Definir a cadeia de valor;
3. Otimizar o fluxo;
4. Implementar o sistema *pull*;
5. A procura pela perfeição.

No entanto, no livro intitulado *Pensamento Lean* de Pinto (2014), foram identificadas algumas lacunas nestes cinco princípios, uma vez que apenas consideram a cadeia de valor do cliente (numa organização existem várias cadeias de valor, uma para cada *stakeholder*), pelo que o desafio está na criação de valores e não na criação de valor. Outra lacuna identificada é que estes cinco princípios tendem a levar as organizações em ciclos

infindáveis de redução de desperdícios, ignorando a atividade essencial de criar valor através da inovação de produção, serviços e processos.

Para tentar colmatar estas lacunas, foi proposta a revisão dos princípios *Lean*, com a adoção de mais dois princípios: “conhecer os *stakeholders*” e “inovar sempre”. Estes dois novos princípios procuram colocar a empresa no caminho certo, rumo à excelência. (Pinto, 2014)

Assim sendo, os sete princípios identificados do *Lean* são os seguintes (Pinto, 2014):

1. Conhecer os *stakeholders* - Conhecer com detalhe todos os *stakeholders* do negócio. Uma organização que se centre apenas nas necessidades e interesses do seu cliente, negligenciando todas as outras partes interessadas, pode estar a comprometer a organização. As organizações devem ser orientadas para o cliente final e não para o próximo cliente na cadeia de valor, porque se o cliente final não compra os produtos/serviços, toda a cadeia é quebrada e está condenada a falhar;

2. Definir o(s) valor(es) – É essencial descobrir o que é que agrega valor nos produtos/serviços para todas as partes interessadas, o que implica que existem vários valores e não apenas um valor, para que se possam satisfazer todos os *stakeholders*;

3. Definir a(s) cadeias de valor – Para que se satisfaçam em simultâneo todos os *stakeholders*, entregando-lhes valor, a organização terá que definir para cada uma das partes interessadas a respetiva cadeia de valor. É aqui importante que as cadeias de valor não se sobreponham, e que se procure um equilíbrio de interesses;

4. Otimizar fluxos – Consiste em encontrar a sequência ideal de etapas que criem valor, com o objetivo de atingir um fluxo contínuo. A sincronização dos meios envolvidos na criação de valor (materiais, pessoas, informação e capital) irão levar a que se atenda às necessidades dos clientes em menor tempo, aumentando a velocidade de produção e reduzindo inventários;

5. Implementar o sistema *pull* – O sistema *pull* procura deixar os *stakeholders* liderarem os processos, competindo-lhes a eles desencadear os pedidos e a procura pelo produto/serviço. Isto evita que as empresas empurrem os *stakeholders* para o que julgam ser as suas necessidades (sistema *push*). É a imposição do JIT em vez do JIC, ou seja, o sistema *pull* em vez do sistema *push*;

6. Perfeição – Os interesses, as necessidades e as expectativas de todos os *stakeholders* estão em constante evolução. O incentivo da melhoria contínua a todos os níveis da organização, ouvindo constantemente a voz do cliente e procurando ser rápido, permitirá às organizações melhorar continuamente. Para que este princípio seja atingido, é fundamental que os princípios anteriores sejam cumpridos e interajam entre si num ciclo, para que a melhoria contínua possa acontecer;

7. Inovar sempre – É essencial para as organizações a inovação para criar novos produtos, novos serviços, novos processos, para que se crie valor. Este princípio defende que, se for o desejo do cliente, a busca pela inovação e a criação de novos produtos/serviços irá trazer valor para a organização, mesmo que isso tenha custos financeiros a curto prazo. Se o produto/serviço que for prestado já não for requisitado pelo cliente, deixa de haver escoamento, e assim é impossível para a organização continuar no mercado, caso esta não se reinvente.

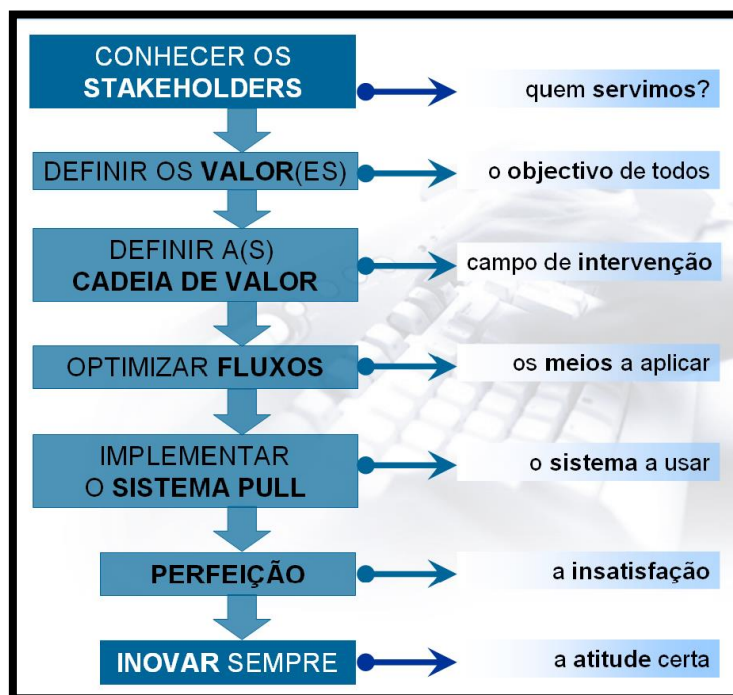


Figura 16: Os sete princípios *Lean*. Fonte: Pinto (2014).

Para que se cumpra o princípio de inovação, existem três tipos de inovação que as organizações podem seguir (Inventta, 2015):

Inovação de produto – Consiste em modificações nos atributos do produto, com uma mudança na forma como ele é visto pelos consumidores;

Inovação de processo – Trata de mudanças no processo de produção do produto/serviço. Não gera necessariamente impacto no produto final, mas traz benefícios ao processo de produção, com aumentos de produtividade e redução de custos;

Inovação do modelo de negócio – Considera mudanças no modelo de negócio, ou seja, na forma como o produto/serviço é fornecido ao mercado. Não implica necessariamente mudanças no produto ou no processo de produção, mas sim na forma como o produto é levado ao mercado.

3.2.6. Toyota *Production System*

Como já foi referido, uma das correntes de gestão que está na origem do pensamento *Lean* é o TPS. As outras são a gestão da cadeia de fornecimento/*Supply Chain Management* (SCM) e a crescente preocupação pelo serviço ao cliente (*customer service*), que emergiram, a partir dos anos 1990, ganhando grande reputação e aplicação a nível global (Pinto, 2014).

O sistema TPS foi concebido para fornecer as ferramentas e as soluções para que as pessoas que nele trabalham possam melhorar continuamente o seu desempenho. O termo “*Toyota Way*” significa mais dependência nas pessoas, e não o oposto. O TPS é muito mais que um conjunto de ferramentas e soluções de melhoria, é uma cultura. Inevitavelmente, as empresas dependem das pessoas para identificar os problemas, reduzir custos e aumentar o desempenho dos seus processos. As pessoas no sistema TPS manifestam um sentido de pertença muito grande, uma enorme preocupação e curiosidade em resolver problemas, evitando que apareçam ou que os seus efeitos se propaguem. Os engenheiros, gestores, e principalmente os operadores de linha, são constantemente envolvidos em projetos de melhoria contínua, que com o tempo fazem com que cada um se torne cada vez mais autónomo e poderoso (Pinto, 2014).

Um dos segredos do sucesso do sistema TPS é a sua consistência em termos de desempenho, sendo esta resultante da excelência operacional conquistada ao longo de mais de cinco décadas de desenvolvimento do TPS. A excelência operacional alcançada é baseada em métodos e ferramentas de melhoria contínua, que tornam o TPS famoso além-fronteiras da indústria. Destas técnicas destacam-se: JIT, *kaizen*, *one-piece flow*, *jidoka* e *heijunka*. Estas técnicas ajudaram a desenvolver a revolução *Lean manufacturing* (Pinto, 2014).

Mas as ferramentas e as soluções não são a arma secreta para transformar um negócio em sucesso. O sucesso da *Toyota Motor Corporation* na aplicação continuada destas ferramentas e soluções resulta de um profundo conhecimento das pessoas e dos mecanismos de motivação. O sucesso da *Toyota Motor Corporation* baseia-se na sua capacidade para cultivar a liderança, o trabalho em equipa, a cultura empresarial, o desdobramento e o alinhamento da estratégia (*hoshin kanri*), a criação de fortes relações com os fornecedores e a manutenção de uma organização em permanente aprendizagem (Pinto, 2014).

Para se perceber o “ADN” da Toyota, é importante interiorizar as quatro regras que se seguem (Pinto, 2014):

- Todas as operações devem ser devidamente especificadas relativamente ao conteúdo, sequência, tempos e resultados;
- A relação cliente/fornecedor deve ser direta, inequívoca no envio de solicitações e no recebimento de respostas (exemplo: do tipo sim/não);
- O fluxo de cada produto ou serviço deve ser simples e direto;
- Qualquer melhoria deve ser feita de acordo com o método científico, sob a supervisão de um responsável ao mais baixo nível da hierarquia da empresa.

Na obra de Liker de 2004 (*The Toyota Way*), foram identificados os 14 princípios de gestão da Toyota, estando estes organizados em quatro secções, também conhecidas como o modelo dos 4 P's. Estes 14 princípios de gestão da Toyota são, resumidamente, os seguintes (Liker, 2004; Pinto, 2014):

Secção 1 - ***Philosophy/Filosofia*** - Filosofia a longo prazo:

1. Basear as decisões de gestão numa filosofia de longo prazo, mesmo que à custa de resultados financeiros no curto prazo;

Secção 2 - ***Process/Processos*** - O processo correto irá produzir os resultados corretos (utilização de muitas das ferramentas do TPS):

2. Criar processos/fluxos contínuos de forma a tornar os problemas evidentes;
3. Usar o sistema *pull* para evitar excessos de produção;
4. Nivelar a carga de trabalho;
5. Criar o hábito de interromper os processos para resolver os problemas;

6. Uniformização é a base da melhoria contínua e o *empowerment* das pessoas;
7. Usar controlos visuais para que os problemas não se escondam;
8. Usar apenas tecnologia fiável e já testada que suporte as pessoas e os processos;

Secção 3 - ***Peoples and partners/Pessoas e parceiros*** – Geração de valor para a organização e desenvolvimento do pessoal:

9. Facilitar o desenvolvimento de líderes que verdadeiramente conheçam o trabalho, vivam a filosofia e ensinem os outros;
10. Desenvolver pessoas e equipas excepcionais que sigam a filosofia da sua empresa;
11. Respeitar e estender isto à rede de parceiros (incluindo fornecedores), desafiando-os e apoiando-os a melhorar;

Secção 4 - ***Problem Solving/Melhoria Contínua*** – A resolução contínua de causas raiz leva à aprendizagem organizacional:

12. “Vá, veja por si, e verdadeiramente perceba a situação” (*genchi genbutsu*);
13. Tomar decisões consensuais – considerando todas as opiniões; implementar as decisões rapidamente;
14. Fomentar a criação de uma *learning organization* através da reflexão segura (*hansei*) e da melhoria contínua.

Um outro aspeto que também é apontado como um fator de sucesso do TPS é a consistência dos processos, que se consegue uniformizando processos e diminuindo o seu desvio-padrão. O aumento da variabilidade dos processos resulta na degradação do seu desempenho (Pinto, 2014).

Assim, o TPS elegeu a variabilidade como um dos alvos a eliminar, e orientou a sua atenção para as seguintes áreas (Pinto, 2014):

- Variabilidade na procura – Recorrer ao nivelamento da produção/oferta (*heijunka*);
- Variabilidade nos processos de design e de fabrico – Sempre que necessário, a Toyota utiliza *buffers* de capacidade para responder à variabilidade dos processos;
- Variabilidade de fornecedores – Transferência de conhecimento, envolvendo os colaboradores o mais cedo possível, e partilhando informação e conhecimento com os mesmos.

Tentar ignorar a variabilidade sai caro a longo prazo, sendo que ignorá-la se irá pagar mais tarde na forma de (Pinto, 2014):

- Redução da capacidade produtiva;
- Aumento do inventário intermédio;
- Aumento do tempo de ciclo.

3.2.6.1. A casa do TPS

Ao estudar o TPS, é frequente apresentá-lo como um edifício (casa), que encerra em si várias divisões, que apesar de terem funções bem determinadas, estão intimamente ligadas (Figura 6).



Figura 17: A casa do TPS adaptada. Fonte: Pinto (2014).

O diagrama da casa TPS tornou-se um dos símbolos mais reconhecíveis da produção moderna. Foi escolhida uma casa, visto que se trata de um sistema estrutural. A casa é constituída por um telhado, pilares e as fundações. A casa só é resistente se o telhado, os pilares e as fundações também o forem. Um elo mais fraco enfraquece todo o sistema. Existem várias versões da casa TPS, mas os princípios fundamentais são os mesmos (Liker, 2004).

Esta estrutura é a forma que se encontrou de compilar décadas de desenvolvimento do TPS, estando aqui representada toda a filosofia, metas, métodos, técnicas e ferramentas da *Toyota Motor Corporation*, que se tornaram a base de toda a filosofia e ferramentas *Lean*, e hoje em dia têm uma aplicação muito mais ampla, embora este sistema não contemple por completo algumas ferramentas mais recentes, que serão referidas posteriormente.

Nas fundações da casa TPS podem identificar-se aspetos fundamentais, como a filosofia Toyota (a qual assenta em princípios e valores simples e imutáveis), a gestão visual como forma de envolver todos através da aplicação dos sentidos, a uniformização e a estabilização de processos como forma de reduzir a variabilidade que é prejudicial ao desempenho dos processos, e o nivelamento da produção. Na base desta casa (estrutura organizativa), está o “respeito pelas pessoas”, algo que foi crucial ao desenvolvimento do TPS, sendo um foco central da filosofia *Toyota Way*, e agora também ao desenvolvimento da filosofia *Lean* (Liker, 2004; Pinto, 2014).

3.2.6.2. Kata

O conceito de *Kata*, introduzido em 2009 pelo livro de Mike Rother, *Toyota Kata*, ficou popular na gestão empresarial como um processo para desenvolver padrões de comportamento, tendo como objetivo estabelecer rotinas de aprendizagem, de forma a disseminar o conhecimento. Como já referido, muitas vezes as empresas tentam adicionar práticas e princípios do TPS à sua forma de gestão, sem ajustar as suas próprias práticas e princípios. As técnicas do TPS não irão gerar uma melhoria contínua sem a lógica básica e fundamental da Toyota, que é difícil de ser visualizada (Rother, 2017).

Existem dois tipos de *Kata* que são praticados na Toyota: *Kata* de Melhoria (*Improvement Kata*) e o *Kata* de *Coaching*. O *Kata* de Melhoria é um processo padrão de quatro passos que tem o objetivo de estabelecer rotinas de aprendizagem de forma sistemática, que são os seguintes (Rother, 2017):

- Desafio: baseado numa visão ou direção a médio/longo prazo;
- Condição Atual: compreender qual é a situação atual, considerando dados e padrões;
- Condição Alvo: estabelecer a condição alvo desejada para superar o desafio, com métricas e prazos;

- Prática: Progredir para a próxima condição alvo a partir dos ciclos PDCA, possibilitando a descoberta de obstáculos e caminhos.

O *Kata de Coaching* é a relação entre um mentor e um aprendiz. O mentor será o orientador que auxilia os seus aprendizes a estabelecer rotinas de comportamento, fornecendo *feedback* quando necessário. O *Kata de Coaching* tem cinco questões chave que devem ser feitas aos aprendizes, de forma a garantir a execução do *Kata de Melhoria* (Rother, 2017):

- Qual é a condição alvo?
- Qual é a condição atual? (aqui é possível refletir acerca da última experiência, os objetivos iniciais e os resultados obtidos);
- Que obstáculos é que acha que estão a impedi-lo de alcançar a condição alvo? Quais é que estão a ser alvo de foco neste momento?
- Qual é o próximo passo? (próxima experiência) E o que é que se espera dele?
- Quando é que se pode ir e ver o que é que se aprendeu ao dar esse passo?

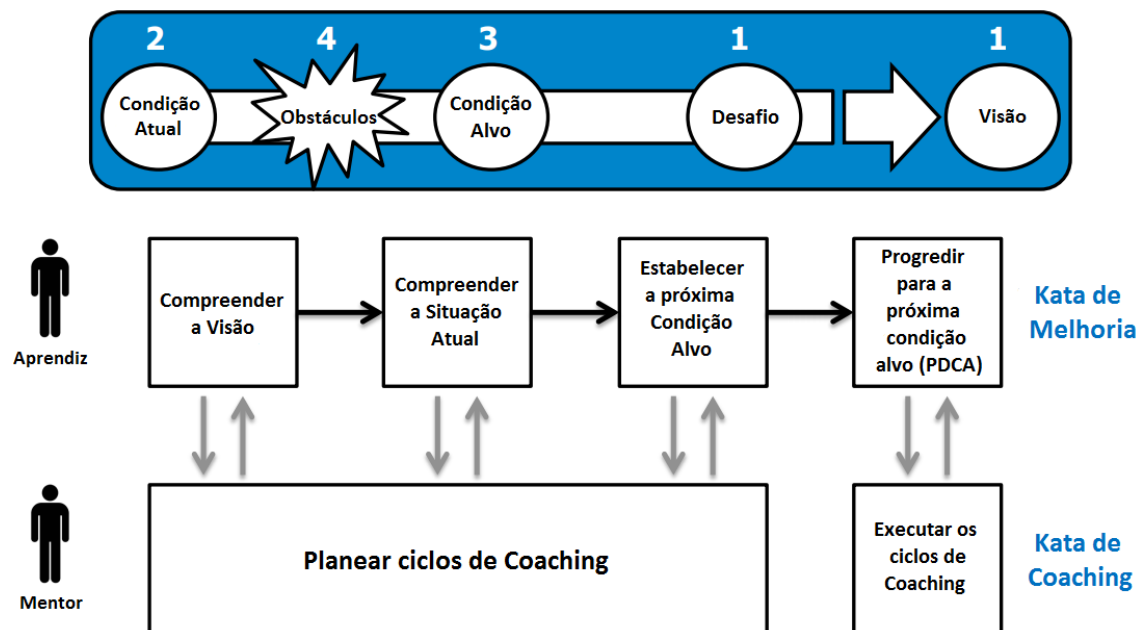


Figura 18: *Kata de Melhoria e Kata de Coaching* - Quadro Resumo. Fonte: adaptado de Rother (2017).

Tanto o *Kata de Melhoria* como o *Kata de Coaching* vêm com o *Starter Kata*. O *Starter Kata* é um conjunto de práticas de rotinas estruturadas que ajudam a desenvolver novos padrões de pensamento, modificar as mentalidades que conduzem o comportamento, aumentar a velocidade de aprendizagem, e é particularmente útil na criação de uma forma

partilhada de pensar e agir num grupo de pessoas, porque todas começam pelo básico (Rother, 2017).

O *Starter Kata* foi projetado para dois utilizadores que trabalham como um par: o mentor que quer ser mais competente a dar apoio aos aprendizes do *Kata* de Melhoria, ao praticar o *Kata* de *Coaching*, e o(s) aprendiz(es) que quer(em) ser mais competente(s) a partir da prática do trabalho científico, e o padrão de pensamento descrito pelo *Kata* de Melhoria. O *Starter Kata* não é o fim, antes pelo contrário, coloca as pessoas na rota do desenvolvimento de novas habilidades (Rother, 2017).

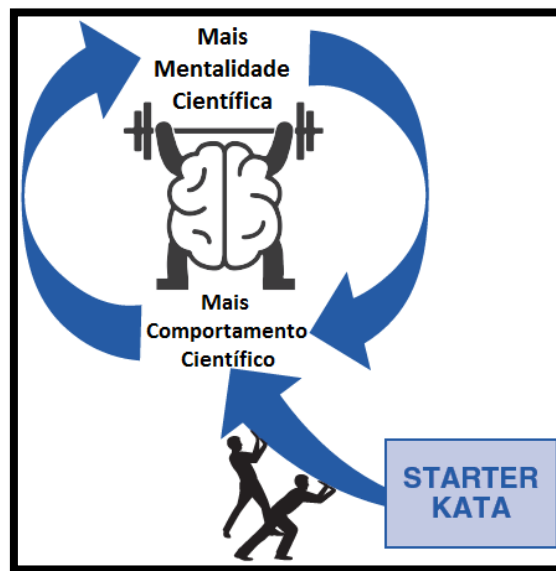


Figura 19: A prática do *Starter Kata*. Fonte: adaptado de Rother (2017).

3.2.7. Do TPS ao Pensamento *Lean*

No entanto, e como já referido anteriormente, a casa do TPS, tendo em conta a evolução do TPS até à filosofia de gestão empresarial da filosofia *Lean*, não representa por si só as principais correntes de gestão que estão na origem da filosofia *Lean*. Na Figura 9, é possível identificar os principais blocos que se acrescentam ao TPS (Pinto, 2014):



Figura 20: Integração da casa TPS no "edifício Lean". Fonte: Pinto (2014).

A gestão da cadeia de fornecimento (SCM) envolve todas as organizações que estão empenhadas no fabrico ou prestação de serviços, e é através de cada uma que o valor é criado e transferido até ao cliente final. A aplicação da filosofia *Lean* não se pode limitar à empresa, devendo ser disseminada por todas as partes para que a maximização do valor seja atingida. Os principais desafios neste âmbito são: a colaboração entre todas as partes, a sincronização e a sintonia com o cliente final, a redução de tempos e de custos, a adaptabilidade (flexibilidade) de toda a cadeia de fornecimento e a crescente reatividade às mudanças (Pinto, 2014).

O serviço ao cliente (*customer service*) começou a ganhar popularidade a partir dos anos 1990, e desde então a generalidade das filosofias de gestão tendem a incorporá-lo. O cliente (final) é a razão de viver de cada organização, é para ele que toda a cadeia se coordena e cria valor. Cada vez mais, o serviço é valorizado pelo cliente. O serviço é, portanto, um fator de diferenciação crítico para todas as organizações (Pinto, 2014).

Se nos anos 1990 o TPS passou a ser chamado de *lean manufacturing* ou *lean production*, com a publicação da obra de (Womack and Jones, 1996), o pensamento *Lean* iniciou o seu caminho e cada vez mais se distanciou do “mundo industrial” para entrar no setor dos serviços públicos e privados.

As características centrais do pensamento *Lean* podem ser descritas do seguinte modo (Pinto, 2014):

- Organização baseada em equipas envolvendo pessoas flexíveis, com múltipla formação, elevada autonomia e responsabilidade nas suas áreas de trabalho;
- Estruturas de resolução de problemas ao nível das áreas de trabalho, em sintonia com uma cultura de melhoria contínua;
- Operações *Lean*, o que leva os problemas a revelarem-se e a serem posteriormente corrigidos;
- Políticas de liderança de recursos humanos baseadas em valores, no comprometimento, as quais encorajam sentimentos de pertença, partilha e dignidade;
- Relações de grande proximidade com fornecedores;
- Equipas de desenvolvimento multifuncionais;
- Grande proximidade e sintonia com o cliente.

A transição do pensamento *Lean* para novos campos de aplicação será tão mais bem-sucedida quanto maior for a orientação para a criação de valor para o cliente final, ao invés de se continuar a insistir na redução dos desperdícios. Valor será sempre aquilo que o cliente considera como compensação pelo seu tempo, esforço e/ou investimento (Pinto, 2014).

O pensamento *Lean* não é apenas um conjunto de práticas que usualmente se encontram no *gemba* (local onde se trabalha – não apenas a fábrica, como também escritórios, refeitórios e armazéns), mas antes uma mudança cultural profunda na maneira como as pessoas e a organização pensam e se comportam. Os resultados positivos são conseguidos através de práticas sustentadas por um conjunto de convicções e princípios que são compreendidos e adotados (Suzaki, 2010).

A generalidade das empresas adota uma perspetiva muito restrita do pensamento *Lean*, que é visto como uma coleção de práticas. Como consequência disto, a aplicação restringe-se ao *gemba*, de tal modo que o verdadeiro poder de transformação da adoção do pensamento *Lean* se perde, com as organizações a implementarem apenas uma fração do seu potencial. O verdadeiro poder de transformação do pensamento *Lean* é conseguido se for aplicado a toda a organização e, posteriormente, a toda a cadeia de fornecimento.

O pensamento *Lean* revoluciona a forma como a organização pensa e se comporta. Este acreditar na mudança e na melhoria contínua leva à aplicação correta das práticas pensamento *Lean*, e sustenta a dinâmica e o processo de melhoria contínua (Pinto, 2014).

3.2.8. O Pensamento *Lean* nos Serviços

No setor dos serviços é possível identificar duas aproximações ao pensamento *Lean*: a implementação completa da filosofia *Lean* e a opção de realizar eventos de melhoria rápida/*rapid improvement events* (RIE). A estratégia de implementação global, embora mais demorada e dispendiosa, alinha a visão de melhoria contínua com o todo (a organização e os *stakeholders*) (Pinto, 2014).

Os métodos baseados nos RIE recorrem a *workshops* de rápida melhoria para fazer pequenas e rápidas mudanças. Começam, por norma, com um período de preparação de dois a três dias, seguido de um evento de cinco dias para identificar as alterações necessárias, e um período de três a quatro semanas de seguimento (*follow-up*) após cada evento, onde as mudanças são implementadas (Pinto, 2014).

Uma das vantagens dos RIE é a capacidade de anular a tradicional resistência à mudança das organizações e, ao mesmo tempo, a capacidade para ultrapassar a lenta resposta ou iniciativa dos colaboradores nas áreas de intervenção. É ainda possível identificar como vantagem deste método o rápido retorno do investimento, sem que isso implique grandes choques com os atuais estilos de gestão nas organizações, tal como acontece com a implementação global da filosofia *Lean* (Pinto, 2014).

A produção de resultados rápidos garantida pelos RIE é mais facilmente percebida pelos colaboradores, principalmente quando estes são envolvidos na realização dos eventos de mudanças. Um dos pontos fracos da abordagem RIE é que os benefícios alcançados com os resultados rápidos são difíceis de manter, dado que não têm por detrás uma estratégia de melhoria contínua de longo prazo. Por outro lado, o modelo de implementação completa tem a vantagem de ligar as ações de melhoria a uma estratégia global e integrada, que no médio/longo prazo demonstra ser bem mais vantajosa e sustentada do que a abordagem RIE (Pinto, 2014).

3.2.8.1. Aplicabilidade dos Métodos e Ferramentas *Lean* nos Serviços

Verifica-se através da revisão bibliográfica que existem algumas diferenças entre o *Lean* no setor dos serviços e aquele usado no setor de origem. Na indústria, a ênfase é colocada num conjunto de ferramentas e métodos utilizados para combater o desperdício e uniformizar procedimentos e produtos. No setor dos serviços, embora haja uma grande identificação com os sete desperdícios do *Lean*, uma boa parte das ferramentas e métodos tradicionalmente aplicados na indústria é desconhecida dos agentes ligados aos serviços. Isto sugere que as ferramentas e métodos *Lean* tradicionais não encontram aplicação óbvia e imediata no contexto dos serviços. As ferramentas e métodos *Lean* devem ser adaptadas aos pedidos de maior flexibilização de processos encontrada no setor dos serviços públicos e privados.

As principais barreiras ao *Lean* nos serviços, em particular no setor público, são: a cultura, a falta de ênfase no cliente, demasiados procedimentos, trabalho individualizado sem quaisquer ligações a outro, demasiados objetivos, a falta de uma orientação estratégica, a ideia generalizada de que as pessoas estão sobrecarregadas e são mal pagas, o domínio dos *stakeholders*, a ausência de sistemas de avaliação do desempenho e a falta de compreensão do efeito da variação dos processos. (Pinto, 2014)

3.3. Ferramentas Analíticas

Este subcapítulo destina-se a fazer um resumo de algumas das ferramentas analíticas do pensamento *Lean* que são fulcrais para que se possa entender algumas das componentes que envolvem o pensamento *Lean*.

3.3.1. *Just In Time* – Sistema *Pull*

O pensamento *Lean* deve ser entendido como uma filosofia de liderança e gestão empresarial, e o JIT como um sistema de gestão de operações de suporte à filosofia *Lean*.

De acordo com Ohno (1988), o sistema de operações JIT envolve duas componentes principais (Ohno, 1988):

- O sistema *kanban* – por muitos designado por produção *pull*, tornou-se o elemento de referência do sistema de produção da Toyota;
- O nivelamento da produção (*heijunka*).

O JIT é uma técnica de produção puxada segundo a qual todos os outputs são realizados no momento certo, na quantidade pedida e no local combinado, recorrendo ao paradigma *pull* e ao *kanban* para controlar e disciplinar o fluxo de materiais, pessoas e informação. O JIT visa, através do fluxo contínuo de material e fluxo de informação, a orientação para o cliente, enquanto simultaneamente reduz o inventário no fluxo de valor (Fritze, 2016).

Como já referido anteriormente, para trabalhar em regime JIT, uma organização precisa de adotar o paradigma *pull* (todo e qualquer processo só é ativado quando o processo a jusante o permite), por oposição ao tradicional *push* (empurrar produtos e/ou serviços para os clientes na expectativa de, mais cedo ou mais tarde, aqueles serem vendidos), como ilustrado na Figura 20 (Pinto, 2014):

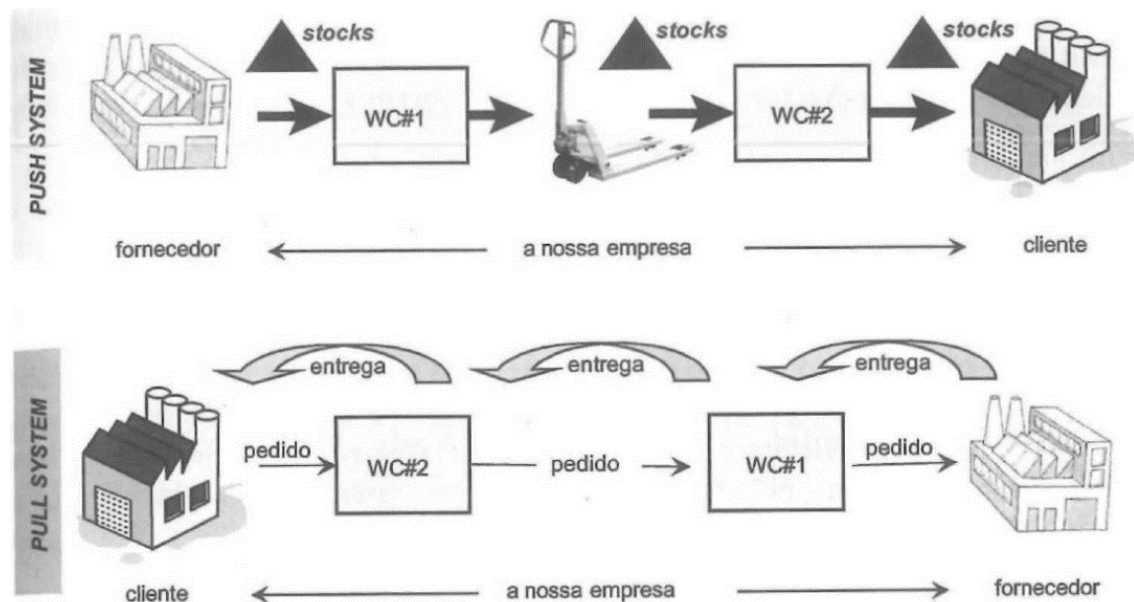


Figura 21: Produção empurrada (*push*) vs. produção puxada (*pull*). Fonte: Pinto (2014).

Para um *push system*, a principal preocupação é a eficiência, ou seja, manter todos os recursos ocupados, independentemente de haver ou não uma encomenda para os produtos ou serviços que estão a ser fabricados, o que resulta em aumentos de inventário, de custos e de tempo (Pinto, 2014).

3.3.1.1. Sistema *Push-Pull*

A lógica *pull* tem associados alguns problemas, nomeadamente dificuldades de rentabilização quando aplicado em economias de escala e não funciona em todos os casos. Tanto o paradigma *pull* como o *push* apresentam vantagens e desvantagens, pelo que foi criado um novo sistema, que é apresentado como o novo paradigma dos sistemas de

gestão da cadeia de fornecimento, que combina as vantagens dos sistemas *push* e *pull*, e assume a designação de sistema *push-pull* (Pinto, 2014).

No sistema esquematizado na Figura 21, a parte inicial da cadeia de fornecimento é gerida tendo por base previsões a longo prazo (matéria-prima e inventário), enquanto as fases finais da cadeia de fornecimento (próximas do cliente final) são governadas por ordens/pedidos concretos dos clientes.

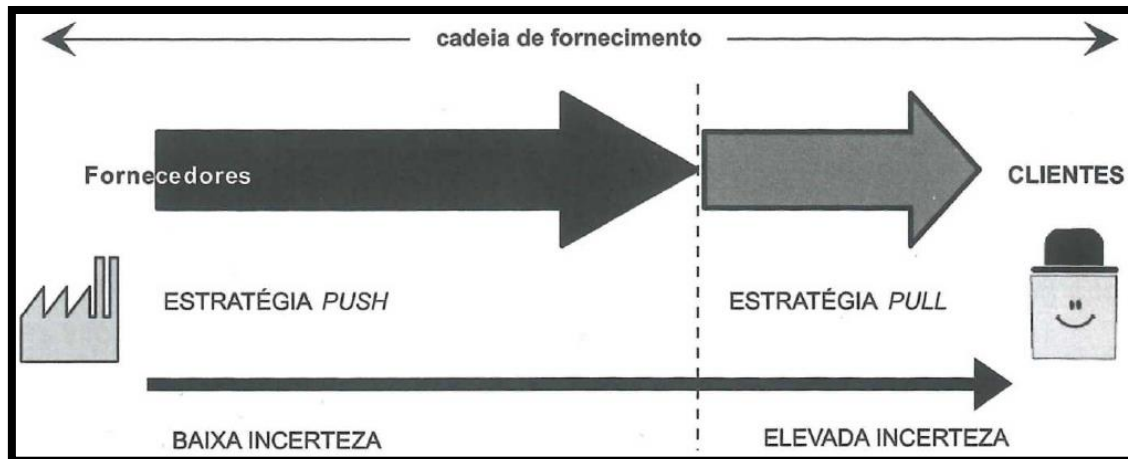


Figura 22: Esquema do sistema *push-pull*. Fonte: Pinto (2014).

O sistema *push-pull* tira vantagens das regras da previsão da procura, ou seja (Pinto, 2014):

- As previsões estão sempre erradas;
- Quanto maior for o horizonte de previsão, menor será a exatidão;
- As previsões agregadas são mais exatas.

A elevada incerteza na procura sugere a aplicação do sistema *pull*, enquanto a importância da economia de escala recomenda a aplicação da lógica *push*. Produtos que se desenvolvam em mercados instáveis e sujeitos a frequentes alterações (como produtos de elevada componente tecnológica e de reduzido *cycle time*) requerem a estratégia *pull* (por exemplo, computadores portáteis). Artigos sujeitos a um consumo regular que competem em mercados onde o custo é um fator crítico (por exemplo, bens essenciais) requerem a adoção da estratégia *push* (Pinto, 2014).

3.3.1.2. Fluxo Contínuo

Um dos conceitos mais importantes do JIT é o fluxo contínuo ou fluxo de produção (fluxo unitário). Por “fluxo”, entende-se o transporte de materiais através da fábrica, assumindo que o material não fica estagnado em nenhum instante, desde a recepção das matérias-primas até à expedição de produtos acabados. Para ser assegurado um fluxo estável, deve ser dada a devida atenção ao *gemba*. Muitas vezes os materiais encontram-se dispostos de tal forma que o fluxo de materiais não é visível ao primeiro olhar. O impacto da melhoria do *layout* no desempenho de uma empresa pode, na maioria dos casos, ser considerável. Existem dois tipos principais de *layouts* no chão da fábrica: orientado por processo e orientado por produto (Suzaki, 2010).

A Figura 22 expõe de forma esquemática estes desperdícios. As letras A, B, C e D correspondem a quatro processos sequenciais. Com um tempo de processamento de um minuto, num *layout* orientado por processo são precisos cinco minutos para completar um lote de cinco unidades em cada processo. Assim sendo, e sem serem adicionados tempos de transportes, são necessários 20 minutos para terminar um lote completo de 5 unidades. No entanto, num *layout* orientado por produto, a primeira unidade passa pelos quatro processos em quatro minutos, e o lote completo de cinco unidades termina todos os processos em oito minutos. Comparando o nível máximo de WIP existente entre todos os processos, existem quinze unidades no *layout* orientado por processo, e três no *layout* orientado por produto. A quantidade de espaço necessário para armazenagem também joga a favor do *layout* orientado por produto (Suzaki, 2010).

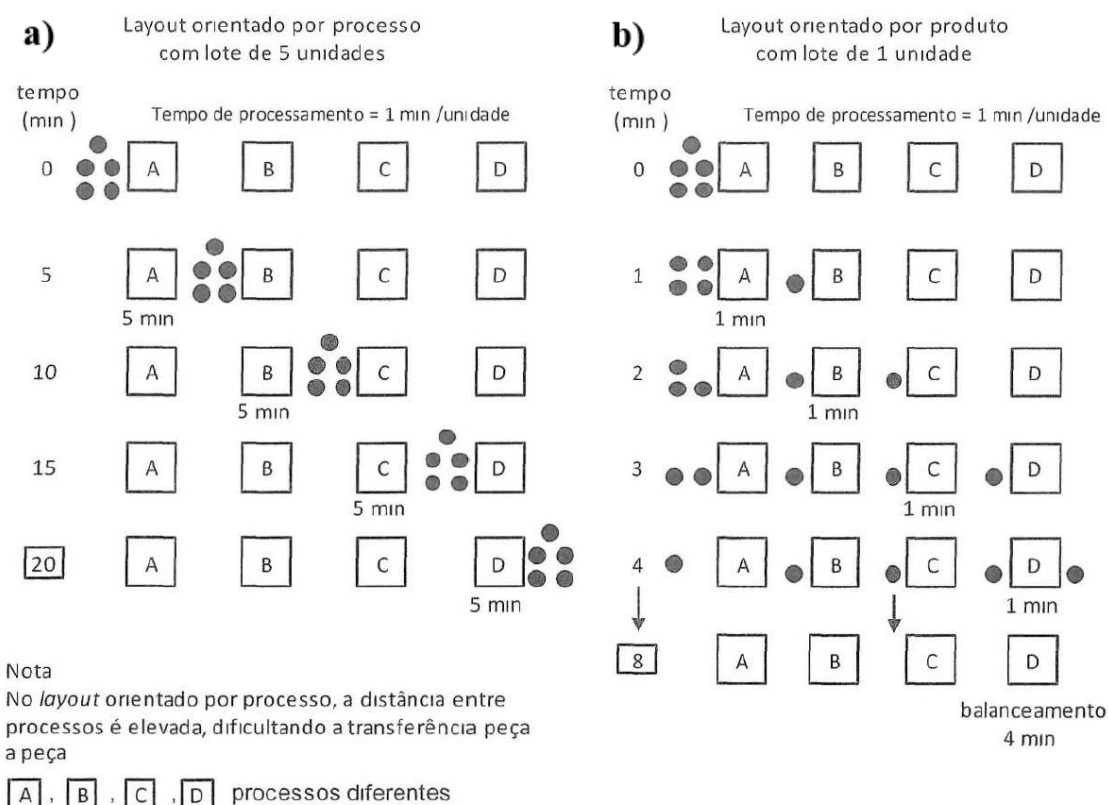


Figura 23: Comparação entre a) *layouts* orientados por processo b) e produto. Fonte: Suzaki (2010).

Os desperdícios e problemas que se encontram num *layout* orientado por processo são resolvidos com a mudança para um *layout* orientado por produto. Os transportes desnecessários, a acumulação de inventário intermédio, o duplo ou triplo manuseamento de materiais e *lead times* extremamente longos são alguns dos principais problemas que podem ser melhorados através do desenvolvimento deste tipo de *layout*. Um rápido feedback sobre o surgimento de defeitos, facilidade no planeamento e definição de prioridades do trabalho são também outros dos valiosos benefícios associados a esta alteração (Suzaki, 2010).

Este benefício torna-se mais evidente quando se aumenta a quantidade a produzir. Assim sendo, faz sentido reduzir o tempo de armazenamento para reduzir o *lead time* e dar resposta rápida às necessidades do cliente. Nota-se assim que pode não fazer sentido pagar mais por uma máquina de alta velocidade em detrimento de mais lentas se os restantes processos produtivos não estiverem bem coordenados (Suzaki, 2010).

3.3.1.3. Kanban

A aplicação prática do *pull system* requer a presença do sistema *kanban* para controlo das operações de fabrico. O sistema *kanban* foi, como já anteriormente mencionado,

originalmente adaptado dos supermercados americanos. No sistema *kanban*, a ênfase é de tal forma colocada no *output* e não no *input*, que o fluxo de operações é comandado pela linha de montagem final (cliente final). O tipo e quantidade de unidades necessárias estão escritas num cartão - que significa “*kanban*” em japonês - que é usado como um cartão de encomenda. Se uma peça for consumida numa etapa de produção, a etapa de produção precedente é induzida a produzir uma nova peça para a substituir. Assim sendo, o sistema *kanban* é baseado no princípio da produção *pull*, e as duas etapas de produção adjacentes estão conectadas a um circuito de controlo. A conexão das etapas de produção permite um melhor controlo das quantidades necessárias para vários produtos. Num processo ideal, com tempo de fabrico (lead time) próximo de zero, sem erros ou defeitos, o uso do *kanban* seria desnecessário (Pinto, 2014; Fritze, 2016).

O *kanban* é um sistema de produção em lotes pequenos. Cada lote é armazenado em recipientes uniformizados (contentores), contendo um número definido de peças. Para cada lote mínimo do contentor, existe um cartão *kanban* correspondente. As peças dentro dos recipientes, acompanhadas do seu cartão, são movimentadas através dos centros de trabalho, sofrendo as diversas operações do processo, até chegarem sob a forma de peça acabada à linha de montagem final. A produção em lotes pequenos (fluxo unitário) tem uma vantagem importante relacionada com erros de planeamento (como erros nas provisões) e de qualidade. Quanto maior for o lote emitido para a fábrica, maior será a propagação destes problemas. Com um lote pequeno ou unitário, apenas uma quantidade reduzida de peças teria algum tipo de problema relacionado com erros de planeamento (Pinto, 2014).

O *pitch* é um conceito importante para o *kanban*, sendo definido como a quantidade de material ou peças que pode ser transportada ou transferida entre postos de trabalho. O *pitch* não é mais do que a quantidade (lote) mínima que o cliente quer receber na embalagem. O *pitch time* corresponde ao tempo necessário para produzir o referido lote, em função do *takt time* e da capacidade do contentor. O *pitch time* pode ser calculado através da seguinte expressão (Pinto, 2014):

$$Pitch\ Time = \frac{Takt\ Time\ (seg) * capacidade\ do\ contentor(peças)}{60} \quad [min] \quad \text{Equação 2: Pitch Time}$$

3.3.1.4. Heijunka

O nivelamento da produção é realizado ao nível do volume e do *mix* de produtos. O sistema *heijunka* não produz de acordo com o atual fluxo das encomendas dos clientes. O processo *heijunka* começa por considerar o volume total da procura (encomendas), num dado período, e faz o nivelamento do output de modo a que o mesmo *mix* e o volume sejam fornecidos diariamente. Esta metodologia ajuda a dominar o aumento da diversidade de produtos e é essencial para uma introdução bem-sucedida do *kanban* (Pinto, 2014; Fritze, 2016).

O processo *heijunka* tem por objetivos nivelar (Pinto, 2014):

- Volume de produção;
- Tipo de produtos;
- Tempo de produção.

Através da realização destes objetivos, o sistema *heijunka* consegue produzir peça a peça de acordo com um tempo padrão previamente definido e nem mais nem menos do que a quantidade solicitada.

O nivelamento dos três pontos referidos permite uma carga de trabalho estável e, ao mesmo tempo, satisfazer as necessidades dos clientes no tempo e na qualidade desejados. Para se conseguir produzir dentro do tempo padrão, é necessário normalizar as operações. Com a normalização de tarefas e funções é possível identificar os problemas que afetam os processos e, assim, encontrar formas de os solucionar. Como resultado desta tarefa contínua, e de um modo sistemático, torna-se possível encurtar o tempo de execução, reduzir o valor do inventário intermédio e, finalmente, reduzir custos produtivos (Pinto, 2014).

3.3.1.4.1. Caixa Heijunka

Também conhecida como quadro de nivelamento, a caixa *heijunka* é um sistema visual que disciplina o trabalho dos operários que abastecem as áreas de fabrico e, como consequência, coordena o fluxo de trabalho das mesmas. O funcionamento da caixa *heijunka* ocorre em duas etapas. Primeiro, o responsável pela programação coloca os *kanbans* nos locais correspondentes. Depois, um operário encarregado pela movimentação dos materiais vai ao quadro, em intervalos regulares, e retira os *kanbans*

de transporte, desencadeando uma série de atividades de sequenciamento das ordens de fabrico, de modo a que sejam continuamente entregues produtos/serviços ao cliente. É também um engenhoso algoritmo de gestão de inventário (buffers), de forma a manter uma carga nivelada e assim minimizar oscilações nos processos (Pinto, 2014).

Para evitar a produção de quantidades que não sejam múltiplas do tamanho do contentor e criar um inventário desnecessário, as ordens de fabrico são sempre referentes ao número de contentores a serem produzidos. Como consequência, a colocação dos *kanbans* na caixa *heijunka* é feita tendo por base o *pitch time* e não o *takt time* (Pinto, 2014).

3.3.2. Jidoka

O *jidoka* (autonomação), que na sua essência significa nunca deixar passar um defeito para o posto de trabalho, e permitir uma separação entre os colaboradores das máquinas, ao dotar as máquinas de “inteligência humana” é, tal como o JIT, um conceito essencial para que se possam entender alguns sinais visuais, pelo que será aqui brevemente explicitado.

O conceito de *jidoka* corresponde ao termo que caracteriza a aplicação das ferramentas *poka-yoke*, e que não permite que peças com defeitos transitem dos postos de trabalho ou máquinas onde estão a ser produzidas. A autonomação suspende o processo de produção de forma imediata quando um problema ocorre, e destaca as causas dos problemas. Esta abordagem conduz a progressos na qualidade pela eliminação das causas raiz dos defeitos. A partir deste conceito cria-se um controlo de qualidade, visto que os componentes com defeitos não podem passar para o posto de trabalho seguinte. Se a linha parar, é iniciada de imediato uma investigação à sua causa raiz, para prevenir que um defeito semelhante ocorra novamente. Esta abordagem também é mais economicamente viável do que as inspeções regulares, que implicam reparações ou retrabalho (Fritze, 2016).

A melhor maneira de determinar o grau de aplicação do *jidoka* é observar as taxas de não qualidade na inspeção final. Quanto mais elevada for essa taxa, menor será a quantidade de defeitos detetados e resolvidos na fonte. Os sistemas à prova de erro e as práticas *jidoka* devem ser acompanhadas por esforços de uniformização de procedimentos e de produtos/serviços, por esforços de formalização e principalmente por esforços de simplificação de produtos e processos (Fritze, 2016).

3.3.2.1. Andon

Existem vários tipos de controlo visual para monitorizar o estado de uma linha, assim como o fluxo de produção. O sistema mais comum de controlo visual é o *andon*. Cada linha no sistema é equipada com uma luz de aviso e um painel. A luz de aviso é usada para chamar o supervisor, funcionário de manutenção ou um trabalhador geral, de acordo com o problema na linha de montagem. A luz de aviso tem usualmente cores diferentes. Cada cor representa os diferentes tipos de assistência necessária. Para tornar as luzes o mais visíveis possível para os funcionários, estas são penduradas a partir do teto, e caso isso não seja possível, em qualquer outro local que seja o mais visível possível (Fritze, 2016).

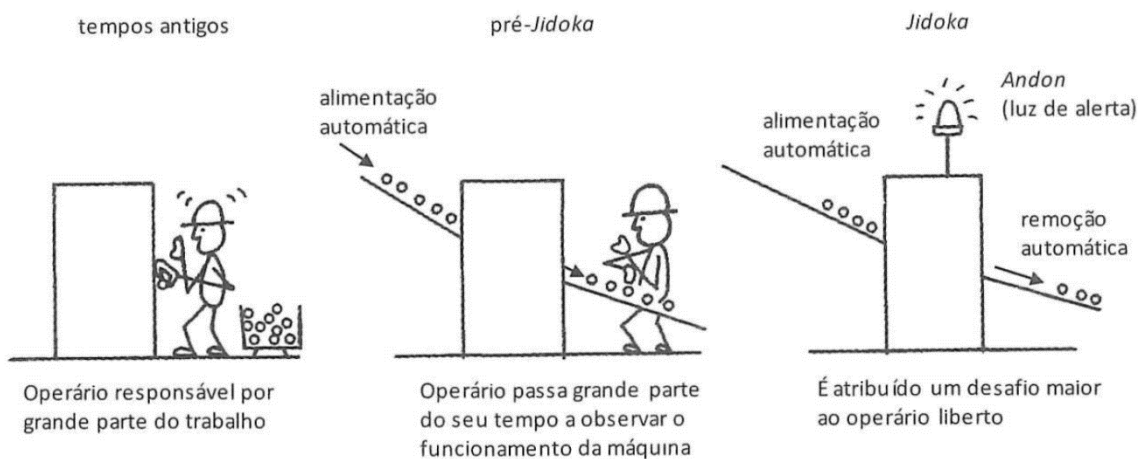


Figura 24: Evolução para *jidoka* (automação). Fonte: Suzaki (2010).

Andon significa “lanterna” em japonês e, tal como uma lanterna, orienta as pessoas, ajudando a expor as anomalias nos postos de trabalho. O *andon* é normalmente composto por uma luz de aviso e o painel indicador, que mostram quando um colaborador solicita assistência ou suspende a linha. Todos os colaboradores envolvidos no processo de produção têm um interruptor que lhes permite solicitar a assistência do supervisor quando um problema é detetado, ou não conseguem desempenhar o seu trabalho de acordo com as instruções. Se o supervisor conseguir ajudar a resolver o problema a tempo, a linha não para. Mas se o problema não for resolvido a tempo, a linha vai parar no instante em que o impacto para os outros operários seja mínimo. Por questões de segurança, a linha pode ser parada no instante em que se carrega no botão de emergência. O recurso a *andons* para sinalizar estes acontecimentos é comum (luz amarela para solicitar assistência num

problema e vermelha para indicar a paragem da linha quando o problema não é resolvido a tempo) (Suzaki, 2010).

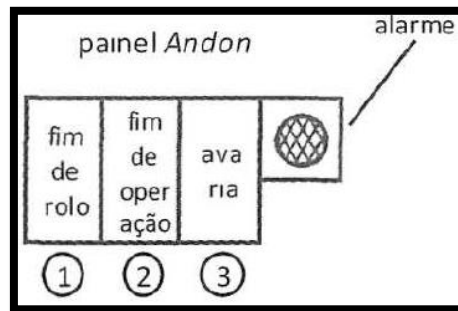


Figura 25: Exemplo de um painel *andon*. Fonte: adaptado de Suzaki (2010).

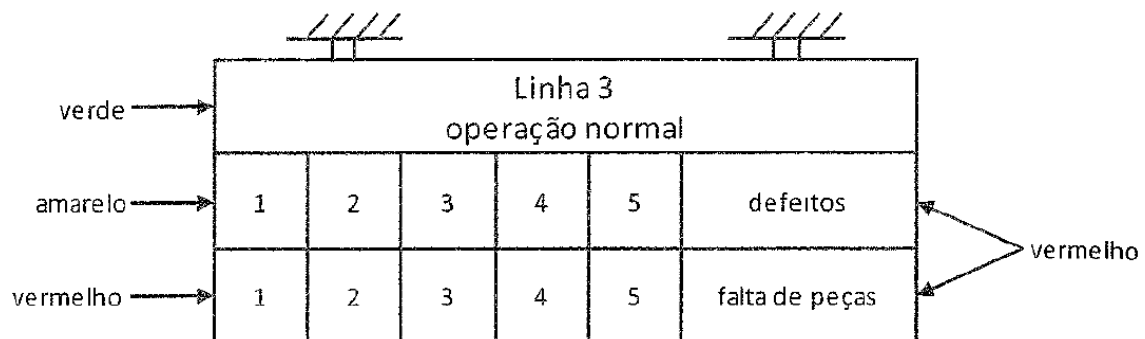


Figura 26: Exemplo de luzes *andon* numa linha com muitos postos de trabalho. Fonte: Suzaki (2010).

Todos os tipos de *andons* são desligados quando o supervisor responsável ou o funcionário de manutenção resolvem o problema detetado no posto de trabalho. Ao levar cada colaborador em cada posto de trabalho a ter mais atenção ao processo, existe um controlo de qualidade visual adicionado implementado ao processo de produção (Fritze, 2016).

3.3.2.2. Poka-Yoke

O *poka-yoke* refere-se a atividades de identificação e prevenção de causas prováveis de erros ou defeitos nos processos. Estes métodos são também conhecidos por *mistake proofing*. Os princípios dos métodos à prova de erro podem ser aplicados na melhoria de produtos, serviços e processos em todos os tipos de organizações. Quando aplicados ao desenvolvimento de produtos, os princípios do *poka-yoke* podem ajudar ao desenvolvimento de produtos mais fáceis de fabricar, mais seguros e mais económicos. Aqui incluem-se aspetos ligados à produção, à montagem, à manutenção ou à segurança. Quando aplicados ao desenvolvimento de processos, os princípios do *poka-yoke* podem

ajudar à realização das tarefas de modo mais eficiente, económico e seguro. Um bom exemplo são as máquinas que exigem a validação dos comandos antes de iniciarem um ciclo (Pinto, 2014).

Os métodos do *poka-yoke* envolvem os seguintes passos (Pinto, 2014):

1. Identificar o que pode correr mal (por exemplo, um erro, um defeito, um acidente ou uma reclamação);
2. Determinar os modos de prevenção do que pode correr mal, ou detetar antes ou depois de acontecer (de preferência antes – métodos proativos);
3. Identificar e selecionar as ações a tomar quando um erro ou falha é detetada.

Os tipos de métodos do *poka-yoke* incluem métodos de prevenção e métodos de alarme. Os métodos de prevenção podem ser classificados em três tipos (Pinto, 2014):

1. Controlo – Uma ação que autocorrigue o problema, como um corretor de erros ortográficos num editor de texto;
2. Paragem – Um sistema/equipamento que para o processo/equipamento na presença de um erro ou quando condições de erro surgem. Um ferro de engomar que se desliga ao fim de 10 minutos de imobilização é um bom exemplo;
3. Fatores humanos – Recorrendo a cores, formas, símbolos, tamanhos, sons, e *checklists* para simplificar os processos e evitar a ocorrência ou a propagação de erro. Um exemplo é o quadro de ferramentas onde cada uma tem um local certo (no qual está pintada a sua sombra).

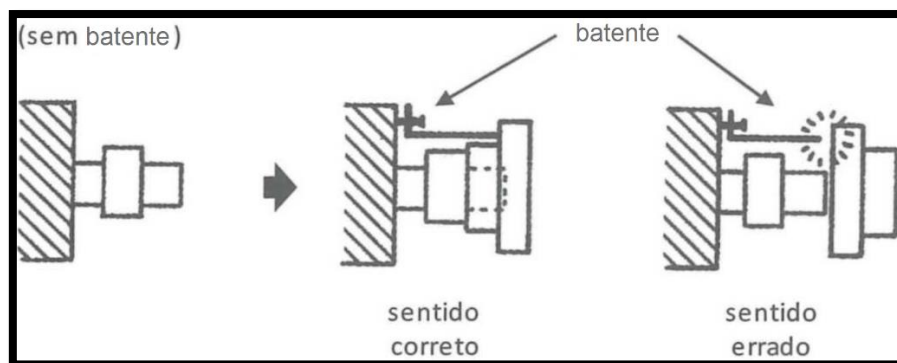


Figura 27: Batente utilizado como *poka-yoke* como prevenção de erros humanos. Fonte: Suzaki (2010).

Os métodos de alarme detetam o problema e enviam um sinal ao colaborador. Estes métodos não controlam, apenas detetam e aviam a presença do erro ou de condições que

levarão ao erro. O sinal de aviso de pouco combustível nos automóveis é um exemplo. Dado que em alguns casos os sinais são ignorados pelos colaboradores, os métodos de prevenção são preferíveis aos de aviso. (Pinto, 2014)

4. Métodos e Ferramentas *Lean*

Este capítulo refere um conjunto de métodos e ferramentas *Lean* que são utilizadas no ramo dos serviços e da manutenção *Lean*.

4.1. 5S + 1

Os 5S referem-se a um conjunto de práticas que procuram a redução do desperdício e a melhoria do desempenho das pessoas e processos através de uma abordagem muito simples, que assenta na manutenção das condições ótimas dos locais de trabalho (isto é, ordenados, arrumados e organizados). Os 5S são palavras que, em japonês, começam pelo som “s”, ou seja (Pinto, 2014):

- *Seiri* (organização) – Separar o útil do inútil; identificar coisas desnecessárias no posto de trabalho;
- *Seiton* (arrumação) – Definir um local para cada coisa; verificar que cada coisa está no seu local; colocar à mão as coisas de uso mais frequente; colocar etiquetas de identificação (ajudas visuais) nas coisas e no respetivo lugar onde estas devem ser mantidas;
- *Seiso* (limpeza) – Dividir o posto de trabalho e atribuir uma zona a cada elemento do grupo; proceder à limpeza em cada zona do posto de trabalho, assim como da área envolvente; definir uma norma de limpeza para essa zona do posto de trabalho;
- *Seiketsu* (normalização) – Definir uma norma geral de arrumação e limpeza para o posto de trabalho; identificar as ajudas visuais e procedimentos, normas de arrumação e limpeza que resultem/functionem; normalizar em toda a fábrica os equipamentos/postos de trabalho do mesmo tipo;
- *Shitsuke* (autodisciplina) – Objetivos: praticar os princípios de organização, sistematização e limpeza; eliminar a variabilidade, isto é, fazer sempre bem à primeira; estabelecer procedimentos do controlo visual; verificar se está tudo no seu lugar; verificar o estado de limpeza; verificar se as ações e inspeções estão a ser realizadas corretamente; desenvolver um sistema do tipo lista de verificação (*checklist*) e de ajudas visuais, incluindo cores, luzes, indicadores de direção ou gráficos.

Cada vez mais um sexto S é acrescentado à lista anterior. Trata-se do S da segurança, o qual não pode ser dissociado dos anteriores nem de qualquer atividade realizada (Figura 27). No dia a dia de uma empresa, as rotinas que mantêm a ordem e a organização são essenciais para a otimização e eficiência das atividades realizadas. Estas técnicas *Lean* encorajam os colaboradores a melhorar o seu local de trabalho e facilitam o esforço de redução de desperdícios. Os 6S formam a base necessária, o terreno ideal, para a implementação de um número significativo de soluções *Lean*, tais como a Manutenção Produtiva Total/Total Productive Management (TPM) e o 6 σ (seis sigma) (Pinto, 2014).

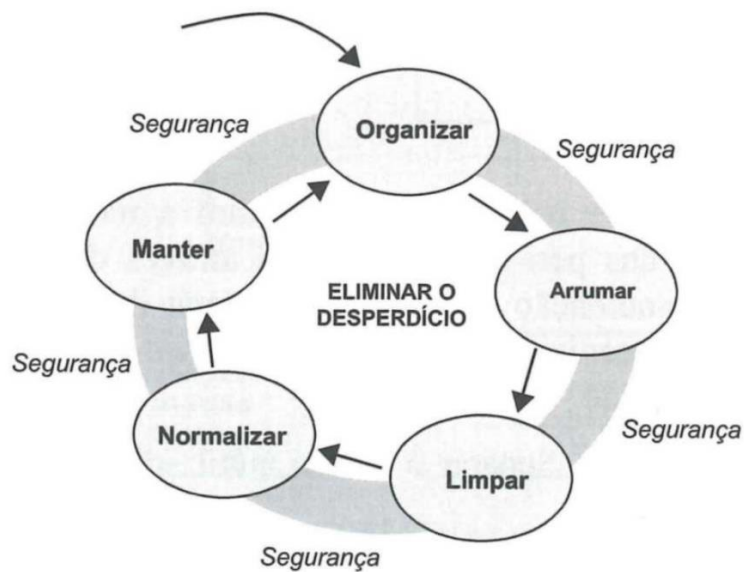


Figura 28: Os 6S (5+1) e a eliminação do desperdício. Fonte: Pinto (2014).

4.2. Mapeamento do Fluxo de Valor

Como referido anteriormente, o mapeamento do fluxo de valor (VSM) é uma ferramenta que permite visualizar o percurso de um produto ou serviço ao longo de toda a cadeia de valor (conjunto de todas as atividades que ocorrem desde a obtenção do pedido até à entrega ao cliente final do produto ou serviço). Trabalhar a partir da perspetiva da cadeia de valor garante ao gestor ter uma visão global dos processos, não se concentrando apenas em processos individuais ou na otimização das partes (Rother e Shook, 1998; Pinto, 2014).

O VSM, numa fase inicial, ajuda a gestão, a engenharia e as operações a reconhecerem o desperdício e a identificarem as suas causas. O processo VSM inicia-se com o

mapeamento físico do estado atual (*as is*), enquanto foca o estado futuro (*to be*) (Thomaz, 2015).

O mapeamento leva em consideração tanto o fluxo de materiais como o fluxo de informações, e ajuda bastante no processo de visualização da situação atual e na construção da situação futura. Por outro lado, esta é uma ferramenta que se concentra nas questões relativas à redução dos tempos (*lead time*) dos processos. Em algumas aplicações do VSM, o lead time poderá ser o único aspeto considerado neste tipo de ferramenta, dada a necessidade da sua redução. Além dos custos associados ao tempo, o VSM procura também chamar a atenção para o custo dos processos, considerando-os nos processos de análise e de tomada de decisão (Pinto, 2014).

O VSM tem quatro etapas básicas para a sua implementação (Rother e Shook, 1998):

- Seleção do(s) produto(s) ou serviço(s) que não acrescentam valor;
- Desenho do estado atual – identificação de todas as atividades envolvidas no fluxo de materiais e informações do estado atual do processo;
- Desenho do estado futuro – elaborar o mapeamento do estado futuro de acordo com o fluxo de material e informação desejáveis, com base nos desperdícios identificados no estado atual;
- Definição do plano de trabalho em que deverão constar as ações a implementar, objetivos, responsáveis e datas de implementação.

O estado ideal da cadeia de valor é caracterizado pela ausência total de desperdícios na cadeia. Para que esse estado seja alcançado são necessárias várias etapas, isto é, vários estados intermédios que permitirão gradualmente alcançar o estado ideal.

O VSM é um bom ponto de partida para iniciar a jornada *Lean* nas organizações, porque (Pinto, 2014):

- Ajuda a visualizar mais do que um processo. Permite uma visão de toda a cadeia de valor, não se concentrando em partes específicas;
- Permite identificar algo mais do que o desperdício. Ajuda a identificar as suas origens ao longo de toda a cadeia de valor;
- Fornece uma linguagem comum, simples e intuitiva;
- Favorece uma abordagem global aos conceitos e ferramentas *Lean*;
- Fornece uma base para um plano de implementação;

- Demonstra a ligação entre fluxo de materiais, capital e informação.

4.3. Indicadores Chave de Desempenho

Os KPI's podem ser operacionais, financeiros ou outros, dependendo da aplicação que se pretende. A nível operacional, as métricas mais usadas são as seguintes (Pinto, 2014):

- Eficiência;
- Disponibilidade;
- Ocupação;
- OEE (*overall equipment efficiency*) – eficiência global;
- *Lead Time*;
- Tempo de ciclo e *takt time*;
- Rotação de inventário;
- FTT (*first time through*);
- Velocidade.

A eficiência (E) avalia a capacidade de um sistema em alcançar objetivos. É uma medida muito orientada a sistemas humanos:

$$E = \frac{\text{resultados alcançados}}{\text{resultados esperados}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 3: Eficiência}$$

O valor de E pode ser superior a 100%, desde que os resultados alcançados superem o valor padrão (esperado).

A disponibilidade (D) mede a relação entre o tempo útil e o tempo disponível:

$$D = \frac{\text{tempo útil}}{\text{tempo disponível}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 4: Disponibilidade}$$

O termo “utilização” é algumas vezes utilizado com o mesmo significado de “disponibilidade”. Nas áreas de fiabilidade e manutenção, a disponibilidade pode ser medida por tempos médios como o MTTR (*mean time to repair*) e MTBF (*mean time between failures*).

A ocupação (O) mede a relação entre a carga e a capacidade e é dada pela seguinte equação:

Equação 5: Ocupação

$$O = \frac{\text{carga}}{\text{capacidade}} * 100 [\%]$$

A ocupação terá de ser sempre inferior a 100% (ou seja, a carga não poderá ser superior à capacidade). Caso contrário, o sistema estrangula e a fila de espera tende para infinito, ou seja, o número de encomendas ou clientes em atraso vai crescendo continuamente, resultando em mau serviço, reclamações e eventuais perdas de clientes.

A eficiência global/*overall equipment effectiveness* (OEE), mede o desempenho global de um processo ou sistema. Este KPI (*key performance indicator*) foi inicialmente desenvolvido para apoiar a filosofia TPM, mas, ao longo do tempo, a OEE foi aplicada à generalidade das situações, não se limitando a processos industriais:

$$OEE = E * D * Q [\%] \quad \text{Equação 6: Eficiência Global}$$

Em que Q – taxa de qualidade real/*Yield*. Trata-se da taxa de qualidade existente nos processos e sem considerar o retrabalho nas peças com defeitos.

A OEE avalia o desempenho do “todo” e não das “partes”, reforçando o princípio de gestão *think global and act local*. Esta medida põe em confronto os três elementos que numa empresa estão envolvidos na criação de valor (isto é, “E” refere-se à pessoas, “Q” aos processos e “D” à tecnologia ou equipamento).

O tempo de ciclo refere-se ao tempo entre duas peças (ou dois clientes) consecutivas(os), e é definido pela operação mais demorada na sequência de fabrico (ou de atendimento dos clientes). O tempo de ciclo não depende do *lead time*, que é o tempo total da sequência (desde que entra até que sai) (Pinto, 2014).

O *takt time* é definido como o tempo de ciclo variável, isto é, definido de acordo com a procura (maior procura requer um menor tempo entre peças consecutivas, ou seja, um menor *takt time*). A equação que se segue permite calcular o *takt time* (Pinto, 2014):

$$Takt\ Time = \frac{\text{tempo disponível}}{\text{procura no tempo disponível}} \quad \text{Equação 7: Takt Time}$$

Ao tempo disponível na equação, deverão ser subtraídas todas as paragens programadas (como pausas para descanso e ações de manutenção preventiva). O tempo de ciclo de uma sequência (por exemplo, linha de fabrico) não pode ser, em momento algum, superior ao *takt time* para que não ocorram atrasos nas entregas, nem muito inferior, para que não ocorram desperdícios no processo. Assim sendo tem-se que (Pinto, 2014):

Takt time (procura) > capacidade → sobrecarga, atrasos nas entregas, falha ao cliente;

Takt time (procura) < capacidade → subcarga, baixa utilização de recursos, desperdício.

Estas condições sugerem que a empresa deverá constantemente ajustar o tempo de ciclo dos seus processos ao *takt time* para, simultaneamente, satisfazer a procura e garantir uma adequada taxa de ocupação dos seus recursos (capacidade). Para sintonizar o tempo de ciclo com o *takt time*, a produção deverá ser nivelada (Pinto, 2014).

A rotação de stocks mede o número de vezes que o stock é renovado num dado período de tempo. Quanto maior for este valor, maior será a circulação do dinheiro, ou seja, menor será o capital imobilizado em inventário. Este indicador mede-se de acordo com a seguinte equação:

$$RS = \frac{\text{Volume total de vendas}}{\text{Valor do inventário}} \quad \text{Equação 8: Rotação de Stocks}$$

O *first time through* (FTT) representa a percentagem de unidades completas, e com qualidade, que um processo de fabrico produz bem à primeira (sem necessidade de retrabalho, sem defeitos e de acordo com as especificações:

$$FTT = \frac{\text{Unidades no processo (defeitos + retrabalho)}}{\text{Unidades no processo}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 9: First Time Through}$$

A velocidade é uma medida do dinamismo dos materiais (ou capitais) dentro da cadeia de fornecimento. Em todas as fases da cadeia de fornecimento, o tempo de permanência dos materiais deve limitar-se ao tempo de operação (a acrescentar valor), aumentando desta forma a velocidade dos materiais e do dinheiro.

4.4. Planeamento *Hoshin Kanri*

O planeamento *hoshin kanri* é um método utilizado para identificar as necessidades críticas do negócio e desenvolver aptidões nos colaboradores, através do alinhamento dos recursos da organização a todos os níveis e aplicando o ciclo PDCA para, consistentemente, alcançar os resultados críticos (figura 29) (Pinto, 2014).

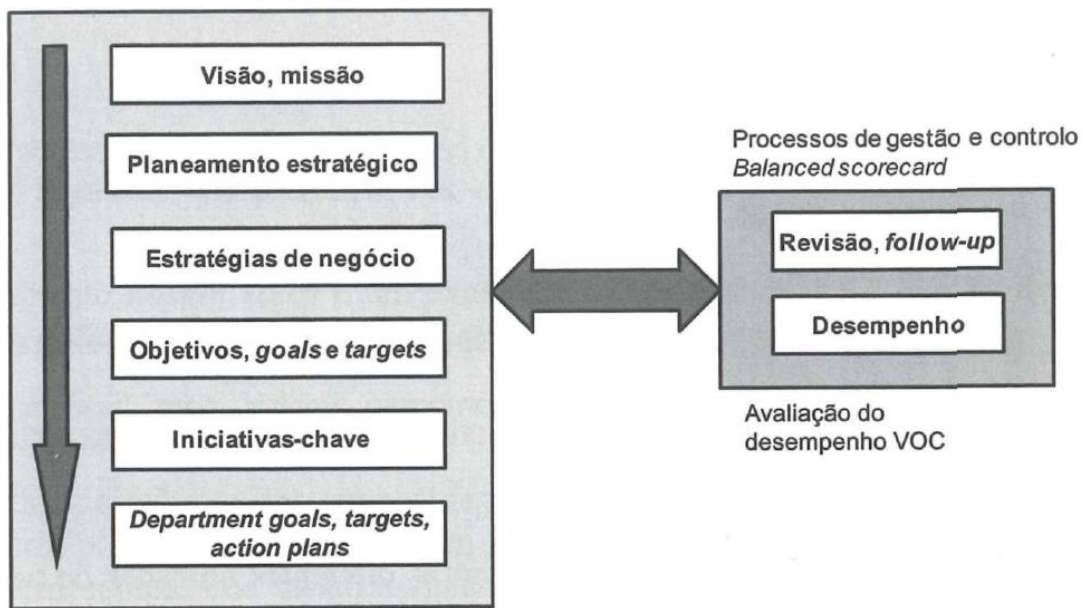


Figura 29: O alinhamento entre a(s) estratégia(s) e o(s) objetivo(s). Fonte: Pinto (2014).

Um estudo da revista Fortune publicado nos EUA, no início da década de 2000, revelou que menos de 10% das estratégias formuladas são efetivamente executadas. As causas são diversas, sendo que se destacam as seguintes (Pinto, 2014):

- Apenas 5% dos colaboradores percebem de facto a estratégia a seguir;
- Apenas 25% dos gestores (intermédios) têm incentivos ligados à realização da estratégia;
- 85% das equipas despendem uma hora (ou menos) por mês a discutir a estratégia;
- Cerca de 60% das organizações não fazem a ligação entre orçamentos e a estratégia.

O desenvolvimento dos conceitos *hoshin kanri* tem como objetivo colmatar as causas dos problemas referidos neste estudo.

O termo *hoshin kanri* é normalmente associado à gestão e ao planeamento ou ainda ao estabelecimento da política da empresa. O planeamento *hoshin kanri* desenvolve-se em cinco fases (Pinto, 2014):

1. Planeamento estratégico e estabelecimento do *hoshin* (direção ou caminho):
 - a) O gestor de topo estabelece a visão e define as metas a atingir;
 - b) Considera os obstáculos e oportunidades externas.
2. *Hoshin* e desenvolvimento da política:
 - a) Reunião de consensos entre todas as partes interessadas;

- b) Os gestores intermédios avaliam a possibilidade de realização da visão da empresa (definida anteriormente pela gestão de topo);
- c) Processo de alinhamento (negociação) dos diferentes *hoshins* a todos os níveis da organização recorrendo ao formato A3;
- d) Todos os níveis devem concordar com os objetivos, os meios, as medidas, as métricas e as datas de execução. Este processo de desenvolvimento da política é repetido em todos os níveis da hierarquia e designa-se por *catchball*.

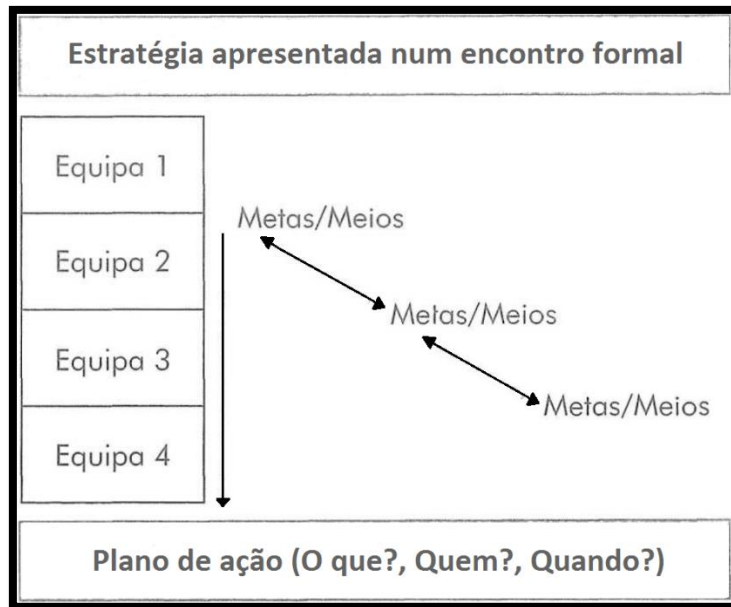


Figura 30: Processo *catchball*. Fonte: Thomaz (2015).

3. Monitorização do *hoshin*:
 - a) Controlo das métricas (confronto com os objetivos estabelecidos);
 - b) Fazer ajustes se necessário.
4. Verificar e atuar:
 - a) Monitorizar e avaliar o processo, os procedimentos e a política *hoshin*;
 - b) Recomendar melhorias ao processo *hoshin* com base na recente experiência ou em desvios;
5. Diagnóstico da gestão de topo:
 - a) A gestão de topo reúne-se com as diferentes unidades de negócio de forma a avaliar resultados do processo *hoshin*;
 - b) O processo *hoshin* é ajustado de acordo com as necessidades para futuras aplicações.

O planeamento *hoshin* utiliza um conjunto de formulários e procedimentos para formalizar o planeamento e o estabelecimento de políticas e objetivos, de forma a alinhar as ações de todos os colaboradores com as metas da organização e, ao mesmo tempo, encorajar o envolvimento das pessoas no processo de planeamento. Destes procedimentos, destacam-se os conceitos da voz do cliente/*voice of customer* (VOC) e a casa da qualidade/*house of quality* (HOQ), ambos apresentados na figura 31. Para contextualizar estes dois conceitos, é fundamental referir o desdobramento da função qualidade (Pinto, 2014).

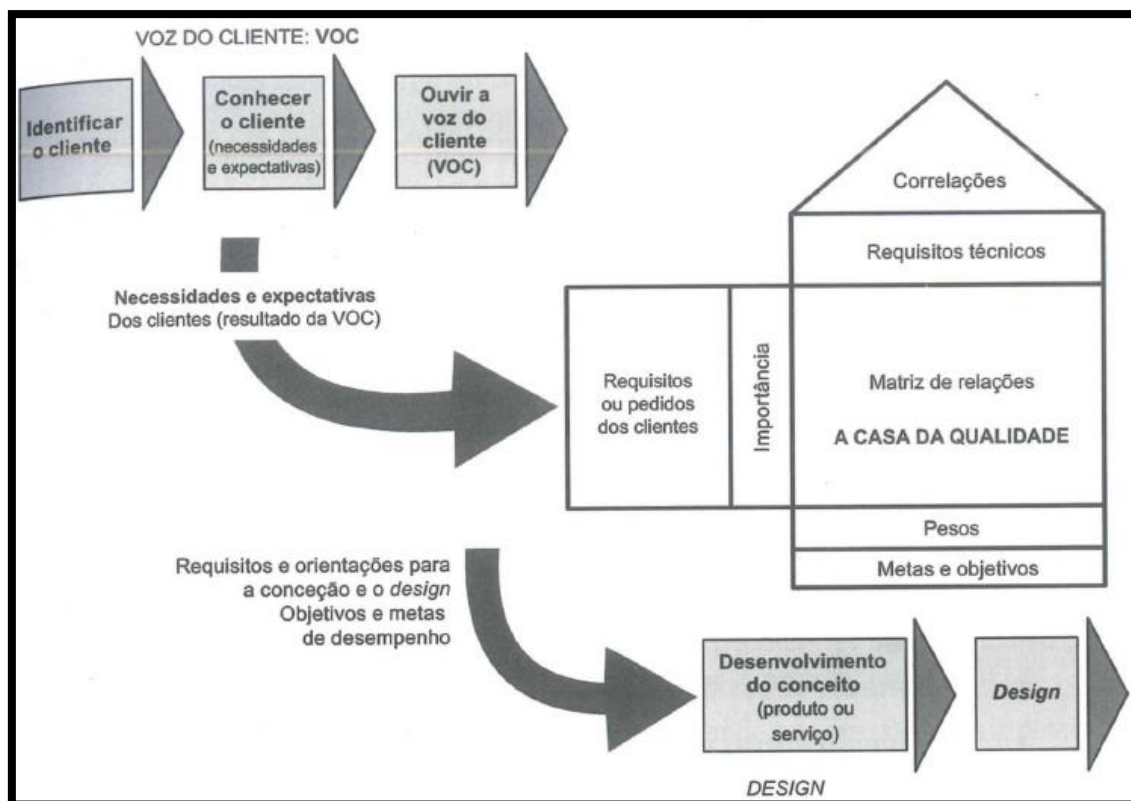


Figura 31: Os conceitos de VOC e HOQ como suporte ao processo *hoshin kanri*. Fonte: Pinto (2014).

4.4.1. Implementação do *Hoshin Kanri* – Modelo de Jackson

O *hoshin kanri* não tem uma definição ou interpretação inequivocamente aceite. A metodologia *hoshin kanri* teve a sua origem no Japão e o seu desenvolvimento está profundamente ligado à evolução da gestão compreensiva da qualidade, definida atualmente como TQM (Thomaz, 2015).

Nesta análise optou-se por selecionar apenas o modelo de Jackson de entre todos os existentes, já que o estudo conduzido por este autor é um dos mais completos da

combinação das abordagens *hoshin kanri* e gestão *Lean*, apresentada no livro *Hoshin Kanri for the Lean Enterprise*, em 2006. Jackson refere que o *hoshin kanri*, tradicionalmente considerado como uma metodologia de gestão estratégica, é usado não só em sistemas de gestão da qualidade, mas igualmente na gestão *Lean*. Segundo Jackson, o *hoshin kanri* é um conjunto de projetos táticos para manter as melhorias dos processos ligadas às estratégias de médio prazo, servindo como catalisador para a gestão de uma organização *Lean* (Jackson, 2006; Thomaz, 2015).

Jackson (2006) divide a sua proposta de implementação segundo o ciclo SPDCa, ou OPDCA, como já anteriormente mencionado. As fases deste ciclo são ainda compostas por sete iniciativas e, para a execução das mesmas, criam-se quatro equipas, cujo *roadmap* genérico ao longo das cinco fases do ciclo pode ser ilustrado na figura 32 (Jackson, 2006).

	Scan	Plan	Do	Check	Act
Gestores da cadeia de valor	Equipa Hoshin				
Gestão intermédia	Equipa tática				
Staff em geral		Equipa operacional			
Supervisores e team leaders			Equipa de ação		

Figura 32: *Roadmap* do *hoshin kanri* segundo o modelo de Jackson. Fonte: Thomaz (2015).

As equipas		As sete iniciativas	
Equipa Hoshin	1	Estratégia de longo prazo	Estratégia a longo prazo, por exemplo, 3 a 5 anos.
	2	Estratégia de médio prazo	Plano de ação parcialmente completo, incluindo metas financeiras e indicadores de melhoria com um horizonte de 1 a 3 anos. Plano orientado ao desenvolvimento de competências e alinhamento de trajetórias do negócio com estratégia de longo prazo.
	3	<i>Hoshin</i> anual	Plano de ação detalhado para um período de 6 a 12 meses para desenvolver competências competitivas e alinhar trajetória de acordo com a estratégia de médio prazo.
Equipa tática	4	Táticas	Iniciativas concretas de 6 a 12 meses, definidas pelo <i>Hoshin</i> anual, orientadas ao desenvolvimento de novas competências e capacidades para os processos de negócio.
Equipa operacional	5	Operações	Projetos concretos de 3 a 6 meses, definidos no <i>Hoshin</i> anual, procurando aplicar novas tecnologias e metodologias para funções <i>standard</i> e específicas do negócio.
Equipa de ação	6	<i>Kaikaku</i>	Projetos concretos de 1 semana a 3 meses, por norma definidos após o desdobramento do <i>Hoshin</i> anual. Usados para aplicar novas ferramentas e técnicas no trabalho <i>standard</i> diário.
	7	Melhoria contínua	Os problemas são resolvidos mais ou menos em tempo real, no momento em que os defeitos, os erros e as anormalidades são detetados no decurso do trabalho diário, surgindo simultaneamente possibilidades de melhorias através das sugestões dos colaboradores e outros <i>stakeholders</i> .

Figura 33: As sete iniciativas propostas por Jackson. Fonte: Thomaz (2015).

Segundo Jackson (2006), as quatro equipas são compostas por elementos da organização com diferentes características e responsabilidades. A equipa hoshin é formada por membros da gestão de topo e assume toda a responsabilidade pelo planeamento estratégico e pela implementação das três primeiras iniciativas. A equipa tática, que é nomeada pela equipa hoshin, desenvolve e orienta a execução da quarta iniciativa. A equipa operacional, designada pela equipa tática, desenvolve e orienta a iniciativa cinco e a equipa de ação, indicada pela equipa operacional, conduz as iniciativas seis e sete (Thomaz, 2015).

4.4.1.1. Relatório A3

No modelo de (Jackson, 2006), é sugerida a utilização do relatório A3 como ferramenta de comunicação em todo o processo de desenvolvimento do *hoshin kanri*. O relatório A3

é essencialmente um sistema de gestão do conhecimento que encoraja gestores e demais colaboradores a documentar sistematicamente o conhecimento sobre as suas cadeias de valor e os seus processos. Quando estes relatórios A3 estão intimamente ligados à estratégia através do *hoshin kanri*, então, tem-se assim um modelo integrado de gestão estratégica com adesão às atividades diárias operadas na organização (Thomaz, 2015).

A generalidade dos formatos A3 promovidos pela Toyota contém nove elementos críticos para a boa gestão de projetos (Thinking, 2013):

1. Tema ou assunto (colocado no topo e denunciando o problema/desafio);
2. Caracterização do problema, incluindo a definição do estado inicial (*as is*) e definindo os motivos do projeto;
3. Afirmação do estado pretendido, ou estado futuro (*to be*), definindo a amplitude e o âmbito do projeto;
4. O procedimento ou a abordagem ao problema (por norma assente no ciclo PDCA, ou alternativamente no método científico);
5. A análise sistemática ao problema/desafio (ex.: aplicação dos 5W, análise custo-benefício, diagrama de Ishikawa, DOE, entre outros);
6. A solução proposta (contramedidas);
7. Calendarização da implementação (incluindo as ações, datas e responsáveis);
8. Ilustrações gráficas (desenhos ou fotos) para rápida informação e perceção do que se pretende;
9. Data e unidade (entidade) responsável a quem reportar no final do A3.

Existem quatro tipos principais de formulários A3 (Thinking, 2013):

- Relatório de Análise Competitiva A3 (A3-RA): usado para criar um consenso em torno das mudanças de condição do mercado (procura e oferta) antes de elaborar a matriz X (A3-X). É usado na fase de análise do meio envolvente (*scan*).
- Matriz X A3 (A3-X) (Figura 34): usada na fase de planeamento do processo hoshin. É usada para reunir diferentes orientações estratégicas, táticas e operacionais, explorar as dependências entre elas, e relacioná-las com os resultados financeiros.

A matriz X suporta o processo *hoshin* para o planeamento estratégico a médio prazo, o *hoshin* atual, e o desdobramento do *hoshin* anual nas equipas téticas e operacionais.

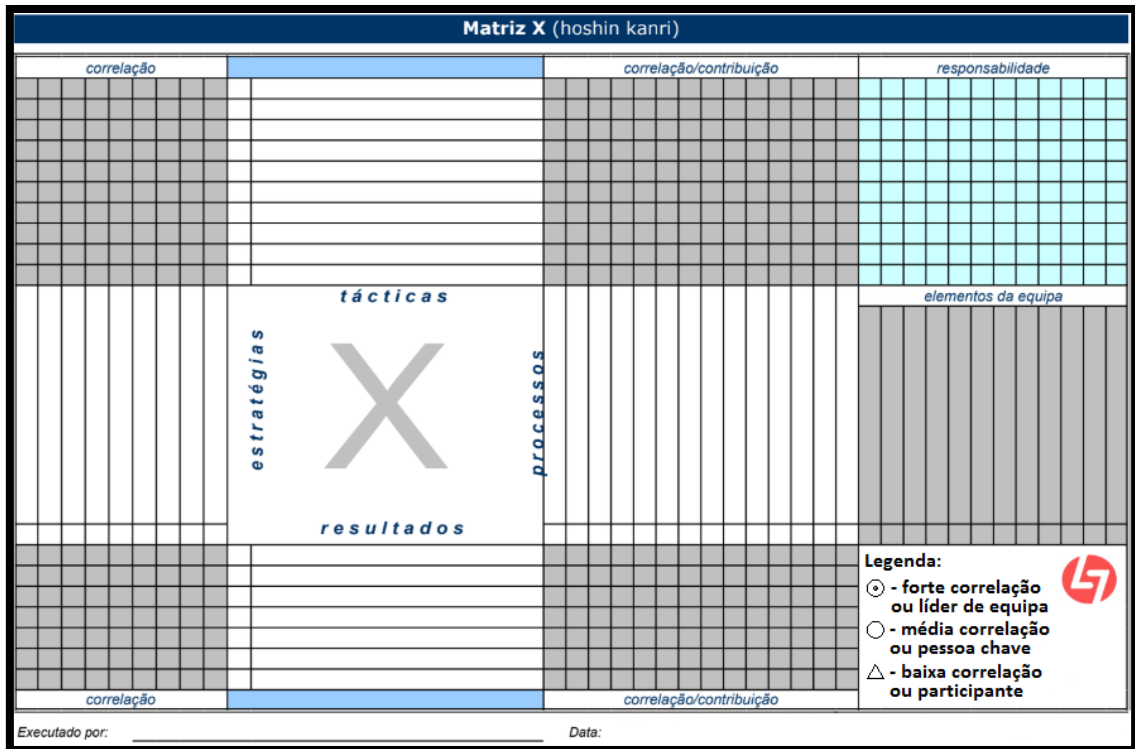


Figura 34: Exemplo de uma matriz A3-X. Fonte: Thinking (2013).

- Relatório de Resolução de Problemas A3 (A3-RP) (Figura 35): usado para reunir uma equipa em torno da resolução de um problema ou desafio. É aplicado na fase check do hoshin kanri. Pode ser também usado como relatório de condição na mesma fase de verificação.

A3 - RELATÓRIO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	
Tema: _____	Unidade a quem reporta: _____
CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA/DESAFIO	CONTRAMEDIDAS / AÇÕES A REALIZAR
DEFINIÇÃO DO TARGET DESEJADO (TO BE)	PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ANÁLISE	VERIFICAÇÃO E ACOMPANHAMENTO
Executado por: _____	Data: _____

Figura 35: Exemplo de um Relatório de Resolução de Problemas A3. Fonte: Thinking (2013).

4.5. Desdobramento da Função Qualidade

O desdobramento da função qualidade/*quality function deployment* (QFD) é uma forma de ouvir o cliente e perceber o que este verdadeiramente espera dos produtos ou serviços da empresa, e depois desenvolver formas de criar esses produtos/serviços com os recursos disponíveis (ou identificar que valências serão necessárias para os executar). O QFD garante que todos na empresa trabalham no sentido de criar e entregar ao cliente o que ele espera (valor). Através do QFD, a empresa dispõe de um *roadmap* mostrando cada um dos passos, do design à entrega, envolvidos na criação de valor (Pinto, 2014).

O QFD propõe-se a resolver três dos principais problemas dos métodos tradicionais de desenvolvimento (Pinto, 2014):

1. Não ouvir ou ignorar a voz do cliente;
2. Perda de informação nas diferentes fases (desde a criação da ideia/conceito à entrega e assistência pós-venda);
3. Diferentes pessoas/entidades e funções a trabalhar em diferentes requisitos e com limitada partilha de informação e de conhecimento.

Com o QFD, estes problemas são considerados respondendo respetivamente às seguintes questões (Pinto, 2014):

1. Que produtos/serviços o cliente espera receber?
2. Que funções e atributos deverão ter os produtos/serviços e que meios e funções deverá possuir a empresa para realizar esses produtos/serviços?
3. Com base nos recursos disponíveis (como: pessoas, conhecimento, tecnologia), como poderemos, de forma económica, realizar essas necessidades e expectativas?

4.5.1. As quatro fases do Desdobramento da Função Qualidade

O sistema QFD consiste em quatro fases que são, resumidamente, apresentadas na figura 36.

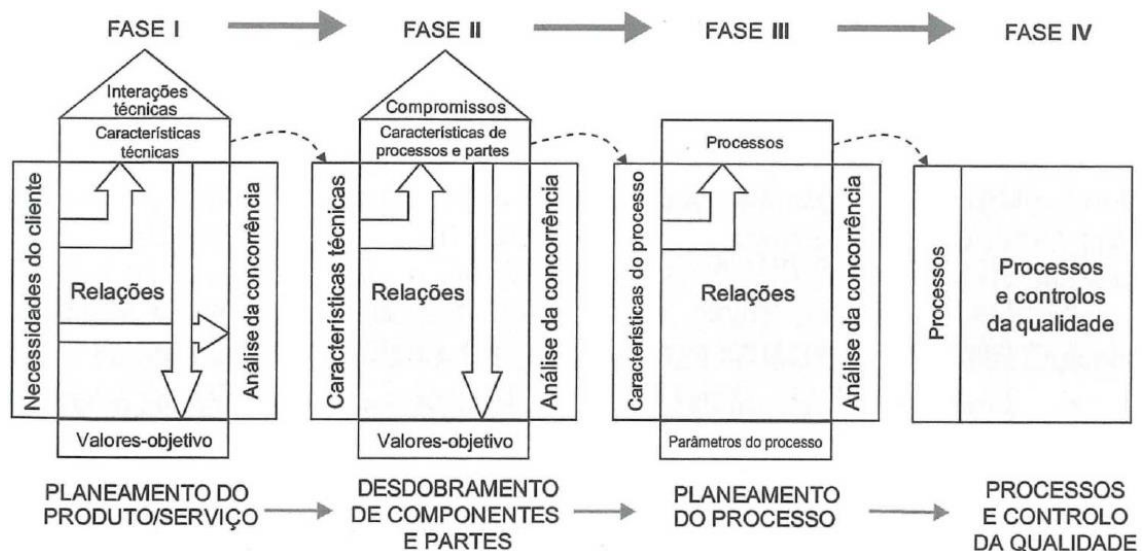


Figura 36: As quatro fases do desdobramento da qualidade. Fonte: Pinto (2014).

O QFD exige o mapeamento das necessidades do cliente e a respetiva tradução em requisitos de *design* e fabrico ao longo das quatro matrizes identificadas na figura anterior. A matriz de planeamento encerra em si a estrutura geral do desdobramento e é conhecida como a HOQ e, em muitos casos, o procedimento QFD limita-se a este nível (Pinto, 2014).

Explorar os outros três níveis é revelar o potencial desta ferramenta no desenvolvimento de produtos, processos e instruções, e assim, ser capaz de orientar o esforço da organização no sentido da criação de valor.

As quatro fases do QFD ajudam a comunicar os requisitos (necessidades e expectativas) do cliente, da equipa de design à equipa de fabrico e entrega do produto/serviço ao cliente, passando pelas fases críticas e decisivas do pós-venda. Através deste desdobramento, nas quatro fases, todas as pessoas vão sendo capazes de avaliar até que ponto as soluções propostas vão ao encontro do que é verdadeiramente importante (a satisfação do cliente). Neste desdobramento, todas as decisões são baseadas no mais elevado nível de satisfação do cliente (Pinto, 2014).

Cada fase contém uma coluna de “o quê” e uma linha de “como”: quais são os pedidos do cliente e “como” se poderão alcançar esses pedidos. Os “como” mais importantes, os que exigem novos processos e/ou tecnologias ou envolvem maiores riscos, são desdobrados na fase seguinte (Pinto, 2014).

4.6. Balanced Scorecard

O *Balanced Scorecard* (BSC) foi inicialmente desenvolvido por Kaplan e Norton em 1992 como um modelo que permitisse transformar a visão e a estratégia de uma organização em objetivos, indicadores, metas e iniciativas, subdivididos em quatro perspetivas: financeira, clientes, processos internos e aprendizagem e desenvolvimento. A figura 37 ilustra o BSC proposto pelos autores do mesmo (Kaplan e Norton, 1996; Thomaz, 2015).

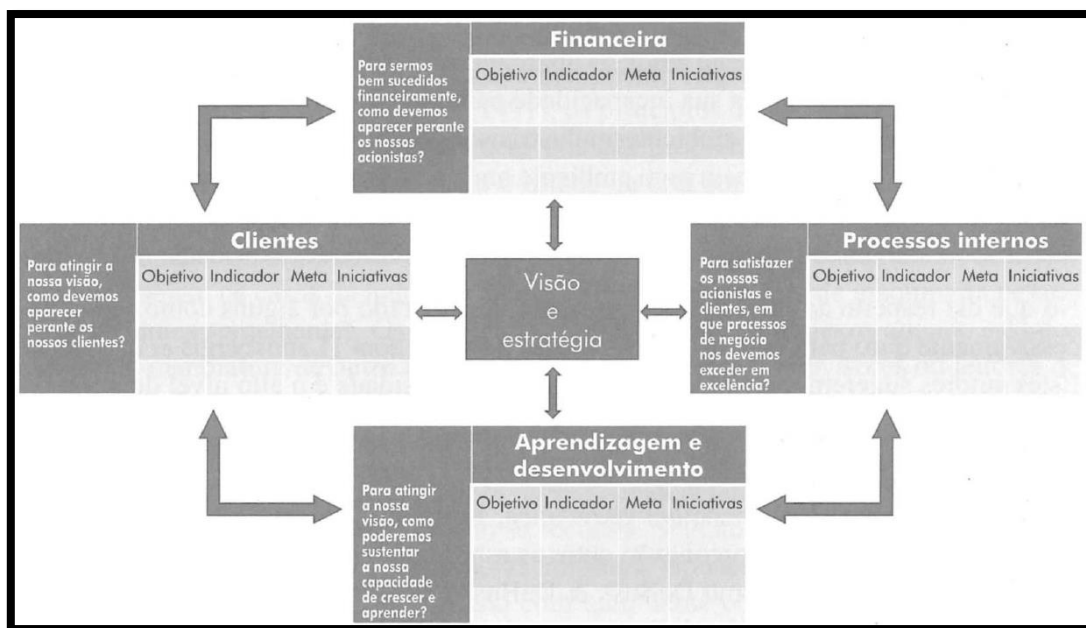


Figura 37: As quatro perspetivas do BSC. Fonte: Thomaz (2015).

O BSC permite a criação de um quadro de referência, no qual todas as ações da organização estejam ordenadas segundo uma cadeia de relações causa-efeito, definindo-se metas e indicadores de desempenho e comunicando a todos na organização por forma a fornecer um claro entendimento dos efeitos das suas próprias ações na visão da organização (Thomaz, 2015).

Ao responder às quatro questões apresentadas na figura 33, para cada uma das perspectivas, serão identificados os objetivos estratégicos, indicadores, metas e planos de implementação. Posteriormente, o *scorecard* será usado para destacar quais devem ser os pontos-chave dos esforços da organização (Thomaz, 2015).

A partir do livro intitulado “*The Strategy Focused Organization*” lançado em 2001, os autores do BSC evoluíram o conceito no sentido de usar o BSC como uma ferramenta de gestão da estratégia, através da criação dos Mapas da Estratégia e alinhando a organização com a estratégia ao nível dos indivíduos, desdobrando o *scorecard* da organização em *scorecards* pessoais, garantindo uma maior atenção de todos em relação à estratégia global, e fazendo da estratégia o trabalho diário de cada um. O Mapa da Estratégia fornece uma forma clara de identificar os diferentes objetivos estratégicos do BSC da organização, ligando-os segundo uma relação causa-efeito, de tal forma que se evidenciem quais os *drivers* para cada um dos resultados desejados (Thomaz, 2015).

4.6.1. Modelo Conceptual de Integração do *Hoshin Kanri* com o *Balanced Scorecard*

O BSC e o *hoshin kanri* são metodologias importantes na vida das organizações, na medida em que cada uma se assume como uma abordagem central ao processo de gestão estratégica das mesmas. Considerando a capacidade do BSC para conceptualizar a estratégia a partir da visão e do *hoshin kanri* para desdobrar e executar essa estratégia, o autor do livro *Balanced ScoreCard e Hoshin Kanri*, (Thomaz, 2015), construiu um diagrama que identifica o modelo de complementaridade entre estas duas metodologias (figura 38).

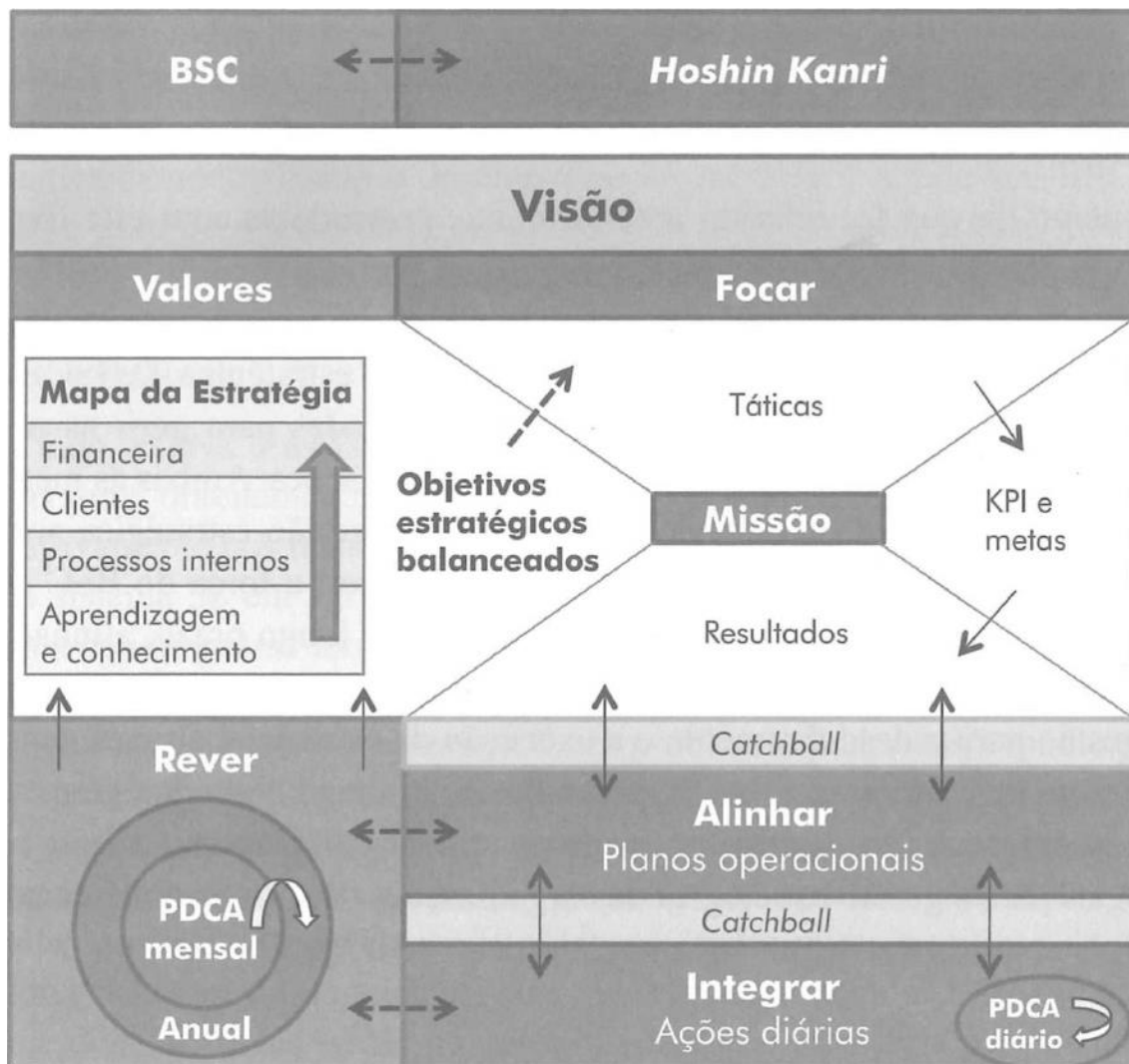


Figura 38: Modelo de integração do *hoshin kanri* com o BSC. Fonte: Thomaz (2015).

Tanto o BSC como o *hoshin kanri* são metodologias dinâmicas que fornecem à gestão de topo uma capacidade real de gerir e influenciar as atividades de gestão estratégica em toda a organização e de forma sustentada ao longo do tempo. Neste modelo, o BSC lida com a escala temporal de médio-longo prazo da gestão estratégica e é exercido ao nível da gestão de topo. O *hoshin kanri*, por sua vez, é usado para traduzir a estratégia corporativa em atividades e iniciativas de curto prazo, através de toda a cadeia hierárquica e funcional da organização. Este modelo coloca o BSC e o *hoshin kanri* lado a lado, e identifica os pontos de interface entre estas duas metodologias, por forma a garantir uma simbiose que tire o máximo partido das forças e das vantagens de cada uma (Thomaz, 2015).

5. Caracterização da Empresa

O presente capítulo pretende definir a empresa e a central térmica em que foi realizado o estudo de caso, assim como a utilização do pensamento *Lean* na empresa.

5.1. A EDP

A EDP (Energias de Portugal) foi criada em 1976, através da fusão de 13 empresas que tinham sido nacionalizadas em 1975. Como empresa estatal, ficou encarregada da eletrificação de todo o país, a modernização e extensão das redes de distribuição elétrica, do planeamento e construção do parque electroprodutor nacional, e do estabelecimento de um tarifário único para todos os clientes (EDP, 2015).

Em 1994, depois de uma profunda reestruturação, foi constituído o grupo EDP. Em 1996, foram dados os primeiros passos para a internacionalização do grupo EDP com uma pequena participação no Brasil, que foram consolidadas nos anos seguintes. No fim da década de 1990 e início da década de 2000, ocorreram várias fases de privatização da empresa, ocorrendo em 2000 a separação da REN (Redes Energéticas Nacionais) da esfera de controlo do grupo EDP, devido à liberalização do mercado energético europeu, que teve efeitos em Portugal de forma progressiva entre 1995 e 2006, impondo uma separação jurídica entre as empresas responsáveis pela gestão da rede de transporte e as que desenvolvem atividades de produção e distribuição de eletricidade (EDP, 2015; ERSE, 2017).

A EDP divide os seus negócios em três segmentos principais (EDP, 2019c):

- Produção de Eletricidade: é a principal área do negócio da empresa, estando presente em 16 países, em 4 continentes: Europa (Portugal, Espanha, França, Itália, Reino Unido, Bélgica, Polónia e Roménia), América (EUA, Canadá, México, Colômbia, Peru e Brasil), África (Angola) e Ásia (China);
- Distribuição de Eletricidade e Gás: Presente em Portugal, Espanha e Brasil;
- Comercialização de Eletricidade e Gás: Presente em Portugal, Espanha e Brasil.

Segundo o plano estratégico da EDP para o quadriénio de 2019-2022, a EDP vai focar-se no negócio das energias renováveis e vender alguns ativos de produção de energia convencional (centrais de ciclo combinado e barragens) em Portugal e Espanha. A venda

destes ativos tem como propósitos diminuir a exposição da empresa ao mercado ibérico, e investir mais nas energias renováveis, principalmente na América do Norte, tendo ainda como objetivos a manutenção do dividendo, a subida dos lucros e o corte de dívida (Tavares, 2019).

A EDP tem atualmente cerca de 11.650 colaboradores, e uma receita operacional líquida de 1.584 milhões de euros, tendo efetuado investimentos e despesas ambientais na ordem dos 264 milhões de euros (valores de 2018). Em 2018 foram também evitadas emissões de CO₂ na ordem das 29.220 ktCO₂. Em 2019, a EDP ocupa o 633º lugar no *ranking* das marcas mais valiosas do mundo, sendo a marca portuguesa com melhor classificação, segundo o *ranking* elaborado anualmente pela Forbes, com um valor de mercado na ordem dos 12.6 mil milhões de dólares (EDP, 2018; Relvas, 2019).

5.1.1. EDP Produção – Portugal

A EDP Produção tem como ativos em Portugal centros produtores hidroelétricos e termoelétricos. Os centros produtores hidroelétricos estão divididos em três centros de produção principais: Cávado-Lima, Douro e Tejo-Mondego, com uma potência total instalada de cerca de 6700 MW. Existem ainda três centros produtores termoelétricos principais: a central termoelétrica de Sines, com uma capacidade instalada de 1256 MW, tendo entrado em funcionamento em 1985, a central de ciclo combinado do Ribatejo, com uma capacidade instalada de 1200 MW, tendo entrado em funcionamento em 2004, e a central de ciclo combinado de Lares, com uma capacidade instalada de 862 MW, tendo entrado em funcionamento em 2009 (REN, 2012; EDP, 2019b, 2019a).

5.1.2. Departamento de Otimização Térmica

O Departamento de Otimização e Manutenção de Ativos Térmicos (DOT) é um dos departamentos da EDP Produção, conta atualmente com 47 elementos. A missão da DOT passa por (EDP DOT, 2019b):

- Planear, coordenar e controlar as atividades no âmbito da otimização, manutenção e revitalização dos ativos do parque eletroprodutor, em colaboração com os centros de produção e em linha com a estratégia definida pelo conselho de administração.

- Coordenar e realizar estudos prévios e projetos base, de remodelação/reforços de potência ou de requalificação ambiental de ativos térmicos existentes ou prestar apoio e consultoria técnica a processos de investimento no estrangeiro.
- Dirigir as atividades relativas à desativação de centrais térmicas do parque eletroprodutor, incluindo descomissionamento, desmantelamento, demolição e requalificação ambiental dos terrenos, bem como desenvolver as ações necessárias com vista à valorização dos ativos em fim de vida. Gerir as centrais desativadas, garantindo as atividades necessárias à sua conservação de acordo com orientações da empresa e os critérios de segurança, ambiente e obrigações legais aplicáveis.

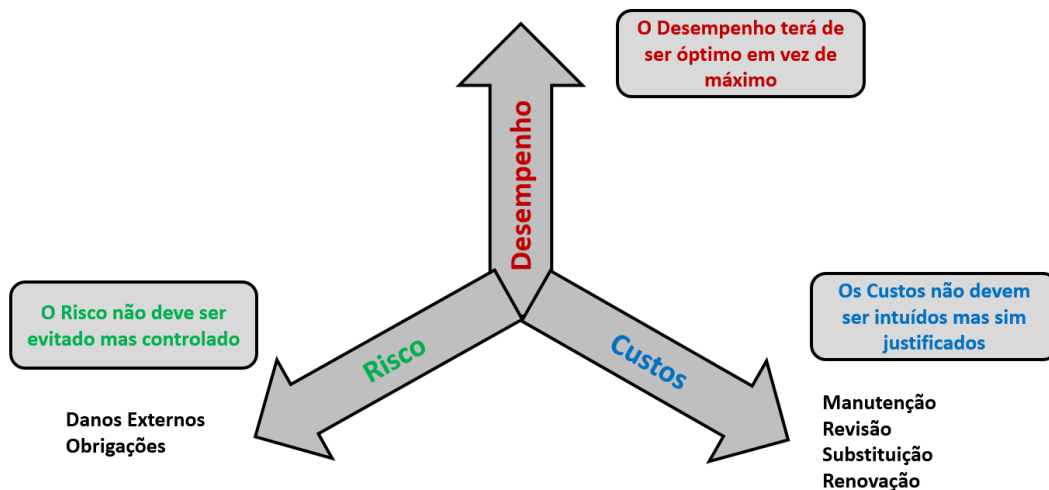


Figura 39: O Tripé Desempenho-Risco-Custos da DOT. Fonte: EDP DOT (2019b).

O projeto da instalação do sistema de dessulfuração da central de Sines teve a sua génese na DOT, como será referido mais adiante.

5.1.3. Central Termoelétrica de Sines

A central termoelétrica de Sines é uma central convencional que utiliza como combustível o carvão fóssil importado. É constituída por quatro grupos, cada um dos quais formando uma unidade promotora autónoma com gerador de vapor, turbina, alternador e transformador (Barbosa, 2015).

A central está localizada na costa alentejana, cerca de 6 km a sudeste do porto de Sines, e é a central de maior potência instalada no país, sendo a primeira a queimar carvão betuminoso importado. A sua localização está associada à decisão de construção do

complexo portuário-industrial de Sines, baseada na proximidade de um porto de águas profundas, situado na confluência das rotas internacionais e equipado com terminais petrolífero e mineraleiro. Este é o porto carvoeiro nacional para abastecimento às centrais de Sines e do Pego (Barbosa, 2015).



Figura 40: Central Termoeletrica de Sines. Fonte: EDP (2017).

A decisão da sua construção insere-se na estratégia de diversificação de fontes de energia primária para a produção de energia elétrica, após as crises petrolíferas de 1973 e 1979 que provocaram um enorme aumento nos custos dos produtos petrolíferos. Iniciada a sua construção em 1979, ficou concluída em 1989, tendo o primeiro grupo entrado em serviço em 1985 (Barbosa, 2015).

A potência total instalada é de 1256 MW (4 grupos de 314 MW), com um consumo unitário de 116 toneladas/hora à carga nominal com carvão de 27600 kJ/kg, o que em laboração permanente pode atingir um consumo total diário de cerca de 11000 toneladas de carvão (Barbosa, 2015).

O abastecimento de carvão é feito a partir do cais do porto de Sines, sendo transportado por um tapete coberto desde o cais até ao parque de carvão, cuja capacidade de armazenagem de 1.5 milhões de toneladas é equivalente a 5 meses de funcionamento da central a plena carga. A energia produzida na central é lançada na rede de transporte

através de linhas de alta tensão, a 150 kV para o 1º grupo e a 400 kV para os restantes grupos (Barbosa, 2015).

O funcionamento básico da central encontra-se ilustrado na figura 41:

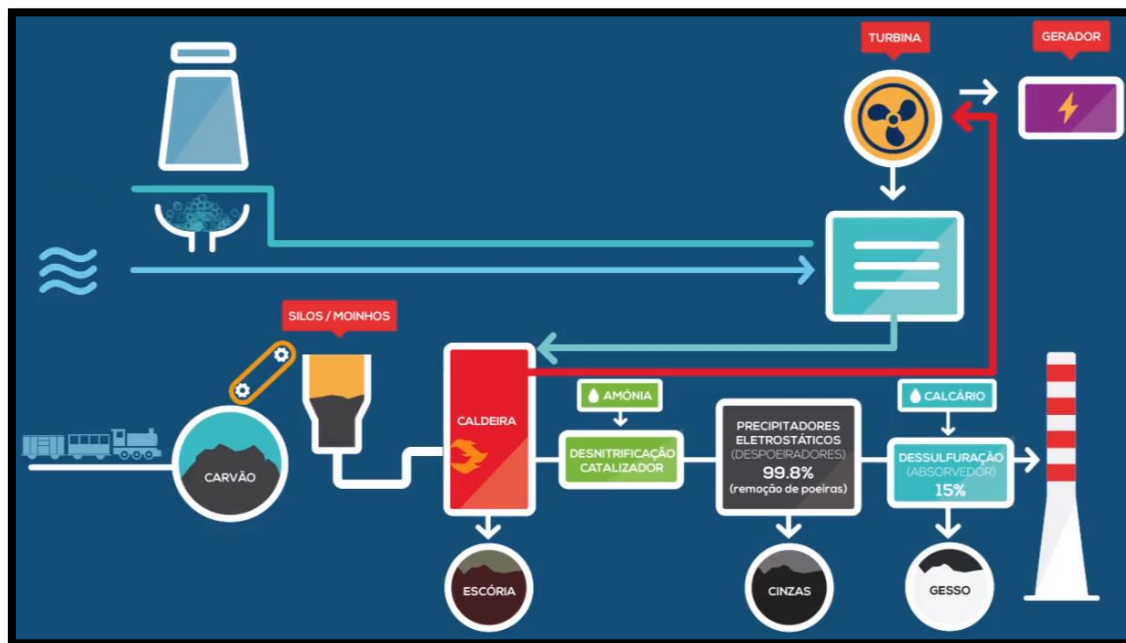


Figura 41: Sistemas de dessulfuração e SCR. Fonte: Energia (2016).

5.1.3.1. Condições Ambientais

Foram implementadas ao longo do tempo medidas para a manutenção de elevados níveis de qualidade do ambiente circundante à central, que permitem garantir que o bem-estar das populações e as atividades económicas da região não são afetadas. Para além dos estudos realizados na fase de projeto para minimizar os impactos ambientais, foram também adotadas várias medidas de exploração, de entre as quais (Barbosa, 2015):

- Construção de duas chaminés com 225m de altura de forma a assegurar uma boa dispersão das emissões gasosas;
- Utilização de carvão de baixo teor de enxofre, para reduzir as emissões atmosféricas de dióxido de enxofre;
- Instalação de precipitadores eletrostáticos (despoeiradores), de elevado rendimento, para reduzir as emissões atmosféricas de poeiras;
- Instalação de equipamento de controlo das emissões de poluentes da qualidade da queima do carvão;

- Instalação de estações de tratamento de efluentes líquidos, minimizando a contaminação do meio aquático;
- Revestimento interno dos parques de carvão e de cinzas de modo a evitar a contaminação das águas subterrâneas e cobertura do sistema de transporte de carvão;
- Instalação de sistemas de insonorização dos equipamentos ruidosos, limitando o ruído a mínimos aceitáveis;
- Foram ainda introduzidas alterações nos geradores de vapor a nível dos queimadores de carvão, e ainda a ampliação das câmaras de entrada de ar, que fornecem mais ar à caldeira e permitem completar a combustão numa forma mais eficiente;
- A instalação de sistemas de dessulfuração, ponto chave deste estudo de caso, que serão explicadas em maior detalhe mais adiante;
- Instalação de um sistema de desnitrificação de redução catalítica seletiva/*selective catalytic reduction* (SCR), montado nas caldeiras de cada grupo gerador, a montante dos precipitadores eletrostáticos, com o intuito de reduzir ainda mais o teor dos óxidos de azoto (NO_x – monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2)), ocorrendo aqui o processo de redução dos óxidos de azoto a azoto e vapor de água por reação com amónia vaporizada (figura 42).

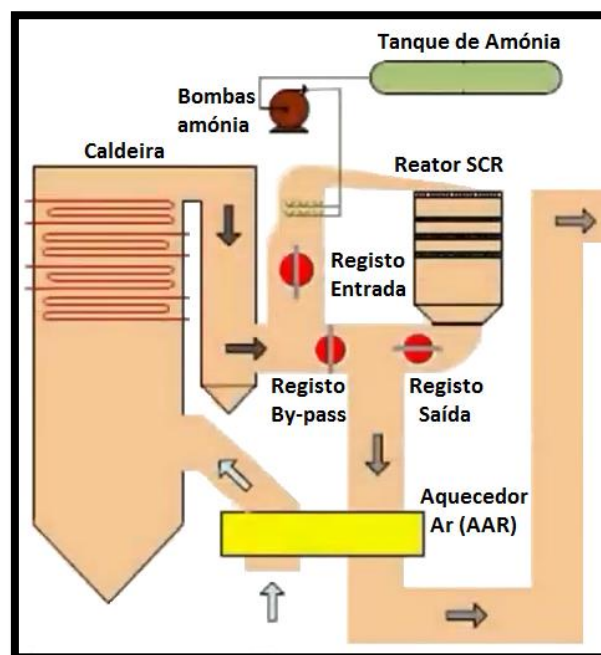


Figura 42: Esquema do sistema de desnitrificação de redução catalítica seletiva. Fonte: Albuquerque (2009).

5.2. Programa *Lean* na EDP Produção

O programa *Lean* iniciou-se na EDP Produção em junho de 2006, com os objetivos principais a serem a redução dos desperdícios, o aumento do nível de motivação e envolvimento dos colaboradores, através da recolha direta de ideias de eliminação dos desperdícios a partir de todos os níveis da organização. A supervisão do programa *Lean* é instituída e promovida pelo conselho de administração, que aprova as linhas de atuação propostas pela Direção de Eficiência e Conhecimento (DEC). A coordenação local, na qual se inclui o DOT como área de suporte, tem como funções a gestão e desenvolvimento do programa (EDPP, 2016).

Para ligar o programa *Lean* a todos os colaboradores, foi desenvolvido um “Manual do Programa *Lean* na EDP Produção”, e criada uma área *Lean* no site interno da EDP, onde é possível visualizar todas as iniciativas *Lean* implementadas desde o início do programa.

A partir da revisão bibliográfica, nota-se que numa empresa de serviços como a EDP, a aplicação da filosofia *Lean* não é a mesma nem é tão óbvia, visto que como já anteriormente mencionado, as ferramentas e métodos *Lean* tradicionais não encontram uma aplicação tão óbvia e imediata no contexto dos serviços. No entanto, de acordo com as iniciativas *Lean* implementadas ao longo do tempo, é possível constatar que a melhoria contínua se encontra enraizada em vários processos no seio da empresa.

Os ciclos de melhoria contínua (ciclo PDCA), a análise de causa raiz (5W, 5W2H), a gestão visual (*Andon*, *Poka-Yoke*, 5S+1), o *Hourensou* e o *Kaikaku* (Eventos de Melhoria Rápida), são exemplos da aplicação da melhoria contínua na EDP Produção. Existem ainda alguns métodos e ferramentas identificados utilizados como auxílio à melhoria contínua, como o diagrama de Ishikawa e outras ferramentas clássicas da qualidade, o VSM, os KPI's (OEE), o BSC e os relatórios A3.

Os relatórios A3 são por norma utilizados em todas as iniciativas *Lean* na EDP Produção, sendo esta a forma encontrada de planear e resumir a implementação dos processos de melhoria contínua internos.

A utilização dos relatórios A3 na EDP Produção assume algumas diferenças em relação à utilização nomeada na revisão bibliográfica, sendo que no caso da EDP Produção são elaborados dois relatórios A3. O primeiro destina-se a fazer a proposta à administração,

que resume toda a fase do planeamento do processo de melhoria, assim como o plano de ação, que obstáculos é que são expectáveis, e a calendarização do processo de concurso e execução da obra. O segundo relatório destina-se à publicação interna da iniciativa, para que esta possa ser visualizada por todos os colaboradores.

6. Estudo de Caso

Neste capítulo encontra-se descrito em detalhe todo o sistema de redução de emissões a montante do equipamento implementado, que é alvo deste estudo de caso.

Este capítulo pretende identificar passo a passo todo o processo *Lean* que levou à implementação da iniciativa dos hidrociclones na instalação de tratamento de efluentes do sistema de dessulfuração, elucidando para a importância do pensamento *Lean* e das iniciativas de melhoria contínua na redução dos custos de operação e manutenção e à diminuição de desperdícios num sistema.

Apesar de por vezes as iniciativas de melhoria contínua não parecerem perceptíveis numa análise superficial, nota-se numa análise em detalhe a importância do planeamento e os passos a tomar no processo de melhoria contínua, de modo a resolver os problemas na raiz, evitando a resolução de problemas com base em sintomas superficiais.

6.1. O processo

A instalação de sistemas de dessulfuração tem como propósito reduzir as emissões de SO_2 , e compreende a instalação de uma unidade de dessulfuração por caldeira, utilizando o processo húmido calcário/gesso. Este sistema entrou em funcionamento na central termoelétrica de Sines em 2008, com o objetivo de assegurar o cumprimento da diretiva comunitária relativa à redução de emissões de dióxido de enxofre e partículas para a atmosfera. O processo de dessulfuração consiste basicamente na captação do dióxido de enxofre existente nos gases da combustão, recorrendo à sua reação com um absorvente alcalino (uma suspensão aquosa de calcário), obtendo-se o gesso como subproduto. A figura 43 mostra um esquema do sistema de dessulfuração da Central Termoelétrica de Sines, sem o sistema de desnitrificação de redução catalítica seletiva (figura 42), que foi introduzido mais tarde nos grupos da central, e embora tenha um grande impacto na redução das emissões de óxidos de azoto, não tem influência na redução das emissões de dióxido de enxofre (SO_2) (Barbosa, 2015).

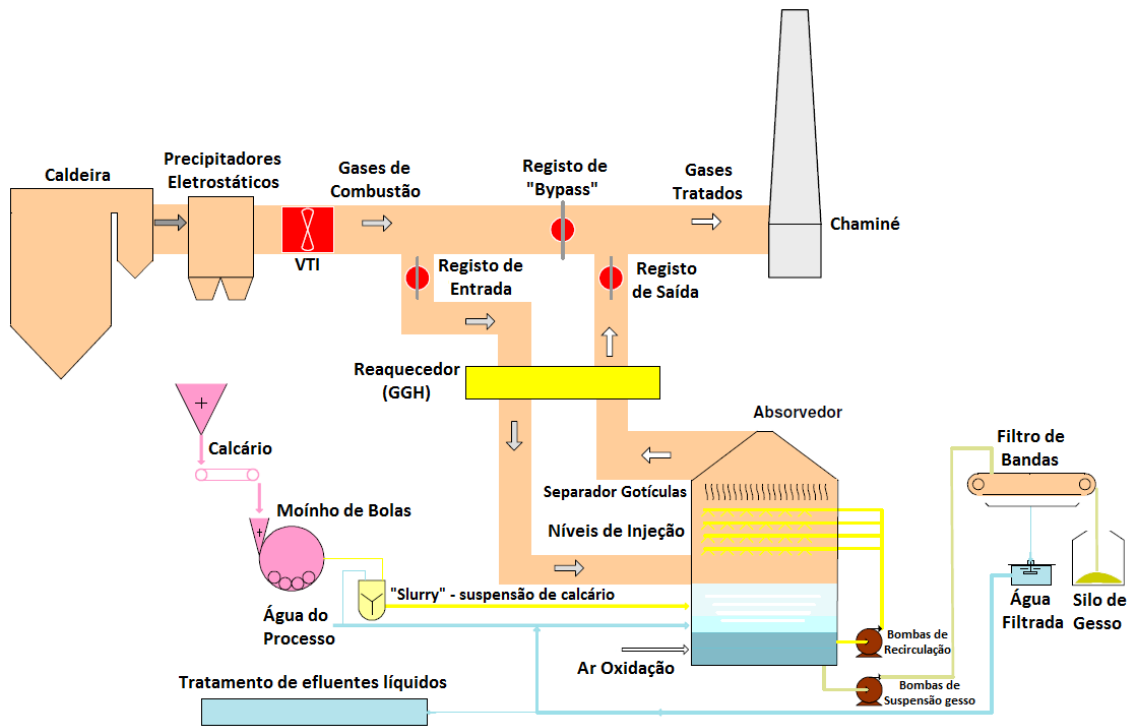


Figura 43: Esquema do sistema de dessulfuração da Central Termoeletrica de Sines. Fonte: EDP (2006a).

6.1.1. Precipitadores Eletrostáticos

O processo introduzido pelo sistema de dessulfuração começa à saída da caldeira, a jusante do SCR, nos precipitadores eletrostáticos/*electrostatic precipitators* (ESP), que têm como função minimizar as emissões de poeiras para a atmosfera, nomeadamente as cinzas que vêm arrastadas pelos gases de combustão. Cada grupo está equipado com ESPs constituídos por eléctrodos emissores de carga eléctrica negativa, e por placas coletoras de carga eléctrica positiva. As cinzas transportadas pelos gases são ionizadas pelo campo eléctrico e a maioria adere à placa coletora, onde ficam retidas (EDP, 2006b; Barbosa, 2015).

Por atuação de um sistema de batimento que provoca a vibração das placas e dos eléctrodos, as cinzas retidas caem nas tremonhas, sendo transportadas por via pneumática para os silos, onde são armazenadas para serem posteriormente vendidas para a construção civil, onde são utilizadas na produção de cimento e betão. A eficiência deste processo de remoção de cinzas dos gases de combustão é superior a 99,5% (Energia, 2016; Hanania *et al.*, 2018).

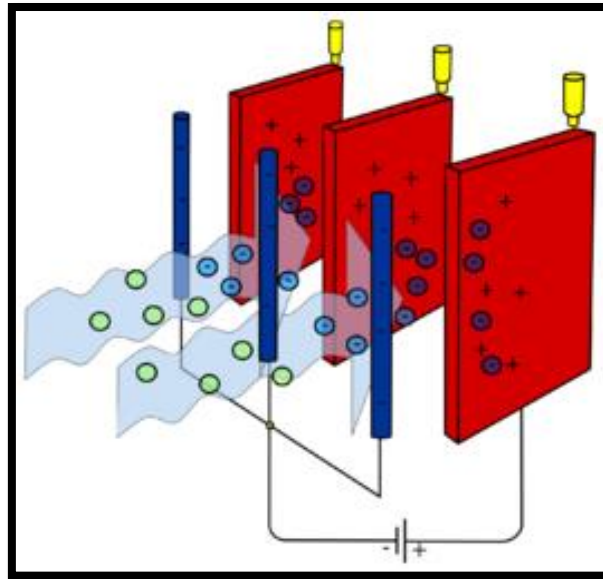


Figura 44: Modelo de um precipitador eletrostático. Fonte: Hanania et al. (2018).

6.1.2. Sistema de Gases de Combustão

Cada um dos grupos comporta um sistema de transporte e aquecimento dos gases de combustão. Este sistema é constituído pelas condutas de gases e de *by-pass*, pelos ventiladores de tiragem induzida (VTI), e pelos aquecedores de ar regenerativo gás-gás/*gas-gas heater* (GGH) (EDP, 2006b).

A câmara de combustão funciona com uma ligeira depressão, que é mantida pelos VTIs, que se situam entre os precipitadores e o GGH. Os VTIs são responsáveis por puxar os gases desde a saída da câmara de combustão até ao GGH, que iriam deslocar-se lentamente sem a existência dos VTIs, podendo provocar um acúmulo de gases nas condutas de gases. Para que os gases de combustão sejam puxados, os VTIs do sistema de gases de combustão têm de ter grandes dimensões, como é possível verificar na figura 45 (EDP, 2006b).

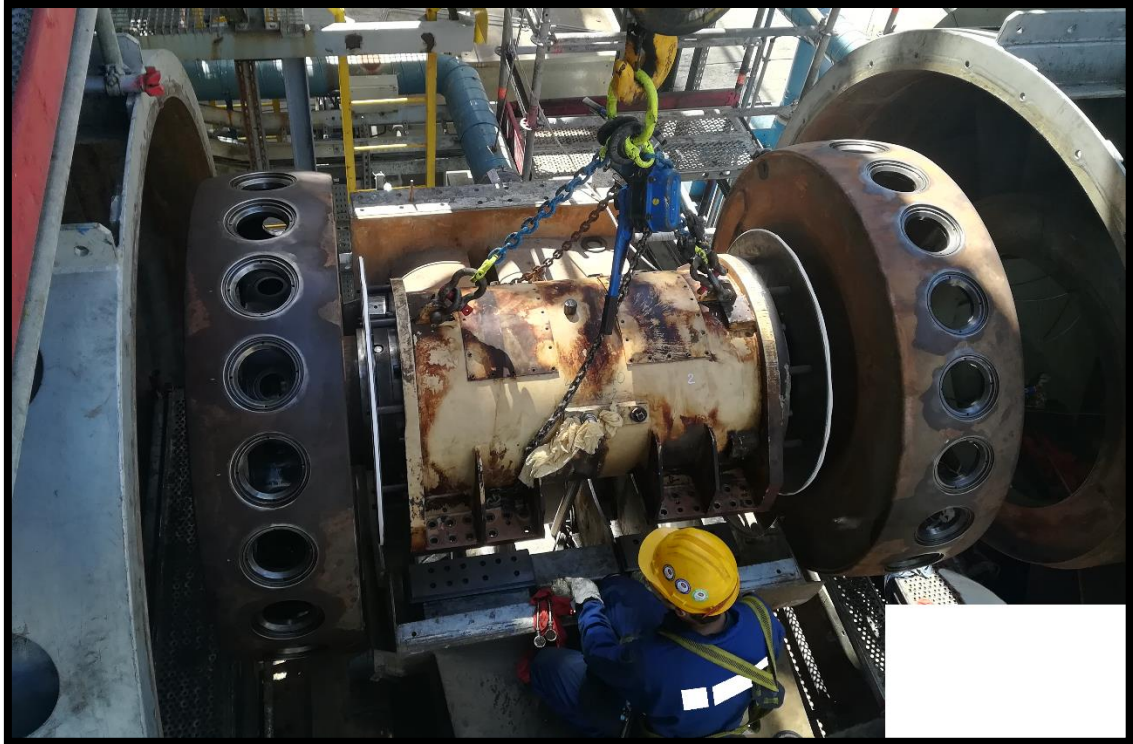


Figura 45: Montagem de um VTI

Para situações de mau funcionamento ou durante o período de manutenção da unidade de dessulfuração, o sistema de dessulfuração dispõe ainda de condutas de *by-pass*, que permitem, dentro das condições legisladas, a passagem direta dos gases de exaustão dos precipitadores eletrostáticos para a chaminé (EDP, 2006a).

Os gases de combustão que saem da câmara de combustão a 160°C, após passarem pelos ESPs, passam pelo GGH, que reduz a temperatura desses gases, antes de entrarem no absorvedor. Como esquematizado na figura 43, o GGH é uma estrutura no qual os gases passam antes e depois de passarem pelo absorvedor, destinando-se a transmitir a energia calorífica contida nos gases não tratados quentes, aos gases tratados frios que circulam em contracorrente, permitindo assim assegurar uma dispersão adequada dos gases tratados e evitar a corrosão da chaminé (EDP, 2006a).

6.1.3. Sistema de armazenagem e preparação de calcário

Este sistema é constituído pelos sistemas de receção e armazenagem de calcário e de preparação de calcário.

O sistema de receção e armazenagem de calcário é constituído por duas linhas de descarga e dois silos de armazenagem. As linhas de descarga asseguram o transporte do calcário das tremonhas de receção até ao silo de armazenagem. Este calcário chega à central com uma granulometria inferior a 20mm. Os silos de armazenagem garantem, cada um, uma autonomia de armazenagem de 10 dias para um funcionamento dos quatro grupos geradores à carga nominal (EDP, 2006b).

O sistema de preparação do calcário é constituído por três linhas de moagem (duas em operação contínua e uma de reserva) e dois tanques de armazenagem de suspensão de calcário. As linhas de moagem são compostas por: um moinho de bolas que assegura a moagem, por via húmida (pela água do processo), do calcário em brita até à granulometria adequada ($90\% < 44 \mu\text{m}$), e por um conjunto de classificação do calcário constituído pelo tanque do moinho e respetivo agitador, duas bombas centrífugas e um hidrociclone (figura 46), funcionando em circuito fechado. Este processo de classificação do calcário permite que se atinja a granulometria adequada, sendo que o calcário que não satisfaça essas condições é enviado novamente para os moinhos de bolas, através dos hidrociclones (EDP, 2006a, 2006b).

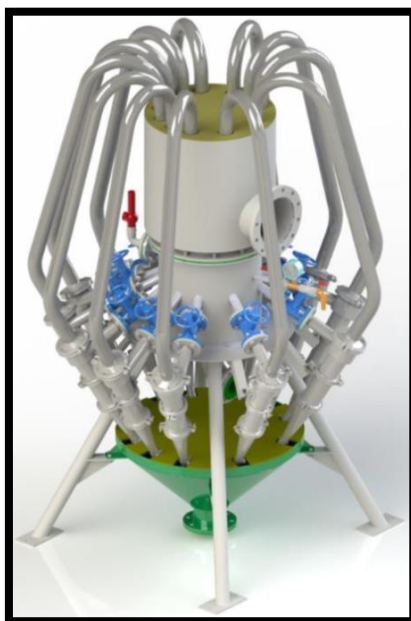


Figura 46: Exemplo de um hidrociclone – renderização. Fonte: AMP (2018).

O calcário, depois de classificado, é transferido em suspensão para os dois tanques de armazenagem. Esta suspensão aquosa de calcário também pode ser denominada de *slurry*. Estes tanques têm uma autonomia de 1,5 dias para um funcionamento dos quatro grupos geradores à carga nominal (EDP, 2006b).

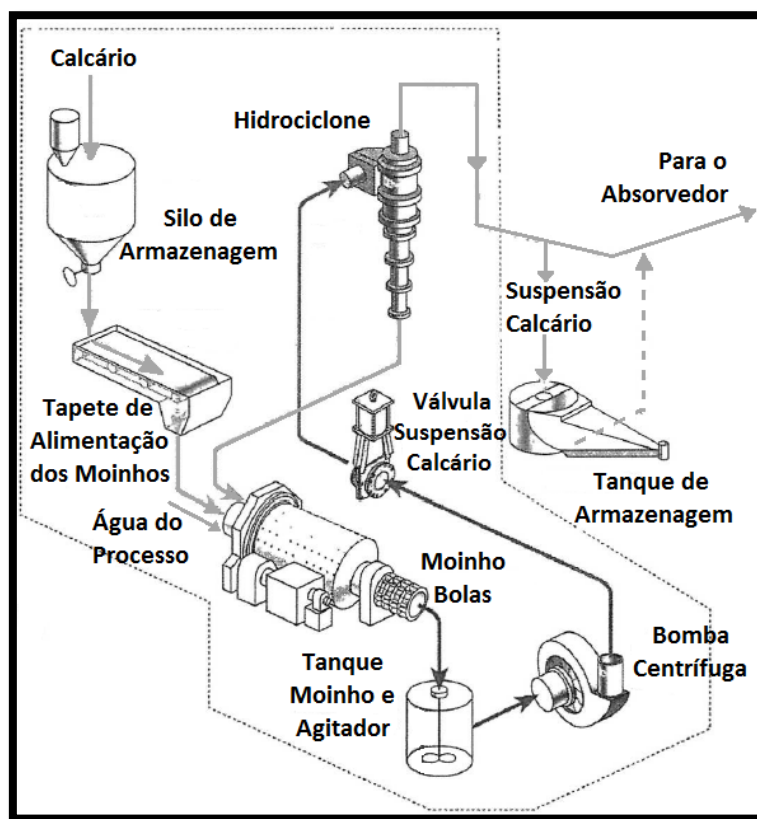


Figura 47: Esquema do sistema de armazenagem e preparação de calcário. Fonte: adaptado de FLSmidth (2016).

6.1.4. Sistema de absorção de dióxido de enxofre e oxidação

O sistema de absorção e oxidação integra como equipamentos os absorvedores com oxidação integrada, as bombas de recirculação e o tanque de emergência. É nos absorvedores (um por grupo gerador) que têm lugar as reações químicas que asseguram que o SO_2 (componente principal), partículas, ácido clorídrico (HCl) e ácido fluorídrico (HF) são removidos dos gases de combustão (EDP, 2006b).

Após a passagem pelo GGH, os gases da combustão entram no absorvedor, onde são postos em contacto (em contra-corrente) com a suspensão aquosa de calcário, que é injetada sob a forma de spray, a qual absorve/neutraliza o SO_2 presente nos gases. A eficiência de tratamento mínima deste processo de dessulfuração é de 95% (EDP, 2006b).

Os produtos de reação formados pelo contacto entre a suspensão de calcário e os gases de combustão, essencialmente sulfito de cálcio (CaSO_3) e hidrogenossulfito de cálcio ($\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$), são oxidados devido à introdução de ar de oxidação na base do absorvedor, dando origem ao sulfato de cálcio bi-hidratado ($\text{CaSO}_4 * 2\text{H}_2\text{O}$), também designado por gesso no estado húmido. (EDP, 2006b)

Neste sistema existem dois tipos de bombas, as bombas de recirculação que asseguram a recirculação da suspensão de reagente absorvente entre a zona de oxidação e a zona de pulverização e as bombas de purga de gesso que asseguram o transporte da suspensão de gesso do absorvedor para os tranques de transferência para desidratação. Este sistema contempla ainda o tanque de emergência dos absorvedores (um para os quatro grupos geradores), que se destina, caso seja necessário esvaziar o absorvedor, a armazenar temporariamente a suspensão de calcário e gesso que circula no absorvedor. (EDP, 2006b)

Os gases da combustão, após tratados, atravessam um separador de gotículas que retém parte da água contida nos gases. Após saírem do absorvedor, os gases, que se encontram a aproximadamente 47°C , são reaquecidos ao passarem novamente pelo GGH (por permuta de calor com os gases quentes de montante) até uma temperatura superior a 80°C , antes de serem emitidos pela chaminé. (EDP, 2006b)

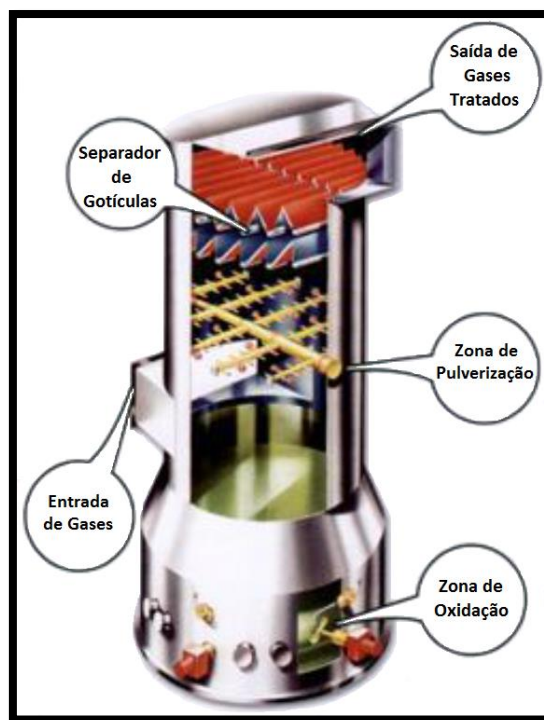


Figura 48: Exemplo de um absorvedor do processo de dessulfuração. Fonte: Barbosa (2015).

6.1.5. Sistema de desidratação e armazenagem de gesso

O sistema de desidratação, comum às quatro unidades de dessulfuração, compreende um sistema de lavagem de gesso, três filtros de tela sob vácuo (dois em operação e um de reserva), e tanques de filtrado (EDP, 2006b).

O sistema de lavagem do gesso é constituído por um tanque e respetivas bombas, sendo o gesso lavado com água do filtrado. As águas resultantes da filtragem do gesso, as provenientes do sistema de arrefecimento dos moinhos e as do *overflow* (não reutilizáveis) dos tanques de lavagem do gesso são recolhidas em dois tanques de filtrado (EDP, 2006b).

Os filtros de tela sob vácuo são constituídos por um tapete de borracha com uma manga filtrante, que desliza sobre uma caixa de vácuo, a qual, conforme o tapete desliza, remove a água através da respetiva bomba de vácuo. Deste processo resulta principalmente gesso desidratado com um teor de humidade inferior a 10%, e água do filtrado. Comum aos três filtros existe ainda um tanque de água e respetivas bombas para lavagem da tela. A maioria da água do filtrado retorna aos absorvedores, sendo esta uma medida implementada para reduzir os consumos de água. Para controlar o aumento da concentração de sais e de cinzas do processo, uma pequena fração desta água é purgada e enviada para a instalação de tratamento de efluentes líquidos (ITEL) que integra a instalação de dessulfuração (EDP, 2006b).



Figura 49: Processo de lavagem e desidratação do gesso a passar no tapete. Fonte: (Albuquerque, 2009).

O sistema de armazenagem do gesso é constituído por condutas verticais, transportadores de tela e um silo de armazenagem. Dos filtros de vácuo, o gesso desidratado é conduzido para o silo, através de dois transportadores de tela. O gesso é armazenado num silo em betão, com capacidade correspondente a uma autonomia de armazenagem de 10 dias, para um funcionamento dos quatro grupos à carga nominal. A descarga do silo faz-se por meio de uma manga telescópica, sendo transportada para o destino final por via rodoviária (EDP, 2006b).

6.1.6. Instalação de tratamento das águas residuais do processo

A instalação de tratamento de efluentes líquidos (ITEL) é dedicada ao tratamento da purga do efluente resultante da desidratação do gesso que não retorna aos absorvedores. O processo de tratamento de efluentes é composto por dois passos: no primeiro procede-se a uma neutralização inicial, seguida de floculação e sedimentação do efluente e, no segundo, à precipitação de metais pesados que não precipitaram no primeiro estágio. A água clarificada segue para um tanque, para um ajuste final de pH, antes de ser descarregada. Neste tanque é feito o controlo, em contínuo, do pH. A instalação está ainda dotada de uma linha de recirculação, que permite que o efluente retorne ao início do tratamento caso não tenha condições para ser descarregado (EDP, 2006b).



Figura 50: ITEL antes da implementação da solução da redução do teor de sólidos.

Para além do controlo do pH já referido, a quantidade e qualidade do efluente serão controlados à saída da instalação de tratamento e antes da sua junção com os restantes efluentes da central. Assim, para além do caudal são monitorizados pontualmente os seguintes parâmetros: metais pesados (cádmio (Cd), crómio (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), arsénio (As), zinco (Zn), mercúrio (Hg), vanádio (V)), partículas em suspensão, temperatura, alumínio (Al) e ferro (Fe). (EDP, 2006b)

A desidratação das lamas que se formam nos dois estágios de precipitação/clarificação inicia-se após o seu envio, por bombagem, para os filtros de prensa, onde são desidratadas. Cerca de 10% da água retida no fundo dos clarificadores circula para os tanques de neutralização dos respetivos passos de tratamento, por meio de bombas centrífugas. Dos filtros de prensa, as lamas são descarregadas para contentores por dois tapetes. O efluente resultante da prensagem das lamas é recolhido num tanque e reenviado para o tanque de neutralização por duas bombas centrífugas. (EDP, 2006b)

6.1.7. Os subprodutos obtidos no processo

O gesso obtido neste processo possui elevada pureza e um teor de humidade baixo (< 10%), sendo por isso valorizável na indústria de construção. O gesso com qualidade inferior às especificações de valorização é depositado em aterro. (EDP, 2006a)

As lamas obtidas no tratamento das águas residuais do processo têm um destino idêntico ao das lamas não perigosas da ITEL, sendo entregues ao operador credenciado responsável pelo destino das mesmas. (EDP, 2006a)

6.1.7.1. O aterro das lamas

Foi construído no terreno da central de Sines um aterro de resíduos não perigosos para a deposição do gesso, com uma área disponível suficiente para albergar todo o gesso não valorizável até ao fim do ciclo de vida da central, mesmo no cenário mais pessimista de percentagem de valorização do gesso produzido. (EDP, 2006a)

6.2. O levantamento de problemas

Foi identificado pelos colaboradores da central de Sines que existia um teor de sólidos à entrada da ITEL superior ao dos parâmetros do projeto, como é possível verificar visivelmente pela densidade de gesso no efluente da ITEL na figura 50.

6.2.1. O processo de melhoria contínua

Uma vez identificado o problema, alguns colaboradores da DOT foram destacados para iniciarem o processo de melhoria do sistema. O início do programa de trabalhos ocorreu em meados de outubro de 2017. Este processo de melhoria contínua tem como base os ciclos de melhoria contínua (ciclo PDCA), a análise de causa raiz e os cinco porquês, o *brainstorming*, um ensaio piloto para confirmação da viabilidade da solução proposta, a análise de viabilidade econômica, e o concurso e a realização da obra, assim como ensaios posteriores para confirmar até que ponto o processo foi um sucesso ou não, e planos futuros para o sistema.

O processo começou pela ida dos colaboradores da DOT ao *gemba*, onde foi possível observar o processo e falar com as pessoas que identificaram o problema.

O passo inicial do processo foi definir o objetivo. O objetivo principal desta melhoria é a redução do teor de sólidos à entrada da ITEL e consequente redução da produção de lamas na mesma (EDP DOT, 2019a).

6.2.1.1. Análise de causas-raiz

Uma vez definido o objetivo, passou-se à definição das causas-raiz do problema, com algum auxílio teórico da análise dos cinco porquês, com os seguintes passos:

1. Identificação do problema:

Sistema de filtragem do efluente a trabalhar fora dos parâmetros de projeto, visto que estava a chegar um elevado teor de sólidos à entrada da ITEL (teor de sólidos no efluente a tratar superior a 1g/l).

2. Formulação do problema (identificação das causas-raiz):

- Filtragem ineficaz do efluente à entrada da ITEL;
- Moagem do calcário fora dos parâmetros de projeto.

3. Compreensão do problema (porque é que aconteceu):

- Inexistência de um equipamento que faça a filtragem dos sólidos do efluente a montante da ITEL;
- Desgaste dos equipamentos devido à operacionalidade desde a entrada em funcionamento do sistema de dessulfuração em 2008;
- Esferas dos moinhos de bolas apresentam algum desgaste, não permitindo a moagem do calcário segundo a granulometria indicada nas condições de projeto;

- Funcionamento inadequado dos hidrociclones do sistema de preparação do calcário, devido a permitirem a passagem da solução de calcário para os absorvedores com uma granulometria superior à indicada nas condições de projeto.

4. Soluções e ações corretivas para resolver as causas-raiz:

- Estudo de uma instalação de hidrociclones para efetuar a filtragem dos sólidos do efluente a montante da ITEL;
- Substituição das esferas dos moinhos de bolas para permitir a moagem do calcário segundo a granulometria indicada nas condições de projeto;
- Estudo de melhoria dos hidrociclones do sistema de preparação do calcário, para que estes cumpram com os valores de granulometria das condições de projeto.

6.2.1.2. Brainstorming

Após se chegar às soluções acima apresentadas, foi necessário fazer um *brainstorming* entre os colaboradores envolvidos acerca de que soluções é que seria viável serem implementadas, tendo em conta um constrangimento chave, que é a data limite de 2030 para o fecho da central termoelétrica de Sines, podendo até ocorrer mais cedo.

Em relação à substituição das esferas dos moinhos de bolas, concluiu-se que esta solução iria resolver o problema apenas de uma forma temporária, além de que iria provocar uma grande indisponibilidade do normal funcionamento da central. No entanto, esta medida ficou considerada e poderá eventualmente ser implementada no futuro.

No que diz respeito ao estudo de melhoria dos hidrociclones do sistema de preparação de calcário, concluiu-se que apesar de que esta solução enviasse novamente o calcário que não tivesse uma granulometria indicada para os moinhos de bolas, o problema das esferas no moinho de bolas iria persistir, pelo que este acaba por ser um problema menor em relação ao funcionamento dos moinhos de bolas, visto que tanto os hidrociclones como os moinhos de bolas se encontram ambos no sistema de preparação do calcário.

No que concerne ao estudo da instalação de hidrociclones para efetuar a filtragem dos sólidos do efluente a montante da ITEL, concluiu-se que tendo em conta todas as vantagens que a instalação destes equipamentos iria providenciar, nomeadamente (EDP DOT, 2019a):

- A redução de lamas que permite uma poupança com o processo de deposição de lamas em aterro;
- Redução do número de horas de paragem da ITEL, com consequente poupança nos custos de operação e manutenção relacionados com as paragens da ITEL (para limpeza da mesma);
- Melhorias no processo de recirculação de cristais de gesso para o absorvedor que são enviados para a ITEL;
- Redução do número de horas de trabalho dos filtros de prensa das lamas e consequente redução dos custos operacionais;
- Redução do consumo de químicos para o tratamento de efluente;
- Melhoria da qualidade do efluente tratado;
- Reaproveitamento do gesso e contribuição para uma maior produção de gesso.

Decidiu-se que esta seria a melhor solução, que permite que o sistema passe a cumprir a médio-longo prazo com as condições de projeto, tendo ficado em cima da mesa uma análise de viabilidade económica preliminar a esta instalação, assim como um ensaio com instalação piloto.

6.2.1.3. Princípio de funcionamento de um hidrociclone

Para que seja possível entender qual a influência da introdução dos hidrociclones a montante da ITEL, é importante entender como é que os hidrociclones funcionam.

Os hidrociclones são constituídos por duas regiões ocas, uma cilíndrica e uma cónica. Possui ainda três aberturas, sendo uma de alimentação tangencial, e duas saídas, o vórtice interior (“*overflow*”) e o vórtice exterior (“*underflow*”).

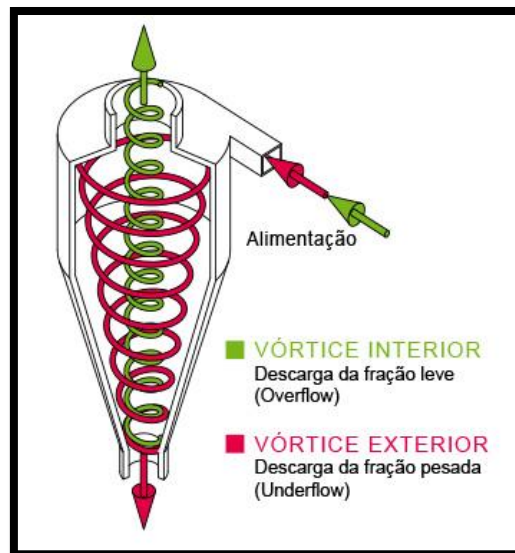


Figura 51: Vista de corte de um hidrociclone. Fonte: AKW (2018).

Os hidrociclones caracterizam-se pelo seu baixo custo e pouca necessidade de manutenção, visto que não possuem peças móveis. Podem ser operados tanto a baixas como altas temperaturas e pressão, ficando patente a versatilidade destes equipamentos.

Devido à geometria do hidrociclone, quando o material entra no hidrociclone produz-se um movimento rotacional descendente, sendo que as partículas de maior densidade e dimensão tendem a ocupar as regiões mais próximas da parede do equipamento, sofrendo maior ação da força centrípeta e gravitacional. As partículas de menor densidade e dimensão são deslocadas para a região central do hidrociclone. O material dirige-se para o “*underflow*”, no entanto como a abertura do “*underflow*” tem um pequeno diâmetro, e apenas o material sujeito a mais força centrípeta e gravitacional é capaz de sair. À medida que o material de maiores dimensões sai do hidrociclone, ocorre um estrangulamento acima da abertura do “*underflow*”, em que é formado um vórtice ascendente interno, sendo as partículas menores descarregadas pelo “*overflow*”.

6.2.1.4. O ensaio com instalação piloto

Em fevereiro de 2018 foram realizados dois ensaios utilizando uma instalação piloto, com um hidrociclone de 50mm de abertura do “*underflow*” (DN50) e outro de 75mm de abertura do “*underflow*” (DN75).

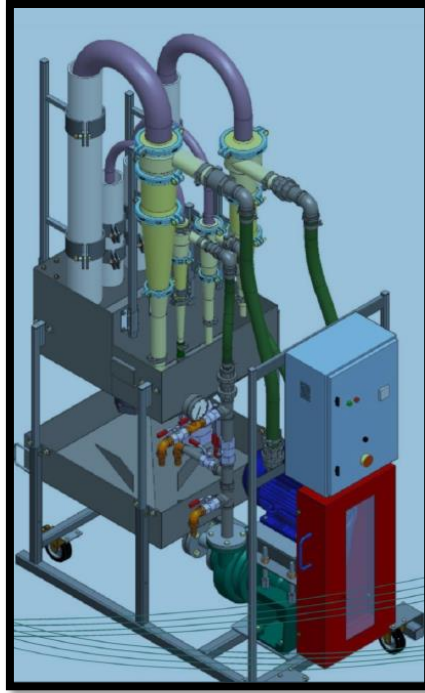


Figura 52: Modelo da instalação piloto dos hidrociclones. Fonte: EDP DOT (2019a).

A partir deste estudo obtiveram-se os seguintes resultados:

Ensaio com o Hidrociclone DN75:

A concentração máxima de sólidos em suspensão no efluente a filtrar para se cumprir com os parâmetros de projeto (teor de sólidos no efluente a tratar inferior a 1 g/l) é de 10g/l. De acordo com o valor de 10 g/l, tem-se que:

A corrente de “*overflow*”, efluente a tratar na ITEL, corresponde a cerca de 90% do caudal proveniente das linhas de filtrado e a cerca de 15% dos sólidos em suspensão;

A corrente de “*underflow*”, que retorna aos absorvedores, corresponde a cerca de 10% do caudal proveniente das linhas de filtrado e a cerca de 85% dos sólidos em suspensão.

Ensaio com o Hidrociclone DN50:

A concentração máxima de sólidos em suspensão no efluente a filtrar para se cumprir com os parâmetros de projeto (teor de sólidos no efluente a tratar inferior a 1 g/l) é de 20g/l. De acordo com o valor de 20 g/l, tem-se que:

A corrente de “*overflow*”, efluente a tratar na ITEL, corresponde a cerca de 95% do caudal proveniente das linhas de filtrado e a cerca de 10% dos sólidos em suspensão;

A corrente de “*underflow*”, que retorna aos absorvedores, corresponde a cerca de 5% do caudal proveniente das linhas de filtrado e a cerca de 90% dos sólidos em suspensão.

Tabela 2: Resultados do Ensaio com instalação piloto Fonte: EDP DOT (2019a).

Caudal líquido	HC DN50	HC DN75	Partículas Sólidas	HC DN50	HC DN75
Alimentação	20 g/l	10 g/l	Alimentação	20 g/l	10 g/l
“Overflow”	95,8%	89,8%	“Overflow”	9,0%	14,6%
“Underflow”	4,2%	10,2%	“Underflow”	91,0%	85,4%

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios dos dois tipos de hidrociclones, concluiu-se que o hidrociclones DN50 era o mais adequado para a instalação, uma vez que o DN50 consegue enviar uma maior percentagem de sólidos em suspensão que chegam à ITEL de volta para os absorvedores, além de tratar de uma maior percentagem de caudal líquido na ITEL.

Em termos práticos, isto significa que se a implementação dos hidrociclones for um sucesso, a redução de sólidos em suspensão a tratar na ITEL irá ser reduzida em 90% em relação às condições atuais.

6.2.1.5. Análise de viabilidade económica

Após a realização da análise de viabilidade económica preliminar, concluiu-se que após a instalação de hidrociclones à entrada da ITEL, a produção de lamas iria ser reduzida de cerca de 1250 toneladas/ano para cerca de 200 toneladas/ano (EDP DOT, 2019a).

Por motivos de confidencialidade, não serão referidos valores económicos da análise de viabilidade económica. No entanto, é possível dizer que após a análise técnica, o valor final obtido para os custos da instalação permite um prazo de recuperação do investimento inferior a um ano e meio, mantendo-se o investimento como atrativo.

A realização desta obra não implicou a indisponibilidade dos grupos, a não ser a paragem da ITEL por um período inferior a 8 horas.

6.2.1.6. Proposta à administração

A proposta feita à administração foi enviada num relatório A3 que serve de síntese ao que se pretende implementar, ficando pendente da devida autorização e posterior

apresentação à administração, caso necessário. Para evitar a repetição de conteúdo, apenas será apresentado no presente trabalho o segundo relatório A3, que se destina à publicação interna da iniciativa, que é semelhante ao relatório A3 enviado à administração, exceto em alguns dados de calendarização da obra e do concurso que são confidenciais.

6.2.1.7. Concurso e Realização da Obra

Após o sucesso na realização do ensaio piloto, passou-se ao concurso público da obra. O período de concurso até à escolha final da empresa a realizar a obra decorreu entre maio de 2018 e dezembro de 2018. Por motivos de confidencialidade, apenas é possível mencionar que foram propostas quatro soluções base da implementação dos hidrociclones. A solução escolhida foi a que contemplava um grupo de bombagem comum aos dois hidrociclones, e que todo o comando, monitorização e controlo lógico dos equipamentos a fornecer seria realizado pelo Sistema de Controlo Distribuído/Distributed Control System (DCS) existente no Centro de Produção de Sines, de modo a minimizar a instalação de automatismos no campo.

Tendo em conta que os hidrociclones têm de ser instalados a um sistema de elevada complexidade, e após uma análise da DOT ao plano de trabalhos, ficou determinado que o prazo de execução previsto para o projeto seria de cerca de sete meses, a começar em janeiro de 2019 com as devidas análises de campo e execução de desenhos 2D detalhados, e a terminar em julho de 2019 com o fim da realização da obra.

A obra realizou-se durante as datas previstas, mas teve que ser estendida até setembro de 2019, visto que ocorreram algumas condicionantes que impediram o cumprimento das datas estipuladas, entre as quais:

- Erros no projeto de detalhe da instalação;
- Correção e adaptação dos erros existentes no controlo lógico do sistema dos hidrociclones no DCS;
- Erros nos cabos de ligação entre o campo e os armários do DCS;
- Defeitos de fábrica nas soldaduras das tubagens, as quais só foram detetadas nos ensaios reais.

Para a deteção destes problemas, foi essencial a realização de ensaios reais, como o ensaio de estanquidade, que identificou os defeitos nas soldaduras das tubagens.

Estes ensaios permitiram ainda confirmar os valores obtidos no ensaio preliminar. Assim sendo, a implementação desta instalação foi um sucesso, e é possível confirmar todas as vantagens desta instalação que foram alinhavadas no *brainstorming* a médio/longo prazo, visto que esta é uma instalação com pouca necessidade de manutenção, como já mencionado anteriormente.

6.2.1.8. A instalação

A instalação concluída no campo é composta principalmente pelos dois hidrociclones, três bombas, uma cuba por onde passa o *underflow* de volta aos absorvedores, o quadro elétrico e de eletroválvulas, e todas as tubagens, eletroválvulas e sensores de pressão associados.



Figura 53: Instalação dos hidrociclones junto à ITEL

Para uma visualização mais facilitada dos componentes, as tubagens são todas pintadas de preto, os elementos de ligação aos hidrociclones são verdes, os elementos de ligação às eletroválvulas são azuis, e a estrutura dos hidrociclones é branca, para deste modo ser mais fácil identificar cada componente. Foram ainda adicionadas algumas placas

identificadoras a algumas electroválvulas. Tudo isto é feito para evitar uma identificação humana incorreta na manutenção dos equipamentos.

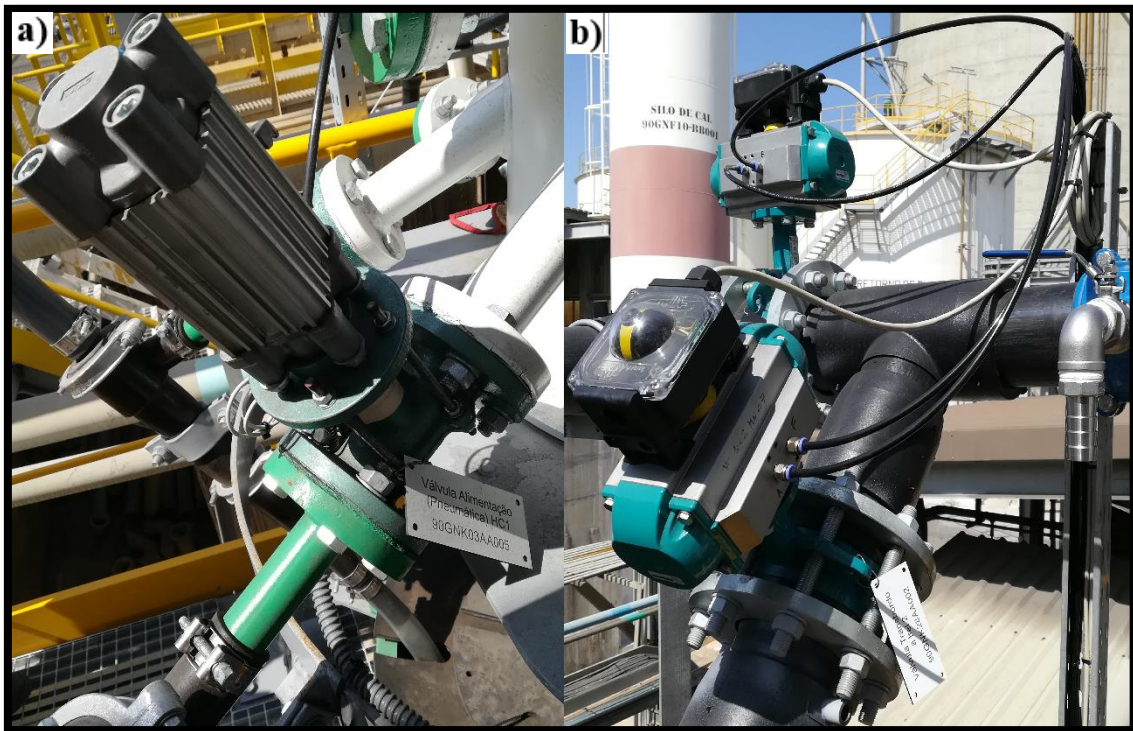


Figura 54: Placas de Identificação – a) válvula alimentação pneumática, b) válvula transbordo

Para acesso interno ao departamento, foram desenvolvidos desenhos 2D do projeto, tendo este passo sido essencial durante a realização da obra, para o correto mapeamento e posicionamento de todos os componentes, e para evitar erros que pudessem atrasar a posterior realização da obra. Estes desenhos 2D também têm importância em qualquer ação posterior na instalação, visto que com acesso a este conteúdo é possível identificar facilmente qualquer componente da mesma, podendo até ser extremamente útil para projetos semelhantes.

Em caso de necessidade, poder-se-á proceder no futuro, como já anteriormente mencionado, à substituição das esferas dos moinhos de bolas, caso esta medida seja necessária na eventualidade de posteriormente não estarem a ser cumpridos os parâmetros de projeto. Caso isso venha a ocorrer, será feita uma nova análise ao sistema, para verificar se essa medida será a mais viável, ou se será mais útil efetuar alguma ação de manutenção mais profunda na nova instalação dos hidrociclones. No entanto, visto que a central termoelétrica de Sines tem como data de fecho limite o ano de 2030, é improvável que ações posteriores venham a ser necessárias. A utilização da queima do carvão para a

produção de energia elétrica é uma prática em desuso, pelo que esta instalação terá utilidade apenas no médio prazo, o que não invalida todas as vantagens que dela advém.

6.2.1.9. Relatório A3 síntese

Como referido, encontra-se representado na figura 55 o relatório A3 que sintetiza todo o processo em pontos chave.

lean
Redução do teor de sólidos à entrada da ITEL – Central de Sines

Descrição

Identificação de um teor de sólidos à entrada da ITEL de Sines superior ao dos parâmetros de projeto (1 g/l)

Análise

1. Definição do problema
 - Filtragem ineficaz do efluente à entrada da ITEL
 - Moagem do calcário fora dos parâmetros de projeto
2. Compreensão do problema
 - Inexistência de um equipamento que faça a filtragem dos sólidos do efluente a montante da ITEL
 - Desgaste dos equipamentos devido à operacionalidade desde a entrada em funcionamento do sistema de dessulfuração
3. Soluções e ações corretivas consideradas - Brainstorming

Instalação de hidrociclones para filtração dos sólidos do efluente a montante da ITEL - solução mais viável a médio-longo prazo que causa menores constrangimentos ao normal funcionamento da central
4. Ensaio piloto

Instalação dos hidrociclones permite a redução de cerca de 90% dos sólidos em suspensão a tratar na ITEL
5. Viabilidade económica

Redução da produção de lamas de cerca de 1250 toneladas/ano para cerca de 200 toneladas/ano, que implica um prazo de recuperação do investimento inferior a um ano e meio

Objetivo

Redução do teor de sólidos à entrada da ITEL e consequente redução da produção de lamas da mesma

Implementação

1. Equipamentos instalados
 - Dois hidrociclones
 - Três bombas
 - Cuba do *underflow*
 - Quadro elétrico e de electroválvulas
 - Tubagens, electroválvulas e sensores de pressão associados
2. Realização de ensaios reais para deteção de problemas na instalação

Benefícios

- Redução da produção de lamas/reaproveitamento do gesso e poupança económica com o processo de deposição em aterro
- Poupança nos custos de operação e manutenção
- Redução do consumo de cristais de gesso e químicos utilizados no processo
- Melhoria da qualidade do efluente tratado

Constrangimentos

- Erros no projeto de detalhe da instalação
- Correção de erros existentes no controlo lógico do sistema
- Defeitos de fábrica nas soldaduras das tubagens

Necessidade de seguimento e possibilidade de replicação

- Pouca necessidade de manutenção e ações posteriores
- Replicável em outras centrais a carvão da EDP mediante necessidade de implementação

Data de conclusão 24 Setembro 2019

Programa Lean DOT / Equipa Gestão Operacional: F. Albuquerque; P. Félix

Figura 55: Relatório A3 síntese

7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O trabalho desenvolvido é fiel aos objetivos pressupostos, tendo este estudo de caso contribuído para a aplicação do pensamento *Lean* em projetos que se destinam a reduzir custos de operação e manutenção, e à diminuição de desperdícios num sistema.

A EDP tem processos de melhoria contínua que são referidos internamente como as iniciativas *Lean*, que têm como objetivo a procura de uma forma sistemática da redução de desperdícios e de custos de operação e manutenção, que foi o propósito do presente estudo de caso.

No que diz respeito ao estudo de caso, a redução da produção de resíduos tornou-se evidente ao colocar os novos equipamentos em funcionamento, e mostrou que todo o planeamento do processo de melhoria contínua do projeto foi um sucesso, e vai permitir o normal funcionamento da central, com todos os benefícios adicionados da obra realizada.

Como o pensamento *Lean* defende, existem sempre aspetos a melhorar, num processo contínuo de aprendizagem em busca da perfeição. Uma das limitações sentidas na presente pesquisa foi o facto de haver uma ampla divulgação do *Lean*, mas que está maioritariamente direcionada para o setor industrial, pelo que foi necessário ser seletivo na recolha de informação.

O presente trabalho foi essencial para organizar e desenvolver competências, tendo sido uma ajuda valiosa para o desenvolvimento do estudo de caso, que poderia não ter tido o mesmo sucesso sem toda a análise feita ao que verdadeiramente é o pensamento *Lean*, e aos princípios, metodologias e ferramentas que o regem.

Nota-se pela extensão da revisão bibliográfica que hoje em dia o pensamento *Lean* tem uma grande aplicação, que vai muito além do setor que a originou, sendo atualmente aplicado em diversas atividades e áreas de negócio. As metodologias e ferramentas mais focadas foram precisamente as que têm uma aplicação mais abrangente, e garantem uma possível continuidade de possíveis investigações no futuro, seja na área da energia, ou outras áreas distintas.

Este trabalho permite a oportunidade de enveredar em trabalhos futuros na área, tendo em conta toda a investigação feita. Poderá ser útil no futuro, não só no ambiente de trabalho,

pela curva de aprendizagem permitida, mas também para trabalhos de investigação sobre o *Lean*, com a utilidade notada de se poderem realizar trabalhos que interrelacionem outras ferramentas desta filosofia.

Bibliografia

- Abreu, A. (2011) *Apontamentos de Gestão Lean - Fontes de Desperdício*. Lisboa.
- Albuquerque, F. (2009) ‘Centro de Produção Sines – Instalação de Dessulfuração (FGD-flue gas desulfurization)’.
- AMP (2018) ‘Proposta Hidrociclones’. Documentação Interna do Grupo EDP.
- Barbosa, P. (2015) ‘Central de Sines’. Museu da Eletricidade.
- Bicheno, J. e Holweg, M. (2016) *The Lean Toolbox - A Handbook for Lean Transformation*. 5ª Edição. Buckingham: PICSIE Books.
- Bueno, M. (2003) ‘Gestão pela Qualidade Total: Uma estratégia administrativa’, *Revista do Centro do Ensino Superior de Catalão*.
- Caney, S. (1985) *Steven Caney's Invention Book*. New York: Workman Publishers.
- Charron, R. et al. (2014) *The Lean Management Systems Handbook*. New York: CRC Press.
- Covey, S. R. (1989) *The seven habits of highly effective people*. New York: Free Press.
- Dias, A. (2019) *Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos: Metodologias e Ferramentas*. 1ª Edição. Lisboa: IPL.
- EDP (2006a) ‘Centro de Produção Sines - Instalação de Dessulfuração - Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) - Volume I - Sumário Executivo’.
- EDP (2006b) ‘Centro de Produção Sines - Instalação de Dessulfuração - Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) - Volume II - Relatório Síntese’.
- EDP (2015) Paper de *Marcos Histórias do Grupo EDP*.
- EDP (2018) *EDP Group in Numbers*. Disponível em: <https://www.edp.com/en/edp/main-indicators>.
- EDP (2019a) *Mapa Produção Hidroelétrica*. Disponível em: <https://a-nossa->

energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=he&map_type=he.

EDP (2019b) *Mapa Produção Termoelétrica*. Disponível em: https://a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=te&map_type=te.

EDP (2019c) *Sobre a EDP*. Disponível em: <https://www.edp.com/pt-pt/a-edp>.

EDP DOT (2019a) ‘Apresentação - Vantagens do investimento em Hidrociclones’. Lisboa.

EDP DOT (2019b) *Estrutura & Missão*.

EDPP (2016) ‘Programa Lean da EDPP’.

Energia, T. (2016) *Funcionamento da Central do Pego*. Disponível em: <https://www.tejoenergia.com/pt/central>.

ERSE (2017) *Portal ERSE - Liberalização do Setor*. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/Paginas/default.aspx>.

Feigenbaum, A. V. (1991) *Total Quality Control*. 3ª Edição. McGraw-Hill.

FLSmidth (2016) ‘Krebs® Hydrocyclones for Wet Flue Gas Desulfurization Scrubbers’.

Fritze, C. (2016) ‘The Toyota Production System - The Key Elements and the Role of Kaizen within the System’.

Gåsvaer, D. e von Axelson, J. (2012) ‘Kaikaku : Radical Improvement in Production’, *World Academy of Science, Engineering and Technology*.

Goldratt, E. M. e Cox, J. (2018) *The Goal*. 3ª Edição. Taylor & Francis.

Hanania, J., et al. (2018) *Electrostatic precipitator, Energy Education*. Disponível em: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic_precipitator.

Inventta (2015) *Inovação + Estratégia*.

Jackson, T. (2006) *Hoshin Kanri for the Lean Enterprise*. Taylor & Francis.

Kaplan, R. e Norton, D. (1996) ‘The Balanced Scorecard’. Elsevier.

Krafcik, J. (1988) ‘Triumph of the Lean Production System’, *MIT International Motor Vehicle Program*.

- Liker, J. (2004) *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. 1ª Edição. McGraw-Hill.
- Mann, D. (2015) *Creating a Lean Culture*. 3ª Edição. Boca Raton: CRC Press.
- Melton, T. (2005) 'The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries', *Chemical Engineering Research and Design*.
- Ohno, T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis.
- Pinto, A. (2011) *Apontamentos dos Gurus da Qualidade*. Lisboa.
- Pinto, J. P. (2014) *Pensamento Lean: A Filosofia das Organizações Vencedoras*. 6ª edição. Lisboa: Lidel.
- Pyzdek, T. (2003) *A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. New York: McGraw-Hill.
- Relvas, R. (2019) 'Portugal já só tem quatro cotadas entre as 2.000 maiores do mundo', *Jornal de Negócios*. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/mercados/bolsa/detalhe/portugal-ja-so-tem-quatro-cotadas-entre-as-2000-maiores-do-mundo>.
- REN (2012) *Centrais Termoeléctricas - Informação Sobre a Rede Nacional de Transporte*. Disponível em: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/CentraisTermoelectricas.aspx>.
- Rother, M. (2017) *The Toyota Kata Practice Guide*. New York: McGraw-Hill.
- Rother, M. e Shook, J. (1998) *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. 1ª Edição. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute.
- Smith, R. e Hawkins, B. (2004) *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. 1ª Edição. Oxford: Elsevier.
- Suzaki, K. (2010) *Gestão de Operações Lean - Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua*. 1ª Edição. Aveiro: LeanOpPress.
- Tavares, E. (2019) 'Os 5 eixos estratégicos da EDP para 2019-2022', *Dinheiro Vivo*. Disponível em: <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/os-5-eixos-estrategicos-da-edp-para-2019-2022/>.

Thinking, C. L. (2013) *Hoshin Kanri tornado simples*.

Thomaz, M. F. (2015) *Balanced ScoreCard e Hoshin Kanri*. 1ª Edição. Lisboa: Lidel.

Vorley, G. (2008) 'Mini Guide to Root Cause Analysis'.

Womack, J. e Jones, D. (1996) *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*. 1ª Edição. New York: Free Press.

Womack, J. *et al.* (1990) *The Machine That Changed The World*. 1ª Edição. New York: Simon & Schuster.