



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mónica Gonçalves Pereira

**Desenvolvimento de uma metodologia de
recolha e análise de tempos de ciclo de
processos produtivos para a indústria
automóvel**

Outubro de 2023



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mónica Gonçalves Pereira

**Desenvolvimento de uma metodologia de
recolha e análise de tempos de ciclo de
processos produtivos para a indústria
automóvel**

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de
Operações – ramo de Avaliação e Gestão de Projetos e da
Inovação

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor José Francisco Pereira Moreira

Outubro de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Terminando mais uma etapa da minha vida e chegando ao fim do meu percurso académico, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram para o sucesso do meu percurso. Gostaria de agradecer especialmente:

Aos meus pais, por todo o apoio, conselhos e paciência, não só durante esta fase, mas durante toda a minha vida. Por me guiarem pelos melhores caminhos, me possibilitarem formar-me e me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

Ao meu orientador da universidade, Professor Doutor José Francisco Pereira Moreira, por toda a orientação, disponibilidade e ensinamentos a longo deste ano.

Ao Engenheiro Luís Florêncio, orientador na empresa, pelo constante apoio, ajuda, orientação e conhecimentos que vão além desta dissertação. Pela constante insistência para que eu fizesse sempre mais e melhor, pelas competências que adquiri com o seu auxílio e por me ter tornado uma pessoa mais autónoma.

Ao SE1 por toda integração, conhecimentos partilhados e ajuda. Ao Engenheiro João Costa pela oportunidade de desenvolver a minha dissertação e pela sua orientação e ao Nuno pelo tempo disponibilizado para me auxiliar e ensinar.

Por fim, à Kika e ao Rui por partilharem esta etapa comigo, me aconselharem e me encorajarem a ir mais além e a não ficar pela zona de conforto.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

Desenvolvimento de uma metodologia de recolha e análise de tempos de ciclo de processos produtivos para a indústria automóvel

RESUMO

A presente dissertação do Mestrado em Engenharia e Gestão de Operações foi desenvolvida em ambiente industrial na empresa Bosch Car Multimedia, S.A.

Este projeto nasce da necessidade de desenvolver uma metodologia que automatize a recolha e análise de tempos de ciclo dos processos produtivos, visto que estas tarefas são essencialmente manuais e representam diversos tipos de desperdícios.

Os objetivos do projeto compreendiam, assim, a redução dos desperdícios associados ao método de recolha dos tempos de ciclo, a padronização da recolha e análise dos mesmos e uma maior transparência e rapidez na tomada de decisão aquando da verificação de desvios.

A primeira fase do projeto foi dedicada à compreensão do estado atual da recolha e análise dos tempos de ciclo, realizada no chão de fábrica pelos Engenheiros Industriais, como forma de garantir o cumprimento dos *standards* dos processos, e à identificação do problema. As amostras recolhidas eram pequenas, os desvios raros e era mais o tempo utilizado na recolha do que na análise de dados.

De seguida, foi desenvolvido um projeto piloto, onde foram postas em prática melhorias ao nível das plataformas de visualização de dados, parâmetros *standards* para postos e alertas de desvios. Após validação do projeto piloto, as melhorias seriam replicadas a outros equipamentos e processos.

Estas alterações permitiram normalizar a recolha e registo dos tempos de ciclo, aumentar a amostra, passando de 10 para mais de 40 000 valores e ainda reduzir o tempo total da tarefa de cerca de 29 para menos de 2 minutos. Consequentemente, o custo anual associado a esta tarefa reduziu-se significativamente de 331 U.M. para cerca de 18 U.M.

Foram também sentidas algumas dificuldades, nomeadamente no que diz respeito à implementação de alterações numa fábrica de dimensão considerável, mas que não comprometeram o resultado do projeto.

PALAVRAS-CHAVE

Confirmação de Processo; Desvios; Equipamentos; Tempo de Ciclo

Definition of a methodology for collecting and analyzing cycle times of production processes for the automotive industry

ABSTRACT

This dissertation of the Master's in Engineering and Operations Management was carried out in an industrial environment at Bosch Car Multimedia, S.A.

The project arose from the need to develop a methodology to automate the collection and analysis of equipments' cycle times in production processes, since these tasks are essentially manual and represent various types of waste.

The project's objectives were therefore to reduce the waste associated with the method of collecting cycle times, standardize the collection and analysis of cycle times, and increase transparency and speed in decision-making when deviations are found.

The first phase of the project was dedicated to understanding the current state of cycle time collection plus analysis, carried out at the shopfloor by Industrial Engineers, as a way of ensuring compliance with the processes' standards, and problem identification. The samples were scarce, deviations rare, and time was spent on collecting rather than analyzing the data.

A pilot project was then developed, where improvements were put into practice, in terms of data visualization platforms, standard parameters for stations and deviation alerts. Once the pilot project had been validated, the improvements would be replicated for other equipments and processes.

These changes made it possible to standardize the collection and recording of cycle times, increase the sample size, from 10 to over 40 000 values, and reduce the total time of the task from about 29 minutes to less than 2 minutes. Consequently, the annual cost associated with this task greatly shrank from about 331 M.U. to about 18 M.U.

Some difficulties were experienced, particularly regarding the implementation of changes in a factory of considerable dimension, but that did not compromise the outcome of this project.

KEYWORDS

Cycle Time; Deviation; Equipment; Process Confirmation

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xii
Índice de Equações.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento Geral.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1 Lean Production.....	4
2.1.1 Casa do TPS.....	5
2.1.2 Princípios Lean Thinking.....	6
2.1.3 Os 7 desperdícios.....	7
2.2 Ferramentas e técnicas do Lean Production.....	8
2.2.1 Six Sigma.....	8
2.2.2 Kaizen.....	10
2.2.3 Trabalho Standard.....	12
2.2.4 Análise do Bottleneck.....	12
2.3 Lean Office.....	14
2.3.1 Desperdícios nas áreas indiretas à produção.....	14
2.3.2 Implementação do Lean Office.....	14
2.4 Indústria 4.0.....	15
2.4.1 Cyber-Physical Systems.....	17

2.4.2	Internet of Things	18
2.4.3	Big Data	19
2.4.4	Big Data Analytics.....	19
2.4.5	Cloud Computing.....	20
2.5	Indicadores de Desempenho	21
2.5.1	Capacidade	21
2.5.2	Produtividade	21
2.5.3	Overall Equipment Effectiveness	22
2.5.4	Tempo de Ciclo	23
3.	Apresentação da empresa.....	25
3.1	Grupo Bosch	25
3.2	Bosch Production System.....	26
3.3	Bosch Car Multimedia Portugal.....	27
3.4	Departamento MFE	28
4.	Descrição da Situação Atual	30
4.1	Confirmação de Processo.....	30
4.1.1	Registo e tratamento de dados.....	31
4.1.2	Open Point List.....	32
4.2	Ferramentas de recolha de dados.....	33
4.2.1	MES Toolset	34
4.2.2	MES Nexeed.....	36
4.2.3	MIS.....	36
4.3	Definição do problema	38
5.	Propostas de melhoria e implementação	43
5.1	Test Alignment Sequence	43
5.2	Plataforma Tableau	46
5.3	Plataforma Web BCore	49
5.4	Real Time Cycle Time.....	52
5.5	Programa de alerta de desvios.....	55

6.	Análise de resultados e discussão	58
6.1	Amostra de dados	58
6.1.1	Postos manuais	58
6.1.2	Postos de teste	60
6.1.3	Aumento da amostra de dados	62
6.2	Redução do tempo de registo e análise de dados.....	63
6.3	Impacto das melhorias	64
6.4	Síntese dos resultados obtidos.....	66
7.	Conclusões	67
7.1	Conclusão	67
7.2	Considerações finais	68
7.3	Sugestões de trabalho futuro	69
	Referências Bibliográficas	71
	Anexo 1 – Dados a recolher por linha para preenchimento dos <i>templates</i> do RTCT.....	77
	Anexo 2 – Lógica de cálculo para o tempo de ciclo na ferramenta RTCT	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa do TPS.....	5
Figura 2 - Curva de distribuição normal com seis sigmas.....	9
Figura 3 - DMAIC	9
Figura 4 - Efeito bottleneck	13
Figura 5 - Indústria 1.0 a Indústria 4.0.....	15
Figura 6 - Três tipos de integração na Indústria 4.0.....	17
Figura 7 - Representação gráfica da divisão do tempo de turno (adaptado de Foulloy et al., 2019)	23
Figura 8 - Takt Time vs. Cycle Time	24
Figura 9 - Princípios e objetivos do BPS	27
Figura 10 - Portfólio da AE	28
Figura 11 - Organograma dos departamentos MFE (Bosch, 2023b).....	29
Figura 12 - Folha auxiliar de análise do TC.....	32
Figura 13 - Ficheiro Excel da CP	32
Figura 14 - Exemplo de um ponto aberto	32
Figura 15 - Ação corretiva de um ponto aberto.....	33
Figura 16 - Fluxograma da confirmação de processo.....	33
Figura 17 - Linha de inserção automática.....	35
Figura 18 - Exemplos de parâmetros do MIS.....	37
Figura 19 - Folha auxiliar de análise de TC.....	38
Figura 20 - Gráfico de dispersão da SYS90201 no Tableau.....	38
Figura 21 - Fluxograma da confirmação de processo com desperdícios	39
Figura 22 - Esquema das TAS de uma peça.....	43
Figura 23 - Exemplo de TAS medidas pelo FCT - 2I48	44
Figura 24 - Início e fim da medição da TAS TIME_READ_TO_GOOD	45
Figura 25 - Início e fim da medição da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD	45
Figura 26 - Início e fim da medição da TAS TIME_BETWEEN_PARTS.....	45
Figura 27 - Esquema do início e fim das TAS de uma peça.....	46
Figura 28 - TAS criadas e as suas descrições.....	46
Figura 29 - Média de todos os postos obtidos pelo Tableau	47
Figura 30 - Campos de preenchimento do Tableau.....	47

Figura 31 - Novos campos de preenchimento do Tableau.....	48
Figura 32 - Média do tempo de testes de 4 equipamentos FCT.....	48
Figura 33 - Exemplo de preenchimento dos campos do Tableau.....	49
Figura 34 - Média do tempo de ciclo de cada equipamento	49
Figura 35 - Informação do TC do StAb de um produto	50
Figura 36 - Histórico de registos de tempo de ciclo feitos no BCore	50
Figura 37 - Exemplo de registo do tempo de ciclo no BCore	51
Figura 38 - Abertura de um ponto	51
Figura 39 - Ciclo PDCA de um ponto aberto	52
Figura 40 - Gráfico de evolução do TC.....	52
Figura 41 - Gráfico de barras do TC em tempo real	54
Figura 42 - Gráfico de barras do Best Repeatable Cycle Time	54
Figura 43 - Histograma dos TC	55
Figura 44 - Dashboard de visualização de bottlenecks	55
Figura 45 - Report de alerta de desvio de TC	57
Figura 46 - Registo do MIS da TAS TIME_READ_TO_GOOD.....	59
Figura 47 - Registo do MIS da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD.....	59
Figura 48 - Registo do MIS da TAS TIME_BETWEEN_PARTS	60
Figura 49 - Registo do MIS da TAS TIME_READ_TO_GOOD.....	61
Figura 50 - Registo do MIS da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD.....	62
Figura 51 - Registo do MIS da TAS TIME_BETWEEN_PARTS	62
Figura 52 - Dados a recolher por linha para o RTCT	77
Figura 53 - Passos 1 e 2 da lógica de cálculo do RTCT.....	78
Figura 54 - Passos 3 a 6 da lógica do cálculo do RTCT.....	78
Figura 55 - Passos 9 e 10 da lógica de cálculo do RTCT.....	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Kaizen e da Inovação	11
Tabela 2 - Desperdícios nas áreas produtivas e nas áreas indiretas	14
Tabela 3 - Etapas para a implementação do Lean Office.....	15
Tabela 4 - Tempo gasto por confirmação de processo por Engenheiro Industrial.....	40
Tabela 5 - Tempo total anual para as confirmações de processo	41
Tabela 6 - Horas de trabalho por pessoa	41
Tabela 7 - Capacidade anual por trabalhador	41
Tabela 8 - Custo de um trabalhador realizar todas as confirmações de processo	42
Tabela 9 - Inputs e outputs do programa de alerta de desvios.....	57
Tabela 10 - Medições manuais das TAS ASY - 2148	58
Tabela 11 - Medições manuais das TAS FCT - 2148.....	61
Tabela 12 - Número de dados recolhidos para a CP	63
Tabela 13 - Tempo demorado pelos Engenheiros na nova CP.....	64
Tabela 14 - Comparação da CP atual com a nova CP por equipa	64
Tabela 15 - Comparação do tempo de CP atual com CP nova	65
Tabela 16 - Comparação da capacidade anual por trabalhador da CP atual com a CP nova	65
Tabela 17 - Comparação do custo de um trabalhador realizar todas as CP atuais com as CP novas...	66
Tabela 18 - Síntese de resultados	66

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Produtividade	22
Equação 2 – OEE	22
Equação 3 - Disponibilidade.....	23
Equação 4 - Velocidade.....	23
Equação 5 - Qualidade.....	23
Equação 6 - Cálculo do TC (a).....	38
Equação 7 - Cálculo da média ponderada do tempo gasto na CP	40
Equação 8 - Cálculo do TC (b)	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AE	<i>Automotive Electronics</i>
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BP	<i>Business Plan</i>
BPS	<i>Bosch Production System</i>
CC	<i>Cloud Computing</i>
CM	<i>Car Multimedia</i>
CP	Confirmação de Processo
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
CPPS	<i>Cyber-Physical Production Systems</i>
CT	<i>Cycle Time</i>
DMAIC	<i>Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i>
ECR	<i>Engineering Change Request</i>
ESP	<i>Electronic Stability Program</i>
FCT	<i>Functional Test</i>
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IoT	<i>Internet of Things</i>
IT	<i>Information Technology</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MFE	<i>Manufacturing Engineering</i>
MFD	<i>Manufacturing Digital</i>
MIS	<i>Management Information System</i>
MTM	<i>Methods Time Management</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OPL	<i>Open Point List</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCR	<i>Product Change Request</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PN	<i>Part Number</i>

RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
SN	<i>Serial Number</i>
StAb	<i>Standardisiert Arbeite</i>
TAS	<i>Test-Alignment Sequence</i>
TC	Tempo de Ciclo
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TT	<i>Takt Time</i>
WIP	<i>Work in Progress</i>

1. INTRODUÇÃO

O presente projeto foi realizado em contexto industrial, na empresa Bosch Car Multimedia Portugal, S.A., onde se explorou uma metodologia de recolha e análise de tempos de ciclo dos processos produtivos.

Neste capítulo é feito um enquadramento ao tema do projeto, são descritos os objetivos do mesmo, a metodologia de investigação utilizada e a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento Geral

O ritmo acelerado de inovação e desenvolvimento tecnológico, a par da globalização dos mercados, tem escalado o nível concorrencial das empresas, que cada vez mais requerem uma sólida eficiência produtiva. A existência de um elevado nível de desperdícios, atividades que não se traduzem em valor agregado e procedimentos inconsistentes, que limitam o desempenho da organização, requerem uma resposta estruturada e abrangente.

Lean é uma dessas abordagens, que se foca na eficiência produtiva, procurando eliminar todas as atividades que não acrescentam valor aos produtos, reduzir todo o tipo de desperdícios (J. Womack et al., 1990), com o objetivo de produzir produtos e serviços ao menor custo e o mais rápido possível (Rahman et al., 2013), de forma a garantir fornecimentos atempados aos seus clientes. *Lean* inspira-se no *Toyota Production System* (TPS), desenvolvida por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno no Japão, compreendendo um conjunto de princípios e ferramentas que auxiliam a identificação e eliminação de desperdícios produtivos. De acordo com Amasaka (2002) o modelo TPS constitui uma contribuição muito positiva, permitindo uma gestão mais efetiva do desperdício associado à atividade industrial, enquanto permite aumentar o nível de agilidade das empresas (Vanichchinchai, 2022).

A partir da análise aos processos produtivos da empresa, pretendeu-se implementar um projeto piloto responsável pela recolha e análise de dados relativos aos tempos de ciclo de alguns processos da empresa, dando origem a uma metodologia de recolha de dados e análise de desvios. O tempo de ciclo serve como um indicador para a eficácia da produção, ou seja, se este variar, pode representar a existência de problemas no fluxo de produção e eventuais dificuldades em cumprir a ordem de produção no *slot* temporal previamente planeado (Chincholkar & Herrmann, 2008). Portanto, é importante monitorizar em tempo real este indicador e, no caso de eventuais valores anómalos, permitir uma intervenção rápida sobre os processos. A presente dissertação foi realizada na empresa Bosch Car Multimedia S.A., que também segue uma filosofia *Lean*, com foco na melhoria contínua.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto consistia no desenvolvimento e implementação de um projeto piloto, de recolha e análise de dados relativos aos tempos de ciclo de alguns processos produtivos da empresa. A partir deste projeto piloto tornava-se possível desenvolver modelos *standard* de recolha de informação dos equipamentos com o objetivo de agilizar as análises à estabilidade dos processos produtivos e respetivos desvios.

Tal permite:

- Reduzir desperdícios associados à recolha dos tempos de ciclo;
- Aumentar a amostra de dados recolhidos;
- Normalizar os procedimentos de recolha;
- Melhorar a transparência e rapidez da tomada de decisão relativa a medidas de mitigação de eventuais atrasos da produção e que auxiliem na identificação precoce de problemas.

O resultado deste projeto pretende traduzir-se numa redução da complexidade e esforço necessário para a recolha dos tempos de ciclo de equipamentos dos processos produtivos, visto que antes, estas medições eram feitas manualmente pelos Engenheiros Industriais no chão de fábrica. Consequentemente, eliminar tarefas que não acrescentem valor ao processo de recolha e análise dos tempos de ciclos.

1.3 Metodologia de Investigação

Um dos primeiros passos a ser tomado para a realização de um projeto de dissertação é a definição da metodologia a utilizar. Considerando que esta dissertação se insere num contexto industrial, recorreu-se à estratégia de investigação *Action-Research* (Investigação-Ação). A investigação-ação combina a teoria e a prática através da mudança e reflexão numa situação problemática dentro de uma estrutura ética mutuamente aceitável. Investigação-ação é, portanto, uma abordagem para entender e melhorar situações organizacionais, para realizar investigações e relatar novos conhecimentos (Coughlan & Coughlan, 2002).

Deste modo, e, de acordo com Susman e Evered (1978), esta estratégia pode ser dividida em cinco fases:

1. Diagnóstico e identificação do problema;
2. Planeamento de ações;
3. Implementação de ações;

4. Avaliação;
5. Especificação da aprendizagem.

Numa primeira fase, foi feita uma análise crítica ao processo atual de forma a compreender o seu funcionamento, falhas e possíveis melhorias. Isto foi possível através da análise documental da empresa e observação direta em campo, nomeadamente registos e medições de tempos de ciclo. Em simultâneo fez-se uma revisão bibliográfica recorrendo maioritariamente a livros e artigos científicos para consolidar conteúdos teóricos relevantes para a investigação.

De seguida, propuseram-se diversas melhorias no que diz respeito à recolha e análise de tempos de ciclo, para se perceber o que efetivamente se deveria aplicar. Após esta fase, implementaram-se ações que, posteriormente, foram avaliadas, comparando-as com o estado inicial. Finalmente, foi feita uma reflexão da aprendizagem, tiraram-se conclusões e foram propostas ideias para trabalho futuro.

Esta metodologia é a mais indicada para este projeto de investigação visto ter como objetivo utilizar a teoria e a prática em conjunto, como forma de implementar um projeto novo, promovendo a mudança e melhoria do modo de recolha e análise dos tempos de ciclo dos processos produtivos.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos. No capítulo 1 tem-se o enquadramento geral, os objetivos deste projeto, a metodologia de investigação adotada e a estrutura da dissertação. No capítulo 2 encontra-se a revisão bibliográfica, onde são abordados conceitos teóricos relevantes para a dissertação, nomeadamente o *Lean Production* e as suas ferramentas, *Lean Office*, Indústria 4.0 e as suas tecnologias e indicadores de desempenho essenciais para o contexto empresarial onde se insere o projeto. No capítulo 3 é feita a apresentação da empresa, onde se pode ler uma breve descrição do grupo Bosch e a sua história e do departamento onde foi desenvolvida a dissertação. O capítulo 4 apresenta a situação atual, os métodos e ferramentas utilizadas para a recolha e análise de tempos e descreve o problema a analisar. Já no capítulo 5 são apresentadas as propostas de melhoria e a sua implementação, que são analisadas e discutidas no capítulo 6, como forma de comparar os resultados com o estado inicial. Por fim, no capítulo 7 são descritas as conclusões, ganhos e limitações do trabalho e ainda sugestões de trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica dos conceitos que serviram como suporte teórico para o desenvolvimento deste projeto de dissertação. Deste modo, abordaram-se os seguintes temas: *Lean Production* e as suas ferramentas, *Lean Office*, Indústria 4.0 e as suas tecnologias e indicadores de desempenho.

2.1 Lean Production

O conceito “Lean Production” refere-se a um conjunto de técnicas e ferramentas que permitem agilizar e melhorar o sistema de produção de uma empresa. Este conceito surgiu nos Estados Unidos na década de 80 e representa o termo usado pelos investigadores americanos para descrever o que encontraram nas fábricas no Japão. Foi no fim da Segunda Guerra Mundial que a Toyota criou um sistema de produção com o propósito de eliminar desperdícios e aumentar a produtividade (Ohno, 1988). A surgimento desta nova abordagem *Lean*, adveio da necessidade que a Toyota tinha de aumentar a sua produtividade após se deparar com um nível produtivo da Ford muito mais elevado. No entanto, a filosofia de produção em massa da Ford não se mostrou adequada à realidade japonesa. Por um lado, os volumes produtivos eram muito inferiores, e por outro era requerida uma maior variedade de modelos, havendo assim necessidade de desenvolver o *Toyota Production System* (TPS) que, posteriormente, viria a ser divulgado e conhecido nos países ocidentais por *Lean Production* (Womack et al., 1990).

Henry Ford foi das primeiras pessoas a descobrir o potencial do fluxo contínuo na produção, conseguindo reduzir significativamente o esforço requerido para a montagem dos seus produtos. No entanto, este método apenas funcionava para a produção de grandes volumes que justificavam linhas de montagem de elevada velocidade (Womack & Jones, 1997). Ao contrário da Ford, idealizada para produzir enormes quantidades de modelos limitados, a Toyota necessitava de produzir pequenos volumes, de modelos diferentes na mesma linha (Liker, 2004). Adicionalmente, o Japão estaria a lidar com uma situação económica complicada e a procura no mercado automóvel japonês era muito baixa para suportar linhas de montagens dedicadas apenas a um modelo.

O TPS teve um grande impacto, tendo representado uma evolução significativa do sistema de produção em massa de Henry Ford, servindo como um motor de mudança para várias organizações desde então, sendo que um grande número de empresas adotou algum tipo de iniciativa *lean* (Liker & Morgan, 2006). O objetivo geral era conseguir fazer mais com menos, daí a utilização do termo “lean” (Womack et al., 1990).

2.1.1 Casa do TPS

A implementação do *Lean Production* requer uma mudança a nível geral da empresa, desde a contabilidade até à expedição (Black & Hunter, 2003). Como forma de explicar às organizações a forma de operar do TPS, o ex-diretor da Toyota, Fujio Cho, representou-o em forma de casa, a chamada “Casa do TPS”, representada na Figura 1 (Liker, 2004).



Figura 1 - Casa do TPS
(Liker, 2004)

Esta representação denota que o sistema é apenas tão robusto quanto a sua parte mais fraca, ou seja, com uma base ou pilares fracos, a casa não é estável, independentemente do quão fortes sejam as outras partes (Liker & Morgan, 2006). Cada elemento da casa por si só é crítico, mas o mais importante é a forma como os elementos se reforçam uns nos outros (Liker, 2004).

Embora existam diferentes versões da casa TPS, os princípios fundamentais são os mesmos. Na base requerem-se processos *standard*, estáveis e fiáveis, assim como produção nivelada (*heijunka*), tanto em volume como em variedade. Existem dois pilares a sustentar estruturalmente a parte superior da casa: o *Just-In-Time* e o *Jidoka*. No centro encontram-se as pessoas e a transferência de conhecimento e, por fim, ao nível da cobertura estão presentes os objetivos a atingir, nomeadamente a melhor qualidade possível, ao menor custo e curtos *lead times*, garantindo segurança e elevada moral a todos os colaboradores.

Heijunka significa nivelamento, permitindo gerar uma carga de trabalho e um fluxo de ordens nivelados, possibilitando a definição de processos estáveis (Liker & Morgan, 2006), determinando o nível de inventário reduzido que deve ser mantido, para satisfazer eficazmente as necessidades dos clientes.

Just-In-Time (JIT) é uma abordagem de produção que permite às empresas produzirem apenas o que os seus clientes exigem, quando estes querem e nas quantidades requeridas (Productivity Press Development Team, 1998). Desta forma, os fluxos de materiais são rápidos e contínuos, permitindo produzir uma peça de cada vez ao ritmo da procura do cliente (Liker, 2004).

Ao contrário da produção em massa, idealizada para produzir grandes quantidades dos mesmos produtos, que são armazenados e posteriormente enviados para os clientes quando solicitados, o JIT possibilita a produção de uma variedade de produtos em pequenas quantidades, com *lead times* mais curtos (Productivity Press Development Team, 1998).

O pilar Jidoka pode ser definido pela ação de nunca deixar passar uma peça com defeito para a fase seguinte. Este conceito representa também a paragem automática aquando da deteção de uma condição anormal. Neste caso, a máquina para e espera pelo operador para corrigir o problema para evitar a sua recorrência (Wilson, 2010).

As pessoas e o trabalho em equipa são o elemento central que permite atingir a redução de desperdícios, que, por sua vez, conduzem à principal finalidade do TPS, i.e., a satisfação do cliente, através da qualidade dos produtos, preços competitivos e entregas atempadas.

2.1.2 Princípios Lean Thinking

O TPS não é apenas um conjunto de ferramentas *lean*, é um sistema sofisticado de produção em que todas as partes contribuem para um todo. Este todo concentra-se em apoiar e encorajar as pessoas a melhorar continuamente os processos em que trabalham (Liker, 2004). Esta mentalidade visa fornecer valor aos clientes, eliminar desperdícios e melhorar a eficiência dos processos produtivos, no entanto, esta prática não se resume apenas à indústria automóvel, mas sim a qualquer organização e a qualquer setor (Hines et al., 2008). O *Lean Thinking* pode ser caracterizado por cinco princípios chave:

1. Valor: Definir valor a partir da perspetiva do cliente, em termos de um produto específico, com capacidades específicas e não da perspetiva da empresa (National Research Council Canada, 2004) (Hines et al., 2008). Cabe à empresa perceber as necessidades do cliente e tentar satisfazê-las a um preço e tempo estabelecidos (Womack & Jones, 1997). Tudo o que não acrescentar valor deve ser eliminado, apostando sempre na melhoria contínua que, conseqüentemente, levará ao aumento da qualidade e redução de custos;
2. Cadeia de valor: Identificação de todas as etapas que constituem o processo de conceber, encomendar e produzir o produto, para que se identifiquem todas as atividades que não

acrescentam valor. Este princípio, que muitas vezes as empresas negligenciam, consegue expor uma grande quantidade de desperdícios (Womack & Jones, 1997);

3. Fluxo: Transformar aquelas ações que acrescentam valor num fluxo contínuo, sem interrupções, esperas ou movimentações desnecessárias. Sincronizar os meios envolvidos (materiais, pessoas, informação e capital) para criação de valor para todas as partes (Pinto, 2014);
4. Produção Pull: “Puxar em termos mais simples significa que ninguém a montante deve produzir um bem ou serviço até que o cliente a jusante o solicite” (Womack & Jones, 1997). Esta lógica visa deixar o cliente liderar os processos, ou seja, só eles é que fazem os pedidos, evitando que as empresas produzam sem necessidade. É posto em prática o conceito de *Just-In-Time*, em vez de *Just-In-Case* (Pinto, 2014);
5. Perfeição: A procura da perfeição deve-se às constantes mudanças a que as organizações estão sujeitas, ou seja, se os interesses e necessidades dos clientes evoluem então deve-se sempre incentivar à melhoria contínua, para se poder dar respostas aos mesmos. Este pensamento deverá ser o foco da cadeia de valor, que permitirá eliminar desperdícios e inovar constantemente (Hines et al., 2002).

2.1.3 Os 7 desperdícios

Desperdícios são todos os elementos do processo produtivo que acrescentam custo sem acrescentar valor (Productivity Press Development Team, 1998). Há um consumo de recursos (materiais, pessoas ou equipamentos) que resulta em desperdícios, o chamado *muda*, e que representa cerca de 80% dos custos de produção (The Productivity Press Development Team, 2002). Ohno (1988) e Shingo & Dillon (1989), identificaram sete tipos de desperdícios:

1. Sobreprodução: Produção em excesso ou demasiado cedo, sem terem sido feitos pedidos para tal. Isto afeta o fluxo de informação e de materiais, resultando muitas vezes em excesso de inventário (Hines et al., 2002). Pode ser considerado a mãe de todos os desperdícios, pois, a partir deste, originam-se outros (Ohno, 1988), como por exemplo: ocupação desnecessária de recursos, aumento de *stocks* e falta de flexibilidade no planeamento (Pinto, 2014);
2. Esperas: Períodos de inatividade não só das pessoas, mas também de informações ou produtos, afetando o fluxo dos mesmos e prejudicando prazos de entrega. Corresponde ao tempo inativo criado enquanto se espera por itens que não estão imediatamente disponíveis (Ray et al., 2006);
3. Transporte: Este desperdício ocorre sempre que há excesso de movimentação de bens ou materiais. Isto deve-se muitas vezes a um *layout* mais pobre do espaço de trabalho, levando a

percorrer certas distâncias sem necessidade. Este transporte acrescenta custos ao processo sem acrescentar qualquer valor (Pinto, 2014);

4. Sobre processamento: O excesso de processamento diz respeito aos processos de trabalho ou materiais que não acrescentam valor ao produto do ponto de vista do cliente. O processamento como desperdício pode também ser aquele que é ineficiente, ou seja, uma execução incorreta das tarefas, muitas vezes por não estarem padronizadas ou por falta de formação dos colaboradores;
5. Inventário: O desperdício relativo ao inventário afeta todos os processos que dependem de um processo anterior para continuar. O inventário excessivo é o resultado de uma empresa que possui *stocks* para satisfazer necessidades inesperadas, no entanto, este método de *Just-In-Case* acaba por não ir de encontro às verdadeiras necessidades dos consumidores, não acrescentando qualquer valor à empresa (Productivity Press Development Team, 1998) (Ray et al., 2006);
6. Movimentos: Este desperdício pode ser confundido com o do transporte, no entanto, este refere-se aos movimentos feitos pelos trabalhadores que não acrescentam valor ao produto ou serviço. Este desperdício pode estar associado ao *layout* da linha, à falta de ergonomia ou até a uma má organização do local de trabalho (Hines et al., 2002);
7. Defeitos: A este desperdício estão associados problemas de qualidade e erros humanos, que podem gerar outras atividades que não acrescentam valor ao produto final, como por exemplo: custos de inspeções, reparações, respostas a queixas de clientes, entre outros (Pinto, 2014).

Existe ainda um oitavo desperdício, denominado “Pessoas” que diz respeito à não utilização de capacidades mentais, criativas ou físicas dos colaboradores (Ray et al., 2006). De acordo com Ohno (1988) o propósito do TPS é criar um ambiente que permitisse aos colaboradores intervir e contribuir, melhorando, conseqüentemente, o seu desempenho.

2.2 Ferramentas e técnicas do Lean Production

2.2.1 Six Sigma

Six Sigma é um conjunto de ferramentas e técnicas de gestão que permitem melhorar a capacidade dos processos, eliminando os efeitos negativos da variação dos mesmos. Esta abordagem faz uso da análise de dados e estatística para analisar e reduzir erros ou defeitos (Goldsby & Martichenko, 2005).

O *Six Sigma* baseia-se no símbolo grego “sigma” ou " σ ", que, na estatística, permite medir o desvio do processo em relação à média do mesmo. A expressão “seis sigma” formou-se a partir da curva da distribuição normal, onde o σ simboliza um único desvio padrão em relação à média. Considerando a probabilidade de ocorrência de um fenómeno, a área sob a curva representa 100%, isto quer dizer que a probabilidade de uma observação assumir um valor entre dois pontos quaisquer é igual à área compreendida entres esses dois pontos, como se pode verificar na Figura 2.

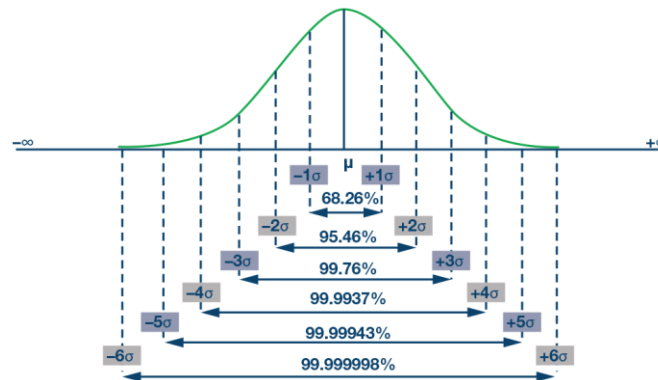


Figura 2 - Curva de distribuição normal com seis sigmas

No processo do *Six Sigma*, 99,9999998% dos resultados encontram-se dentro do intervalo aceitável, o que quer dizer que apenas 0,0000002% dos resultados estão fora, ou seja, uma margem de desvio mínima (George et al., 2005).

O objetivo desta abordagem é tentar alcançar uma “qualidade seis sigma” que se baseia na redução da variação dos processos e na implementação de melhorias para que estes se tornem mais fiáveis (Goldsby & Martichenko, 2005).

Em paralelo com o *lean*, estas metodologias são capazes de aumentar a qualidade e velocidade dos processos, diminuir o seu custo e, conseqüentemente, contribuir para a satisfação do cliente (George, 2002).

O *Six Sigma* fornece um modelo de resolução de problemas denominado de DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) (Figura 3). O DMAIC é uma abordagem composta por várias fases que permite ir desde a definição do problema até à implementação de soluções (George et al., 2005).



Figura 3 - DMAIC

1. Definir: Trata-se de definir o problema e os objetivos do projeto. Perceber as necessidades dos clientes, criar uma equipa e identificar métricas de desempenho;
2. Medir: Mede-se o processo e as suas diferentes partes em detalhe, que permite compreender o estado atual do processo e obter dados relativos à velocidade, qualidade e custo do mesmo, permitindo evidenciar causas do problema;
3. Analisar: Analisa-se toda a informação para se obter um diagnóstico do processo que permitirá entender melhor o sistema, encontrar as causas do problema e possíveis focos de mudança;
4. Implementar melhorias: propor, desenvolver e testar mudanças;
5. Controlar: perpetuar os conhecimentos e melhorias conquistadas, controlar como é que o processo de melhoria será implementado no futuro e padronizar a mudança (George, 2002; George et al., 2005)

DMAIC é uma ferramenta valiosa que ajuda as pessoas a encontrar soluções permanentes para problemas antigos ou complicados e, como tal, traz diversos benefícios, como por exemplo: criação de processos estáveis e padronizados, aumento da produtividade e, conseqüentemente, da satisfação do cliente e também redução dos custos.

2.2.2 Kaizen

A filosofia *Kaizen* teve origem no Japão, no grupo Toyota, onde foram criadas as ferramentas *Kaizen*. A palavra “Kaizen” deriva de duas palavras japonesas: “kai” que significa mudança e “zen” que significa para melhor. Esta filosofia promove pequenas melhorias resultantes de um esforço constante. Embora com um objetivo similar à filosofia *lean*, o *lean* foca-se na eliminação de desperdícios, enquanto o *Kaizen* se refere maioritariamente à melhoria contínua (Ortiz, 2010).

A melhoria contínua diz respeito ao envolvimento de todos os trabalhadores, quer a nível cognitivo, quer a nível operacional com o objetivo de melhorar constantemente o seu desempenho (De Oliveira Debiasi et al., 2023). A melhoria contínua permite às empresas efetuarem mudanças, a partir da utilização de diferentes ferramentas com a finalidade de aperfeiçoar o desempenho da organização, para que esta acompanhe os avanços dos contextos económicos e sociais (Godoy et al., 2023).

Quando se fala em progresso, existem duas técnicas bastante diferentes: a melhoria contínua e a inovação. A primeira representa uma melhoria gradual, que, embora não implique um grande investimento, implica um esforço contínuo, já a última caracteriza-se por grandes mudanças de uma só vez (Radharamanan et al., 1996). Na Tabela 1 é possível observar as principais diferenças entre as técnicas.

Tabela 1 - Características do Kaizen e da Inovação

(adaptado de Radharamanan et al., 1996)

	<i>Kaizen</i>	Inovação
1. Efeito	Longo prazo e longa duração;	Curto prazo;
2. Estrutura temporal	Contínuo e incremental;	Intermitente e não incremental;
3. Foco	Coletivo, esforço de equipa, foco no sistema;	Forte individualidade, ideias e esforço individual;
4. Método	Manutenção e melhoria;	Rejeição e trabalho;
5. Encorajamento	<i>Know-how</i> convencional;	Avanços tecnológicos, novas invenções e novas teorias;
6. Exigências práticas	Menos investimento, mas mais esforço para manter;	Mais investimento, mas menos esforço para manter;
7. Orientação	Pessoas;	Tecnologias.

Ao desenvolver esta abordagem *Kaizen*, Imai (1997) baseou-a em três regras básicas: a limpeza, a normalização do trabalho e a eliminação de desperdícios (Rawabdeh, 2005). Como esta metodologia envolve todos os níveis hierárquicos de uma empresa, desde operadores do chão de fábrica até aos gerentes, é possível, sem grandes investimentos, aumentar a capacidade produtiva das organizações e a qualidade dos seus produtos através da colaboração de trabalhadores motivados. Assim, é possível inferir que a qualidade dos produtos e serviços de uma organização não dependem apenas de técnicas e de equipamentos, mas sim da forma como o trabalho é coordenado pelas equipas (De Oliveira Debiasi et al., 2023).

A metodologia *Kaizen* é apoiada por uma ferramenta criada por Shewhart, na década de 30, e divulgada por Deming, na década de 50. Esta ferramenta denomina-se “Ciclo PDCA” (*Plan-Do-Check-Act*) e foi originalmente criada para a manufatura para controlar a execução de atividades para melhoria de processos (Song & Fischer, 2020). As fases deste ciclo são as seguintes:

- *Plan* (planear): planear os objetivos, metas a alcançar e plano a ser posto em prática;
- *Do* (fazer): pôr em prática as atividades do plano de melhorias;
- *Check* (verificar): verificar se os resultados obtidos estão de acordo com o que foi estabelecido;
- *Act* (atuar): fazer alterações se assim for necessário para quando se iniciar o ciclo de novo façam parte do novo plano.

2.2.3 Trabalho Standard

Nos dias de hoje, as diversas indústrias estão sujeitas a um mercado mais instável, havendo mais necessidade de estabelecer um negócio mais eficiente, ou seja, mais qualidade e menos custos. O trabalho *standard* possibilita exatamente isto, pois promove a consistência enquanto motiva a organização inteira, resultando num trabalho mais eficiente (Johansson et al., 2013).

O trabalho *standard* corresponde a um conjunto acordado de procedimentos de trabalho para maximizar o desempenho e minimizar os desperdícios e a carga de trabalho associados.

De acordo com Liker & Meier (2007), o trabalho *standard* já era um processo utilizado pela Toyota que reduzia a variação e o caos nos processos, levando a melhores resultados.

Esta ferramenta simples envolve documentação detalhada dos diversos procedimentos para se chegar aos métodos mais eficientes e fiáveis e às práticas mais seguras. Desta forma, todos os trabalhadores têm papéis e responsabilidades claras, permitindo que tanto eles como os equipamentos sejam utilizados na sua totalidade (Ortiz, 2010). “A padronização é, assim, a prática de estabelecer, comunicar, seguir e melhorar normas.” (The Productivity Press Development Team, 2002).

Para criar esta documentação é primeiro necessário identificar e registar as etapas do trabalho numa tabela que relaciona os elementos de trabalho com os elementos temporais (tempo manual, automático e movimentações) e o tempo de operação em forma de gráfico (Johansson et al., 2013).

Uma vez feita a documentação, basta acrescentar ou alterar o que foi antes escrito para que esteja sempre atualizado. As folhas de trabalho podem vir em formato de instruções de montagem, de instalações e limpezas, mapas de manuseamento de materiais e rotas, entre outros (Ortiz, 2010).

“Nem todo o trabalho pode ser repetível ou previsível, mas todo ele envolve desperdícios e um dos objetivos principais do trabalho *standard* é eliminá-lo sistematicamente.” (Liker & Meier, 2007). Esta ferramenta deve ser, assim, posta em prática para obtenção de melhores resultados.

2.2.4 Análise do Bottleneck

As indústrias produtoras estão constantemente a tentar melhorar a produtividade dos seus processos, o que representa, maioritariamente, um aumento do ritmo a que se produzem peças. O *bottleneck* é o ponto de congestão num sistema produtivo, isto é, o ponto onde a carga de trabalho se acumula, pois não consegue ser gerida ao ritmo do resto do sistema (Figura 4). Daqui nasce a necessidade de analisar o *bottleneck*, podendo este ser tanto uma pessoa como um equipamento (*bottleneck* técnico). Esta análise, embora não seja muitas vezes mencionada como uma ferramenta *lean*, é essencial para a gestão da área da produção (Mahmoodi et al., 2022). No entanto, este método não se aplica só à área produtiva,

mas sim a qualquer processo onde o fluxo de trabalho está mais lento do que o que devia estar. Esta análise auxilia na identificação deste ponto de bloqueio e das técnicas a utilizar para o mitigar.

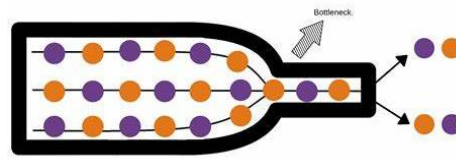


Figura 4 - Efeito *bottleneck*

Estes bloqueios são muitas vezes criados por etapas desnecessárias ou ineficientes que podem estar a gerar desperdícios. Uma das melhores formas de identificação do *bottleneck* pode ser simplesmente perguntar aos trabalhadores envolvidos no processo, no entanto, muitas vezes no chão de fábrica existem alguns desafios para esta identificação:

1. Período: Os *bottlenecks* precisam de ser identificados e analisados para prazos diferentes, para permitir o planeamento e implementação de ações de melhoria. Uma análise a curto prazo permitirá tomar medidas a curto prazo, por exemplo, equipamentos que se comportem como *bottlenecks* durante um turno devem ser mantidos a trabalhar durante pausas. Da mesma forma, uma análise a longo prazo possibilita melhorias a longo prazo, como por exemplo, a criação de dispositivos adequados para simplificar a carga de trabalho (Subramaniyan et al., 2021);
2. Alteração do *bottleneck*: Devido à natureza dinâmica do *bottleneck*, pode ser difícil prever onde e quando este se manifesta. Esta mudança deve-se a três razões: variabilidade nos tempos de processo, variabilidade de produtos e ações dos trabalhadores (Mahmoodi et al., 2022);
3. Causas: Existem diversas causas que podem ser atribuídas ao *bottleneck*, como por exemplo: paragens dos equipamentos, paragens não planeadas, tempos de configurações, variações no tempo de ciclo, entre outras;
4. Equivocidade: Dificuldade em chegar a um consenso sobre o que representa o *bottleneck*, isto é, um profissional da produção pode identificar o equipamento com o maior tempo de ciclo como sendo o *bottleneck*, enquanto um profissional da manutenção identifica o equipamento com o maior tempo de paragem (Subramaniyan et al., 2021).

O *bottleneck* não só abranda o processo de produção, como pode mesmo pará-lo, afetando o processo de fabrico na sua totalidade, sendo de extrema importância a identificação e análise deste problema, para que se possam implementar melhorias no processo, nos custos, no tempo e na alocação de recursos (Ongbali et al., 2021).

2.3 Lean Office

Lean Thinking está associado a uma cultura de melhoria contínua, em que todos os membros da organização trabalham para melhorar o desempenho geral da mesma. *Lean Office* é a aplicação dos princípios *lean* aos escritórios e áreas administrativas da empresa, onde o fluxo de valor consiste em informação e conhecimento (Locher, 2011). Da mesma forma que o *Lean Production* se foca na eliminação de desperdícios, o *Lean Office* tem o mesmo objetivo, mas nas áreas fora da produção, permitindo melhorar também os processos administrativos e tornar o fluxo de informação o mais contínuo possível (Yokoyama et al., 2019).

2.3.1 Desperdícios nas áreas indiretas à produção

Embora em áreas administrativas os desperdícios não sejam tão fáceis de identificar, pois os fluxos existentes não são tão palpáveis como os materiais e processos de transformação física ou química, é na mesma possível encontrar os mesmos sete tipos de desperdícios que estão presentes na produção (Oliveira, 2007).

Tomando como referência os desperdícios identificados por Lareau (2003), Seraphim et al. (2010) construiu uma tabela onde é possível analisar em paralelo os desperdícios tanto na área produtiva como na administrativa (Tabela 2).

Tabela 2 - Desperdícios nas áreas produtivas e nas áreas indiretas

Tipo de desperdício	Áreas produtivas	Áreas indiretas
Sobreprodução	Produção em excesso ou cedo demais;	Gerar mais informação do que a necessária (eletrônica ou em papel);
Esperas	Períodos de inatividade das pessoas, informações ou produtos;	Períodos de inatividade das pessoas ou informações;
Transporte	Movimentos excessivos das pessoas ou materiais;	Utilização excessiva de sistemas computacionais nas comunicações;
Processo	Utilização errada de ferramentas, procedimentos ou sistemas.	Utilização errada de procedimentos ou sistemas;
Inventários	Excesso de matéria prima, peças em processamento ou produtos acabados;	Grande volume de informação armazenado;
Movimentos	Excesso de movimentações por parte das pessoas;	Excesso de movimentações das pessoas e informações;
Defeitos	Problemas de qualidades nos produtos ou serviços;	Erros na documentação ou problemas na qualidade dos serviços.

2.3.2 Implementação do Lean Office

Para a implementação e manutenção do *Lean Office*, Shuker & Tapping (2003) propuseram uma metodologia de aplicação composta por oito passos. Esta aplicação é muito similar à do *Lean Production*, no entanto, foca-se apenas no fluxo de informações (Tabela 3).

Tabela 3 - Etapas para a implementação do Lean Office
(Shuker & Tapping, 2003)

Etapa	Descrição
Compromisso com <i>Lean</i>	Toda a organização deve estar envolvida e comprometida com a filosofia <i>Lean</i> para que identifiquem e eliminem os desperdícios;
Definição do fluxo de valor	Definir o fluxo de valor de acordo com o que o agrega mais valor do ponto de vista do cliente;
Conhecimentos sobre <i>Lean</i>	Organização deve garantir formação aos colaboradores, para que todos compreendam a filosofia <i>Lean</i> ;
Mapeamento do estado atual	Representar graficamente o estado atual do processo, o que permitirá identificar os desperdícios bem como as melhorias;
Identificação dos indicadores de desempenho <i>Lean</i>	Definir indicadores de desempenho, para que se possam avaliar as propostas de melhoria implementadas;
Mapeamento do estado futuro	Representar o estado futuro do processo com melhorias implementadas, que geram um fluxo contínuo e sem desperdícios;
Criação de planos <i>Kaizen</i>	Plano de ações para implementar melhorias;
Implementação de planos <i>Kaizen</i>	Em seguimento da etapa anterior, dá-se a implementação das melhorias propostas.

2.4 Indústria 4.0

A evolução industrial representa uma parte muito importante do desenvolvimento do mundo. Desde o século XVIII até ao momento já ocorreram quatro revoluções industriais (Figura 5) e cada uma contribuiu com avanços radicais em diversos setores, melhorando a vida humana em vários aspetos (Har et al.,2022).

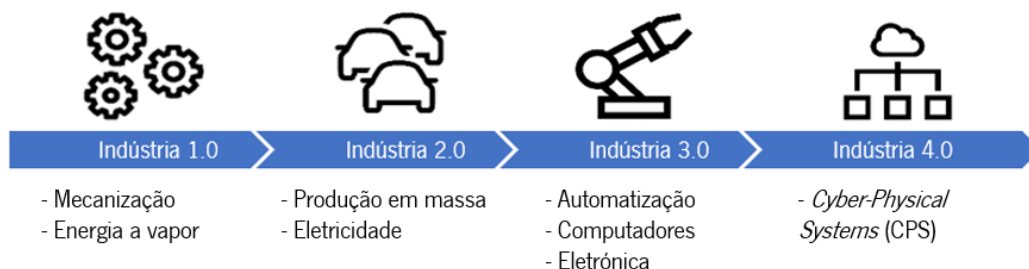


Figura 5 - Indústria 1.0 a Indústria 4.0

A primeira revolução industrial é referida como a geração da mecanização, onde foram inventados os motores a vapor, que reduziu a necessidade do trabalho humano e aumentou a eficiência dos fluxos de trabalho. A indústria 2.0 foi marcada pela eletrificação nas linhas de montagem e pela produção em massa. Na terceira revolução industrial deu-se o desenvolvimento da eletrónica, telecomunicações e computadores. Já a Indústria 4.0 foca-se em ligar os objetos físicos com as pessoas através da *internet* (Zhou et al., 2015).

O termo Indústria 4.0 surgiu pela primeira vez na Alemanha, em 2011, durante o evento “Hannover Messe”, caracterizado como uma iniciativa estratégica de alta tecnologia para apoiar o setor industrial (Carvalho et al., 2018). A Alemanha é um dos países mais competitivos a nível mundial quando se fala das indústrias transformadoras e é um fabricante de equipamento líder mundial em muitos campos, destacando-se a indústria automóvel, a indústria do desporto, as empresas de eletricidade e eletrónica e assim por diante. Como resposta à crise da dívida europeia, o governo alemão apresentou a indústria 4.0 para promover e consolidar a sua produção a nível global (Zhou et al., 2015).

Nos últimos anos as exigências e a complexidade da indústria transformadora têm aumentado significativamente devido à crescente competitividade entre as organizações, volatilidade do mercado e a procura de produtos cada vez mais únicos. A geração industrial atual assenta na integração de tecnologias de informação e comunicação que permitem alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gestão, possibilitando a criação de novas estratégias e modelos de negócio para a indústria (Zhong et al., 2017). A indústria 4.0 tem a capacidade de afetar a indústria na sua totalidade, alterando a forma como os bens são concebidos, produzidos, entregues e pagos (Hofmann & Rüschi, 2017).

Este novo paradigma industrial compreende um conjunto de tecnologias, tais como: *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Big Data* e *Cloud Computing* (CC), que irão permitir aumentar a eficiência e produtividade das organizações, através da sua influência tanto nos produtos como nos processos (Pereira & Romero, 2017). Embora haja um interesse muito alto na indústria 4.0, a maior parte das organizações não estão preparadas para os desafios que esta pode trazer, nomeadamente tecnológicos, científicos, económicos e ainda questões políticas e sociais (Zhou et al., 2015). No entanto, um dos pontos que difere esta revolução industrial das outras é o facto de ter sido prevista, dando possibilidade às organizações de se prepararem.

Wang et al., 2016 defende que para que se implemente a indústria 4.0 são necessários três tipos de integração:

1. Integração Horizontal;

2. Integração Vertical;
3. Integração *End-to-End*.

O primeiro tipo de integração refere-se à cooperação contínua entre as organizações através da cadeia de valor e das redes de informação (Carvalho et al., 2018). As empresas devem ser capazes de competir e cooperar umas com as outras criando um ecossistema eficiente, que permita gerar um fluxo continuado de informação e material entre as mesmas (Wang et al., 2016).

A integração vertical refere-se aos sistemas de manufatura das fábricas inteligentes, desde a conceção dos produtos até à sua distribuição, possibilitando uma produção personalizada, como alternativa aos processos de produção tradicionais (Zhou et al., 2015). Esta componente da integração pode ser definida como a integração dentro da própria organização, pois visa ligar todos os departamentos, permitindo um fluxo de informação transparente (Wang et al., 2016).

Por fim, a integração *End-to-End* é feita ao longo da cadeia de valor (Qin et al., 2016), ou seja, foca-se na criação de valor do produto e nas atividades a ele associadas, tais como: requisitos do cliente, *design* e conceção, desenvolvimento do produto, planeamento de produção, produção, entre outros (Wang et al., 2016).

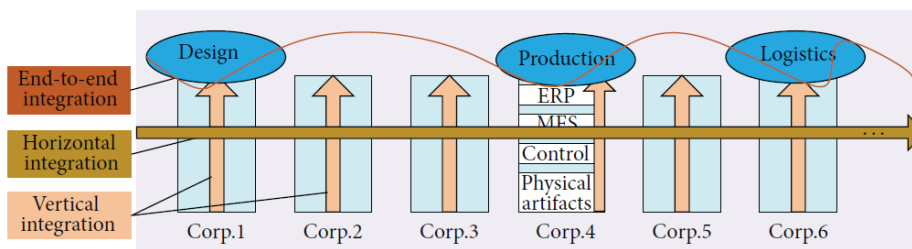


Figura 6 - Três tipos de integração na Indústria 4.0
(Wang et al., 2016)

Como forma de atingir as três integrações, presentes na Figura 6, as interações podem ser homem-homem, homem-máquina, máquina-máquina e serviço-serviço (Zhou et al., 2015). Assim, o conceito de indústria 4.0 pode ser definido como um “termo de colaboração para tecnologias e conceitos que compreendem toda a cadeia de valor das organizações” (Pereira & Romero, 2017).

2.4.1 Cyber-Physical Systems

A indústria da produção convencional foi transformada em produção por sistemas inteligentes, com o objetivo de melhorar o seu desempenho e benefício económico em muitos países desenvolvidos. Um sistema de produção pode ser definido por um fluxo de materiais e informação que liga pessoas, máquinas e equipamentos e, com os avanços tecnológicos provenientes da quarta revolução, as

fronteiras entre o mundo digital e o físico estão a ser eliminadas (Sipsas et al., 2016). Desta forma, todos os elementos do sistema estarão integrados, permitindo rápidos avanços tecnológicos em várias áreas. No entanto, a indústria 4.0 está a ser predominantemente moldada pela integração dos CPS nos processos de produção e pela IoT nos processos industriais (Pereira & Romero, 2017).

O CPS é um sistema de *software* que interage com o mundo físico e cujas operações são monitorizadas, coordenadas, controladas e integradas por um núcleo de computação e comunicação. Este deve funcionar de forma fiável, segura e em tempo real (Somers et al., 2023). Da mesma forma que a *internet* transformou a forma como os humanos interagem uns com os outros, também os CPS transformam a forma como interagimos com o mundo físico que nos rodeia (Rajkumar et al., 2010).

Este sistema funciona como uma rede em que a parte computacional está fortemente integrada com os componentes físicos. O CPS utiliza múltiplos sensores, como sensores de luz, toque e força para atingir objetivos específicos, sendo utilizado em diversas áreas (Bongomin et al., 2020).

A utilização destes sistemas na produção desempenharão um papel importante, uma vez que estes consistem na ligação entre todos os níveis da produção. Neste caso os CPS denominam-se de *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) (Zhou et al., 2015). Assim, o CPS pode ser definido como um sistema que troca e gere dados num sistema de rede inteligente que permite uma produção inteligente (Pereira & Romero, 2017).

2.4.2 Internet of Things

A IoT é similar ao CPS, pois partilham a mesma arquitetura, no entanto, o CPS apresenta uma combinação e coordenação superiores entre elementos físicos e computacionais. Assim, a “internet das coisas” é um termo emergente que combina diferentes tecnologias e abordagens baseando-se na ligação entre o mundo físico e o digital (Pereira & Romero, 2017).

A IoT compreende dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID), sensores infravermelhos, sistemas de posicionamento global (GPS), *scanners* de laser e outros dispositivos de deteção de informação que podem ser ligados à *internet* (Zhou et al., 2015). É a arquitetura de rede que permite que os objetos se liguem à *internet* através de protocolos e equipamentos específicos que permitam a troca de informação e comunicação. Adicionalmente, esta tecnologia também permite rastrear, monitorizar e fornecer dados de localização em tempo real (Har et al., 2022).

Atualmente, quase todos os dispositivos se conseguem ligar à *internet*, facilitando também a comunicação e o contacto entre as pessoas a grandes distâncias. Tanto a *internet*, como a *internet* móvel acabaram por influenciar os sistemas industriais modernos (Zhou et al., 2015). Em várias indústrias, o

controlo e automatização da iluminação, aquecimento, maquinaria, monitorização remota, entre outros é feito a partir da IoT (Zhong et al., 2017).

De uma forma geral, pode definir-se a IoT como a ligação à *internet* entre objetos físicos do dia a dia do chão de fábrica, pessoas, sistemas e sistemas informáticos, gerando um ambiente de produção inteligente, a chamada “smart factory” (Pereira & Romero, 2017).

2.4.3 Big Data

Desde sempre que o termo “Big Data” foi associado à ciência computacional, representando o volume de dados que não conseguiam ser processados, de uma forma eficiente, pelos métodos de tratamento de dados tradicionais (Kaisler et al., 2013). Já há algum tempo que as organizações ligadas à produção precisam de gerir grandes quantidades de informação, quer sejam dados estruturados ou não estruturados, como por exemplo dados referentes a produtos e operações ou até mesmo dados externos (Zhou et al., 2015). Com o aparecimento da *internet* e da IoT, os dados estão cada vez mais acessíveis e encontram-se em quase todos os dispositivos, tendo rapidamente chegado à indústria, o que, muitas vezes, se torna complexo para as organizações lidarem (Zhong et al., 2017).

O desenvolvimento de meios de armazenamento não consegue acompanhar o crescimento do volume de dados, sendo este um dos maiores desafios do *Big Data*, exigindo, constantemente, novas competências e conhecimentos (Bongomin et al., 2020). Trata-se de um crescimento tão acentuado que se torna complicado criar sistemas que lidem com esta quantidade de dados de uma forma eficaz e também que os analisem de forma a retirar a informação relevante para as tomadas de decisões.

O *Big Data* compreende três dimensões: volume, variedade e velocidade. A primeira dimensão refere-se à quantidade de dados disponíveis numa organização. Estes dados podem não pertencer todos à organização e costumam estar distribuídos por tipo de dado e pelo período. A variedade diz respeito à heterogeneidade dos dados, ou seja, se são texto, imagens, áudios, etc. Esta origem diferente dos dados causa ainda mais dificuldade, pois dados distintos têm de ser tratados de formas distintas (Kaisler et al., 2013). Embora este problema não seja algo novo, os novos métodos para gerir estes mesmos dados é algo inovador. Por fim, a velocidade refere-se à taxa com que os dados são gerados e agregados (Gandomi & Haider, 2015)

2.4.4 Big Data Analytics

A Indústria 4.0 baseia-se nos sistemas e máquinas inteligentes que permitem a previsão de eventos futuros e também soluções para problemas, tornando-se uma necessidade dotar estes equipamentos de capacidades preditivas e de aprendizagem. Isto significa que o problema do *Big Data* não se resume

apenas à sobrecarga de informação nos sistemas, mas também à forma como esta é gerida e armazenada para, futuramente, ser utilizada (Ahmed et al., 2022). Ao processo de examinar, transformar e modelar esta grande quantidade de dados denomina-se *Data Analytics* e o seu objetivo passa por perceber qual a informação que pode ser útil para tomadas de decisão.

Diariamente, as empresas lidam com uma vasta quantidade de dados, quer sejam eles estruturados ou não estruturados, quer sejam intrínsecos à organização ou vindos de fora, o que obriga a lidar com a informação de diferentes formas (Zhou et al., 2015).

De acordo com Smaya (2022) existem quatro tipos de análises, o que gera modelos de decisão e diferentes:

- Descritiva: Analisa o que aconteceu no passado e transforma os dados anteriores num formato mais fácil de compreender, sem tentar explicar porque é que isto pode ter acontecido e sem criar relações causa-efeito;
- Diagnóstica: Esta análise permite descobrir o que criou o problema em primeiro lugar, ou seja, identificar e responder a problemas relativos aos dados;
- Preditiva: Com base em padrões, tendências do passado e dados atuais consegue criar previsões e modelos que determinem a probabilidade de ocorrência de um evento ou o seu resultado futuro. Esta análise pode ser feita a partir de inteligência artificial, *machine learning* e *data mining*. Este último método pode ser definido como o processo de descoberta de padrões e outras informações num grande conjunto de dados;
- Prescritiva: Este tipo de análise recomenda uma solução para um problema específico, ou seja, analisa o que se passou, porque se passou e determina aquilo que deve ser feito de seguida. A análise prescritiva é a mais complexa das quatro, pois utiliza algoritmos, métodos estatísticos, *machine learning* e procedimentos de modelação computacional.

A partir do BDA, não só é possível avaliar grandes quantidades de dados, de várias fontes e formatos, como também é possível tornar a tomada de decisões um processo mais informado e rápido. No entanto, com o crescimento exponencial da quantidade de informação, torna-se difícil armazená-la e processá-la e, consequentemente, saber que ferramenta usar para o tratamento da mesma. Fica também complicado garantir a proteção e a qualidade dos dados, acabando por ser um grande desafio para as organizações (Zhou et al., 2015).

2.4.5 Cloud Computing

Cloud Computing representa o armazenamento e acesso a dados e programas em servidores remotos, ou seja, através da *internet*, em vez do disco rígido do computador ou do servidor local. Esta tecnologia permite que um computador aceda aos recursos e dados partilhados por outros computadores ligados a uma rede. Estes recursos incluem: aplicações, servidores, redes, bases de dados, ferramentas de desenvolvimento, entre outros (Bongomin et al., 2020).

CC é, assim, um conjunto de recursos informáticos que podem ser utilizados e partilhados por vários processos em simultâneo e a partir de qualquer local. Esta disponibilidade dos dados em tempo real através da “cloud”, permite aos utilizadores tomarem decisões mais informadas (Har et al., 2022). Diversas organizações adotam esta tecnologia que aumenta a sua capacidade com um orçamento mínimo, não havendo necessidade de investir em novos *softwares* ou na formação de pessoal.

Embora com diversas vantagens, o CC traz alguns desafios no que diz respeito à sua fiabilidade. Um pouco como o tópico do *Big Data*, também esta tecnologia sofre por problemas de privacidade e segurança (Zhong et al., 2017).

2.5 Indicadores de Desempenho

2.5.1 Capacidade

A capacidade é a medida da quantidade de *outputs* que o sistema consegue processar durante um dado período (Yang et al., 2019). Como a maior parte dos equipamentos só operam durante uma fração do tempo, a capacidade pode definir-se como a quantidade máxima de produtos produzidos em condições de funcionamento normal (Ragan, 1976).

Vários fatores podem afetar a capacidade produtiva de um sistema, nomeadamente a quantidade e formação dos recursos humanos envolvidos no processo e, conseqüentemente, o seu domínio em relação à tecnologia utilizada, o tipo, a quantidade e configuração dos equipamentos e o *design* e conceção dos produtos. Apenas se estes fatores estiverem a ser utilizados na sua totalidade e de uma forma eficiente é que as organizações conseguem ter vantagem competitiva umas sobre as outras.

2.5.2 Produtividade

A produtividade representa a capacidade de um sistema em converter recursos em bens ou serviços e quanto maior for a sua eficácia, maior é a sua produtividade e menor o desperdício.

A produtividade é, assim, uma medida de eficiência e pode ser calculada a partir da razão entre a quantidade de produtos obtidos e a quantidade de recursos utilizados, como se pode observar na Equação 1 (Pinto, 2010).

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100$$

Equação 1 - Produtividade

Adicionalmente, é de notar a diferença entre produtividade e taxa de produção, pois são conceitos parecidos, no entanto, uma produção elevada não representa uma boa produtividade. A produtividade representa a eficácia na entrega de produtos e/ou serviços, enquanto a taxa de produção mede a quantidade de produtos e/ou serviços que são processados num determinado período.

2.5.3 Overall Equipment Effectiveness

Com a crescente competitividade entre as empresas, estas procuram cada vez mais formas de se destacarem através do aperfeiçoamento e melhoria da sua produção. Isto implica estratégias que permitam identificar e eliminar perdas de produção para diminuir ao máximo os custos associados. A eficiência global, também denominada OEE, é uma ferramenta quantitativa que permite avaliar a eficiência do equipamento através da identificação de diferentes perdas de produção (Esmaeel et al., 2018).

A OEE tem capacidade não só de avaliar a eficiência de um equipamento, mas de todo o sistema durante o tempo de processamento, através dos seus três componentes: disponibilidade, velocidade e qualidade (Hung et al., 2022). Estes contribuem para a satisfação dos requisitos dos clientes e o seu produto resulta no valor da OEE, como se pode verificar na Equação 2:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Velocidade} \times \text{Qualidade}$$

Equação 2 – OEE

No caso do nível percentual de um destes parâmetros estar abaixo de 100% tem-se uma perda de produção associada ao parâmetro em causa. O tempo do turno pode ser dividido em vários períodos que contribuem para os parâmetros acima mencionados, como se verifica na Figura 7.

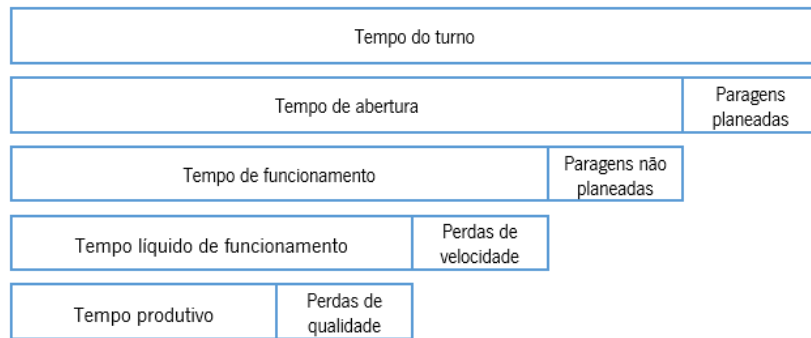


Figura 7 - Representação gráfica da divisão do tempo de turno
(adaptado de Foulloy et al., 2019)

As paragens planeadas compreendem manutenções planeadas, pausas ou períodos sem nada para produzir. As paragens não planeadas dizem respeito a situações de avarias ou falta de material. As perdas de velocidades devem-se ao desgaste dos equipamentos, falhas por parte dos operadores e/ou materiais inapropriados. Já as perdas de qualidade representam os defeitos nos produtos.

Assim, a disponibilidade, velocidade e qualidade estão definidas na Equação 3, Equação 4 e Equação 5, respetivamente.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de funcionamento}}{\text{Tempo de abertura}}$$

Equação 3 - Disponibilidade

$$\text{Velocidade} = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Peças produzidas}}{\text{Tempo de funcionamento}}$$

Equação 4 - Velocidade

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Peças boas}}{\text{Peças produzidas}}$$

Equação 5 - Qualidade

2.5.4 Tempo de Ciclo

O Tempo de Ciclo (TC), em inglês *Cycle Time* (CT), é utilizado como uma métrica para a eficiência de um processo e representa o tempo entre a saída de duas peças consecutivas. Este tempo é ditado pela operação ou estação mais demorada, o chamado *bottleneck*, que determina o ritmo de produção. O TC não só é crítico para os clientes, como também para os fornecedores, podendo mesmo um TC elevado levar à perda de clientes. Este tempo serve, maioritariamente, como meta de desempenho e permite confirmar a qualidade dos serviços prestados aos clientes.

Tomando como referência o Takt Time (TT), que representa o ritmo de produção em harmonia com o ritmo das encomendas dos clientes (The Productivity Press Development Team, 2002), o TC nunca deverá ultrapassar o TT, para que não haja atrasos, no entanto, deverá aproximar-se como forma de evitar desperdícios relativos ao processo produtivo, como se verifica na Figura 8. (Womack & Jones, 1997).

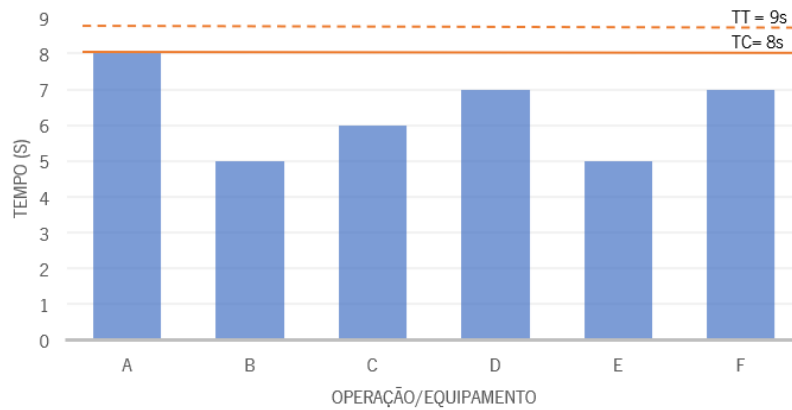


Figura 8 - *Takt Time vs. Cycle Time*

Muitas vezes confundido com o TC é o tempo de atravessamento, no entanto, este último representa o tempo total que um produto demora durante um processo inteiro, isto é, desde que entra até que sai, compreendendo o tempo de processamento, de inspeção, de movimentação e de espera.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O presente capítulo tem como propósito apresentar a empresa e o departamento onde foi desenvolvido o projeto de dissertação. Primeiramente, dá-se a conhecer o Grupo Bosch, explicando as suas áreas de negócio e a forma como se divide, tanto a nível mundial como em Portugal. De seguida aborda-se a Bosch em Braga, os seus produtos e clientes e, por fim, o departamento MFE.

3.1 Grupo Bosch

A Bosch é uma empresa multinacional alemã que surgiu em 1886 em Estugarda, na Alemanha, a partir da “Oficina de Precisão Mecânica e Engenharia Elétrica” de Robert Bosch. Baseando-se nos princípios da integridade, compromisso e inovação, estes permitiram que a empresa atingisse resultados significativos mantendo sempre a perfeição técnica, qualidade e fiabilidade.

O Grupo Bosch lidera mundialmente no âmbito do fornecimento de tecnologias e serviços e em 2022 gerou 88,4 mil milhões de euros em vendas. No final de 2022, o grupo contava com, aproximadamente, 420.300 de colaboradores, distribuindo-se por cerca de 60 países.

O grupo divide-se em quatro áreas de negócio: soluções de mobilidade, tecnologia industrial, bens de consumo e energia e tecnologia de construção, oferecendo, assim, soluções inovadoras tanto para fins domésticos, setor automóvel ou sistemas profissionais, contando com uma enorme diversidade de produtos.

Em Portugal estas áreas de negócio distribuem-se por três unidades produtivas: a Bosch Car Multimedia Portugal, S.A., situada em Braga, que se dedica à produção de sistemas de eletrónica automóvel, a Bosch Termotecnologia, em Aveiro, que se destina a soluções de água quente e, por fim, em Ovar, a Bosch *Security Systems*, responsável por sistemas de segurança e comunicação.

Adicionalmente, o Grupo Bosch conta ainda com uma sede comercial, em Lisboa, encarregue das atividades de venda, contabilidade, *marketing* e comunicação e também alguns serviços de recursos humanos.

Tendo como lema a frase “We are Bosch” (Nós somos Bosch), a empresa tem como missão melhorar a qualidade de vida das pessoas através do desenvolvimento de produtos inovadores de elevada qualidade. Como forma de garantir o futuro da empresa e preservar a sua independência financeira, a Bosch compreende três focos estratégicos: o cliente, a mudança e a excelência. Isto permite adaptar os

produtos aos clientes e responder aos seus requisitos, usando a mudança como um motor para melhorias.¹

Apoiando-se nos seus pontos fortes - a sua cultura, foco na inovação, elevada qualidade e presença global a empresa consegue atingir elevados níveis de produtividade.

Por fim, a sustentabilidade desempenha um papel importante no sucesso da empresa a longo prazo, demonstrando, assim, uma forte responsabilidade na preservação do meio ambiente.

3.2 Bosch Production System

Atualmente, as empresas estão sujeitas a constantes mudanças, não só devido à volatilidade do mercado, mas também graças aos produtos, que cada vez mais têm ciclos de vida mais curtos. Como tal, é de extrema importância que os requisitos dos clientes sejam cumpridos. A gestão *lean* atua principalmente neste aspeto, ou seja, serve como um guia para a construção de uma organização estável, que evolui constantemente e ajuda a identificar e a solucionar problemas.

Desta forma, a Bosch, em 2001, criou o *Bosch Production System* (BPS). Esta metodologia é uma adaptação da *Toyota Production System*, cuja ideia principal é projetar toda a cadeia de valor com o menor desperdício possível. Este sistema de produção *lean* pretende assegurar a satisfação do cliente, dos colaboradores e, conseqüentemente, o sucesso da empresa. Isto é possível graças a operações *standard* que pretendem melhorar todos os processos, desde máquinas a homens, eliminar desperdícios e simplificar as tarefas do dia a dia.

Este sistema de produção tem por base oito princípios fundamentais (Figura 9), que servem como diretrizes para a prática das atividades e planeamento futuro da cadeia de valor.

1. Orientação ao Processo: traduz-se numa forma holística de ver a cadeia de valor, permitindo analisar e melhorar processos;
2. Sistema *Pull*: a produção limita-se apenas ao que os clientes necessitam;
3. Normalização: consiste na normalização de atividades diretas e indiretas, para tornar os processos o mais flexíveis e fiáveis possível;
4. Qualidade perfeita: consiste na prevenção de erros como forma de atingir zero defeitos em toda a cadeia de valor;

¹ [We are Bosch](#)

5. Flexibilidade: tanto dos processos, como dos produtos, para que se adaptem o mais rapidamente possível e da forma mais fácil às necessidades dos clientes;
6. Transparência: implementação de processos diretos, claros e simples;
7. Melhoria contínua: melhorar continuamente os processos e eliminar atividades sem valor acrescentado;
8. Envolvimento e responsabilização: envolver os colaboradores nas atividades BPS e definir responsabilidades claras para todos.

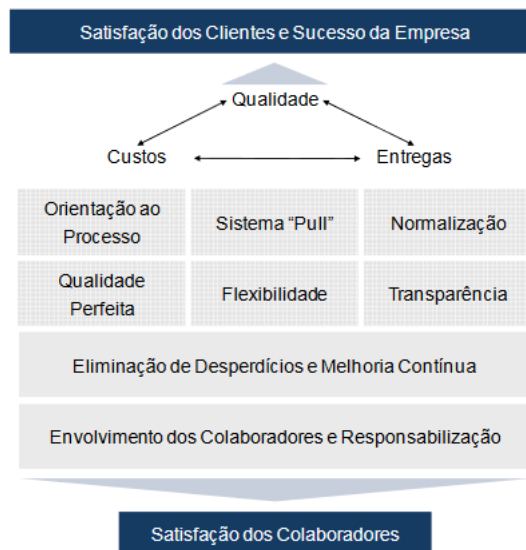


Figura 9 - Princípios e objetivos do BPS

3.3 Bosch Car Multimedia Portugal

Em 1990, fundou-se a Bosch Braga denominada de Blaupunkt Auto-Radio Portugal Lda., que se dedicava à produção de autorrádios para a marca Blaupunkt. Mais tarde, em 2009, esta unidade foi vendida e reestruturou-se e passou a designar-se por Bosch Car Multimedia Portugal, S.A. Esta mudança resultou dos avanços que a indústria foi sofrendo e também como forma de responder às exigências do mercado automóvel.

A Bosch Car Multimedia Portugal, S.A. pertence à Robert Bosch Portugal SGPS, S.A. e é membro integrante do Grupo Bosch sediado em Estugarda. Esta divide-se em dois grandes grupos: a área técnica e a área comercial, tendo cada uma o seu administrador. Ambas as áreas se subdividem em departamentos e estes em secções.

Em 2020, a fábrica de Braga passou a integrar a divisão *Automotive Eletronics* (AE), a maior do Grupo em Portugal, e que está sediada em Reutlingen, na Alemanha. O portfólio da AE compreende

semicondutores, sensores e unidades de controlo (Figura 10), sendo estes concebidos e fabricados em 20 fábricas por todo o mundo. Atualmente, em Braga (BrgP), o portfólio de produtos é composto por: Sistemas de Instrumentação (INS), Sistemas de *Infotainment* (INF), *Chassis System Control* (CC) e Radares (*Advanced Driver Assistance System – ADAS*). Adicionalmente, a BrgP também oferece serviços de investigação e desenvolvimento (I&D), um centro de competências de engenharia, um de assistência e reparação e um centro de serviços de *Information Technology* (IT) para a Ibéria.

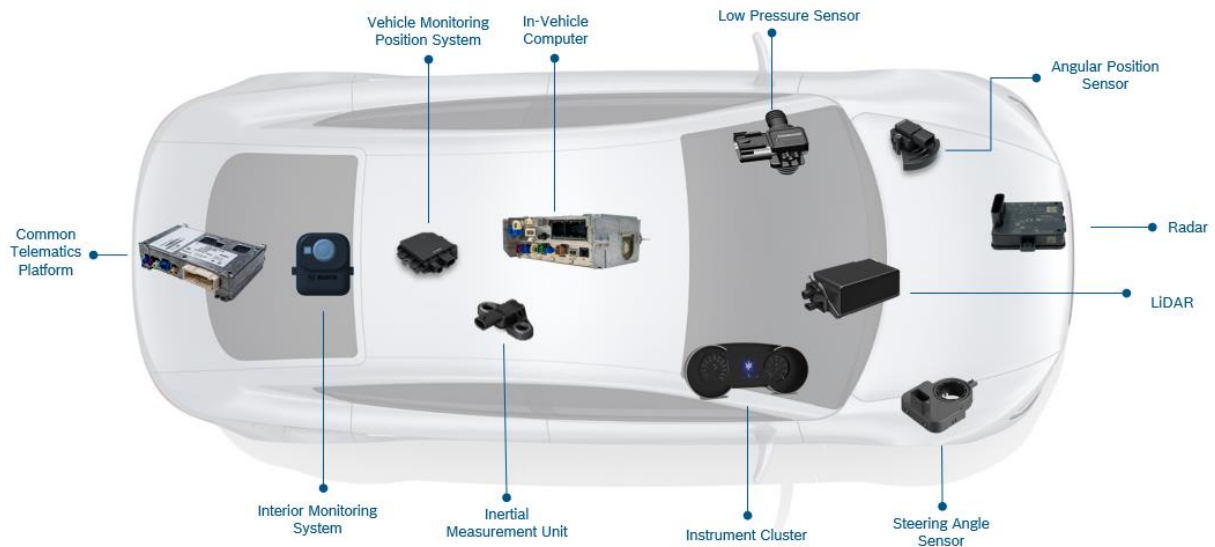


Figura 10 - Portfólio da AE
(Bosch, 2023a)

3.4 Departamento MFE

A fábrica da Bosch em Braga conta com diversos departamentos, tornando-se, assim, numa unidade complexa que se foca no desenvolvimento e melhorias de tecnologias para o futuro. Isto apenas é possível devido ao departamento MFE (*Manufacturing Engineering*), que é responsável pela industrialização de novos produtos, coordenação dos sistemas de produção e atividades de planeamento e manutenção da Bosch Braga. Este departamento divide-se em três secções responsáveis por diferentes áreas da engenharia: MFE1 – Gestão de Projetos, MFE2 – *Assembly* e MFE3 – *Testing* (Figura 11).



Figura 11 - Organograma dos departamentos MFE
(Bosch, 2023b)

Desta forma, o MFE planeia processos de montagem manual e final, bem como capacidades de linha, cria procedimentos e instruções para a área produtiva e *standards* de *layouts* de linhas. Está também encarregue do lançamento de novos produtos na produção, dentro dos prazos estabelecidos, garantindo qualidade e indo de encontro às especificações dos clientes.

Adicionalmente, cabe a este departamento realizar estudos ergonómicos, planear *guidelines* e elaborar orçamentos e planos de negócios.

Este projeto de dissertação insere-se no departamento MFE2, mais especificamente na secção MFE23, uma equipa de Engenharia Simultânea, que está responsável pelas atividades do plano de negócios das áreas técnicas e pela gestão do planeamento de pessoas e capacidades. O MFE23 garante que as várias áreas ligadas aos projetos trabalham em simultâneo, acompanhando todas as fases do produto através da implementação de procedimentos e *standards*.

4. DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL

Este capítulo descreve a situação encontrada no início do trabalho, contextualizando e descrevendo os processos alvo e que terão alterações decorrentes do projeto. Em concreto, será feita a descrição de como eram feitas as medições de tempos de ciclo, o registo dos mesmos e o seguimento dos pontos em aberto resultantes dos desvios encontrados. Todos os dados apresentados foram alterados de forma a proteger os dados da empresa, sem que se prejudique o resultado deste projeto.

4.1 Confirmação de Processo

A gestão de tempo corresponde a um conjunto de técnicas que permitem planear e organizar a realização de atividades com o objetivo de aumentar a produtividade numa organização. Isto possibilita a melhoria de processos, garantindo que são cumpridos dentro dos prazos estabelecidos. Sem a gestão desta informação, atividades de industrialização como avaliações de investimentos, gestão de projetos, cálculos de capacidade e atividades para aumento de produtividade e melhoria contínua seriam comprometidas. A monitorização e gestão contínua do TC é uma das ferramentas de gestão que possibilita monitorizar e controlar a produção a um nível mais detalhado, permitindo aumentar a produtividade e competitividade. No âmbito deste projeto, este controlo é designado por confirmação de processo (CP). A CP é uma forma sistemática de verificar se as normas estão a ser seguidas, o trabalho *standard* está a ser cumprido e se os TC correspondem aos esperados. Caso exista algum desvio, deve ser aberto um ponto que permita ao Engenheiro Industrial analisar a origem do problema, planear e implementar uma ação corretiva e verificar o seguimento do processo.

O objeto de estudo da CP é o trabalho *standard*. Também denominado na fábrica como *Standardiziert Arbeit* (StAb), o StAb é uma ferramenta que define o melhor método para realizar uma atividade na produção. É a base para um processo de melhoria contínua. Os processos e atividades são descritos com precisão e padronizados para que possam ser sempre executados da mesma forma e com a mesma qualidade, independentemente da pessoa. O StAb para cada processo é criado pelo Engenheiro Industrial com base no *Methods Time Management* (MTM). O MTM é uma ferramenta que oferece às empresas um padrão mundialmente uniforme da descrição e quantificação das sequências de trabalho manuais. É também a partir deste método que resulta o TC da linha e dos processos, pois quantifica o tempo que os operadores demoram nas suas tarefas. Os tempos de referência do MTM foram criados para um nível médio de operador, isto é, com uma exigência uniforme para todos.

Na fábrica é possível encontrar diferentes StAb para a mesma linha consoante o número de operadores presentes, ditando as suas tarefas e sequência de realização das mesmas. Isto proporciona o balanceamento de atividades e esforço dos operadores, melhorando o fluxo de montagem tendo em conta os movimentos, o processo de montagem e os tempos associados.

O StAb de uma linha é descrito em várias folhas, uma para cada operador que trabalha na linha. Isto inclui as suas funções e a sua sequência, deslocamentos, tempos de espera e operações das máquinas com que interage ao longo de todo o processo. Adicionalmente, existe uma outra folha resumo que compila todos os tempos, tanto dos equipamentos como dos operadores, contendo informação do *bottleneck* operador e técnico.

É responsabilidade do chefe de linha passar esta informação aos operadores e garantir que eles cumprem o StAb.

Como mencionado anteriormente, o tempo alvo é calculado através das avaliações do MTM, enquanto o tempo real (tempo que efetivamente se demora) pode ser obtido de três formas:

- Medição direta no local de trabalho por um observador;
- Medição direta no local de trabalho pelo próprio operador;
- Medição pelo equipamento.

A CP representa esta recolha dos TC reais, o que se torna útil para acompanhar mais de perto os processos do chão de fábrica. No âmbito deste projeto vão considerar-se apenas as recolhas feitas por observadores, nomeadamente pelos Engenheiros Industriais e, posteriormente, recolhas automáticas dos equipamentos.

De momento, cada Engenheiro Industrial faz a CP mensalmente a cada uma das linhas pela qual está responsável. Esta tarefa envolve o deslocamento até à linha, a verificação de condições e a realização e registo de medições. Isto significa que só é possível fazer a CP se a linha estiver estável, sem micro paragens, a trabalhar no produto alvo e de acordo com as normas estabelecidas, isto é, número de operadores e sequências definidas pelo StAb. As medições dos TC são efetuadas com um cronómetro, tanto ao *bottleneck* técnico, como ao *bottleneck* operador. Esta atividade é simples, no entanto, é preciso uma amostra considerável (>10 medições) para que se possam tirar conclusões significativas.

O TC da linha deve ser definido pela máquina mais lenta, ou seja, o *bottleneck* técnico, para que os operadores esperem pelos equipamentos e não o contrário, no entanto, isto nem sempre se verifica.

4.1.1 Registo e tratamento de dados

De todos os produtos produzidos nas linhas, só é feita a CP para aqueles que estão classificados como produtos A e B, de acordo com a metodologia de classificação ABC, conforme as quantidades a produzir no mês de análise. Como forma de auxílio, os Engenheiros consultam a plataforma *web* BCore, onde são disponibilizados dados sobre o que está planeado produzir para cada turno e o que está a ser produzido em tempo real. Desta forma, só é feita a CP quando estiverem a ser feitos os produtos A e B.

De seguida, é preenchida uma folha auxiliar de análise do TC que compreende o posto ou operador observado, o TC planeado e o intervalo aceitável de variação do mesmo [TC-10%; TC+10%] (Figura 12). Aqui são colocadas as medições feitas, permitindo analisar as flutuações dos tempos, justificá-las e retirar a média dos valores recolhidos.

Process analysis cycle time		Plant	Date			Bosch Production System																
Line	Goods number/family type	Observed cycle (working place nr.)	CT Planned	+10%	-10%	CT min.	CT max.	Cycle time average														
		FCT	490,0	539	441	471,5	490,9	478,4														
Nr.	Cycle time [Sec.]	Graphical representation of cycle time															Note (Reasons for fluctuations)					
		25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375		400	425	450	475	500
1	475,27																					
2	479,49																					
3	490,91																					
4	471,53																					
5	474,74																					

Figura 12 - Folha auxiliar de análise do TC

Por fim, no ficheiro Excel de CP, onde se encontram os registos de todos os produtos alvos de confirmação, é colocada a média dos tempos obtida (Figura 13).

Abril							
Bottleneck Linha			Bottleneck Equipamento				
Description_line	Conf. TC_line0	Deviation_line0	Description equip0	TC equip04	Conf. TC equip	Deviation equip0	
FCT	164,30	172,6	5%	FCT	164,3	172,6	5%

Figura 13 - Ficheiro Excel da CP

4.1.2 Open Point List

O registo no ficheiro Excel permite, como já foi mencionado anteriormente, identificar flutuações relativas ao StAb. Se o valor registado se encontrar fora do intervalo acima mencionado, abre-se um ponto na *Open Point List* (OPL) (Figura 14).

Type of Bottleneck	Description	TC	Conf. TC	Deviation	Reason
Equipment	FCT	76,20	60,00	-21%	Redução do tempo do FCT

Figura 14 - Exemplo de um ponto aberto

Todos os pontos abertos devem ser sujeitos a uma análise para se entender a causa do problema. Isto é, todas as variações fora do intervalo aceitável de TC passam por um ciclo PDCA. Esta ferramenta de qualidade de quatro fases é utilizada na resolução de problemas, no controlo e melhoria contínua de produtos e processos. O objetivo é, assim, compreender a origem dos problemas, planejar uma ação corretiva, aplicá-la e controlar o seu resultado.

Na Figura 15 tem-se um exemplo de um ponto aberto e da sua ação corretiva. De um lado tem-se a causa do problema e do outro a solução para este.

Reason	Solution
Redução do tempo de ciclo devido a alterações nos equipamentos	Atualizar Trabalho Standard

Figura 15 - Ação corretiva de um ponto aberto

Na Figura 16 encontra-se um fluxograma que representa todas as etapas que constituem a CP, como forma de se consolidar melhor a descrição feita até agora da CP.

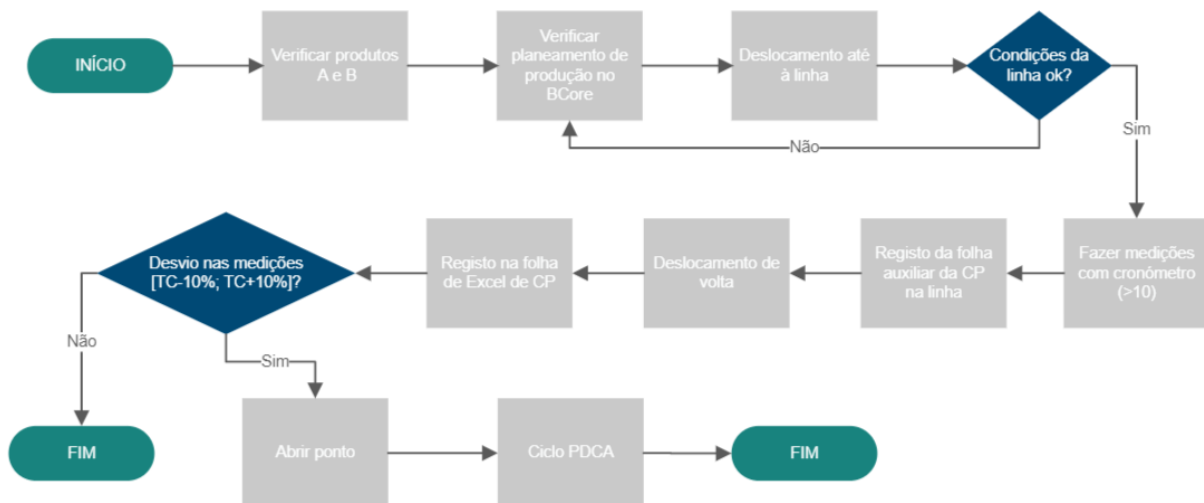


Figura 16 - Fluxograma da confirmação de processo

4.2 Ferramentas de recolha de dados

A CP não acontece da mesma forma para todas as linhas, isto porque os postos podem ser totalmente automáticos, semiautomáticos ou totalmente manuais.

Os postos totalmente automáticos compreendem as linhas SMT (*Surface Mount Technology*), as linhas de montagem final automáticas e os processos de *coating* e de *bonding*. Embora algumas destas linhas possam ser consideradas automáticas, elas requerem a presença de pelo menos um operador dedicado ao *load* e *unload* de peças ou para abastecimento de materiais.

O resto das linhas compreende operadores em quase todos os postos, não só para o *load* e *unload*, mas também para operar as máquinas e realizar a montagem final dos produtos.

Tendo em conta as diferenças entre as várias linhas da fábrica, tornou-se complexo arranjar um método para a recolha, gestão e visualização dos dados que fosse igual para todas as linhas. Esta dificuldade surge maioritariamente do tempo de vida dos equipamentos, ou seja, quanto mais antigos, menos automático é o processo de recolha de tempos. A falta de uma ferramenta *standard* para todas as linhas e processos, leva à existência de diferentes plataformas para visualização e gestão de dados do TC. De momento encontram-se disponíveis três plataformas: MES Toolset, MES Nexeed e MIS.

4.2.1 MES Toolset

O MES Toolset (*Manufacturing Execution System*) é um sistema de *software* que monitoriza, rastreia, documenta e controla processos produtivos de mercadorias, desde o estado de matéria prima até ao produto acabado. Esta ferramenta permite, assim, controlar os tempos produtivos das linhas e das máquinas, individualmente, fornecendo dados para tomadas de decisão que permitam melhorar a produção e tornar o chão de fábrica mais eficiente.

Na Bosch, o MES Toolset é maioritariamente utilizado nas linhas de inserção automática e, conforme as máquinas existentes numa linha, a análise do TC é feita de formas diferentes. A inserção automática, também denominada de SMT, é um processo de produção utilizado para montar componentes eletrónicos diretamente numa placa de circuito, construindo um *Printed Circuit Board* (PCB).

As linhas de SMT são completamente automáticas, trazendo diversas vantagens à organização, tais como: redução dos custos associados ao trabalho manual, melhores práticas de segurança, devido ao pouco contacto com as máquinas, aplicação de precisão, resultando num PCB de maior qualidade e maior eficiência com ciclos de produção mais curtos (Wang, 2022).

Para este projeto, torna-se relevante descrever a forma como são medidos, calculados e registados os TC nos diversos elementos de uma linha SMT.

Uma linha de SMT é geralmente composta por vários elementos e estes calculam o TC de formas diferentes, como se pode ver na Figura 17. Cada elemento está sujeito à métrica mais indicada para o seu tipo de dados.

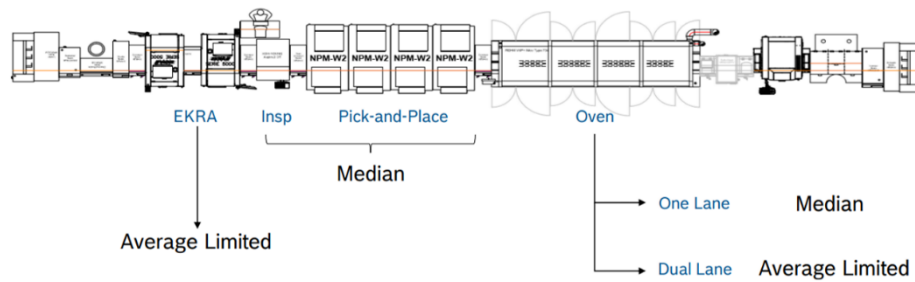


Figura 17 - Linha de inserção automática

1. *Loader* – Empilha e carrega automaticamente as placas de circuito no *conveyor*;
2. EKRA – Coloca a pasta de solda nas placas de circuito;
3. Máquina de inspeção – Inspecciona e confirma a correta colocação da pasta de solda;
4. Máquina de *pick-and-place* – Coloca com precisão os componentes de montagem na placa de circuito;
5. Forno – Pode ser composto por uma ou duas faixas e é responsável pela solidificação da pasta e estabilização dos componentes na placa;
6. *Unloader* – Recebe os PCB completos.

Relativamente à EKRA, esta utiliza uma média limitada dos TC, ou seja, trata apenas dados relevantes, excluindo *outliers*. A EKRA está também sujeita a limpezas periódicas, sendo este período diferente de produto para produto, no entanto esta “paragem” é também contabilizada para o TC produtivo.

Em jeito de exemplo, considera-se que a EKRA demora 10s a fazer a impressão de uma placa e a cada 10 placas impressas, dá-se a limpeza do equipamento que demora 50s. Isto representa um tempo de limpeza por placa de $\frac{50}{10} = 5s$. Logo o TC de cada placa será de $10 + 5 = 15s$.

Para as máquinas de inspeção e de *pick-and-place* é feita a mediana, que representa o valor central de um conjunto de dados, pois é expectável que cada peça demore o mesmo tempo a ser processada.

Por fim, no forno, os tempos são medidos de diferentes formas consoante o número de faixas. Se só tiver uma faixa, as peças entram no forno com uma distância de segurança entre elas, pelo que o tempo entre as peças processadas será o mesmo, logo é calculada a mediana. Se o forno for composto por duas faixas utiliza-se uma média limitada, mais uma vez, para evitar contabilizar dados irrelevantes.

Relativamente à obtenção dos dados no processo de inserção automática, são utilizados os dados de sensores no início de cada máquina e, a cada 30 minutos, estes coletam e armazenam dados relacionados com os tempos de passagem das placas. No fim dessa meia hora, o *software* gere essa informação e devolve ao utilizador os dados por ele pedidos, nomeadamente o TC.

Assim, a obtenção automática do TC com base no MES Toolset permite ter uma visão abrangente do estado de equilíbrio da linha, analisar com mais precisão o *bottleneck*, o TC por produto e por linha. Adicionalmente, este *software* não implica uma CP física e possibilita a monitorização em tempo real.

4.2.2 MES Nexeed

O Nexeed é o *software* padrão global da Bosch para *Manufacturing Execution Systems*. É uma solução completa para a gestão de desvios, manutenção, relatórios, fluxo de materiais, transferência de conhecimentos e gestão da qualidade.

O MES Nexeed fornece informação em tempo real à empresa permitindo um controlo ativo, documentação sem falhas, acompanhamento, garantia de qualidade e controlo da sua produção ao longo de todo o fluxo de valor. O objetivo é melhorar continuamente os processos com base nestes dados, para responder rapidamente às mudanças.

De momento, este *software* na Bosch Braga encontra-se apenas em funcionamento nas linhas de produção que iniciaram a sua industrialização recentemente e em todos os novos projetos que surjam. Tal como o MES Toolset, este *software* também tem ferramentas e soluções que permitem substituir a CP física nas linhas em que está instalado fornecendo um conjunto de dados trabalhado e de fácil acesso.

4.2.3 MIS

O MIS (*Management Information System*) é um sistema de gestão de informação utilizado para a tomada de decisões dentro de uma empresa. Este sistema permite armazenar, organizar e analisar informação, proporcionando meios para melhorar as operações e o desempenho em geral. Esta plataforma devolve ao utilizador diversos dados, permitindo avaliar o histórico das linhas, como por exemplo: tempos de processamento, peças rejeitadas, defeitos de qualidade, entre outros. Esta plataforma apenas permite trabalhar dados trabalhados pelos próprios equipamentos. Estes dados são obtidos a partir de uma programação interna, feita pela empresa, ou externa, feita pelos fornecedores. Se esta última se verificar é necessário requisitar alterações aos fornecedores, que tem um custo acrescido.

A maior parte das linhas recolhe e visualiza dados no MIS, o que limita a obtenção de informação útil para a CP. Com os dados obtidos a partir dos equipamentos, foram criados para cada posto um conjunto de parâmetros denominados *Test-Alignment Sequence* (TAS). As TAS ditam todos os processos pelo qual as peças passam numa máquina devolvendo a seguinte informação:

- Características mecânicas da peça;
- Tempo de processamento;

- Tempo de teste;
- Resultado da peça (boa ou má);
- Data e hora de cada etapa da máquina.

Na Figura 18 Figura 18 tem-se um exemplo dos tipos de parâmetros que um equipamento pode medir e devolver no MIS.

TEF001.00	Machine: Reinicialize System
TEF001.02	Machine: Deactivate Home Functionality
TEF001.03	Machine: Open Door
TEF001.04	Machine: Verify Security OK
SYS90201	Check Total Test Time
CycleTime	Cycle time (current two last PCB)

Figura 18 - Exemplos de parâmetros do MIS

No entanto, as TAS não são *standard* para todos os equipamentos, resultando em informação com pouco valor e/ou na falta dela do ponto de vista de recolhas de TC. Para efeitos de contabilização de TC, podem encontrar-se no MIS as seguintes TAS:

- SYS90201 (*Test Total Time*): medição da duração de um teste ou operação;
- Cycle Time: medição da duração do tempo de processamento ou de um ciclo total, isto é, de um ponto *x* até passar por esse mesmo ponto outra vez.

Os postos de montagem final (MF) compreendem a TAS SYS90201 e os restantes postos (soldadura, corte, teste, etiquetagem, embalagem, etc.) compreendem a TAS SYS90201 e/ou a TAS Cycle Time. A TAS Cycle Time demonstrou-se não ser utilizada, pois não oferece informação útil para a CP e a SYS90201 é utilizada apenas em situações em que a medição de um equipamento se revele muito demorada. Por exemplo, se o tempo de teste de uma máquina for de 10 minutos e se se fizerem 10 CP, então a tarefa de medição de tempos demorará no mínimo 100 minutos. Se este for o caso, a CP é feita a partir de uma plataforma *web* de visualização de dados, denominada Tableau, que disponibiliza a TAS SYS90201 em forma de gráfico. A utilização do Tableau permitirá obter uma amostra significativamente maior e calcular a sua média automaticamente.

De modo a demonstrar este processo, considera-se um equipamento de teste com três células, estando todas a trabalhar em simultâneo. O tempo de teste medido pelo Engenheiro Industrial corresponde a uma só célula, mas que depois se divide por três visto que as células funcionam ao mesmo tempo.

Como se pode observar pela Figura 19, a folha auxiliar de análise ao TC tem apenas cinco medições e todas elas são demoradas.

Process analysis cycle time			Plant	Date			Bosch Production System															
				26.04.2023																		
Line	Goods number/family type	Observed cycle (working place nr.)	CT Planned	+10%	-10%	CT min.	CT max.	Cycle time average														
		FCT:	490,0	539	441	471,5	490,9	478,4														
Nr.	Cycle time [Sec.]	Graphical representation of cycle time																	Note (Reasons for fluctuations)			
		25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425		450	475	500
1	475,27																					
2	479,49																					
3	490,91																					
4	471,53																					
5	474,74																					
6																						Tableau 01/04 a 20/04: 515,1
7																						Load e unload teórico: 2,8

Figura 19 - Folha auxiliar de análise de TC

De seguida, usa-se a TAS SYS90201 no Tableau para retirar dados de um intervalo de tempo superior ao da ida à linha e obtem-se uma média de 515,09s (Figura 20).

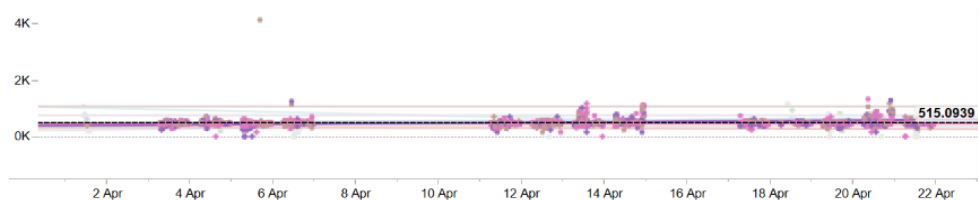


Figura 20 - Gráfico de dispersão da SYS90201 no Tableau

Como esta TAS só corresponde ao tempo de teste, é necessário adicionar os tempos de *load* e *unload* descritos no StAb e dividir pelo número de células em funcionamento. Só assim se pode obter um valor o mais próximo possível do valor de TC. Um exemplo deste cálculo é dado na Equação 6.

$$\frac{515,09 + 2,80}{3} = 172,63s$$

Equação 6 - Cálculo do TC (a)

Por fim, como já tinha sido demonstrado anteriormente, este valor é então colocado no ficheiro Excel da CP que devolverá a variação da medição em relação ao valor do TC planeado.

4.3 Definição do problema

A medição e monitorização dos TC são tarefas de extrema importância, pois é a partir destes dados que se obtêm informações relativas à eficiência dos processos, à produtividade e possíveis melhorias. A CP permite controlar estes valores e garantir o cumprimento do StAb, no entanto, apesar de ser uma atividade necessária no controlo do processo, acrescenta pouco valor e consome muito mais tempo na proporção dos desvios encontrados em relação aos TC planeados.

O TC que se pretende obter, para efeitos de cálculo de capacidades, corresponde ao *output* da linha à capacidade técnica. Isto é, o tempo que demoraria a fazer uma peça se a produção fosse sempre constante e estivesse um operador sempre disponível para fazer o *load* e *unload*, evitando tempos de espera das máquinas em relação aos operadores de linha.

O método de CP utilizado de momento gera diversos desperdícios, particularmente no que se refere à medição de tempos. A forma como estes dados são recolhidos retira muito tempo aos Engenheiros Industriais, tempo este que poderia ser empregue noutras atividades, nomeadamente em análises mais aprofundadas desta informação e/ou em trabalhar em melhorias ou correções de desvios. No fluxograma da Figura 21 demonstram-se as fases da CP que representam desperdícios.

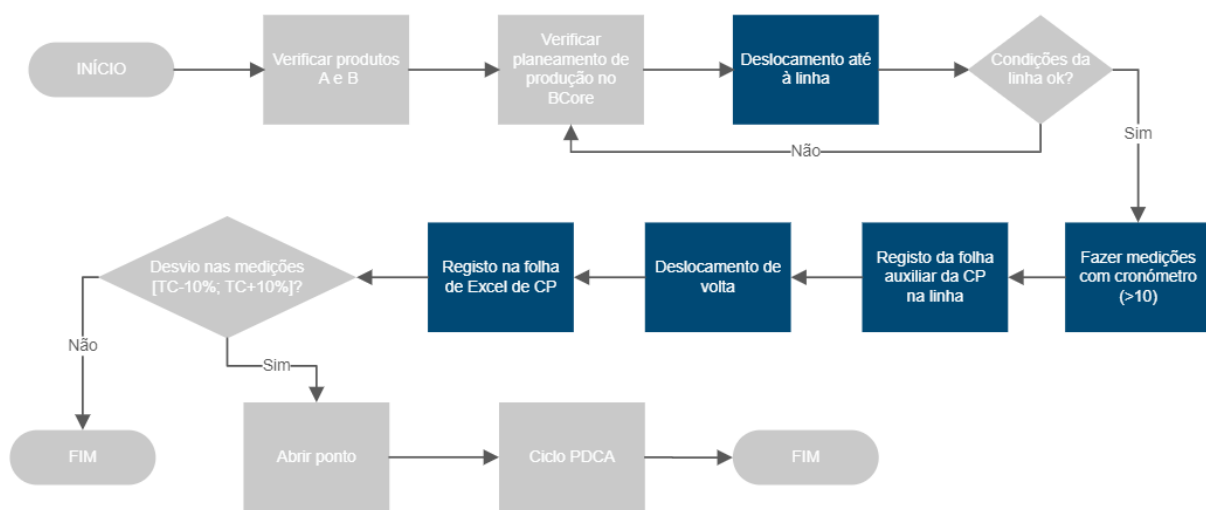


Figura 21 - Fluxograma da confirmação de processo com desperdícios

É de notar que o normal é que este processo não demonstre desvios, ou seja, o suposto é que o trabalho dos operadores vá de encontro ao descrito no StAb e que as máquinas funcionem no tempo previsto.

Considerando uma média mensal do 1º semestre do ano de 2023 de 104 produtos A e B e uma média de 4,14 desvios por mês, isto representa 3,98% de desvios mensais de todas as medições feitas, ou seja, a CP raramente revela desvios.

O problema acentua-se ainda mais quando as CP não decorrem de forma linear, isto é, nem sempre o Engenheiro Industrial consegue medir os tempos quando planeia. Alguns exemplos são: alterações de produção que o Engenheiro não esteja a par, falta de ritmo na linha, avarias, paragens não planeadas, entre outras. Isto pode resultar muitas vezes numa CP não realizada para um certo mês e o Engenheiro Industrial deve fazer no mínimo 90% das confirmações mensais.

Adicionalmente, nenhuma das plataformas existentes (MIS, Tableau ou BCore) fornece dados relativos ao TC acima definido, não só porque os postos não têm parâmetros *standard* que devolvem as mesmas informações, mas também porque as TAS criadas tem pouca utilidade para este fim. Isto leva à não

utilização das plataformas e a uma realização demorada da CP com uma amostra significativamente menor.

A CP é uma atividade indispensável, no entanto, revela vários desperdícios, nomeadamente a pobre utilização do tempo em tarefas que acrescentem pouco valor. Se esta atividade fosse automatizada e padronizada, reservaria mais tempo para outras funções dos Engenheiros Industriais.

Com o intuito de entender melhor o impacto da CP no tempo útil de cada colaborador foi feita uma contabilização do tempo gasto nesta tarefa.

Estes dados foram obtidos a partir de análises feitas pelos Engenheiros Industriais de cada equipa do MFE2, que contabilizaram o tempo gasto em deslocamentos (ida e volta à linha), verificação de condições, medições e registos. As equipas do MFE23 e MFE25 não necessitam de verificar condições, pois os seus projetos inserem-se em linhas automáticas. Na Tabela 4 estão representados os resultados desta análise.

Tabela 4 - Tempo gasto por confirmação de processo por Engenheiro Industrial

Equipa	MFE21	MFE22	MFE23	MFE25
Nº Eng. Industriais	6	5	1	2
Deslocamento	4,00 min	12,00 min	20,53 min	11,46 min
Verificação de condições	5,00 min	5,00 min	-	-
Medições e registo	15,50 min	22,50 min	1,05 min	7,94 min
Tempo total	24,50 min	39,50 min	21,58 min	19,40 min

$$t_{CP} = \frac{(t_{MFE21} \times n^{\circ} eng_{MFE21}) + (t_{MFE22} \times n^{\circ} eng_{MFE22}) + (t_{MFE23} \times n^{\circ} eng_{MFE23}) + (t_{MFE25} \times n^{\circ} eng_{MFE25})}{(n^{\circ} eng_{MFE21} + n^{\circ} eng_{MFE22} + n^{\circ} eng_{MFE23} + n^{\circ} eng_{MFE25})}$$

Equação 7 - Cálculo da média ponderada do tempo gasto na CP

Com estes valores e, a partir da Equação 7, obteve-se uma média ponderada de 28,92 min de tempo gasto mensalmente por CP por Engenheiro Industrial. De seguida, recolheram-se os dados relativos ao número médio de produtos A e B por mês do 1º semestre do ano de 2023 e o número de Engenheiros Industriais atual e calculou-se o tempo que todas as CP feitas durante um ano duram em minutos, horas e dias (Tabela 5).

Tabela 5 - Tempo total anual para as confirmações de processo

Nº produtos A e B	104
Tempo médio de CP	28,92 min
Nº confirmações de processo/ano/produto	12
Nº Engenheiros Industriais	14
Tempo total de CP/ano	36 092 min \approx 602h \approx 75 dias

Tendo em conta o tempo de trabalho anual de uma pessoa, tem-se o tempo de trabalho dos 14 Engenheiros Industriais, presente na Tabela 6.

Tabela 6 - Horas de trabalho por pessoa

Tempo de trabalho/ano (1 trabalhador)	230 dias = 1 840h
Tempo de trabalho/ano (14 trabalhadores)	3 220 dias = 25 760h

Desta forma, já é possível calcular o tempo que uma só pessoa e/ou os 14 Engenheiros Industriais demoram a fazer todas as CP, ou seja, a sua capacidade (Tabela 7).

Tabela 7 - Capacidade anual por trabalhador

Tempo de CP (1 ou 14 trabalhadores)	602h \approx 75 dias
Capacidade/ano (1 trabalhador)	32,69%
Capacidade/ano (14 trabalhadores)	2,34%

Isto significa que se apenas uma pessoa realizasse todas as CP num ano, ocupar-lhe-ia 32,69% do seu tempo útil anual e se todos os 14 Engenheiros Industriais realizassem as suas CP ocupar-lhes-ia no total 2,34% do seu tempo útil anual.

Depois de contabilizar o tempo, torna-se importante perceber de uma forma mais concreta o impacto monetário desta tarefa. Desta forma, foi associado um custo a cada minuto de trabalho tendo em conta o vencimento do colaborador que realiza esta tarefa.

Não podendo revelar esta informação, assume-se que o custo médio anual no *Business Plan 2023* (BP23) de um colaborador indireto sem termo é de 1 012,12 unidades monetárias (U.M.).

Assim, e tendo em conta os valores anteriores referentes à capacidade de um trabalhador, o custo deste realizar todas as CP é de 330,88 U.M., como se pode verificar na Tabela 8.

Tabela 8 - Custo de um trabalhador realizar todas as confirmações de processo

Custo médio anual BP23 IND s/termo	1 012,12 U.M.
Custo (1 trabalhador fazer todas as CP)	330,88 U.M.

5. PROPOSTAS DE MELHORIA E IMPLEMENTAÇÃO

5.1 Test Alignment Sequence

Como foi mencionado anteriormente na secção 4.2.3, as TAS existentes nos postos não representam o TC que se pretende obter para a CP, isto porque apenas devolvem o tempo de processamento da máquina e/ou testes feitos nos equipamentos. O TC a considerar é definido pelo tempo entre a saída de duas peças consecutivas em condições ideais, ou seja, com a linha a funcionar sem interrupções e com operadores prontos para fazer o *load* e *unload* das peças, evitando tempos de espera.

Com base nesta definição, foram criadas três TAS nos equipamentos, de forma a devolverem informações mais úteis:

- TIME_READ_TO_GOOD
- TIME_GOOD_TO_UNLOAD
- TIME_BETWEEN_PARTS

Estas TAS permitem dividir o tempo de atravessamento de uma peça em três momentos diferentes, como se pode verificar no esquema da Figura 22.

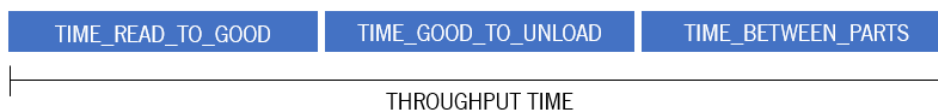


Figura 22 - Esquema das TAS de uma peça

O primeiro momento diz respeito ao tempo desde que a peça é lida, ou seja, a máquina deteta a presença da peça e lê o seu código de barras, até o equipamento dar sinal de “Good”. O sinal de “Good”, em português “bom”, refere-se ao resultado do processo no final. “Good” representa uma peça boa e “Bad”, em português “mau”, uma peça má. O segundo momento representa o tempo desde que é dado o sinal de “Good” até ser feito o *unload* da peça e, por fim, a última TAS, desde que é feito o *unload* até ser feito o *load* da próxima peça. Na eventualidade de sair uma peça má, ou a peça é testada novamente pela máquina e obtém-se um valor da TAS TIME_READ_TO_GOOD alto, visto contabilizar dois testes feitos, ou é retirada para ser examinada na estação de reparação.

Para a aplicação destas TAS, tomou-se como ponto de partida os postos de MF. Desta forma, registaram-se todos os postos MF das linhas da fábrica, resultando num total de 370 postos em 91 linhas.

Estes postos não são todos iguais, existindo 27 tipos diferentes, que, sendo geridos tecnicamente (programação e definição de *standards*) internamente e pela mesma equipa, facilita a aplicação das TAS.

Estes postos são também denominados de ASY (*Assembly Station*) no sistemas de informação e plataformas de visualização de dados.

Antes de se aplicarem as novas TAS nos restantes equipamentos, foi necessário garantir que estavam a funcionar corretamente.

Desta forma, foram validados os avanços feitos nos equipamentos de MF. Selecionou-se, assim, uma linha que serviria como teste para verificar a exatidão das TAS. A linha escolhida foi a 2148, que continha 17 postos ASY. Para cada posto foram feitas dez medições de modo a provar que as TAS estavam a medir corretamente os três tempos. As medições foram obtidas com auxílio de um cronómetro. Esta proposta foi implementada e validada e os seus resultados encontram-se no secção 6.1.1. A mesma abordagem de implementação foi usada nos restantes postos da linha, isto é, os postos de teste. Assim, a linha 2148 tornava-se o projeto piloto desta mudança e também a primeira linha da fábrica com medições *standard* em todos os equipamentos.

Esta fase demonstrou-se mais desafiante devido aos diferentes tipos de equipamentos de teste e o facto de serem programados de formas distintas entre eles e por diferentes responsáveis. Esta linha conta com dez tipos de postos de teste e estações de reparação e de qualidade. Estas estações não fazem parte do processo do produto e não são alvo de CP, logo não são consideradas para esta implementação. Começou por se investigar como funcionava e que tipo de informações estava a devolver ao utilizador o equipamento de *Functional Test* (FCT). Foi feita uma análise aprofundada a todos os parâmetros medidos pelo posto para perceber em que momento do processo se iriam colocar as três TAS, isto é, perceber quando deveriam começar e acabar de ser medidas. Como se pode verificar na Figura 23, existe um conjunto de instantes que são registados pelo equipamento FCT, que deverão permitir relacionar com os momentos desejados para balizar as três TAS a criar.

TAS	Comment (TAS)
TEF0200000	Renicialize System
TEF0200007	Door Open
TEF0200008	Verify Security OK
TEF0200009	Machine - Send position X=1
TEF0200010	Machine - Move to Position and Clear position
TEF0200013	Detaching Verifying the Main Conector
TEF0200014	Unblock DUT
TEF0200015	Machine - Check Last Position Set X
TEF0200016	Elevator descends

Figura 23 - Exemplo de TAS medidas pelo FCT - 2148

Da análise efetuada, foram identificadas as TAS base que irão permitir definir os intervalos para as TAS a criar neste equipamento. A primeira, TIME_READ_TO_GOOD, que diz respeito ao tempo desde que é

lida a peça até que se acaba o teste, começa na TAS “Insert Guides” e vai até à “Test Total Time” (Figura 24). Isto é, desde que a máquina deteta a presença da peça até ao fim do teste.

TAS	Comment (TAS)
TEF0200031	Insert Guides
SYS90201	Test Total Time

Figura 24 - Início e fim da medição da TAS TIME_READ_TO_GOOD

A segunda TAS a implementar, que representa o intervalo desde que acaba o teste até ser retirada a peça do equipamento (*unload*), inicia-se no “Test Total Time” até “Verify Product Not Present” (Figura 25). Este parâmetro mede o tempo desde que acaba o teste até que a máquina deixa de detetar a presença da peça.

TAS	Comment (TAS)
SYS90201	Test Total Time
TEF0200021	Verify Product Not Present

Figura 25 - Início e fim da medição da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD

Por fim, a última TAS começa no *unload* e vai até ao *load* da próxima peça, correspondendo a “Verify Product Not Present” até “Insert Guides” (Figura 26). Isto representa o momento em que a máquina deixa de detetar a presença de uma peça até detetar a presença da próxima.

TAS	Comment (TAS)
TEF0200021	Verify Product Not Present
TEF0200031	Insert Guides

Figura 26 - Início e fim da medição da TAS TIME_BETWEEN_PARTS

Com estes três intervalos de tempo (as três TAS apresentadas) completa-se um ciclo que corresponde ao tempo de atravessamento de uma peça. Isto porque, embora se faça o *load* da peça, o equipamento só contabiliza a nova TAS quando este conseguir ler a peça, como se pode observar na Figura 27.

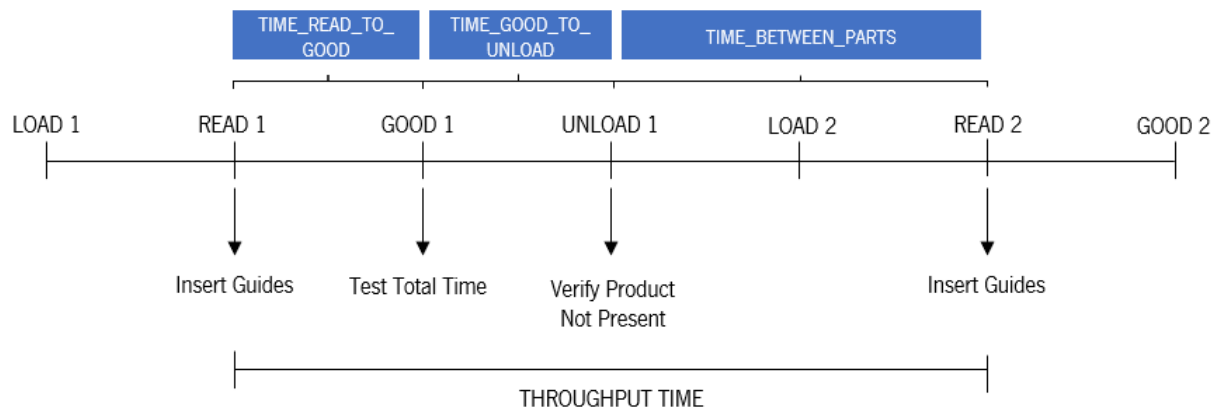


Figura 27 - Esquema do início e fim das TAS de uma peça

Após se ter identificado onde deveria ser o início e fim de cada uma das TAS, foi feita a implementação da TAS pelo responsável do equipamento. Foi também pedido que, para cada uma, se adicionasse uma breve descrição do seu propósito, como está representado na Figura 28.

TAS	Comment (TAS)
<u>TIME_READ_TO_GOOD</u>	Time between read PART and GOOD
<u>TIME_GOOD_TO_UNLOAD</u>	Time between GOOD and unload PART
<u>TIME_BETWEEN_PARTS</u>	Time between unload PART and load NEXT PART

Figura 28 - TAS criadas e as suas descrições

Esta mudança foi também validada depois de ser implementada e os resultados encontram-se na secção 6.1.2. Posto isto, decidiu proceder-se da mesma forma para os restantes postos da linha. Foi pedido aos responsáveis de cada equipamento que programassem os seus e replicassem as TAS. Para cada replicação foi feita uma análise a todos os parâmetros medidos por cada equipamento como forma de perceber onde se deveriam inserir as novas TAS. No fim, foram feitas medições a cada equipamento, para garantir o seu correto funcionamento.

Foram, assim, programados na linha 2I48 18 postos ASY e 13 postos de teste.

5.2 Plataforma Tableau

O Tableau é uma plataforma de análise de dados que permite facilmente visualizar dados e fazer análises que podem levar à solução de problemas. Até ao momento, o Tableau é utilizado apenas por alguns Engenheiros Industriais para analisarem o tempo de teste de máquinas e só em questões em que este tempo é elevado, fazendo-o de uma forma que não é *standard*. A utilização desta plataforma também permite obter os valores de tempo de teste de todos os equipamentos num intervalo de tempo maior, resultando numa análise mais detalhada.

Como foi mencionado anteriormente, o Tableau, embora facilite na visualização de dados, pouco facilita a CP. Isto porque a CP atual implica obter a média dos tempos dos equipamentos, acrescentar os tempos de *load* e *unload* e, por fim, dividir pelo número de equipamentos analisados. Além disto, não existe uma TAS *standard* para se usar. O Tableau neste momento apenas fornece a média (Figura 29), deixando o resto dos cálculos para o Engenheiro fazer à parte.

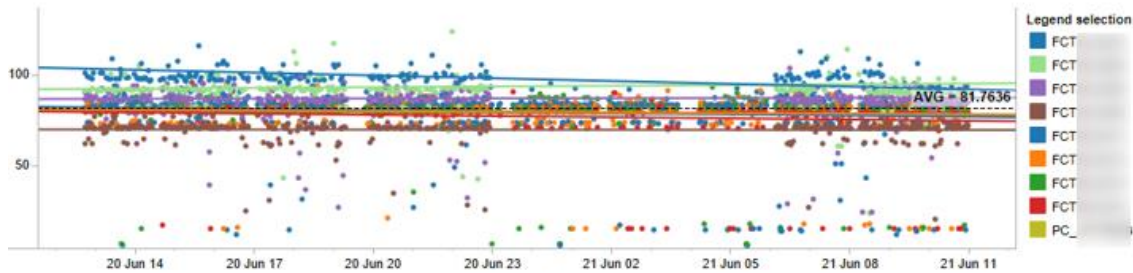


Figura 29 - Média de todos os postos obtidos pelo Tableau

Os campos de preenchimento pelo utilizador podem ser vistos na Figura 30. O primeiro campo diz respeito à data e hora, que facilita a quantidade de dados que se pode obter. De seguida, tem-se a família, a linha, o tipo de posto (VTP), o tipo de produto, o seu *part number* (PN) e *serial number* (SN), a TAS e o *Gof Status* (*goodness of fit*), isto é, se são peças boas ou más.

Figura 30 - Campos de preenchimento do Tableau

Como já tinha sido referido, o valor da média não é suficiente para realizar a CP e, como tal, foram implementadas alterações nesta plataforma de forma a facilitar estes cálculos. Foram criados campos de preenchimento para o utilizador colocar o valor relativo ao tempo de *load*, *unload* e número de equipamentos a serem analisados em paralelo. Estes valores são preenchidos por cada Engenheiro Industrial para cada uma das suas linhas e são obtidos a partir do trabalho *standard* e consoante o número de equipamentos que estão em funcionamento no momento. Este novo cálculo implica a seleção de “Pass” no filtro “Gof Status”, porque o que conta para a CP são apenas as peças boas. Também já com as alterações das TAS, já é possível selecionar a TIME_READ_TO_GOOD. À média deste parâmetro,

adicionam-se os valores de *load* e *unload* colocados pelo utilizador e divide-se pelo número de equipamentos em funcionamento. As mudanças aos campos de preenchimento do Tableau podem ser vistas na Figura 31.

The image shows a Tableau filter interface with the following fields:

- Date type:** Radio buttons for Last 24h (selected), Last Week, Last Month, and Custom Date.
- Start date:** 15/06/2023 00:00
- End date:** 16/06/2023 00:00
- Familyid:** Dropdown menu.
- Lineid:** (All)
- Vtp Name:** Dropdown menu.
- Product:** (All)
- Serial:** (All)
- Gof Status:** Pass
- Tasno:** TIME_READ_TO_GOOD
- Load time (s):** 0
- Unload time (s):** 0
- Nr. equipments:** 1
- Values Outside limits?:** Show (selected), Hide
- Value LO limit:** 0
- Value HI limit:** 500

Figura 31 - Novos campos de preenchimento do Tableau

Como exemplo, simulou-se uma CP para um equipamento para perceber o seu TC. Inicialmente, seleccionou-se a família, a linha, o tipo de equipamento e a TAS TIME_READ_TO_GOOD obtendo-se uma média de tempos de teste de 81,44s (Figura 32).

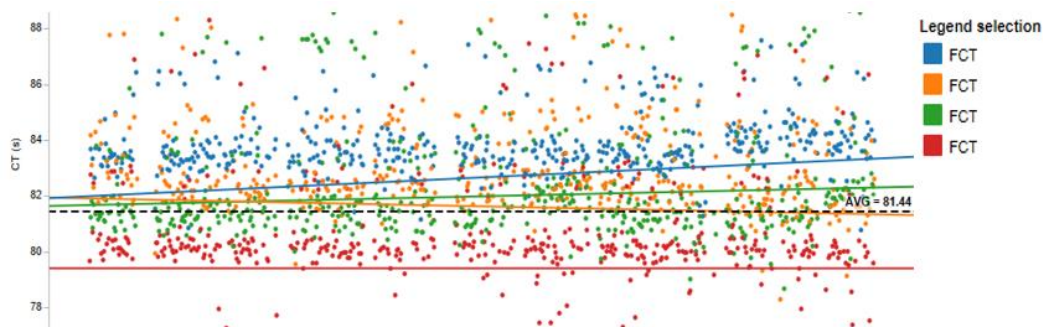


Figura 32 - Média do tempo de testes de 4 equipamentos FCT

De seguida, adicionaram-se os tempos de *load* e *unload*, o número de equipamentos em funcionamento e o filtro para considerar apenas peças boas (Figura 33).

Gof Status

Tasno

Load time (s)

Unload time (s)

Nr. equipments

Figura 33 - Exemplo de preenchimento dos campos do Tableau

Após introdução desta informação, o Tableau fornece informação ao utilizador do TC de cada um destes equipamentos (Figura 34).

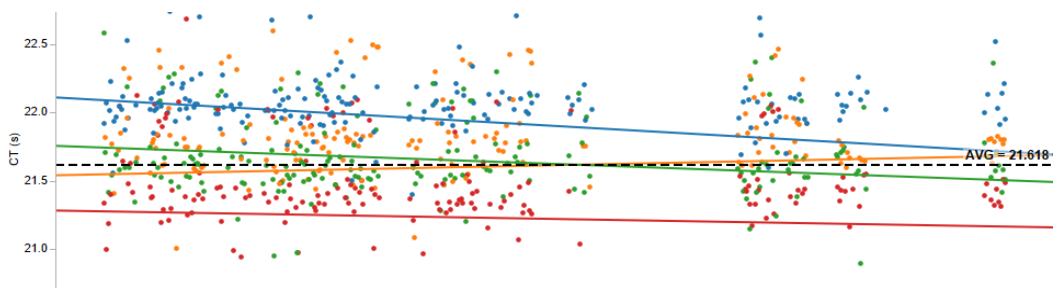


Figura 34 - Média do tempo de ciclo de cada equipamento

Como se pode verificar, o Tableau devolve um valor de TC de 21,61s para cada um dos equipamentos, substituindo o cálculo manual demonstrado na Equação 8.

$$TC = \frac{\bar{x} + load + unload}{n^{\circ} \text{equipamentos}} = \frac{81,44 + 3,00 + 2,00}{4} = 21,61s$$

Equação 8 - Cálculo do TC (b)

5.3 Plataforma Web BCore

O Bcore é uma plataforma *web* criada internamente pela Bosch Braga. Esta ferramenta oferece uma forma ágil e flexível de gerir todas as atividades do chão de fábrica à qual todas as equipas do MFE têm acesso.

Como foi mencionado no capítulo 4.1, o BCore é utilizado na CP como forma de verificar os produtos que estão planeados produzir na linha e, conseqüentemente, facilita o planeamento de realização de uma CP. Como forma de agilizar ainda mais esta tarefa, foi proposto que os registos das CP fossem todos feitos no BCore, ou seja, que se acabassem com os registos em folhas de Excel. Isto evita a

sobreprodução de informação eletrónica, torna o processo mais *lean* e centraliza a informação numa só plataforma.

Assim, foi desenvolvida uma página de registo de TC dos equipamentos, onde são preenchidas informações relativas à linha, ao produto e ao seu StAb. Desta forma, conseguem adicionar-se novos dados e criar um histórico de medições de TC.

Para cada produto, tem-se informação relativa ao seu TC do StAb atual, que inclui o número de operadores, o *bottleneck* operador, *bottleneck* técnico, TC da linha e o do equipamento *bottleneck* (Figura 35).

Figura 35 - Informação do TC do StAb de um produto

Com estes dados já definidos, será feita uma comparação direta destes com cada novo registo que se insira. É também possível registar outros equipamentos da linha escolhidos aleatoriamente, que não sejam *bottleneck*, ou que pareçam estar a registar tempos incoerentes (Figura 36).

C T	CT MEASURE	DEVIATION	BOTTLENECK	BCORE.EQUIPMENT_BOTTLENECK	CT EQUIPMENT BOTTLENECK	RANDOM EQUIPMENT CT	RANDOM EQUIPMENT NAME	CT EQUIPMENT MEASURE	DEVIATION	VT (MIN/100PCS)	COMMENT	PRODUCT	CREATED BY	CREATED AT
28	28	0.00%	operator 6		26.3					453.6				2023-06-20 01:00:27
28	26.3	-6.07%	operator 6		26.3					426.06				2023-05-27 00:30:19
28	26.3	-6.07%	operator 6		26.3					426.06				2023-05-26 02:23:24
28	28.1	0.36%	operator 6		26.3					455.22				2023-05-25 20:26:51
28			operator 6		26.3			23.000						2023-05-25 20:27:40

Figura 36 - Histórico de registos de tempo de ciclo feitos no BCore

Ao fazer a comparação com os valores do StAb, o BCore devolve o desvio do novo registo em relação ao StAb. Como é possível observar na Figura 37, ao inserir os valores nos campos “Cycle Time Equipment Bottleneck” e “Cycle Time” a plataforma devolve os desvios associados ao StAb apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Exemplo de registo do tempo de ciclo no BCORE

Se os desvios se encontrarem fora do intervalo $[TC-10\%; TC+10\%]$, é aberto automaticamente um ponto que pode ser gerido na própria plataforma. Na Figura 37 é possível observar um desvio superior a 10% no TC do *bottleneck* técnico, obrigando à abertura de um ponto, como se verifica na Figura 38.

Figura 38 - Abertura de um ponto

A abertura de um ponto implica uma justificação e uma ação de melhoria. Esta ação é feita seguindo um ciclo PDCA. Esta ferramenta divide o processo de melhoria em quatro fases distintas: planear, fazer, verificar e atuar. Ao abrir um ponto, o responsável deve descrever o problema e definir a sua urgência. O problema é analisado pelo responsável e por uma equipa que este considera poder dar suporte, num máximo de 7 dias após a abertura do ponto. De seguida, executa-se a ação para correção do problema.

Ao fim de 22 dias da execução, o responsável fica encarregue de verificar e controlar a solução implementada. Por último, aplica-se a ferramenta *lean Yokoten* que ajuda a unificar e padronizar os processos. Esta ferramenta permite minimizar erros e evitar que a mesma causa continue a abrir pontos, só assim se pode dar como concluído um ponto aberto. Este processo pode ser verificado na Figura 39.

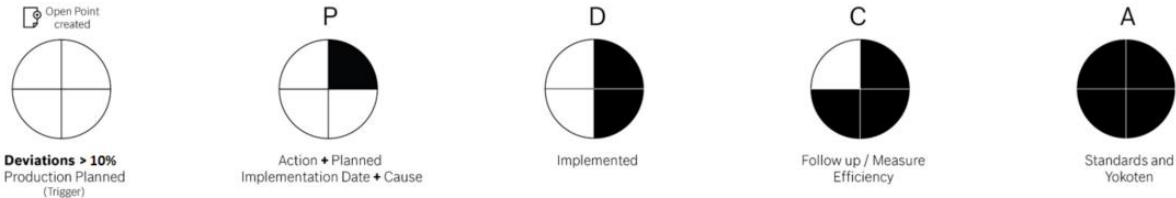


Figura 39 - Ciclo PDCA de um ponto aberto

Como forma de seguir a evolução dos registos dos TC, foi criado um gráfico no BCore que permite analisar as variações sofridas ao longo do tempo. À medida que são feitos registos das medições mensais, este gráfico cria um histórico com os tempos, comparando-os com o TC *standard* e o limite aceitável de variação do mesmo. Como se pode observar na Figura 40, a linha verde diz respeito ao TC *standard*, as linhas vermelhas aos limites aceitáveis deste, ou seja, [TC-10%; TC+10%] e, por fim, a linha azul representa as medições feitas pelos Engenheiros Industriais. Este gráfico existe para cada um dos trabalhos *standard*. Esta ferramenta visual permite, assim, ao Engenheiro fazer uma análise aos registos passados e ao comportamento dos equipamentos ao longo do tempo.

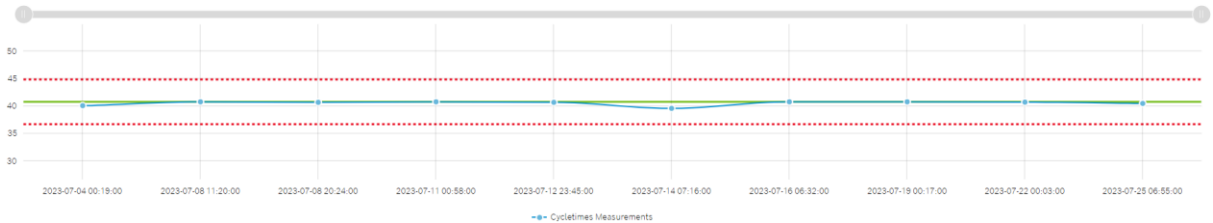


Figura 40 - Gráfico de evolução do TC

5.4 Real Time Cycle Time

Como forma de dar continuidade e melhorar os dados obtidos através do MES Nexeed, foi desenvolvido pela Bosch o *Real Time Cycle Time* (RTCT). O RTCT é uma ferramenta de monitorização do TC de todas as linhas e estações de produção através do MES Nexeed e do TC *standard*. Esta informação é obtida em tempo real e permite melhorar o OEE das linhas de produção.

Como esta ferramenta funciona em paralelo com o MES Nexeed, só está disponível para aqueles projetos onde se usa este *software*. Adicionalmente, o RTCT encontra-se disponível apenas em algumas fábricas

da Bosch e a de Braga não é uma delas. Esta etapa do projeto descreve, assim, a implementação desta ferramenta de recolha e visualização de dados relativos aos TC na Bosch Braga.

Para introduzir o RTCT na fábrica de Braga pretende-se primeiro desenvolver um projeto piloto que padroniza a forma como são recolhidos e tratados os dados das linhas automáticas mais recentes da fábrica. A monitorização de TC e visualização de *bottlenecks* permite:

- Monitorização do TC após manutenção preventiva e de avaria;
- Monitorização do TC após implementação de *Engineering Change Request* (ECR) ou *Product Change Request* (PCR);
- Análise do tempo dos equipamentos (tempo automático) e tempo dos operadores (tempo manual);
- Identificação do *bottleneck* e/ou mudanças de *bottleneck* nas linhas para todos os PN.

O RTCT torna-se, assim, um facilitador para a identificação de variações nos TC e postos *bottleneck* e, conseqüentemente, um sistema de reação rápida para eventuais anomalias. Além disso, permite reconhecer o *Best Repeatable Cycle Time*, que minimiza os esforços dos Engenheiros Industriais na CP. “Best Repeatable Cycle Time”, em português “Melhor Tempo de Ciclo Repetível”, é o menor tempo possível que um processo demora para ser concluído de uma forma recorrente.

Para a implementação do RTCT foi necessário parametrizar informação sobre cada uma das linhas que iria ser sujeita a alterações. Esta informação encontra-se descrita na Figura 52 no Anexo I e foi recolhida pelos Engenheiros Industriais responsáveis pelas linhas. Diz respeito ao nome da linha tanto na fábrica como no MES Nexeed, ao seu número de estações, aos seus nomes e aos seus respetivos TC *standard* e informações relativas ao produto, como a família e o seu PN.

Como qualquer sistema de recolha e análise de dados, também o RTCT possui uma lógica de cálculo no que diz respeito aos valores obtidos pelo MES Nexeed. Isto significa que nem todos devem ser contabilizados aquando da análise de TC, pois não são úteis para tirar conclusões sobre os equipamentos. O método utilizado foi desenvolvido em paralelo com a própria ferramenta e encontra-se descrito a seguir e representado no Anexo II, na Figura 53, Figura 54 e Figura 55:

1. Recolher o registo da data e hora de cada peça (*timestamp*);
2. Associar o tempo de cada teste/processo à peça;
3. Subtrair o *timestamp* de uma peça à peça anterior para se obter o valor do TC;
4. Ordenar os valores de TC por ordem decrescente;
5. Selecionar os valores de TC e calcular a média (\bar{x}) e o desvio padrão (σ);

6. Criar uma coluna Z com o seguinte cálculo: $Z = \frac{TC - \bar{x}}{\sigma}$;
7. Contabilizar apenas valores cujo $Z = [-1; 1]$;
8. O TC final a considerar é obtido a partir da média deste intervalo.

Com esta lógica de cálculo eliminam-se *outliers* da amostra, quer sejam peças que deram erro, peças que testaram duas vezes ou peças cujo tempo entre os *timestamp* é demasiado elevado devido a algum tipo de anomalia. Este resultado é obtido para todos os postos da linha e é o único que importa para fins de cálculo de capacidade técnica, identificando onde e se existem efetivamente desvios.

O RTCT apresenta os seus dados através de gráfico na plataforma *web* Tableau, como se pode verificar na Figura 41 e Figura 42, onde se encontram os TC registados em tempo real e o *Best Repeatable Cycle Time*, respetivamente, comparados com o TC *standard*. Pode também verificar-se a frequência com que cada valor do TC ocorre em cada posto, através de um histograma (Figura 43).

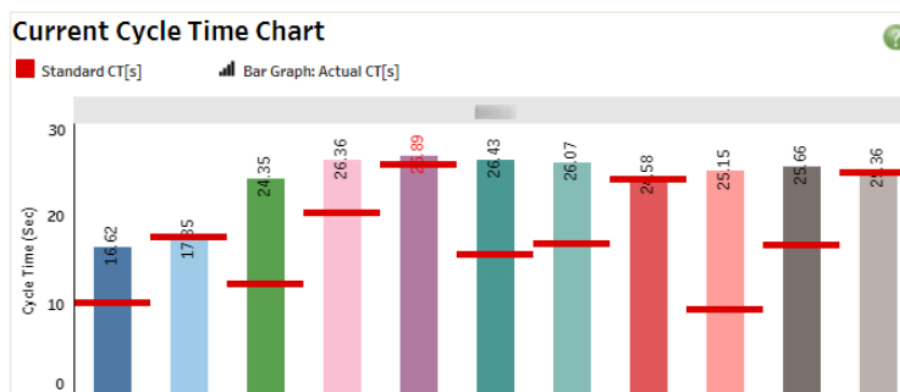


Figura 41 - Gráfico de barras do TC em tempo real

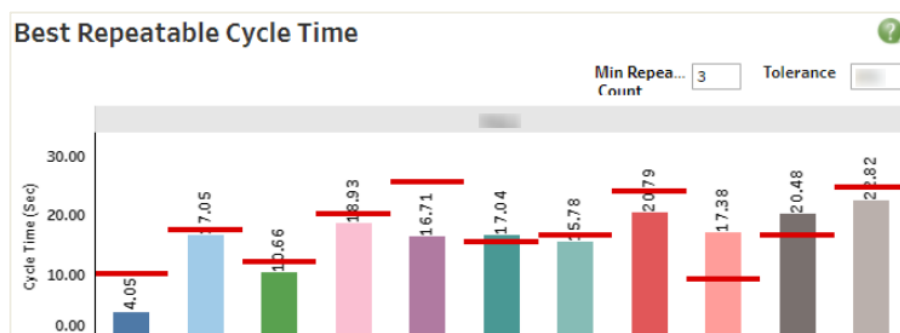


Figura 42 - Gráfico de barras do *Best Repeatable Cycle Time*

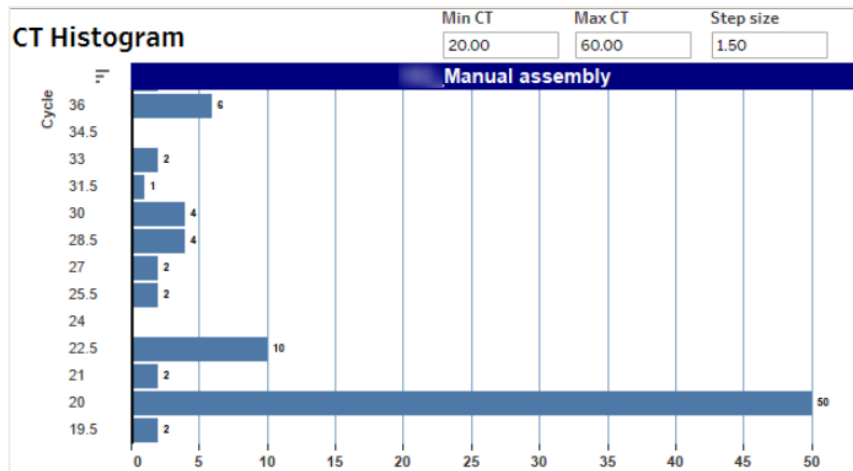


Figura 43 - Histograma dos TC

Por último, para mais facilmente visualizar e comparar estações *bottleneck* e desvios de TC, tem-se uma *dashboard* que permite perceber qual é o *bottleneck* planeado e o atual.

Bottleneck Visualization ?

	Station	Standard CT [s]	Actual CT[s]
Planned Bottleneck	Manual assembly	40.20	19.13
Actual Bottleneck	Housing preparation	16.90	28.32

Figura 44 - Dashboard de visualização de *bottlenecks*

Tomando como exemplo a Figura 44, pode-se observar que a estação “Manual assembly” corresponde ao *bottleneck* planeado, no entanto, o posto “Housing preparation” é o *bottleneck* atual, daí estar marcado a vermelho. De qualquer forma, o seu TC não se encontra fora do intervalo aceitável de variação do TC da linha, logo está sublinhado a verde. Caso contrário, estaria a vermelho.

Com a implementação desta ferramenta na Bosch Braga, torna-se muito mais simples a recolha e análise dos TC dos projetos que usufruam do MES Nexeed, contribuindo para uma CP mais rápida, assertiva e direta.

5.5 Programa de alerta de desvios

Com o propósito de tornar a CP uma tarefa cada vez mais automatizada, foi estudada a possibilidade de desenvolver um programa de alerta de desvios.

Este programa tem como objetivo final enviar um alerta aos Engenheiros Industriais para informar sobre desvios anómalos do TC nas suas linhas. Este alerta é dado em relação à média diária dos TC e não a

valores individuais, ou seja, deve ser considerada a média de uma amostra significativa e não uma única medição ou um conjunto reduzido de medições.

Com auxílio do departamento responsável pelos equipamentos de *testing* da empresa, foi possível gerar um sistema piloto de alertas que começou a ser aplicado nos equipamentos da linha 2I48, a linha piloto deste projeto. Este sistema permite coletar dados das TAS criadas e gerar uma média dos seus valores. Deste modo, seguiu-se o raciocínio utilizado na lógica de cálculo do RTCT e criou-se uma métrica para os valores relativos à TAS TIME_READ_TO_GOOD que representa o tempo de teste/processamento dos equipamentos. Esta análise é feita todos os dias e o alerta recebido corresponde às últimas 24h. Assim, o método seguido implica:

1. Recolha de todos os valores devolvidos pelo MIS das últimas 24h;
2. Cálculo da média (\tilde{x}_1) e desvio padrão (σ);
3. Contabilização apenas do intervalo $z_1 = [\tilde{x}_1 - \sigma; \tilde{x}_1 + \sigma]$;
4. Cálculo da média (\tilde{x}_2) dos valores deste novo intervalo z_1 ;
5. Verificar se esta nova média (\tilde{x}_2) se encontra dentro de [TC-10%; TC+10%].

Para evitar que o programa assuma valores incoerentes, só são lidos tempos de peças dadas como boas. Isto evita a criação de métricas adicionais para eliminar *outliers*, obtendo-se apenas informações úteis. Se não houver desvio, não é enviado nenhum alerta, ou seja, os equipamentos estão a funcionar corretamente.

Uma amostra deve ter mais de 10 valores, que corresponde ao número de medições feitas pelo Engenheiro Industrial quando faz a CP na linha.

Para testar a viabilidade desta prova de conceito foram atribuídos valores para um equipamento FCT da linha 2I48 e os resultados que se esperavam obter.

Inputs:

- TAS TIME_READ_TO_GOOD (valores retirados do MIS);
- TC *standard* do FCT: 84s/equipamento;
- Intervalo aceitável de desvio: [TC-10%; TC+10%]s = [75,6; 92,4]s;
- Emails dos Engenheiros Industriais.

Outputs:

- Cálculo para os 6 PN produzidos na linha;
- *Report* diário apenas quando há desvios.

Após fornecer a informação necessária e explicitar os requisitos que este programa deveria ter, foi recebido o seguinte alerta (Figura 45).

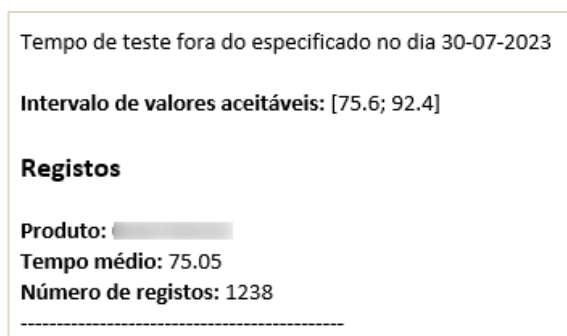


Figura 45 - *Report* de alerta de desvio de TC

No exemplo dado, foram atribuídos 6 PN diferentes para análise e apenas foi devolvido um no *report*. Isto significa que apenas um dos PN está fora do intervalo aceitável de variação. A forma como o programa funciona permite percorrer todos os PN e apenas devolver aqueles que demonstram desvio. Após se confirmar a viabilidade da prova de conceito, foram aperfeiçoados os requisitos para que representassem a maior parte das linhas e os Engenheiros de *testing* pudessem formar novos *reports*. (Tabela 9).

Tabela 9 - Inputs e outputs do programa de alerta de desvios

Inputs	Outputs
TAS TIME_READ_TO_GOOD	Cálculo para cada PN (apenas peças boas)
TC <i>standard</i> do equipamento	PN com desvio e tempo médio registado
[TC-10%; TC+10%]	Número de registos
Email dos Engenheiros Industriais	<i>Report</i> diário apenas quando há desvio

6. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo consiste na análise e discussão dos resultados obtidos com a implementação das propostas de melhorias mencionadas no capítulo 5. Está dividido em 4 partes, sendo a primeira relativa ao aumento do número de dados obtidos com as melhorias implementadas, a segunda com a redução do tempo da confirmação de processo, a terceira com representação de custos dos resultados e, por fim, uma síntese de todos os resultados obtidos.

6.1 Amostra de dados

A primeira proposta diz respeito à criação das TAS e à sua visualização no Tableau. Como foi mencionado no capítulo anterior, apresentam-se aqui as medições feitas para validar as TAS implementadas.

6.1.1 Postos manuais

A Tabela 10 contém os valores medidos na confirmação para o posto ASY e as médias associadas a cada TAS. Os registros no MIS do mesmo intervalo temporal estão na Figura 46, Figura 47 e Figura 48.

Tabela 10 - Medições manuais das TAS ASY - 2I48

ASY10_2I48 – 22/08/2023 08:49H		
TIME_READ_TO_GOOD	TIME_GOOD_TO_UNLOAD	TIME_BETWEEN_PARTS
21,20s	48,18s	12,14s
21,16s	19,41s	12,62s
21,54s	13,99s	12,14s
21,79s	20,95s	12,59s
22,44s	20,15s	13,48s
21,27s	51,26s	11,57s
27,55s	10,92s	13,23s
21,74s	16,54s	12,56s
22,78s	65,81s	13,10s
22,33s	25,51s	13,58s
$\tilde{x} = 22,38s$	$\tilde{x} = 29,27s$	$\tilde{x} = 12,70s$

1. TAS: TIME_READ_TO_GOOD

$$\tilde{x} = 22,21s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,17s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
ASY10	-	22/08/2023, 08:50:17	21.356	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:51:37	20.462	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:52:32	21.409	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:53:20	21.887	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:54:16	22.567	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:55:10	20.902	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:56:41	27.139	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:57:27	21.696	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:58:19	22.186	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 09:00:00	22.524	s/a	Good

Figura 46 - Registo do MIS da TAS TIME_READ_TO_GOOD

2. TAS: TIME_GOOD_TO_UNLOAD

$$\tilde{x} = 30,06s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,79s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
ASY10	-	22/08/2023, 08:51:37	48.969	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:52:32	20.799	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:53:20	14.439	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:54:16	21.220	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:55:10	20.806	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:56:41	52.692	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:57:27	11.920	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:58:19	16.363	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 09:00:00	67.032	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 09:01:01	26.354	s/a	Good

Figura 47 - Registo do MIS da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD

3. TAS: TIME_BETWEEN_PARTS

$$\tilde{x} = 12,12s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,58s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
ASY10	-	22/08/2023, 08:51:37	11.237	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:52:32	12.207	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:53:20	11.577	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:54:16	12.120	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:55:10	12.495	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:56:41	11.012	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:57:27	12.288	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 08:58:19	13.464	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 09:00:00	12.117	s/a	Good
ASY10	-	22/08/2023, 09:01:01	12.669	s/a	Good

Figura 48 - Registo do MIS da TAS TIME_BETWEEN_PARTS

A partir da diferença das médias das medições recolhidas em observação na linha de produção e das médias dos registos no MIS para o intervalo de tempo considerado, percebe-se que os valores obtidos manualmente são concordantes com os valores do MIS. Todos os desvios são inferiores a 1 segundo, estando este desvio associado à medição manual.

Com a validação na linha de teste, implementou-se *Yokoten* para todos os postos de MF, com a equipa responsável por estes postos a garantir que o *standard* de utilização destas TAS era aplicado em todos os postos MF. *Yokoten* é a prática de partilha de conhecimento, boas práticas e soluções para problemas da fábrica inteira (Ferreira et al., 2019)

6.1.2 Postos de teste

Da mesma forma, os valores medidos na confirmação do posto FCT e as suas médias correspondentes encontram-se na Tabela 11 e os registos no MIS na Figura 49, Figura 50 e Figura 51.

Tabela 11 - Medições manuais das TAS FCT - 2I48

FCT_2I48 – 22/08/2023 09:17H		
TIME_READ_TO_GOOD	TIME_GOOD_TO_UNLOAD	TIME_BETWEEN_PARTS
87,02s	17,51s	04,68s
84,31s	20,29s	04,67s
81,10s	23,86s	04,77s
81,40s	32,66s	04,37s
80,22s	56,57s	04,41s
82,24s	53,13s	04,50s
82,00s	30,99s	04,40s
81,91s	50,49s	04,88s
82,39s	104,59s	04,54s
81,94s	20,65s	04,44s
$x = 82,45s$	$x = 41,07s$	$x = 4,57s$

1. TAS: TIME_READ_TO_GOOD

$$\tilde{x} = 81,59s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,86s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:19:38	87.313	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:21:22	82.483	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:23:08	80.452	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:24:57	80.493	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:26:55	80.590	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:29:17	80.929	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:31:36	80.870	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:33:32	80.871	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:35:47	80.806	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:38:58	81.086	s/+	Good

Figura 49 - Registo do MIS da TAS TIME_READ_TO_GOOD

2. TAS: TIME_GOOD_TO_UNLOAD

$$\tilde{x} = 40,35s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,72s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:19:55	16.020	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:21:42	20.112	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:23:32	23.820	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:25:29	31.248	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:27:51	56.521	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:30:10	52.812	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:32:06	30.169	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:34:22	50.173	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:37:32	104.570	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:39:16	18.027	s/+	Good

Figura 50 - Registo do MIS da TAS TIME_GOOD_TO_UNLOAD

3. TAS: TIME_BETWEEN_PARTS

$$\tilde{x} = 4,94s$$

$$|\Delta(\tilde{x})| = 0,37s$$

VTP	Operator	Date (Time)	Value	Unit	State
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:19:59	4.883	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:21:47	5.214	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:23:37	5.239	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:25:34	5.202	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:27:56	4.856	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:30:15	4.990	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:32:11	4.770	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:34:27	4.742	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:37:37	4.770	s/+	Good
FCT50	UTS	22/08/2023, 09:39:21	4.768	s/+	Good

Figura 51 - Registo do MIS da TAS TIME_BETWEEN_PARTS

As medições feitas manualmente para os postos FCT aproximam-se dos registos obtidos no MIS, validando os tempos recolhidos automaticamente e disponíveis nas TAS. Note-se também para estes postos que todos os desvios são inferiores a um segundo, relacionando-se com a medição manual. Pode-se, assim, concluir que as TAS estavam aptas a ser usadas.

6.1.3 Aumento da amostra de dados

Com estes parâmetros padronizados na linha 2I48, torna-se mais fácil identificar em todos os equipamentos quais os valores dos TC e dos tempos de espera. Também através da validação das três TAS criadas garante-se a possibilidade de verificar pelo Tableau uma amostra maior dos dados dos tempos de teste dos equipamentos, comparativamente ao que é medido presencialmente.

A partir de uma análise do número de testes obtidos por mês dos postos FCT da linha - posto usado como exemplo na secção 5.1 – comparou-se com o número de registos obtidos presencialmente na CP.

Na Tabela 12, apresenta-se o número de testes para todos os FCT da linha por mês para o primeiro semestre do ano de 2023.

Tabela 12 - Número de dados recolhidos para a CP

Mês	Nº de dados no Tableau	Nº de dados por observação direta
1	43 971	10
2	37 812	10
3	58 246	10
4	53 393	10
5	56 421	10
6	38 948	10
\tilde{x}	$\approx 48\ 131$	10

Comparando a média de medições feitas por CP no chão de fábrica com o número de testes realizados por mês pelos equipamentos FCT, tem-se um aumento de mais de 40 000 valores.

Este aumento da amostra acrescenta maior confiança à CP, permitindo retirar conclusões mais precisas sobre a estabilidade dos processos e/ou possíveis variações. Também possibilita analisar diferentes janelas temporais, tais como turnos, períodos noturnos ou identificar momentos em que um TC sofreu alguma alteração e a partir daí conseguir associar a um evento específico.

Para além dos aspetos positivos já mencionados, também se pode considerar que esta mudança reduz o tempo usado no deslocamento à linha, verificação de condições e medições feitas no chão de fábrica.

6.2 Redução do tempo de registo e análise de dados

Como foi mencionado no subcapítulo anterior, com o Tableau obtém-se uma amostra maior de valores, mas também se obtém o cálculo do TC automaticamente. Isto deve-se aos campos criados na plataforma que permitem adicionar o tempo de *load*, *unload* e o número de equipamentos a considerar. Adicionalmente, com o campo de preenchimento “Gof Status” filtra-se a amostra apenas pelos testes que tiveram bons resultados, retirando, assim, *outliers*. Com esta alteração, obtém-se facilmente o valor a colocar na CP.

A proposta de melhoria seguinte diz respeito à criação de uma página de registo de TC no BCore. Esta plataforma permite acabar com o uso das folhas auxiliares de análise do TC, que eram preenchidas na própria linha, e com o preenchimento do ficheiro Excel de CP.

Para demonstrar a melhoria associada ao tempo de registo e análise de TC, foram feitas 10 medições a cada Engenheiro Industrial de cada equipa enquanto testavam o novo método de CP. Foi também feito um guia de utilização do Tableau e do BCore para a CP que os Engenheiros teriam de seguir. A média dos tempos de cada equipa estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 - Tempo demorado pelos Engenheiros na nova CP

Equipa	Tempo para a nova CP
MFE21	1,35 min
MFE22	2,19 min
MFE23	1,52 min
MFE25	1,52 min

De uma forma mais detalhada, na

Tabela 14 tem-se a comparação do tempo da CP atual com a nova CP por equipa.

Tabela 14 - Comparação da CP atual com a nova CP por equipa

Equipa	MFE21	MFE22	MFE23	MFE25	Média MFE2
Tempo médio CP atual	24,50 min	39,50 min	21,58 min	19,40 min	28,92 min
Tempo médio CP nova	1,35 min	2,19 min	1,52 min	1,52 min	1,55 min
Variação	-94,49%	-94,46%	-92,96%	-92,16%	-94,64%

A partir dos dados apresentados, regista-se uma redução muito significativa dos tempos de registo e análise de dados feitos por cada equipa, sendo que em média se regista um decréscimo de 94,64% em todo o departamento.

Ainda que esta análise se refira apenas à CP com ausência de desvios, não deixa de ser importante mencionar que a análise a situações onde ocorrem desvios também faz parte da realidade dos Engenheiros Industriais. Embora se possa contabilizar o tempo que se demora a abrir um ponto no BCore, não é possível contabilizar o tempo usado para o acompanhamento de um desvio, isto porque depende de caso para caso. O processo passaria pela ida à linha, verificação de condições, medição presencial do equipamento e identificação do problema. Só assim se poderia abrir um ponto, analisar o problema, identificar os responsáveis pela correção e monitorizar a ação corretiva.

6.3 Impacto das melhorias

Como forma de dar seguimento à análise feita na situação atual, decidi traduzir-se os ganhos de tempo em capital. Embora este não represente o foco do projeto, visto que o tempo será na mesma utilizado, é interessante representar em valores monetários a poupança que advém da realização da CP mais automatizada.

Na Tabela 15 apresentam-se os valores relativos ao tempo que demora a CP atualmente e a CP nova. A atual, como já tinha sido referido anteriormente, demora 28,92 min, mas ao fim de um ano, multiplicando pelo número de produtos A e B e pelo número de CP feitas por produto ao ano, resulta em 75 dias. Já a CP nova demora 1,55 min e, sujeita ao mesmo cálculo, demora aproximadamente 4 dias.

Tabela 15 - Comparação do tempo de CP atual com CP nova

Tempo médio de CP atual	28,92 min
Tempo de todas as CP atuais por ano	36 092,16 min \approx 602h \approx 75 dias
Tempo médio da CP nova	1,55 min
Tempo de todas as CP novas por ano	1 934,40 min \approx 32h \approx 4 dias

Na Tabela 16 compara-se a capacidade anual por trabalhador em cada uma das CP. Com estes dados conclui-se que, ao realizar a CP atual, se apenas um trabalhador fizer todas as CP ocupar-lhe-ia 32,69% do seu tempo útil anual enquanto na CP nova só lhe ocuparia 1,75%. Se todos os 14 trabalhadores realizarem a CP atual ocuparia a cada um 2,34% do seu tempo útil anual e apenas 0,13% a cada na CP nova.

Tabela 16 - Comparação da capacidade anual por trabalhador da CP atual com a CP nova

Capacidade/ano CP atual (1 trabalhador)	32,69%
Capacidade/ano CP atual (14 trabalhadores)	2,34%
Capacidade/ano CP nova (1 trabalhador)	1,75%
Capacidade/ano CP nova (14 trabalhadores)	0,13%

Após contabilizar o tempo e a capacidade de cada trabalhador e, com base no BP23, obtém-se que o custo de um trabalhador indireto sem termo realizar todas as novas CP é de 17,73 UM, como se pode verificar na Tabela 17. Comparando com o custo de realizar todas as CP atuais, tem-se um decréscimo de 313,15 UM.

Tabela 17 - Comparação do custo de um trabalhador realizar todas as CP atuais com as CP novas

Custo médio anual BP23 IND s/termo	1 012,12 U.M.
Custo (1 trabalhador fazer todas as CP atuais)	330,88 U.M.
Custo (1 trabalhador fazer todas as CP novas)	17,73 U.M.

6.4 Síntese dos resultados obtidos

Nesta secção, apresenta-se a Tabela 18, que conta com um resumo dos resultados obtidos, nomeadamente a comparação da situação atual com as melhorias relativas à implementação das TAS nos equipamentos, criação de novos campos de preenchimento no Tableau e criação da página de registo de TC no BCore. Por fim, a última coluna da tabela demonstra os ganhos resultantes destas melhorias.

Tabela 18 - Síntese de resultados

	Situação atual	Situação nova	Ganhos
Nº produtos	104	104	-
Tempo de CP	28,92 min	1,55 min	27,37 min
Nº de CP/produto/ano	12	12	-
Nº Engenheiros	14	14	-
Tempo total de CP	36 092,16 min ≈ 602h ≈ 75 dias	1 934,40 min ≈ 32h ≈ 4 dias	34 157,76 min ≈ 569h ≈ 71 dias
Tamanho da amostra	10	48 131	48 121
Capacidade (1 trabalhador)	32,69%	1,75%	-
Capacidade (14 trabalhador)	2,34%	0,13%	-
Custo (1 trabalhador)	330,88 U.M.	17,73 U.M.	313,15 U.M.

Em síntese, a automatização permitiu reduzir o tempo total associado à CP e aumentar o tamanho da amostra. Em termos de capacidade reduziu o tempo útil anual utilizado na CP para cada trabalhador e também o custo associado à atividade.

7. CONCLUSÕES

No presente capítulo apresentam-se as principais conclusões deste projeto de dissertação, algumas considerações finais, como ganhos e limitações do trabalho, e, por fim, propostas de trabalho futuro.

7.1 Conclusão

O presente projeto de dissertação consistiu no desenvolvimento e implementação de um projeto piloto de recolha e análise de tempos de ciclo na Bosch Car Multimedia, S.A.

Para tal, foram analisadas as várias linhas da empresa, os seus processos e a forma como eram recolhidos, registados e analisados os seus tempos. O fim da análise revelou uma CP demorada com vários desperdícios associados. Posto isto, foi necessário dividir o problema pelo tipo de linha a tratar e o *software* que utilizavam, resultando em três *softwares*: MES Toolset, MES Nexeed e MIS. O primeiro diz respeito às linhas de SMT, cuja recolha de tempos já se encontrava automatizada, o segundo refere-se aos projetos mais recentes da fábrica e que são implementados neste novo sistema Nexeed e, por fim, o MIS corresponde às restantes linhas, que incluem linhas semiautomáticas e totalmente manuais. Para as linhas que utilizavam o MIS foram criados e implementados parâmetros denominados TAS que permitiam dividir o tempo de atravessamento de uma peça em três momentos diferentes e que facilitavam e padronizavam o parâmetro que mede o TC de cada equipamento. As três TAS correspondiam ao tempo de leitura da peça até ao fim do teste, desde o fim do teste até se realizar o *unload* e desde o *unload* até ao *load* de uma nova peça.

Com auxílio do Tableau foram desenvolvidos campos de preenchimento na plataforma (*load*, *unload* e número de equipamentos analisados em simultâneo) que permitiam obter o cálculo final do TC. Com o uso do Tableau para a CP, foi possível aumentar significativamente a amostra a analisar, chegando a obter mais de 40 000 valores de testes ao mês, comparativamente às pouco mais de 10 medições feitas por observação direta no chão de fábrica.

Com a introdução da página de registos do BCore, onde se realiza agora a CP, deixa de ser usada a folha auxiliar de análise do TC e o ficheiro de Excel da CP.

Estas melhorias permitem diminuir o tempo da CP, passando de 28,92 min para 1,55 min. Por conseguinte, o dispêndio de tempo nestas atividades (considerando um único trabalhador a realizar todas as CP ao ano) baixou de 32,69% para 1,75%. Em alternativa, considerando o respetivo dispêndio de tempo anual distribuído pelos 14 Engenheiros, tal representa uma redução de 2,34% para 0,13%.

Em termos monetários, esta diminuição do tempo permite reduzir o custo associado de 330,88 U.M. para 17,73 U.M., ou seja, um decréscimo de 313,15 U.M.

Deste modo, estas alterações realizadas reduzem o tempo dedicado à medição de tempos na CP dos Engenheiros Industriais, que pode ser usado para outras funções, como também simplificam a tarefa de CP e aumentam a amostra disponível. Com esta melhoria é também possível obter dados dos vários equipamentos, enquanto presencialmente só seria feita a medição a um posto.

É importante referir que, embora as vantagens destas melhorias implementadas sejam notáveis, há sempre uma perda associada à observação indireta dos dados. Isto é, a ida ao chão de fábrica permite aos Engenheiros Industriais um contacto direto com os equipamentos, operadores e processos, permite ver em tempo real o processo a decorrer e a razão de possíveis desvios.

Relativamente aos outros dois projetos pilotos desenvolvidos, o RTCT e o alerta de desvios, a implementação das propostas ainda estão a ser realizadas à conclusão deste trabalho e, como tal, não foram apresentados resultados explícitos. No entanto, com a aplicação destas ferramentas, seria possível averiguar a existência de condições para deixar de se realizar a CP todos os meses. Desta forma, passaria apenas a ser feita quando se recebesse um alerta de desvios.

A partir deste projeto de dissertação foi possível desenvolver metodologias de recolha e análise de TC para diferentes tipos de linhas, garantindo que se abordava o maior número de processos e situações.

7.2 Considerações finais

Com o desenvolver deste projeto foi possível explorar o tópico da recolha de TC e da sua análise de uma perspetiva diferente. Foram implementados novos métodos de recolha e visualização de dados e propuseram-se melhorias aos métodos já utilizados na fábrica.

Começando pelas TAS, estas tornaram possível padronizar as medições feitas pelas máquinas que antes não existiam, permitindo que as formas de recolher e analisar dados pudessem ser feitas do mesmo modo.

Com auxílio do Tableau e dos novos campos de preenchimentos, tornou-se mais fácil fazer os cálculos da CP e a visualização dos dados em larga escala, possibilitando a análise de uma amostra significativamente maior do que a da medição de tempos por observação direta.

A centralização da CP no BCore permitiu acabar com a folha auxiliar e com o ficheiro Excel da CP, eliminando os registos existentes em várias plataformas. Deste modo, esta tarefa passa a ser feita por todos os Engenheiros no mesmo sistema, o processo é mais transparente e acessível a toda a fábrica.

O programa de alerta de desvios, tanto do RTCT como do programa de alertas, permitirá uma nova e melhorada abordagem do controlo dos tempos dos equipamentos, permitindo ser alertados na ocorrência de situações anómalas que precisem de ser analisadas com mais detalhe. A ausência de alertas representa, assim, o normal funcionamento das máquinas e da linha em geral.

Em suma, com as melhorias feitas, são notáveis os ganhos direcionados para a poupança de tempo, dando mais condições aos Engenheiros Industriais para realizarem análises mais profundas aos dados ou para outras atividades do seu dia a dia.

Por outro lado, ao longo do desenvolvimento deste projeto, foram sentidas algumas dificuldades cuja exposição é importante.

A primeira refere-se à dificuldade de registar atividades pertencentes ao TC que não se documentam. Isto é, se em certos postos, os operadores realizam tarefas durante os períodos de TIME_GOOD_TO_UNLOAD ou TIME_BETWEEN_PARTS que não são registados pelas máquinas, não sendo contabilizadas para o TC. Esta situação verifica-se em alguns dos postos de MF quando os operadores realizam tarefas fora do tempo de teste, como a colocação de uma *foil* numa peça.

A segunda limitação refere-se a um tipo de equipamento de teste que não pode ser programado pela fábrica, apenas pelos seus fornecedores. Isto impediu a implementação das TAS para estes equipamentos. No entanto, a maioria destas máquinas encontram-se obsoletas e/ou não eram *bottlenecks* das linhas, não tendo resultado numa complicação. Para estes casos foi apenas usada a TAS SYS90201 para verificação de tempos de teste.

É de notar também a dificuldade de implementação de melhorias numa fábrica desta dimensão e onde os métodos de trabalho já se encontram enraizados. Devido também à dimensão da empresa, a segmentação de tarefas e responsabilidade é elevada tornando complexo perceber quais os departamentos certos para tratarem de cada um dos tópicos abordados, constituindo-se assim um obstáculo e desafio para o sucesso deste projeto.

7.3 Sugestões de trabalho futuro

Relativamente às sugestões de trabalho futuro, destacam-se dois tópicos: a centralização completa no BCore e o programa de alerta de desvios.

O primeiro refere-se à utilização do BCore por inteiro, acabando com a utilização de plataformas como o MIS e o Tableau. Isto significaria que, para além da realização da CP, abrir pontos e acompanhá-los, obter-se-iam os registos dos tempos de todos os equipamentos, criar-se-iam *dashboards* de visualização dos mesmos e monitorização de KPI.

Em relação ao programa de alerta de desvios, quando este se difundir e se tornar um *standard* na fábrica inteira, acabará com a CP de equipamentos como se conhece até agora. Por outras palavras, não será necessário que os Engenheiros Industriais façam medições mensais às máquinas e confirmem que estas estão a funcionar nos tempos pretendidos. Só será necessário examinar uma máquina quando os alertas provarem que existe efetivamente um desvio e, conseqüentemente, um problema.

Da mesma forma, com a introdução do RTCT na fábrica de Braga, deverá ser criado um *standard* para que todos os novos projetos e linhas que usem o MES Nexeed usufruam do RTCT desde início.

Assim, sugere-se que se averiguem as ferramentas mencionadas e que se desenvolvam com intuito de tornar a CP o mais automatizada possível.

Embora a CP do StAB de operadores não faça parte do âmbito deste projeto, é também um tópico de extrema importância como forma de dar continuidade à automatização desta tarefa. Surge então como sugestão de trabalho futuro o desenvolvimento de uma solução para monitorizar as tarefas dos operadores, isto é, um acompanhamento mais detalhado, desde o tempo usado para as tarefas até aos tempos de espera. Isto permitirá, mais uma vez, uma análise mais aprofundada dos dados recolhidos, uma amostra maior e permitirá aos Engenheiros Industriais dedicarem-se a outras tarefas que acrescentem mais valor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, R., Shaheen, S., & Philbin, S. P. (2022). The role of big data analytics and decision-making in achieving project success. *Journal of Engineering and Technology Management*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2022.101697>
- Amasaka, K. (2002). “New JIT”: A new management technology principle at Toyota. In *Int. J. Production Economics* (Vol. 80).
- Black, J. T., & Hunter, S. L. (2003). *Lean Manufacturing Systems and Cell Design*. Society of Manufacturing Engineers.
- Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Oyondi Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. *Journal of Engineering*, 2020, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2020/4280156>
- Bosch. (2023a). Portfólio da AE. *Publicação interna*.
- Bosch. (2023b). Organograma dos departamentos MFE. *Publicação interna*.
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.170>
- Chincholkar, M., & Herrmann, J. W. (2008). Estimating manufacturing cycle time and throughput in flow shops with process drift and inspection. *International Journal of Production Research*, 46(24), 7057–7072. <https://doi.org/10.1080/00207540701513893>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- De Oliveira Debiasi, V., Paulino Paschoioto, W., & Benciveni Franzoni, A. M. (2023, February 15). *O Kaizen como ferramenta da gestão do conhecimento: um estudo de caso aplicado ao nível operacional de uma indústria*. <https://doi.org/10.48090/ciki.v1i1.1361>
- Esmaeel, R. I., Zakuan, N., Jamal, N. M., & Taherdoost, H. (2018). Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: fit manufacturing and overall equipment effectiveness. *Procedia Manufacturing*, 22, 998–1006. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.142>

- Ferreira, C., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Lopes, M. P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2019). iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, *41*, 1095–1102. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.038>
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, *35*(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>
- George, M. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. McGraw-Hill.
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. McGraw-Hill.
- Godoy, R. F., Munhoz, I. P., De Oliveira, G. G., Rosa, M. T. de M. G., De Gouvêa, M. T., & Akkari, A. C. S. (2023). Operacionalização da metodologia Kaizen a fim de otimizar o desempenho organizacional: um enfoque na gestão de processos em uma indústria eletrônica. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, *14*(2), 1832–1854. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i2.1665>
- Goldsby, T., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*. J. Ross Publishing.
- Gonzalez-Rivas, G., & Larsson, L. (2010). *Far from the Factory* (1st ed.). Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/9781420094572>
- Har, L. L., Rashid, U. K., Chuan, L. Te, Sen, S. C., & Xia, L. Y. (2022). Revolution of Retail Industry: From Perspective of Retail 1.0 to 4.0. *Procedia Computer Science*, *200*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.362>
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2008). *Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving* (1st ed.). Productivity Press.
- Hines, P., Silvi, R., & Bartolini, M. (2002). *Lean Profit Potential*. Lean Enterprise Research Centre.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, *89*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Hung, Y.-H., Li, L. Y. O., & Cheng, T. C. E. (2022). Uncovering hidden capacity in overall equipment effectiveness management. *International Journal of Production Economics*, *248*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108494>

- Johansson, P. E. C., Lezama, T., Malmsköld, L., Sjögren, B., & Ahlström, L. M. (2013). Current State of Standardized Work in Automotive Industry in Sweden. *Procedia CIRP*, 7, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.026>
- Kaisler, S., Armour, F., Espinosa, J. A., & Money, W. (2013). Big Data: Issues and Challenges Moving Forward. *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, 995–1004. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.645>
- Lareau, W. (2003). *Office Kaizen: transforming office operations into a strategic competitive advantage*. ASQ Quality Press.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw Hill Professional.
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/amp.2006.20591002>
- Liker, J., & Meier, D. (2007). *Toyota Talent: Developing your people the Toyota way*. McGraw-Hill.
- Locher, D. A. (2011). *Lean Office and Service Simplified: The Definitive How-To Guide*. Productivity Press.
- Mahmoodi, E., Fathi, M., & Ghobakhloo, M. (2022). The impact of Industry 4.0 on bottleneck analysis in production and manufacturing: Current trends and future perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108801>
- National Research Council Canada, I. R. A. P. (2004). *Principles of Lean Thinking: Tools & Techniques for Advanced Manufacturing*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.
- Oliveira, J. D. (2007). Escritório enxuto (Lean Office). *Lean Institute Brasil*.
- Ongbali, S. O., Afolalu, S. A., Oyedepo, S. A., Aworinde, A. K., & Fajobi, M. A. (2021). A study on the factors causing bottleneck problems in the manufacturing industry using principal component analysis. *Heliyon*, 7(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07020>
- Ortiz, C. (2010). Kaizen vs. Lean: Distinct but related. *Metal Finishing*, 108(1), 50–51. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(10\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(10)80011-X)
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Pinto, J. P. (2010). *Gestão de Operações: Na Indústria e nos Serviços*. Lidel.
- Pinto, J. P. (2014). *Introdução ao Pensamento Lean*. Lidel.

- Productivity Press Development Team. (1998). *Just-in-Time for Operators* (1st ed.). Productivity Press.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, *52*, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Radharamanan, R., Godoy, L. P., & Watanabe, K. I. (1996). Quality and productivity improvement in a custom-made furniture industry using Kaizen. *Computers & Industrial Engineering*, *31*(1–2), 471–474. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00177-5](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00177-5)
- Ragan, J. F. (1976). *Measuring Capacity Utilization in Manufacturing*.
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, *7*, 174–180. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(13\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(13)00232-3)
- Rajkumar, R. (Raj), Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems. *Proceedings of the 47th Design Automation Conference*, 731–736. <https://doi.org/10.1145/1837274.1837461>
- Rawabdeh, I. A. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments. *International Journal of Operations & Production Management*, *25*(8), 800–822. <https://doi.org/10.1108/01443570510608619>
- Ray, B., Ripley, P., & Neal, D. (2006). Lean Manufacturing A Systematic Approach to Improving Productivity in the Precast Concrete Industry. *PCI Journal*, *51*(1), 62–71. <https://doi.org/10.15554/pcij.01012006.62.71>
- Seraphim, E. C., Silva, Í. B. da, & Agostinho, O. L. (2010). Lean Office em organizações militares de saúde: estudo de caso do Posto Médico da Guarnição Militar de Campinas. *Gestão & Produção*, *17*(2). <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200013>
- Shingo, S., & Dillon, A. (1989). *A Study of the Toyota Production System*. CRC Press.
- Shuker, T., & Tapping, D. (2003). *Value Stream Management for the Lean Office: Eight Steps to Planning, Mapping, & Sustaining Lean Improvements in Administrative Areas*. Productivity Press.
- Sipsas, K., Alexopoulos, K., Xanthakis, V., & Chrysolouris, G. (2016). Collaborative Maintenance in flow-line Manufacturing Environments: An Industry 4.0 Approach. *Procedia CIRP*, *55*, 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.013>
- Smaya, H. (2022). The Influence of Big Data Analytics in the Industry. *OALib*, *09*(02), 1–12. <https://doi.org/10.4236/oalib.1108383>
- Somers, R. J., Douthwaite, J. A., Wagg, D. J., Walkinshaw, N., & Hierons, R. M. (2023). Digital-twin-based testing for cyber-physical systems: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, *156*. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107145>

- Song, M. H., & Fischer, M. (2020). Daily plan-do-check-act (PDCA) cycles with level of development (LOD) 400 objects for foremen. *Advanced Engineering Informatics*, 44, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101091>
- Subramaniyan, M., Skoogh, A., Bokrantz, J., Sheikh, M. A., Thürer, M., & Chang, Q. (2021). Artificial intelligence for throughput bottleneck analysis – State-of-the-art and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 734–751. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.021>
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- The Productivity Press Development Team. (2002a). *Pull Production for the Shopfloor*.
- The Productivity Press Development Team. (2002b). *Standard Work for the Shopfloor*.
- Vanichchinchai, A. (2022). The effects of the Toyota Way on agile manufacturing: an empirical analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(8), 1450–1472. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2022-0053>
- Wang J. (2022, September). *SMT Line: An Efficient and Cost-Effective Production Line in PCB Manufacturing*. OurPCB. <https://www.ourpcb.com/smt-line.html>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1). <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Wilson, L. (2010). *How To Implement Lean Manufacturing*. McGraw Hill Professional.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Simon and Schuster.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148–1148. <https://doi.org/10.1038/SJ.JORS.2600967>
- Yang, G., Fukuyama, H., & Song, Y. (2019). Estimating capacity utilization of Chinese manufacturing industries. *Socio-Economic Planning Sciences*, 67, 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.10.004>
- Yokoyama, T. T., Oliveira, M. A. de, & Futami, A. H. (2019). A Systematic Literature Review on Lean Office. *Industrial Engineering & Management Systems*, 18(1). <https://doi.org/10.7232/iems.2019.18.1.067>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5). <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Zhou, K., Taigang Liu, & Lifeng Zhou. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>

Anexo 1 – Dados a recolher por linha para preenchimento dos *templates* do RTCT

SI.NO	Data field name	Data field description
1	Product teams	Product team of particular production line or product like PT-EC, PT-BE etc.
2	MES Line#	MES Line number of the production line
3	Line Name	Production line name
4	MES Station#	MES station number
5	Station Name	Station name of particular station number
6	MES Process#	Process number of the particular station
7	WorkPos	How many work position are there in that particular process or station
8	Parts/Station	How many parts are handled in that particular process or station
9	Product Family	Product family of the part number
10	Part number	Part number of the product
11	Housing type	Product's housing type name
12	Standard Man c/t (secs)	Standard man CT of that process or station
13	Man Variables	walk time ,inspection time, or periodic variable of the line
14	Standard M/c c/t (secs)	Standard machine CT of that process or station
15	Machine Variables	Scanning time or periodic CT of the machine
16	Periodic Variables	Periodic CT of that process or CT
17	Standard c/t (secs)	Standard CT of station is defined considering man and machine running in series or parallel
18	Stability Value	Standard CT *1.04
19	Bottleneck Station#	MES station number of bottleneck station
20	Bottleneck Station Name	The Bottleneck station name of the production line
21	Release date	Date when IE-Planner has verified and released calculation
22	Algorithm	Indicates which type of measurement is released i.e., Statistical or Best_repeatabe
23	Comment	Any additional information for the release
24	Line Configuration	Specifying the line configuration to differentiate the line as assembly line(ex X.1) and testing line (ex X.2)

Figura 52 - Dados a recolher por linha para o RTCT

Anexo 2 – Lógica de cálculo para o tempo de ciclo na ferramenta RTCT

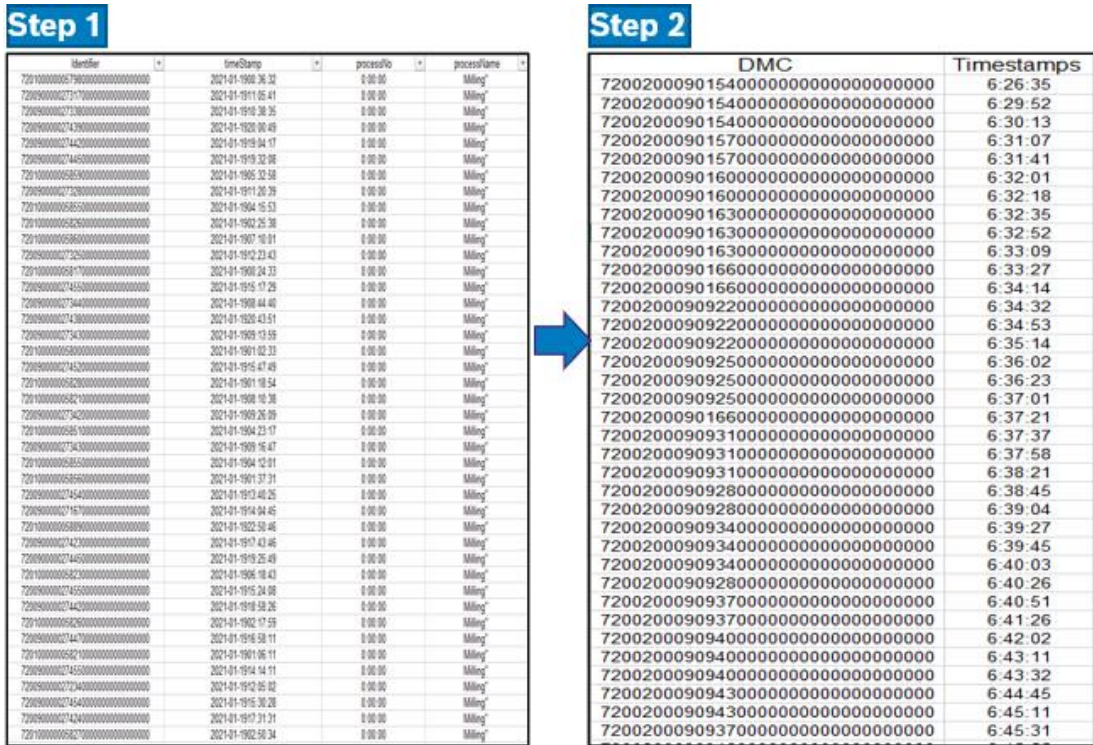


Figura 53 - Passos 1 e 2 da lógica de cálculo do RTCT

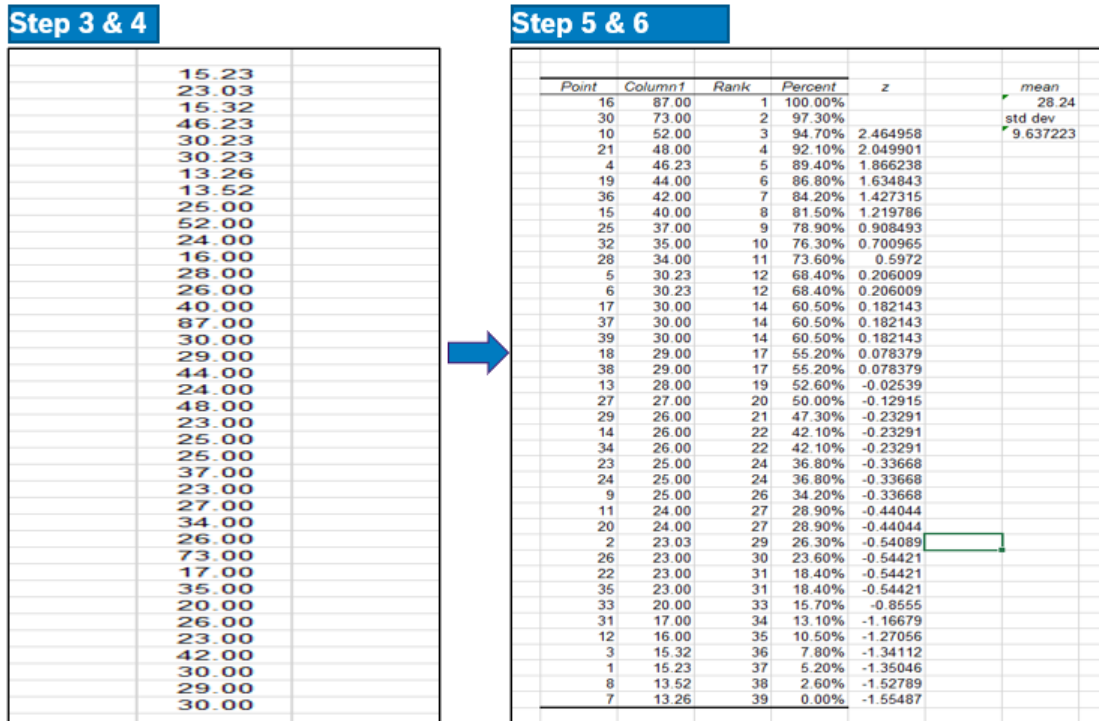


Figura 54 - Passos 3 a 6 da lógica do cálculo do RTCT

Step 7 & 8

	Point	Columnf	Rank	Percent	z	mean
15.23						
23.03	16	87.00	1	100.00%		28.24
15.32	30	73.00	2	97.30%		std dev
46.23	10	52.00	3	94.70%	2.464958	9.637223
30.23	21	48.00	4	92.10%	2.049901	
30.23	4	46.23	5	89.40%	1.866238	
13.26	19	44.00	6	86.80%	1.634843	
13.52	36	42.00	7	84.20%	1.427315	
25.00	15	40.00	8	81.50%	1.219786	
52.00	25	37.00	9	78.90%	0.908493	
24.00	32	35.00	10	76.30%	0.700965	
16.00	28	34.00	11	73.60%	0.5972	
28.00	5	30.23	12	68.40%	0.206009	
26.00	6	30.23	12	68.40%	0.206009	
40.00	17	30.00	14	60.50%	0.182143	
87.00	37	30.00	14	60.50%	0.182143	
30.00	39	30.00	14	60.50%	0.182143	
29.00	18	29.00	17	55.20%	0.078379	
44.00	38	29.00	17	55.20%	0.078379	
24.00	13	28.00	19	52.60%	-0.02539	z1 27.3
48.00	27	27.00	20	50.00%	-0.12915	z2 27
23.00	29	26.00	21	47.30%	-0.23291	z3 28.24
25.00	14	26.00	22	42.10%	-0.23291	
25.00	34	26.00	22	42.10%	-0.23291	
37.00	23	25.00	24	36.80%	-0.33668	
23.00	24	25.00	24	36.80%	-0.33668	
27.00	9	25.00	26	34.20%	-0.33668	
34.00	11	24.00	27	28.90%	-0.44044	
26.00	20	24.00	27	28.90%	-0.44044	
73.00	2	23.03	29	26.30%	-0.54089	
17.00	26	23.00	30	23.60%	-0.54421	
35.00	22	23.00	31	18.40%	-0.54421	
20.00	35	23.00	31	18.40%	-0.54421	
26.00	33	20.00	33	15.70%	-0.8555	
23.00	31	17.00	34	13.10%	-1.16679	
42.00	12	16.00	35	10.50%	-1.27056	
30.00	3	15.32	36	7.80%	-1.34112	
29.00	1	15.23	37	5.20%	-1.35046	
30.00	8	13.52	38	2.60%	-1.52789	
	7	13.26	39	0.00%	-1.55487	

CT is the average of values that fall under the range $z=[-1;1]$

Figura 55 - Passos 9 e 10 da lógica de cálculo do RTCT